

**TRATTATO ELEMENTARE DI  
FISICA SPERIMENTALE ED APPLICATA  
E DI METEOROLOGIA  
CON UNA NUMEROSA RACCOLTA DI PROBLEMI**

Illustrato con 586 incisioni sul legno intercalate nel testo

**DI A. GANOT**

PROFESSORE DI MATEMATICA E DI FISICA  
VERSIONE DEL DOTT. GEMELLO GORINI  
NUOVA EDIZIONE SULL'ULTIMA EDIZIONE ORIGINALE

Aumentata di nuove incisioni, pure intercalate nel testo,  
e dei lavori più recenti nei diversi rami della Fisica

MILANO

FRANCESCO PAGNONI, TIPOGRAFO-EDITORE  
Contrada di Ciovasso N. 9  
1861

## AVVISO

Tutto lo stampato in carattere più piccolo verrà tralasciato dai lettori che non hanno famigliare il calcolo algebrico.

I numeri collocati sotto le figure, a destra dei numeri progressivi, indicano in centimetri l'altezza degli apparati, o la loro lunghezza in direzione orizzontale, secondo che sono preceduti dalle lettere *a* ovvero *l*.

## INDICE

LIBRO I .....	6
DELLA MATERIA, DELLE FORZE E DEL MOTO .....	6
CAPITOLO I .....	6
NOZIONI GENERALI .....	6
CAPITOLO II .....	7
PROPRIETÀ GENERALI DEI CORPI .....	7
CAPITOLO III .....	13
NOZIONI SULLE FORZE E SUI MOTI .....	13
NOZIONI SUI MOTI .....	15
LIBRO II .....	18
GRAVITÀ ED ATTRAZIONE MOLECOLARE .....	18
CAPITOLO I .....	18
EFFETTI GENERALI DELLA GRAVITÀ .....	18
CAPITOLO II .....	20
DENSITÀ, PESI, CENTRO DI GRAVITÀ, BILANCIE .....	20
CAPITOLO III .....	31
LEGGI DELLA CADUTA DEI CORPI, INTENSITÀ DELLA GRAVITÀ, PENDOLO .....	31
CAPITOLO IV .....	42
FORZE MOLECOLARI .....	42
CAPITOLO V .....	44
PROPRIETÀ PARTICOLARI DEI SOLIDI .....	44
LIBRO III .....	48
DEI LIQUIDI .....	48
CAPITOLO I .....	48
IDROSTATICA .....	48
CAPITOLO II .....	72
CAPILLARITÀ, ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE .....	72
LIBRO IV .....	79
DEI GAS .....	79
CAPITOLO I .....	79
PROPRIETÀ DEI GAS, ATMOSFERA, BAROMETRI .....	79
CAPITOLO II .....	92
MISURA DELLA FORZA ELASTICA DEI GAS .....	92
CAPITOLO III .....	100
PRESSIONI SOSTENUTE DAI CORPI DIVERSI NELL'ARIA, AEROSTATI .....	100
CAPITOLO IV .....	106
APPARATI FONDATI SULLE PROPRIETÀ DELL'ARIA .....	106
LIBRO V .....	120

ACUSTICA.....	120
CAPITOLO I .....	120
PRODUZIONE, PROPAGAZIONE E RIFLESSIONE DEL SUONO .....	120
CAPITOLO II .....	129
VIBRAZIONI DELLE CORDE, NUMERO DELLE VIBRAZIONI CORRISPONDENTI AD UN DATO SUONO .....	129
CAPITOLO III.....	134
TEORIA FISICA DELLA MUSICA.....	134
CAPITOLO IV.....	138
VIBRAZIONE DELL'ARIA NEI TUBI SONORI.....	138
CAPITOLO V .....	142
VIBRAZIONI DELLE VERGHE, DELLE LAMINE, DELLE PIASTRE E DELLE MEMBRANE .....	142
CAPITOLO VI.....	145
METODI GRAFICI PER LO STUDIO DEI MOVIMENTI VIBRATORI .....	145
LIBRO VI .....	152
DEL CALORICO .....	152
CAPITOLO I .....	152
NOZIONI PRELIMINARI; TERMOMETRI.....	152
CAPITOLO II .....	165
DILATAZIONE DEI SOLIDI .....	165
CAPITOLO III.....	171
DILATAZIONE DEI LIQUIDI .....	171
CAPITOLO IV.....	175
DILATAZIONE E DENSITÀ DEI GAS.....	175
CAPITOLO V .....	181
CANGIAMENTI DI STATO, VAPORI .....	181
CAPITOLO VI.....	210
IGROMETRIA.....	210
CAPITOLO VII .....	217
CONDUCIBILITÀ DEI SOLIDI, DEI LIQUIDI E DEI GAS.....	217
CAPITOLO VIII.....	220
CALORIMETRIA, TEORIA DINAMICA DEL CALORE.....	220
CAPITOLO IX.....	229
IRRADIAZIONE DEL CALORICO .....	229
CAPITOLO X.....	242
MACCHINE A VAPORE .....	242
CAPITOLO XI.....	251
SORGENTI DI CALORE E DI FREDDO .....	251
LIBRO VII .....	260
DELLA LUCE .....	260
CAPITOLO I .....	260
TRASMISSIONE, VELOCITÀ ED INTENSITÀ DELLA LUCE.....	260
CAPITOLO II .....	269
RIFLESSIONE DELLA LUCE, SPECCHI .....	269
CAPITOLO III.....	282
RIFRAZIONE SEMPLICE, LENTI .....	282
CAPITOLO IV.....	296
DISPERSIONE ED ACROMATISMO.....	296
CAPITOLO V .....	304
ISTRUMENTI D'OTTICA .....	304

CAPITOLO VI.....	326
DELL'OCCHIO CONSIDERATO COME STRUMENTO D'OTTICA.....	326
CAPITOLO VII.....	336
SORGENTI DI LUCE, FOSFORESCENZA.....	336
CAPITOLO VIII.....	339
DOPPIA RIFRAZIONE, INTERFERENZE, POLARIZZAZIONE.....	339
LIBRO VIII.....	360
DEL MAGNETISMO.....	360
CAPITOLO I.....	360
PROPRIETÀ DELLE CALAMITE.....	360
CAPITOLO II.....	365
MAGNETISMO TERRESTRE, BUSSOLE.....	365
CAPITOLO III.....	371
MAGNETIZZAZIONE, LEGGI DELLE AZIONI MAGNETICHE.....	371
LIBRO IX.....	376
ELETTRICITÀ STATICA.....	376
CAPITOLO I.....	376
PRINCIPII FONDAMENTALI.....	376
CAPITOLO II.....	381
MISURA DELLE FORZE ELETTRICHE.....	381
CAPITOLO III.....	388
AZIONE DEI CORPI ELETTRIZZATI SUI CORPI ALLO STATO NEUTRO; MACCHINE ELETTRICHE.....	388
CAPITOLO IV.....	401
CONDENSAZIONE DELL'ELETTRICITÀ.....	401
LIBRO X.....	415
ELETTRICITÀ DINAMICA.....	415
CAPITOLO I.....	415
PILA VOLTIANA, SUE MODIFICAZIONI.....	415
CAPITOLO II.....	430
EFFETTI DELLA PILA, GALVANOPLASTICA, INDORATURA ED INARGENTATURA.....	430
CAPITOLO III.....	441
ELETTROMAGNETISMO, GALVANOMETRIA.....	441
CAPITOLO IV.....	448
ELETTRO-DINAMICA, ATTRAZIONE E RIPULSIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI.....	448
CAPITOLO V.....	456
MAGNETIZZAZIONE PER MEZZO DELLE CORRENTI, ELETTRO-CALAMITE, TELEGRAFI ELETTRICI.....	456
CAPITOLO VI.....	467
FENOMENI DI INDUZIONE.....	467
CAPITOLO VII.....	484
EFFETTI OTTICI DELLE CALAMITE POTENTI, DIAMAGNETISMO.....	484
CAPITOLO VIII.....	487
CORRENTI TERMO-ELETTRICHE.....	487
CAPITOLO IX.....	491
INTENSITÀ CONDUTTIBILITÀ E VELOCITÀ DELLE CORRENTI; TRASPORTI, CORRENTI DERIVATE.....	491
CAPITOLO X.....	497



ELETTRICITÀ ANIMALE, APPLICAZIONE DELL'ELETTRICITÀ ALLA TERAPEUTICA .....	497
ELEMENTI DI METEOROLOGIA E DI CLIMATOLOGIA .....	502
METEOROLOGIA.....	502
CLIMATOLOGIA.....	518
APPENDICE - PARTE PRIMA.....	522
PROBLEMI DI FISICA COLLA LORO SOLUZIONE.....	522
PROBLEMI RELATIVI AI PESI SPECIFICI.....	522
PROBLEMI SUL PRINCIPIO D'ARCHIMEDE, SULLA DENSITÀ DEI GAS E SULLA PRESSIONE ATMOSFERICA .....	534
PROBLEMI SUI COEFFICIENTI DI DILATAZIONE.....	541
PROBLEMI SUI CALORICI LATENTI .....	547
PROBLEMI SUI VAPORI .....	551
APPENDICE - PARTE SECONDA.....	553
ENUNCIATI DI PROBLEMI PROPOSTI ALLA FACOLTA' DELLE SCIENZE IN PARIGI .....	553
ENUNCIATI DI PROBLEMI PROPOSTI ALLE FACOLTA' DELLE SCIENZE DI PROVINCIA.....	554
APPENDICE - PARTE SECONDA.....	557
SCELTA DI PROBLEMI DELL'AUTORE.....	557

# TRATTATO ELEMENTARE DI FISICA

## LIBRO I

### DELLA MATERIA, DELLE FORZE E DEL MOTO

#### CAPITOLO I

#### NOZIONI GENERALI

**1. Oggetto della fisica.** - La *fisica* ha per oggetto lo studio dei fenomeni che presentano i corpi, in quanto questi non subiscano cambiamenti nella loro composizione.

La *chimica*, al contrario, tratta dei fenomeni che modificano più o meno la natura dei corpi.

**2. Materia.** - Dicesi *materia* o *sostanza* tutto che cade immediatamente sotto i nostri sensi.

Oggidì si conoscono sessantadue sostanze elementari o *semplici*, sostanze cioè dalle quali l'analisi chimica non giunge ad estrarre che una sola specie di materia. Ma è possibile che più tardi il numero di queste sostanze aumenti o diminuisca, poichè può accadere che o se ne scoprano delle nuove, o si arrivi a decomporne parecchie.

**3. Corpi, atomi, molecole.** - Ogni quantità limitata di materia è detta *corpo*. Le proprietà dei corpi provano ch'essi non sono formati d'una materia continua, ma di elementi per così dire infinitamente piccoli, che non ponno essere fisicamente divisi, e sono semplicemente sovrapposti senza toccarsi; mantenendosi in distanza a motivo delle attrazioni e delle ripulsioni reciproche, che si chiamano forze molecolari.

Questi elementi dei corpi si chiamano *atomi*. Un gruppo d'atomi forma una *molecola*. I corpi non sono che aggregati di molecole.

**4. Massa.** - In fisica, per *massa* di un corpo s'intende la quantità di materia che esso contiene. In meccanica, questa distinzione è insufficiente, e fa d'uopo completarla come vedremo in seguito (35).

**5. Stati dei corpi.** - Si distinguono tre stati dei corpi:

1° Lo *stato solido*, che si osserva, alle ordinarie temperature, nei legni, nelle pietre, nei metalli in generale. Questo stato è caratterizzato da un'aderenza tra le molecole, tale, che non riesce possibile di separarle senza uno sforzo più o meno considerevole. Mercè quest'aderenza i corpi solidi conservano la loro forma primitiva.

2° Lo *stato liquido*, che vien presentato dall'acqua, dall'alcool, dagli olii. Il carattere distintivo dei liquidi è un'aderenza tra le molecole, così debole, ch'esse ponno scorrere le une sulle altre con una facilità grandissima: da ciò proviene che questi corpi non hanno nessuna forma particolare, e prendono sempre quella dei vasi che li contengono.

3° Lo *stato gassoso*, che si riscontra nell'aria e in un gran numero d'altri corpi, che si chiamano *gas* o *fluidi aeriformi*. Nei gas la mobilità delle molecole è ancora maggiore che nei liquidi: ma il loro carattere distintivo è specialmente una tendenza a prendere continuamente un volume maggiore, proprietà detta di *espansibilità*, e che quanto prima verrà dall'esperienza constatata (126).

I liquidi e i gas prendono il nome generale di *fluidi*.

La maggior parte dei corpi semplici e molti corpi composti possono successivamente presentarsi allo stato solido, liquido e gassoso, secondo le variazioni di temperatura. L'acqua ce n'offre un esempio notissimo.

Progredendo nello studio della fisica, si riconoscerà che i tre stati dei corpi dipendono principalmente dal rapporto tra le attrazioni e le ripulsioni molecolari.

**6. Fenomeni fisici.** - Ogni cambiamento avvenuto nello stato di un corpo, senza alterazione della sua costituzione chimica, è un *fenomeno fisico*. Un corpo che cade, un suono che si produce, un liquido che si congela, sono altrettanti fenomeni.

**7. Leggi e teorie fisiche.** - Per *legge fisica* intendosi la relazione costante che passa tra un fenomeno e la sua causa. Per es., si dimostra che un dato volume di gas diventa due, tre volte minore, sottoponendolo a una pressione due, tre volte maggiore: quest'è una legge fisica, che vien espressa dicendo essere i volumi dei gas in ragione inversa delle pressioni.

Una *teoria fisica* è il complesso delle leggi che si riferiscono ad una stessa classe di fenomeni. Epperò si dice: la teoria della luce, la teoria dell'elettricità. Tuttavia si applica questa denominazione, anche in un senso più ristretto, alla spiegazione di certi fenomeni particolari: per es., quando si dice: la teoria della rugiada, la teoria del miraggio.

**8. Agenti fisici.** - Come causa dei fenomeni presentati dai corpi si ammette l'esistenza di *agenti fisici* o *forze naturali*, che dominano la materia.

Questi agenti sono: l'*attrazione universale*, il *calorico*, la *luce*, il *magnetismo* e l'*elettricità*.

Gli agenti fisici non si manifestano a noi che per mezzo dei loro effetti, e la loro natura c'è affatto sconosciuta. Nello stato attuale della scienza non si può dire se siano proprietà inerenti alla materia, o materie sottili, impalpabili, sparse in tutto l'universo, e i di cui effetti sono il risultato di movimenti particolari impressi alla loro massa. Quest'ultima ipotesi è generalmente ammessa; ma allora sorge la domanda: sono queste materie distinte le une dalle altre, o ripetono esse un'unica sorgente? Quest'ultima opinione sembra prevalere di mano in mano che più estesi divengono i confini delle scienze fisiche.

Nell'ipotesi che gli agenti fisici sieno materie sottili, queste materie, non avendo un peso apprezzabile colle bilancie le più sensibili, ricevono il nome di *fluidi imponderabili*: d'onde la distinzione di *materia ponderabile* o materia propriamente detta, e di *materia imponderabile* o *agenti fisici*.

Ai fluidi imponderabili si dà anche il nome di *fluidi incoercibili*, per indicare che non si possono raccogliere nè comprimere in vasi chiusi, come si fa coll'aria e gli altri gaz.

## CAPITOLO II

### PROPRIETÀ GENERALI DEI CORPI

**9. Diverse sorta di proprietà.** - Sotto il nome di *proprietà* dei corpi, o della materia, si comprendono i loro diversi modi di presentarsi ai nostri sensi. Alcune sono generali, altre particolari. Le prime sono quelle comuni a tutti i corpi, qualunque sia lo stato in cui si considerino.

Quelle che importa di conoscere fin d'ora sono: l'*impenetrabilità*, l'*estensione*, la *divisibilità*, la *porosità*, la *compressibilità*, l'*elasticità*, la *immobilità* e l'*inerzia*.

Le proprietà particolari sono quelle che non si osservano che in certi corpi, o in certi stati dei corpi: tali sono la *solidità*, la *fluidità*, la *tenacità*, la *duttilità*, la *malleabilità*, la *durezza*, la *trasparenza*, il *colore*, ecc.

Pel momento si tratterà soltanto delle suesposte proprietà generali: avvertendo però che l'impenetrabilità e l'estensione, piuttosto che proprietà generali della materia, sono attributi che basterebbero per definirla. Osserviamo inoltre che la divisibilità, la porosità, la compressibilità e l'elasticità si applicano soltanto ai corpi considerati come ammassi di molecole, e non agli atomi.

**10. Impenetrabilità.** - L'impenetrabilità è la proprietà in virtù della quale due corpi non ponno occupare simultaneamente la stessa porzione di spazio.

Realmente non s'incontra questa proprietà che negli atomi. In un gran numero di fenomeni, sembra che i corpi penetrino l'uno nell'altro. Per es., il volume di varie leghe è minore della somma dei volumi dei metalli che entrano a formarle. Allorchè si mescola acqua con acido solforico o con alcool, si osserva una diminuzione nel volume totale. Tutte queste penetrazioni sono soltanto apparenti, e dipendono unicamente da ciò che siccome le parti materiali di cui i corpi son formati non si toccano, esistono tra loro degli interstizi, che possono venire occupati da altre materie, come si vedrà all'articolo *Porosità* (15).

**11. Estensione.** - L'estensione è la proprietà che ha ciascun corpo di occupare una porzione limitata dello spazio.

Molti istrumenti furono costrutti per rimisurare l'estensione. Qui noi faremo conoscere il verniero e la vite micrometrica.

**12 Verniero.** - il *verniero* trae il suo nome da quello del suo inventore, Vernier, matematico francese morto nell'anno 1637. Questo istrumento fa parte di molti apparati di fisica, come i barometri, i catetometri. E formato da due regoli: il più grande, AB (fig. 1), è fisso e diviso in parti eguali, il più piccolo, *ab*, è mobile, ed è quello che costituisce propriamente il verniero. Per graduarlo gli si dà una lunghezza eguale a 9 delle parti del regolo grande, poi lo si divide in 10 parti eguali. Del che risulta che ogni parte del regolo *ab* è minore di quelle del regolo AB d'un decimo.

Posto ciò, abbiassi a misurare la lunghezza d'un oggetto MN. Lo si colloca, come dalla figura, accanto al regolo grande, e così si trova che questo oggetto ha, per es., una lunghezza eguale a quattro unità, più una frazione. È questa frazione che il verniero serve a valutare.

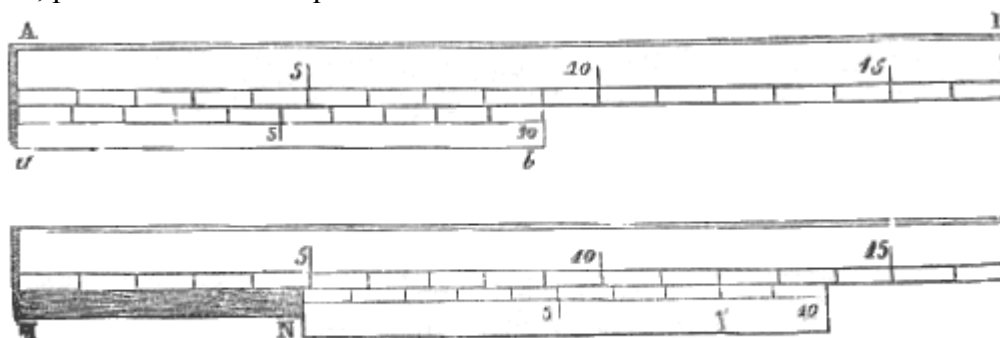
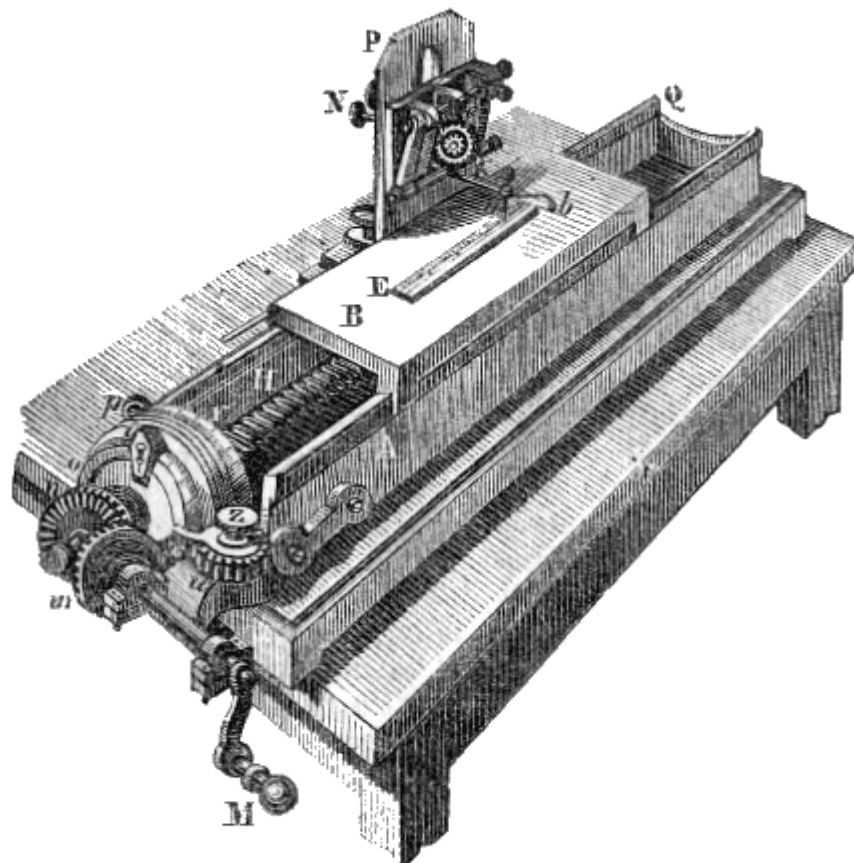


Fig. 1.

Perciò, lo si fa scorrere sul regolo fisso finchè venga a collocarsi all'estremità dell'oggetto MN, poi si cerca ove avvenga la coincidenza tra le divisioni dei due regoli. Nel nostro disegno ha luogo all'ottava divisione del verniero, partendo dal punto N. Questo vuol dire che la frazione da misurare è uguale a 8 decimi. Infatti, essendo le parti del verniero più piccole di quelle del regolo d'un decimo, si vede che partendo dal punto di coincidenza ed andando da destra a sinistra, le divisioni del verniero sono successivamente indietro di quelle del regolo grande, di uno, di due, di tre ... decimi. Dunque l'estremità N del verniero dista dalla quarta divisione del regolo di 8 decimi: epperò MN è uguale a 4 parti di AB più 8 decimi. Per conseguenza, se il regolo grande venne diviso in millimetri, si avrà la lunghezza di MN a meno d'un decimo di millimetro. Per ottenerla a meno di un ventesimo, d'un trentesimo, bisognerebbe dividere AB in millimetri, portarne 19 o 29 sul verniero, e dividere questo in 20 o 30 parti uguali. Ma per distinguere dove avrebbe luogo la coincidenza, bisognerebbe far uso d'una lente. Nella misura degli archi adoperasi pure il verniero per valutare, in minuti ed in secondi, le frazioni di grado.

**13. Vite micrometrica, macchina di divisione.** - Chiamasi *vite micrometrica* ogni vite che si adopera per misurare con precisione le lunghezze o le grossezze. Allorchè una vite è ben fatta, il suo *passo*, vale a dire l'intervallo fra due spire consecutive, dev'essere dappertutto eguale: d'onde risulta che se la vite gira in una chiocciola fissa, essa progredisce ad ogni giro d'una lunghezza eguale a quella del passo: e che per una frazione di giro, per es.,  $1/10$ , non progredisce che di  $1/10$  del passo. Per conseguenza se il passo è di un millimetro, e se all'estremità della vite avvi un cerchio graduato in 360 gradi, e che gira con essa, facendo ruotare questo cerchio d'un angolo d'un

Su questo principio è fondata la macchina di divisione rappresentata dalla figura 2, la costruzione della quale si deve al signor Duboseq. Essa consiste in un banco di metallo AQ, su cui è montata una lunga vite H, i fili spirali della quale devono essere perfettamente regolari. Questa vite si move, alle sue estremità, entro due collari d'acciaio, fissati al banco A, che non si vedono nel disegno. Questa vite è fissa, cioè ruota solamente intorno a sè stessa, ma non progredisce nel senso della sua lunghezza. Movendosi, essa fa avanzare una chiocciola fissata al disotto di un piccolo carro B, e questo trascinato dalla chiocciola, scorre con dolce attrito da Q verso H, sul banco A. Il pezzo P, che porta un bulino  $a$  e ne regola la corsa, è invariabilmente fissato al banco di metallo.



Il moto della vite poi è prodotto in questo modo: mediante una manovella  $M$ , si fanno muovere due ruote ad angolo  $m$  e  $n$ , l'asse dell'ultima delle quali porta tre ruote  $o$ ,  $p$ ,  $r$ , invariabilmente collegate tra loro, ma indipendenti dalla vite almeno in un senso. Perciò nell'interno della ruota  $p$  avvi un nottolino che ingrana in una ruota dentata a sega fissata alla vite, facendola muovere colla vite quando si gira la manovella da sinistra a destra: girandola invece da destra a sinistra, il nottolino più non ingrana, e la ruota  $p$  gira senza far girare la vite.

Pag. 9

l'appendice  $x$  quando la ruota gira da sinistra a destra, laddove quello della ruota  $r$  incontra l'altra appendice quando gira da destra a sinistra.

Posto ciò, vogliasi, per es., far girare la vite di un decimo di giro: allora si dispone il pezzo  $i$ , sulla ruota  $o$ , a una distanza di 36 gradi da quello della ruota  $r$ , e si gira la manovella  $M$  da destra a sinistra fintantochè il pezzo della ruota  $r$  batte contro la rispettiva appendice: quindi, girando la manovella in senso contrario, cioè da sinistra a destra, la ruota  $p$  allora trascina nel suo moto la vite  $H$ , e quando il pezzo  $i$  batte contro  $x$ , la vite ha girato di 36 gradi, cioè d'un decimo di giro. Epperò, se il passo della vite è di un millimetro, il carretto e la sottoposta chiocciola saranno progredite di un decimo di millimetro.

Regolato per tal modo il moto del carretto, vi si fissa con mastice la piastra  $E$ , che si vuol dividere. Le incisioni si praticano mediante un bulino  $a$ , caricato d'un peso. Quando il carretto si muove, sollevasi il bulino per mezzo d'un'impugnatura  $b$ , sulla quale si preme, facendola, avanzare, fermo che sia il carretto, e così resta praticata l'incisione.

Siccome la lunghezza delle incisioni deve variare di 5 in 5 e di 10 in 10, così la corsa del bulino è regolata da una ruota  $k$  mossa dall'azione d'un nottolino  $e$ , ad ogni movimento del bulino. Alla periferia di questa ruota trovansi intagliate delle piccole scanalature, inegualmente profonde, in cui entra un'asta  $N$ , che partecipa al movimento in avanti del bulino. Quanto più profonda è una scanalatura, tanto maggiore è la corsa del bulino, e allora si hanno le incisioni più lunghe.

**14. Divisibilità.** - La *divisibilità* è la proprietà che hanno tutti i corpi di poter essere ridotti in parti distinte.

Si ponno citare molti esempi della somma divisibilità della materia.

Per es., 5 centigrammi di muschio bastano per diffondere, per lo spazio di molti anni, delle particelle odorifere in un appartamento, ancorchè ne venga frequentemente cambiata l'aria.

Il sangue è composto di globetti rossi, fluttuanti in un liquido detto *siero*. Nell'uomo questi globetti, che sono sferici, hanno un diametro d'un centocinquantesimo di millimetro, e la goccia di sangue, che può star sospesa alla punta di un ago, ne contiene circa un milione.

Finalmente si danno animali cotanto piccoli, che non si scorgono ad occhio nudo, e l'esistenza dei quali ne saria sconosciuta senza l'aiuto del microscopio. Ora, questi animali si muovono, si nutrono; dunque hanno degli organi. Per conseguenza, quale non deve essere la somma picciolezza delle particelle di cui sono composti!

Stantechè la divisibilità dei corpi può essere spinta al punto da rendere le loro particelle impercettibili al tatto ed alla vista, anche coll'aiuto dei più potenti microscopii, non si può constatare coll'esperienza se la divisibilità della materia abbia un limite, o se possa spingersi all'infinito. Tuttavia dietro la stabilità delle proprietà chimiche di ciascun corpo, e dietro l'invariabilità dei rapporti esistenti tra i pesi degli elementi che si combinano, si ammette che la divisibilità abbia un limite. Egli è per questo che i corpi si considerano come formati d'elementi materiali che non sono suscettibili d'essere divisi, elementi denominati *atomi*, vale a dire che non si ponno tagliare (3).

**15. Porosità.** - La *porosità* è quella proprietà, in forza della quale esistono tra le molecole degli interstizi, ai quali si dà il nome di *pori*.

Si distinguono due specie di pori: i *pori fisici*, od interstizi abbastanza piccoli perchè le forze molecolari attrattive e repulsive conservino la loro azione: e i *pori sensibili*, veri fori o lacune oltre i quali più non agiscono le forze molecolari. Le contrazioni e le dilatazioni provenienti dalle variazioni di temperatura sono dovute ai pori fisici: ed i fenomeni d'esalazione e d'assorbimento negli esseri organizzati hanno la loro sede nei pori sensibili.

I pori sensibili si posson vedere nelle spugne, nei legni e in un gran numero di pietre. I pori fisici non sono visibili in nessun caso. Tuttavia accadendo in tutti i corpi pel raffreddamento e per la compressione una diminuzione di volume, si conchiude che tutti sono dotati di pori fisici.

Allo scopo di mostrare sperimentalmente i pori sensibili, si piglia un lungo tubo di vetro A (fig. 3), terminato superiormente da un vasetto di ottone *m*, ed inferiormente da un piede dello stesso metallo, che si può unire con vite al piatto P di una macchina che serve a fare il vuoto. Il fondo del vasetto *m* è formato d'un grosso cuoio di buffalo *o*. Vi si versa del mercurio in modo da ricoprire intieramente il cuoio, poi si fa il vuoto nel tubo. Tostamente per l'effetto della pressione atmosferica a cui soggiace il mercurio, questo liquido passa attraverso i pori del cuoio e cade nel tubo sotto forma di minuta pioggia. Allo stesso modo si fa passare dell'acqua attraverso i pori del legno, sostituendo all'accennato cuoio un disco di legno tagliato perpendicolarmente alle fibre.

Immergendo nell'acqua un pezzo di creta, se ne vede uscire una serie di bollicine d'aria.

Quest'aria evidentemente occupava i pori della creta, dai quali è scacciata dall'acqua che vi penetra. Infatti, se si pesa la pietra prima e dopo la sua immersione, si vede che il suo peso è considerevolmente aumentato.

Per tal modo mediante il peso dell'acqua si può misurare il volume totale dei pori.

L'esperienza seguente, dovuta agli accademici di Firenze nell'anno 1661, dimostrò la porosità dei metalli. Volendo quelli constatare se per l'effetto di una forte pressione l'acqua potesse diminuire di volume, presero una piccola sfera d'oro cava, a parete sottile, la riempirono d'acqua, e dopo di averla ermeticamente chiusa, saldandone l'orifizio, la percossero a colpi di martello onde diminuirne il volume. Accadde che a ciascun colpo l'acqua trapelò attraverso la parete, e si manifestò all'esterno come un velo di rugiada, il che dimostrò la porosità del metallo. Parecchi fisici rinnovarono quest'esperienza con altri metalli, ed ottennero lo stesso risultato.

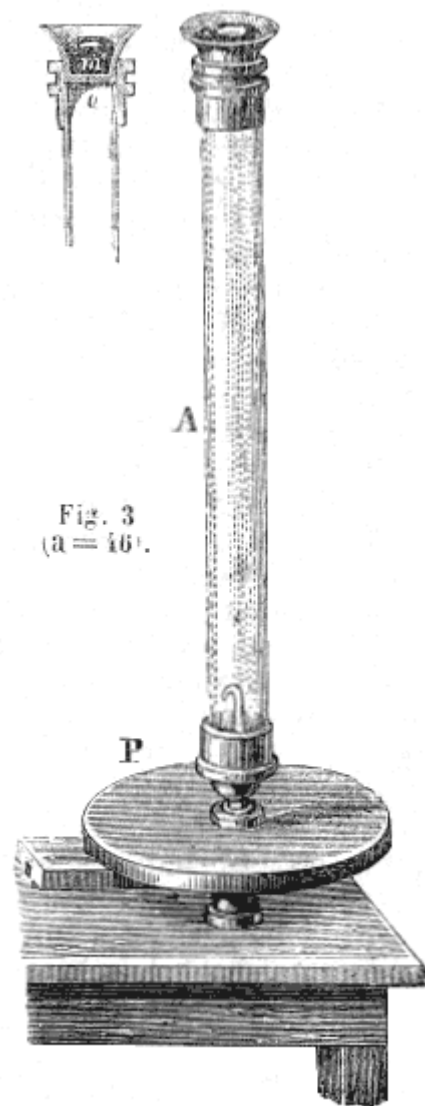


Fig. 3  
(a = 16).

**16. Volume apparente e volume reale.** - Avuto riguardo alla porosità, in ogni corpo si può distinguere il *volume apparente*, vale a dire la porzione dello spazio occupata da un corpo, ed il *volume reale*, cioè quello che occuperebbe la materia propria del corpo, qualora fossero nulli i pori; in altri termini, il volume reale è il volume apparente meno il volume dei pori. Il volume reale d'un corpo è invariabile: ma il volume apparente diminuisce o aumenta con quello dei pori.

**17. Applicazioni.** - Si approfittò della porosità nei filtri di carta, di feltro, di pietre, di carbone, l'uso dei quali è frequente nell'economia domestica. I pori di queste sostanze sono sufficientemente grandi per lasciar passare i liquidi, e troppo piccoli da permettere il passaggio alle sostanze che vi sono sospese. Nelle cave si praticano, nei massi di pietra, delle incavature in cui s'introducono dei cunei di legno ben secco: essendo i quali in seguito inumiditi, per la penetrazione dell'acqua nei pori, il legno si gonfia, e produce il distaccamento di massi considerevoli. Le corde secche aumentano di diametro e diminuiscono di lunghezza quando vengano bagnate: da qui un mezzo potente di cui con vantaggio usarono per sollevare pesi enormi.

**18. Compressibilità.** - La *compressibilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter essere ridotti a un volume minore per l'effetto della pressione. Questa proprietà è una conseguenza della porosità, della quale è anche una prova.

La compressibilità è variabilissima da un corpo all'altro. I corpi più compressibili sono i gas, che possono essere ridotti, sotto sufficienti pressioni, a un volume 10, 20 ed anche 100 volte minore di quello che nelle ordinarie circostanze occupano. Tuttavia, nella maggior parte dei gas si riscontra un limite di pressione, oltre il quale cessa lo stato gassoso e vi subentra lo stato liquido.

La compressibilità dei solidi è molto minore di quella dei gas, e si presenta in gradi assai diversi. Le stoffe, la carta, il sughero, il legno sono le sostanze le più compressibili. Anche i metalli sono compressibili, e una prova l'abbiamo nelle impronte che ricevono le medaglie sotto il colpo del bilanciere. Bisogna osservare che la compressibilità dei solidi ha essa pure un limite, oltre il quale i corpi, cedendo alla pressione, si disgregano tutto ad un tratto e si riducono spesso in polvere impalpabile.

La compressibilità dei liquidi è così piccola, che per molto tempo si ritennero affatto incompressibili. Ma nell'idrostatica essa verrà constatata coll'esperienza (78).

**19. Elasticità.** - L'*elasticità* è la proprietà che hanno i corpi di ripigliare la loro forma o il loro volume primitivo, quando cessa d'agire la forza, che alterava questa forma o questo volume. L'elasticità può essere sviluppata nei corpi mediante la pressione, la trazione, la flessione o la torsione. Qui si farà parola solamente dell'elasticità di pressione, quale proprietà generale: le altre specie di elasticità, siccome quelle che non si ponno produrre che nei solidi, saranno collocate nel numero delle proprietà particolari a questi corpi (69).

I gas sono perfettamente elastici; il che vuol dire ch'essi ripigliano esattamente lo stesso volume, appenachè la pressione ritorna al valore primitivo. Lo stesso accade pei liquidi qualunque sia la pressione a cui soggiacquero. Non avvi nessun corpo solido perfettamente elastico come i gas e i liquidi, specialmente quando le pressioni durarono molto a lungo. Tuttavia l'elasticità è assai evidente nella gomma elastica, nell'avorio, nel vetro, nel marmo: è appena sensibile nei grassi, nelle argille, nel piombo.

Nei solidi evvi un limite d'elasticità, oltre il quale essi si rompono, o almeno non ripigliano più esattamente la loro forma o il loro volume primitivo. Nei contorcimenti, a mo' d'esempio, il limite d'elasticità dei ligamenti è stato superato. Un simile limite non si riscontra nei gas e nei liquidi, che ritornano sempre al volume primiero.

L'elasticità è il risultato d'un ravvicinamento molecolare, e per conseguenza d'un cambiamento di forma, che viene nei corpi solidi constatato dall'esperienza seguente: sur un piano di marmo levigato e coperto d'un leggiero strato d'olio, si lascia cadere una piccola sfera d'avorio, di vetro o di marmo. Essa è rimbalzata a un'altezza un po' minore di quella della caduta, dopo d'aver prodotto, nel luogo che ha colpito, un'impronta circolare tanto più estesa, quanto maggiore è l'altezza da cui cadde. Nel momento dell'urto la sfera è stata dunque schiacciata sul piano, e rimbalza per la reazione delle molecole così compresse.

**20. Mobilità, moto, quiete.** - La *mobilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter passare da un luogo all'altro.

Dicesi *moto* lo stato di un corpo che cambia di luogo; *quiete* la sua permanenza in uno stesso luogo. La quiete e il moto sono assoluti o relativi.

La *quiete assoluta* sarebbe la completa privazione del moto. Non avvi in tutto l'universo verun corpo in questo stato.

Il *moto assoluto* d'un corpo sarebbe il suo cambiamento di posto rispetto a un altro corpo allo stato di quiete assoluta.

La *quiete relativa*, o apparente, è lo stato d'un corpo che sembra immobile rispetto ai corpi circostanti, ma che in realtà partecipa con essi a un moto comune. Per es., un corpo immobile in un battello che si muove, è in quiete rispetto al battello, ma realmente si muove rispetto alle rive; epperò la, sua quiete è relativa.

Il *moto relativo* di un corpo è il suo moto apparente, quello cioè che viene misurato rispetto ad altri corpi supposti immobili, ma che però cambiano pure di posto. Tale è il moto di un battello rispetto alle rive d'un fiume: poichè queste partecipano con quello al duplice moto di rotazione e traslazione della terra nello spazio.



In natura si osservano solamente i due stati di quiete e di moto relativo.

**21. Inerzia.** - L'*inerzia* è una proprietà puramente negativa: è cioè l'inettitudine della materia a passare da sé stessa dallo stato di quiete allo stato di moto, o a modificare il moto di cui è animata.

Se si vedono cadere i corpi abbandonati a sé stessi, devesi attribuire questo fenomeno a una forza attrattiva che li dirige verso il centro della terra, e non supporre che cadano spontaneamente: il diminuire gradatamente della velocità di una palla sur un biliardo è cagionato dalla resistenza dell'aria spostata e dall'attrito sul tappeto. Non bisognerebbe dunque conchiudere che la palla ha una tendenza alla quiete piuttosto che al moto, come dicevano certi antichi che paragonavano la materia a una persona pigra. Ogni qualvolta non evvi resistenza, il moto continua senza alterazione, del che gli astri ce n'offrono un esempio nella loro rivoluzione intorno al sole.

**22. Applicazioni.** - Moltissimi fenomeni trovano la loro spiegazione nell'inerzia della materia. Così, per es., per saltare un fosso, noi prendiamo lo slancio, affinché, nel momento del salto, il moto da cui siamo animati aggiunga il suo effetto allo sforzo muscolare che facciamo per saltare.

Una persona che discenda da una carrozza in moto, partecipa al moto di quest'ultima, e, se non imprime al proprio corpo un moto in senso contrario, all'istante in cui mette piè a terra, è rovesciata nella direzione seguita dalla carrozza.

È pure l'inerzia che rende sì terribili gli accidenti delle ferrovie. Infatti, se la locomotiva si arresta improvvisamente, il convoglio in causa della velocità acquistata continua ad avanzarsi, ed i vagoni urtando gli uni contro gli altri si sfracellano.

Finalmente i martelli, i pestelli, le pile o *bocards*<sup>(1)</sup>, sono applicazioni dell'inerzia. Lo stesso dicasi di quelle enormi ruote di ghisa, dette colanti, che servono a regolare il moto delle macchine a vapore.

## CAPITOLO III

### NOZIONI SULLE FORZE E SUI MOTI

**23. Forze.** - Dicesi *forza* qualunque causa capace di produrre il moto o di modificarlo.

L'azione dei muscoli negli animali, la gravità, le attrazioni e le ripulsioni magnetiche od elettriche, la tensione dei vapori, sono altrettante forze.

Generalmente si dà il nome di *potenze* alle forze, che tendono a produrre un certo effetto, e quello di *resistenze* alle forze che si oppongono a questo effetto. Le prime, che tendono ad accelerare ad ogni istante il moto, diconsi *acceleratrici*; e le seconde *ritardatrici*.

Siccome poi le forze possono agire sui corpi o per un brevissimo tratto di tempo, come accade negli urti, nell'esplosione della polvere, o per tutta la durata del moto; così nel primo caso denominansi *istantanee*, e nel secondo *continue*. È d'importanza però l'osservare che non intendesi già con questo d'accennare a due specie di forze, ma solamente a due modi d'azione dello forze.

**24. Equilibrio.** - Quando molte forze sono applicate ad uno stesso corpo, può accadere che, neutralizzandosi scambievolmente queste forze, non venga modificato lo stato di quiete o di moto del corpo. Questo stato particolare dei corpi si chiamò *equilibrio*. Non bisogna confondere lo stato d'equilibrio con quello di quiete: nel primo stato un corpo è sottoposto all'azione di molte forze che si distruggono a vicenda; nel secondo invece non è sollecitato da alcuna forza.

---

<sup>(1)</sup> Chiamasi *bocard* un congegno di vari pestelli che vengono alternativamente sollevati ed abbandonati a sé, affinché ricadendo polverizzino le materie sottoposte alla loro azione. Questo congegno non differisce punto dalla nostra pila da riso. N. del T.

**25. Caratteri, unità e rappresentazione delle forze.** - Ogni forza è caratterizzata: 1° dal suo punto d'applicazione, cioè da quel punto su cui agisce immediatamente; 2° dalla sua direzione, vale a dire dalla retta ch'essa tende a far percorrere al punto cui è applicata; 3° dalla sua intensità, ovverosia dal suo valore rispetto ad un'altra forza presa per unità.

La forza che si sceglie per unità, è del tutto arbitraria; ma stantechè, qualunque sia l'effetto di trazione o di pressione prodotto da una forza, questo può sempre essere prodotto da un certo peso, vengono generalmente le forze paragonate a pesi, e il chilogrammo è quello che si piglia per unità di forza. Così, a cagion d'esempio, quando si dice che una forza è uguale a 20 chilogrammi, s'intende che a quella forza può sostituirsi l'azione di un peso di 20 chilogrammi.

Una forza quindi è completamente determinata, quando se ne conoscono i caratteri, cioè il suo punto d'applicazione, la sua direzione e la sua intensità. Affine di rappresentare questi diversi elementi d'una forza, si fa passare pel suo punto d'applicazione, e secondo la sua direzione una retta indefinita; poi su questa retta, partendo dal punto d'applicazione, e nel senso della forza, si portano tante unità di lunghezza, arbitraria, per es., tanti centimetri, quante sono le unità di forza, che la forza data contiene. Si ha per tal modo una retta, che determina completamente la forza. Finalmente, per distinguere le forze le une dalle altre, si contrassegnano colle lettere P, Q, R..., collocate sulle loro rispettive direzioni.

Per l'intelligenza di molti fenomeni fisici, fa mestieri di richiamare i principii seguenti, che si dimostrano nei trattati di meccanica.

**26. Risultante e componenti.** - Quando parecchie forze S, P, Q, applicate ad uno stesso punto materiale A (fig. 4), si fanno equilibrio, una qualunque di esse, per es. S, distrugge l'azione di tutte le altre. La forza S diretta in senso contrario secondo il prolungamento AR di SA, produrrebbe dunque da sè sola lo stesso effetto del sistema delle forze P, Q.

Ogni forza, che in tal guisa può produrre lo stesso effetto di varie forze combinate, riceve il nome di *risultante*, e le altre forze, relativamente alla risultante, son dette *componenti*.

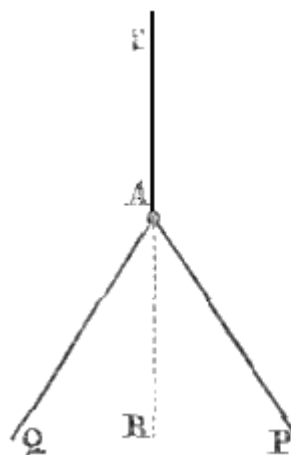


Fig. 4.

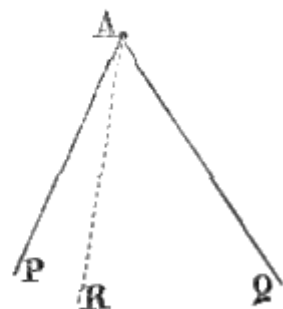


Fig. 5.

Si dimostra che un corpo, sollecitato da forze, si muove sempre secondo la direzione della risultante di tutte queste forze. Per es., se un punto materiale A (fig. 5) vien sollecitato simultaneamente da due forze P e Q, attesoche non può muoversi nel medesimo tempo secondo le rette AP ed AQ, prende una direzione intermedia AR, che è precisamente quella della risultante delle sue forze P e Q.

Tutti i problemi sulla composizione e la decomposizione delle forze si appoggiano ai teoremi seguenti, per la dimostrazione dei quali rimandiamo i lettori ai trattati speciali di statica.

**27. Composizione e decomposizione delle forze parallele.** - 1° *La risultante di due forze parallele applicate ad uno stesso punto è uguale alla loro somma, se hanno la stessa direzione, ed alla loro differenza, se hanno direzione contraria.* Per es., se due uomini tirano un carico secondo direzioni parallele, cogli sforzi rispettivi 20 e 15, lo sforzo risultante è 35 o 5, secondochè tirano nel medesimo senso o in senso contrario. Parimenti, quando parecchi cavalli da tiro sono attaccati a una carrozza, questa si muove come se fosse sollecitata da una forza unica eguale alla somma delle forze di ciascun cavallo.

2° *La risultante R di due forze parallele, aventi la stessa direzione ed applicate alle estremità di una retta AB (fig. 6) è eguale alla loro somma, è a loro parallela e divide la retta AB in due parti inversamente proporzionali alle forze P e Q.* In altri termini, essendo C il punto d'applicazione della

risultante, se la forza P è doppia, tripla della forza Q, la distanza AC è la metà, il terzo di CB. D'onde si deduce che quando le forze P e Q sono uguali, la direzione della loro risultante divide la retta AB in due parti eguali.

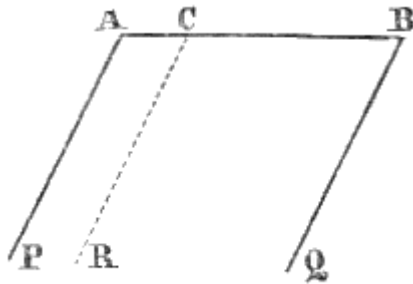


Fig. 6.

Reciprocamente, a una forza unica P, applicata in C, può essere sostituito il sistema di due forze P e Q, delle quali essa è la somma, quando queste le siano parallele, e quando pigliati i punti A, B, C in linea retta, queste nuove forze siano in ragione inversa delle lunghezze AC e CB.

Volendosi la risultante di parecchie forze parallele e dirette nel medesimo senso, si cerca dapprima, nel modo che si accennò, la risultante di due di queste forze, poi quella della risultante trovata e di una terza forza e così di seguito fino all'ultima: pel che si giunge ad una risultante finale, che uguaglia la somma delle forze date ed ha la stessa direzione.

**28. Composizione e decomposizione delle forze concorrenti.** - Diconsi *concorrenti* quelle forze, le cui direzioni s'incontrano in un medesimo punto, che può ritenersi il punto d'applicazione di tutte.

Sono, per es., concorrenti le forze di parecchi uomini, che, per suonare una campana, tirano delle funi fissate ad uno stesso nodo sulla corda della campana.

Abbiansi primieramente due forze concorrenti P e Q (fig. 7), e sia A il loro punto d'applicazione. Prendendo sulle loro direzioni due lunghezze AB ed AC proporzionali alle loro intensità (25), e conducendo pei punti B e C due rette rispettivamente parallele alle direzioni delle forze, si ottiene un parallelogrammo ABCD detto *parallelogrammo delle forze*, che fa conoscere facilmente la risultante delle forze P e Q, per mezzo del teorema seguente, conosciuto pure sotto il nome di *teorema del parallelogrammo delle forze*.

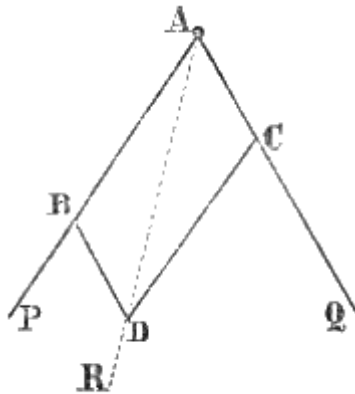


Fig. 7.

**29. Parallelogramma delle forze.** - La risultante di due forze concorrenti è rappresentata, in grandezza e in direzione, dalla diagonale del parallelogrammo costruito su queste forze. Il che vuol dire, che, nella figura 7, la risultante R delle forze P e Q è diretta secondo la diagonale AD, e contiene l'unità di forza tante volte quante questa diagonale contiene l'unità lineare che, è stata portata sopra AB ed AC per rappresentare le forze P e Q.

Reciprocamente una forza unica può essere decomposta in due altre applicate allo stesso punto della prima e dirette secondo rette date.

Basta per ciò costruire su queste rette un parallelogrammo, che abbia per diagonale la forza data: le lunghezze dei lati rappresentano le componenti cercate

Nel caso di un numero qualunque di forze applicate ad uno stesso punto, in direzioni diverse, la risultante si ottiene applicando successivamente il teorema precedente prima a due di queste forze, poi alla risultante ottenuta e a una terza forza, e così di seguito fino all'ultima.

Assai di sovente si presentano alla nostra osservazione gli effetti della composizione e della decomposizione delle forze. Una barca, per es., mossa dall'azione dei remi, nell'attraversare un fiume non segue nè la direzione secondo cui la spingono i remi, nè quella della corrente, ma progredisce precisamente secondo la direzione della risultante dei due impulsi ai quali è sottoposta.

## NOZIONI SUI MOTI

**30. Differenti generi di moti.** - Il *moto*, come si disse (20), è lo stato d'un corpo, che passa da un luogo all'altro. Ogni moto, a norma della via percorsa dal mobile, la quale può essere una retta o una linea curva, dicesi *rettilineo* o *curvilineo*; ed ognuno di questi moti può essere *uniforme* o *vario*.

**31. Moto uniforme.** - Il moto uniforme, il più semplice di tutti, è quello nel quale un mobile percorre spazi eguali in tempi uguali.

Ogni forza istantanea produce un movimento rettilineo ed uniforme, qualora il mobile non venga sottoposto ad alcuna altra forza, e non incontri resistenza veruna. Infatti, siccome la forza agisce solamente per un tempo brevissimo, il mobile, una volta che sia abbandonato a sè stesso, conserva, in causa della sua inerzia, la direzione e la velocità, che la forza impresso. Tuttavia, anche le forze continue ponno dar origine a moti uniformi, come avviene quando si presentano resistenze, che, rinnovandosi continuamente, distruggono l'aumento di velocità, che quelle forze tendono a comunicare al mobile. Per es., un convoglio su di una ferrovia si move di moto uniforme, quantunque sollecitato da una forza continua; imperciocchè aumentando colla velocità le perdite di forza dovute alla resistenza dell'aria ed all'attrito, si stabilisce in un certo istante l'equilibrio fra la forza motrice e le resistenze.

**32. Velocità e legge del moto uniforme.** - Nel moto uniforme, chiamasi *velocità* lo spazio percorso nell'unità di tempo. Quest'unità, affatto arbitraria, è generalmente il minuto secondo. Dalla definizione del moto uniforme emerge che la velocità è costante. Pertanto in tempi espressi da due, tre, quattro, gli spazi percorsi sono doppi, tripli, quadrupli della velocità. Questa legge si esprime dicendo che *gli spazi percorsi sono proporzionali ai tempi, cioè crescono come i tempi*.

Si può rappresentare questa legge mediante una formula semplicissima. A tal uopo siano  $v$  la velocità,  $t$  il tempo, ed  $s$  lo spazio percorso nel tempo  $t$ . Siccome  $v$  rappresenta lo spazio percorso nell'unità di tempo, così lo spazio, percorso in 2, 3... unità di tempo, sarà espresso da  $2v$ ,  $3v$ ... e finalmente quello nel tempo  $t$  da  $vt$ : si ha dunque la formola  $s = vt$ .

Da questa formola si deduce  $v = s/t$ : di modo che si può anche dire *essere la velocità il rapporto fra lo spazio ed il tempo impiegato a percorrerlo*.

**33. Moto vario.** - Il moto *vario* è quello in cui un mobile percorre in tempi uguali spazi diseguali. Sono infinite le specie di questo moto: ma quella che qui più c'importa di considerare è il moto uniformemente vario.

Il *moto* uniformemente vario è quello in cui gli spazii percorsi in tempi uguali aumentano o diminuiscono costantemente d'una stessa quantità (52, II. *legge, conseguenza*). Nel primo caso il moto è *uniformemente accelerato*; tale è quello d'un corpo che cade, fatta astrazione dall'aria: nel secondo caso *uniformemente ritardato*; tale è il moto d'una pietra lanciata verticalmente dal basso all'alto.

Il moto uniformemente vario è sempre prodotto da una forza continua costante, che agisce come potenza o come resistenza, secondo che il moto è accelerato o ritardato.

**34. Velocità e leggi del moto uniformemente accelerato.** - Nel moto uniformemente accelerato, non essendo eguali gli spazi percorsi in tempi uguali, la velocità non è più lo spazio percorso nell'unità di tempo come nel moto uniforme. Per velocità, ad un dato istante, s'intende lo spazio, che, partendo da quest'istante, sarebbe percorso dal mobile, in ciascun minuto secondo, qualora la forza acceleratrice ad un tratto cessasse, cioè divenisse uniforme il moto. Per es., quando si dice che la velocità di un mobile, dopo 10 minuti secondi di moto uniformemente decelerato, è di 60 metri, s'intende che se la forza acceleratrice, che fino allora agì, cessasse dopo 10 minuti secondi, il mobile a motivo della sua inerzia, continuerebbe a muoversi percorrendo uniformemente 60 metri in ogni minuto secondo.

Ciò posto, ogni moto uniformemente accelerato qualunque ne sia l'aumento di velocità, è soggetto alle due leggi seguenti:

1.° *Le velocità crescono proporzionalmente ai tempi*: cioè dopo un tempo doppio, triplo, quadruplo, anche la velocità è doppia, tripla, quadrupla.

In fatti la forza continua, che è causa d'un moto accelerato, può paragonarsi ad una serie d'impulsi eguali che si succedono ad intervalli di tempo eguali ed infinitamente piccoli. Ora,

producendo ciascuno di questi impulsi, ad ogni intervallo, una velocità costante, che si aggiunge a quella, che il mobile possedeva già nell'intervallo precedente, ne consegue che la velocità va costantemente crescendo di quantità eguali in tempi eguali.

2.° *Gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli*: che è quanto dire, che, rappresentando con 1 lo spazio percorso in un minuto secondo, gli spazi percorsi in 2, 3, 4, 5 minuti secondi, saranno rappresentati da 4, 9, 16, 25 che sono i quadrati dei numeri esprimenti il tempo.

Queste due leggi si dimostrano col calcolo (55); trattando della gravità, si vedrà come si dimostrano mediante l'esperienza (54).

**35. Quantità di moto, misura delle forze.** - Vien dimostrato dalla meccanica razionale che quando più forze costanti  $F, F', F'', \dots$  agiscono successivamente su di uno stesso corpo, esse gli imprimono, in tempi eguali, delle velocità accelerate  $G, G', G'', \dots$  proporzionali a queste forze, vale a dire che si ha  $F/F' = G/G', F/F'' = G/G'', \dots$

Questo principio permette dunque di misurare le forze mediante gli aumenti di velocità che esse comunicano ai mobili, calcolandosi le forze a chilogrammi e le velocità a metri; di più, siccome dalle equazioni qui sopra, deducesi  $F/G = F'/G' = F''/G'' \dots$  si vede che per uno stesso corpo, il rapporto tra la forza che lo anima e l'aumento di velocità che essa gli comunica è costante, qualunque siasi la forza.

Egli è questo rapporto costarle che i meccanici hanno adottato per rappresentare la massa dei corpi (4), e dicono che due corpi hanno la stessa massa quando, animati da forze eguali, acquistano, nello stesso tempo, eguali aumenti di velocità.

Rappresentando con  $M$  e  $m$  le masse di due corpi. con  $F$  e  $f$  le forze che agiscono su di essi, con  $V$  e  $v$  le velocità che esse loro comunicano nello stesso tempo, si ha dunque  $F/V = M, f/v = m$ ; o  $F = MV$  e  $f = mv$ .

Dividendo fra di loro i membri corrispondenti di queste due equazioni si ha  $F/f = MV/mv$ .

Il prodotto  $MV$  della massa di un corpo per la velocità di cui è animato ha ricevuto il nome di *quantità di moto* di questo corpo. Si può dunque enunciare l'ultima equazione qui sopra dicendo che due forze qualunque stanno tra loro come le quantità di moto che esse imprimono a due masse differenti. Per conseguenza se si prende come unità di forza quella che imprimerebbe all'unità di massa l'unità di velocità nell'unità di tempo, si vedrà che le forze possono misurarsi dalla quantità di moto che loro corrispondono.

Dall'essere le forze proporzionali alle loro quantità di moto, emerge che per una medesima forza il prodotto  $MV$  è costante: vale a dire che diventando la massa due o tre volte superiore, la velocità è due, tre volte minore. Tanto si deduce dall'ultima equazione precedente ponendovi  $F = f$ , per cui si ha  $MV = mv$ , ossia  $M/m = V/v$ , cioè le velocità impresse da una medesima forza a due masse non eguali sono in ragione inversa di queste masse.

Se  $V = v$ , si ha  $F/f = M/m$ , vale a dire che due forze stanno fra di loro come le masse alle quali esse imprimono delle velocità eguali.

Gli effetti prodotti dell'urto dipendono dalla quantità di moto del corpo urtante: e siccome questa quantità è direttamente proporzionale alla massa ed alla velocità, ne consegue che un corpo, quantunque sia piccola la sua massa, può tuttavia possedere una quantità di moto considerevole, purché sia animato da una grandissima velocità: tale è l'effetto della palla di fucile. Parimenti un corpo, animato da una debole velocità, possiede ancora una quantità di moto grandissima, qualora sia la sua massa sufficientemente grande: tale è l'effetto dei martelli, dei pestelli, dei bocard, delle berte che servono ad affondare i pali sott'acqua. Finalmente, se il corpo possiede e una gran velocità e una gran massa, la sua quantità di moto raggiungerà una potenza formidabile. Egli è da ciò che derivano i danni prodotti da una palla di cannone ed i terribili accidenti delle ferrovie.

Nelle cariche di cavalleria il massimo effetto è dato dalla maggior quantità di moto. Da questo lato, il peso dei cavalli, delle bardature, degli uomini e delle armi ha il suo effetto utile qualora venga animato da una velocità più o meno grande: poichè, se la velocità fosse nulla, sarebbe pur nulla la quantità di moto. Anche in questo caso, l'esperienza ha sempre mostrato che la cavalleria composta di cavalli e di uomini maggiormente dotati di massa e di forza non può sostenere a piè fermo l'urto della cavalleria leggiera.

# LIBRO II

## GRAVITÀ ED ATTRAZIONE MOLECOLARE

### CAPITOLO I

#### EFFETTI GENERALI DELLA GRAVITÀ

**36. Attrazione universale; sue leggi.** - L'*attrazione universale* è una forza, in virtù della quale tutte le parti materiali dei corpi tendono continuamente le une verso le altre.

Questa forza è riguardata come una proprietà generale inerente alla materia. Essa agisce su tutti i corpi, sieno essi in quiete od in moto: è sempre reciproca tra loro, e la sua azione si esercita a tutte le distanze ed attraverso tutte le sostanze.

L'attrazione universale prende il nome di *gravitazione*, se si esercita tra gli astri: quello di *gravità*, se si considera l'attrazione esercitata dalla terra sui corpi per farli cadere, e quello di *attrazione molecolare*, parlando della forza che unisce tra loro le molecole dei corpi.

I filosofi dell'antichità, Democrito, Epicuro, avevano adottata l'ipotesi d'una tendenza della materia verso centri comuni sulla terra e sugli astri. Keplero ammise un'attrazione reciproca tra il sole, la terra e gli altri pianeti. Bacone, Galileo, Hook, hanno parimenti riconosciuta un'attrazione universale; ma Newton, pel primo, dalle leggi di Keplero sul movimento dei pianeti, dedusse che la gravitazione è una legge generale della natura, e che *la sua intensità è direttamente proporzionale alle quantità di materia ed in ragione inversa del quadrato delle distanze*.

Dopo Newton, l'attrazione reciproca della materia fu dimostrata sperimentalmente da Cavendish, celebre chimico e fisico inglese, morto sul principio di questo secolo. Questo scienziato, mediante un apparato detto *bilancia di Cavendish*, che consiste in una bilancia di torsione (70), giunse a rendere sensibile l'attrazione esercitata da una grossa palla di piombo su di una piccola sfera di rame.

**37. Gravità.** - La gravità è la forza in virtù della quale i corpi abbandonati a sè stessi *cadono*, cioè si dirigono verso il centro della terra. Questa forza, la quale non è che un caso particolare dell'attrazione universale, è dovuta all'attrazione reciproca che si esercita tra la massa della terra e quella dei corpi.

La gravità, come la gravitazione universale, agisce in ragione inversa del quadrato della distanza e proporzionalmente alla massa. Essa si esercita su tutti i corpi in qualunque condizione questi si trovino; e se alcuni, come le nubi, il fumo, sembrano sottrarvisi, sollevandosi nell'atmosfera, si vedrà in seguito (159) doversi attribuirne la causa alla gravità stessa.

**38. Direzione della gravità, verticale ed orizzontale.** - Quando le molecole di una sfera materiale agiscono per attrazione, in ragione inversa del quadrato della distanza, su di una molecola situata fuori di questa sfera, si dimostra, nella meccanica razionale, che la risultante di tutte queste attrazioni è quale sarebbe se tutte le molecole della sfera fossero riunite al suo centro. Da questo principio risulta, che in ciascun punto della superficie del globo l'attrazione della terra è diretta verso il suo centro. Tuttavia, lo schiacciamento della terra ai poli, la non omogeneità delle sue parti, le ineguaglianze della sua superficie, sono altrettante cause che possono cambiare la direzione della gravità, ma d'una quantità poco sensibile.

Dicesi *verticale* la direzione della gravità, cioè la retta che seguono i corpi cadendo. Siccome su tutti i punti del globo le verticali convergono sensibilmente verso il centro, così la loro direzione cambia da un luogo all'altro; ma per punti poco distanti gli uni dagli altri, quale sarebbero le molecole d'uno stesso corpo o di corpi vicini, le verticali si considerano come rigorosamente

parallele; poichè il raggio medio della terra, ossia quello che corrisponde alla latitudine di  $45^\circ$ , essendo 6367400 metri, gli angoli che comprendono queste verticali sono insensibili. Tuttavia per due punti lontani l'uno dall'altro, l'angolo non è trascurabile. Esso è di circa  $2^\circ 12'$  fra le verticali di Parigi e di Dunkerque, e di  $7^\circ 28'$  fra quelle di Parigi e di Barcellona. Per determinare l'angolo compreso dalle verticali di due luoghi differenti, si osserva da ciascuno di questi luoghi una stessa stella, e si misura l'angolo che il raggio visuale fa colla verticale. La differenza degli angoli trovati è l'angolo compreso dalle due verticali.

Per *retta orizzontale*, *piano orizzontale*, s'intende una retta, un piano perpendicolare alla verticale.

**39. Filo a piombo.** - La verticale di un luogo qualunque si determina col *filo a piombo*, ossia un filo al quale è sospesa una piccola palla di piombo (fig. 8). Questo filo, fissato per la sua estremità superiore ed abbandonato a sè stesso, prende naturalmente la direzione della verticale; poichè si vedrà in seguito che un corpo che ha soltanto un punto d'appoggio, non può essere in equilibrio se non quando il suo centro di gravità ed il punto d'appoggio sono situati su di una medesima verticale (43).

Il filo a piombo non può indicare se la direzione della gravità in un luogo è costante. Infatti, se si osservasse che il filo a piombo dapprima parallelo, per es., al muro di un edificio, ha cessato d'esserlo, non si potrebbe dire se è la gravità che ha cambiato direzione o il muro che si è inclinato. Ma parlando delle proprietà dei liquidi noi vedremo che la loro superficie non può conservarsi orizzontale, o *di livello*, se non quando essa è perpendicolare alla direzione della gravità (86). Per conseguenza se questa cambiasse, lo stesso accadrebbe del livello dei mari. La stabilità di questo livello è dunque una prova che la direzione della gravità è costante.

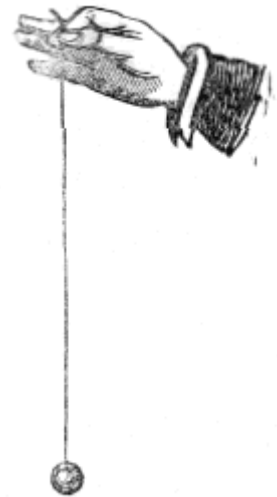


Fig. 8.

Tuttavia vicino ad una gran massa di materia come una montagna, il filo a piombo devia; Lacondamine e Bouguer hanno constatato che la montagna del Chimborasso imprime al filo a piombo una deviazione di  $7''$ , 5.

## CAPITOLO II

# DENSITÀ, PESI, CENTRO DI GRAVITÀ, BILANCIE

**40. Densità assoluta e densità relativa.** - Chiamasi *densità* di un corpo la sua massa sotto l'unità di volume (4). Non si può dir qual sia la *densità assoluta*, cioè l'effettiva quantità di materia contenuta da un corpo; ma si può soltanto determinare la sua densità relativa, vale a dire la quantità di materia che esso contiene, a volume eguale, relativamente a un altro corpo preso per termine di confronto.

Questo corpo pei solidi e pei liquidi è l'acqua distillata, presa a 4° sopra 0; pei gaz è l'aria. Per conseguenza quando si dice che la densità dello zinco è 7, s'intende che un dato volume di questo metallo contiene 7 volte la quantità di materia contenuta in un egual volume di acqua.

Rappresentando con  $V$  il volume di un corpo, con  $M$  la sua massa assoluta e con  $D$  la quantità di materia che esso contiene sotto l'unità di volume, cioè la sua densità assoluta, è evidente che la quantità di materia contenuta nel volume  $V$  è  $V$  volte  $D$ ; da cui  $M = VD$ . Da questa eguaglianza si ricava  $D = M/V$ ; per cui si può anche dire che la *densità di un corpo* è il rapporto tra la sua massa ed il suo volume.

**41. Pesi.** - In ciascun corpo si distinguono il *peso assoluto*, il *peso relativo* ed il *peso specifico*.

Il *peso assoluto* di un corpo è la pressione che esso esercita sull'ostacolo che si oppone alla sua caduta. Questa pressione altro non è che la risultante delle azioni della gravità sopra ciascuna molecola del corpo; dal che risulta che essa è tanto più intensa quanto maggiore è la quantità di materia contenuta dal corpo: ciò che si esprime dicendo che il *peso d'un corpo* è *proporzionale alla sua massa*.

Il *peso relativo* d'un corpo è quello che si determina colla bilancia; è cioè il rapporto fra il peso assoluto di un corpo ed un altro peso determinato scelto per unità. Quest'unità nel sistema metrico è il grammo. Così quando si trova che un corpo pesa 58 grammi, 58 è il suo peso relativo.

Adottando un'altra unità, cangerebbe il peso relativo ma non l'assoluto.

Finalmente il *peso specifico* d'un corpo è il rapporto che passa fra il suo peso relativo, sotto un certo volume, ed il peso di un egual volume d'acqua distillata ed a 4° sopra zero. Quindi, col dire che il peso specifico dello zinco è 7, s'intende che, a volume eguale, lo zinco pesa 7 volte più dell'acqua distillata.

Essendo il peso dei corpi, che hanno egual volume, proporzionale alla loro massa, ne risulta che se un corpo contiene il doppio, il triplo di materia, in confronto dell'acqua, deve essere due tre volte più pesante. Per conseguenza il rapporto fra quei pesi, ossia il peso specifico, deve essere eguale al rapporto fra le masse, cioè alla densità relativa. Per ciò le espressioni *densità relativa* e *peso specifico* sono generalmente considerate come equivalenti. Nulladimeno, dato il caso che la gravità fosse distrutta, più non vi sarebbe nè peso assoluto, nè peso relativo, mentre si potrebbero sempre considerare le densità. Esse non si potrebbero allora determinare colla bilancia: ma però, sapendosi (35) che il rapporto delle masse è uguale a quello delle forze, che imprimerebbero a queste masse una egual medesima velocità nello stesso tempo, riuscirebbe ancora possibile di determinare la densità.

Abbiamo veduto precedentemente (35) che la massa di un corpo è eguale al rapporto costante della forza che lo anima all'acceleramento di velocità che essa gli imprime; se dunque si rappresenta con  $P$  il peso di un corpo, vale a dire la forza che tende a farlo cadere; con  $g$  l'acceleramento di velocità che il peso gli imprime, acceleramento che può esser preso per intensità di questa forza; finalmente con  $M$  la massa del corpo, si ha  $P/g = M$ , d'onde  $P = gM$ .

Questa formola dimostra che il peso di un corpo è proporzionale alla sua massa e all'intensità del peso. Sostituendo ad  $M$  il suo valore  $VD$  (40), si ha  $P = VDg$ . Con un altro corpo, il cui peso, densità e volume fossero  $P'$ ,  $V'$  e  $D'$ , si avrebbe egualmente  $P' = V'D'g$ . Per  $D = D'$ , si ha  $P/P' = V/V'$  [1]; e per  $P = P'$ , si ha  $VD = V'D'$ , d'onde  $V/V' = D'/D$  [2].



Dalla equazione [1] si conchiude che, a densità eguale, i pesi sono proporzionali ai volumi; e dalla equazione [2], che, a pesi eguali, i volumi sono in ragione inversa delle densità.

Più oltre diremo dei processi impiegati per determinare i pesi specifici dei solidi e dei liquidi. Quanto ai gas, i loro pesi specifici si stabiliscono relativamente all'aria, e la loro determinazione richiede delle cognizioni sul calorico, che si daranno in seguito.

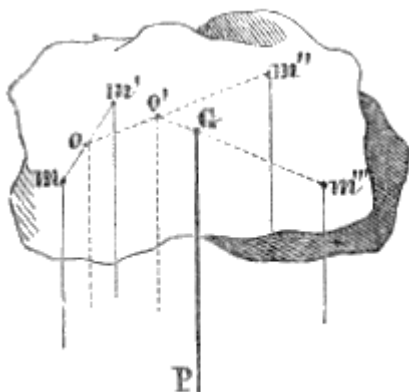


Fig. 9.

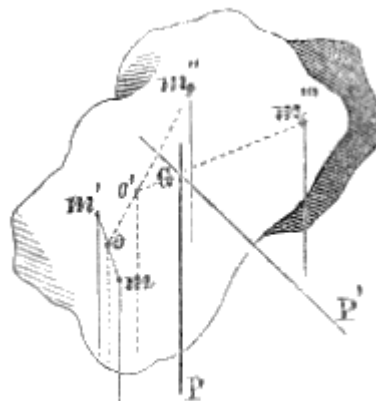


Fig. 10.

**42. Centro di gravità e modo di determinarlo sperimentalmente.** - Il centro di gravità d'un corpo è il punto per cui passa costantemente la risultante delle azioni della gravità sulle molecole del corpo, in tutte le posizioni che può prendere. Ogni corpo ha un unico centro di gravità. Infatti siano  $m, m', m'', m''' \dots$  le molecole di una massa qualunque (fig. 9). Essendo esse sollecitate dalla gravità secondo direzioni verticali, ne nasce un sistema di forze parallele, la risultante delle quali si ottiene cercando dapprima, quella delle forze che sollecitano due molecole qualsivogliano  $m$  ed  $m'$  (27), poi la risultante già ottenuta e della forza che sollecita una terza molecola  $m''$ , e così di seguito finchè si ha una risultante finale  $P$ , applicata in  $G$  e rappresentante il peso del corpo. Ora se si dispone il corpo diversamente, come nella figura 10, le molecole,  $m, m', m'' \dots$  sono ancora sollecitate dalle stesse forze, che agivano sul corpo quand'era nella posizione rappresentata dalla figura 9: epperò la risultante delle forze che sollecitano  $m$  ed  $m'$  continua a passare sul punto  $o$ , la risultante che vien dopo per  $o'$ , e così di seguito fino alla risultante  $P$ , che passa ancora per  $G$ , in cui incontra la direzione  $G P'$ , che la stessa risultante aveva nella prima posizione. Siccome poi lo stesso avviene per tutte le posizioni in cui può essere collocato il corpo, così il punto  $G$ , pel quale passa costantemente la direzione del peso, è il centro di gravità.



Fig. 11.

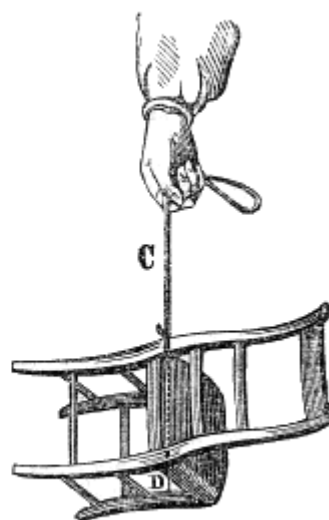


Fig. 12.

La ricerca del centro di gravità di qualsiasi corpo spetta alla geometria: ma in molti casi si può immediatamente determinarlo. Per esempio, il centro di gravità d'una retta omogenea è situato nel punto di mezzo della retta; quello d'un cerchio, d'una sfera, nel loro centro. Il centro di gravità di un cilindro trovasi nel punto di mezzo dell'asse e nella statica si dimostra, che quello di un triangolo è sulla retta che unisce uno dei vertici col punto di mezzo del lato opposto, ed a due terzi di questa retta partendo dal vertice: e che quello d'una piramide o d'un cono è collocato sulla retta che congiunge il vertice col centro di gravità della base, a tre quarti di questa retta partendo dal vertice.

Molte volte può il centro di gravità essere determinato colla esperienza. A tal uopo, si sospende il corpo ad una funicella, successivamente in due diverse posizioni, come vedesi nelle figure 11 e 12: poi si cerca il punto in cui la funicella CD nella seconda posizione interseca la direzione AB, che la funicella aveva nella prima posizione: questo punto è il centro di gravità cercato. Infatti, siccome in ciascuna posizione l'equilibrio non può aver luogo se non quando il centro di gravità si trova inferiormente al punto di sospensione della funicella e sulla sua direzione (43), così ne risulta che il centro di gravità deve essere situato e sull'una e sull'altra direzione della funicella, e quindi nel loro punto d'incontro.

Nei corpi, la forma e l'omogeneità dei quali sono invariabili, la posizione del centro di gravità è costante. Essa è variabile in quelli in cui avviene il contrario, come negli animali, la posizione del centro di gravità dei quali cambia al cambiare delle attitudini.

**43. Equilibrio dei corpi pesanti.** - Siccome l'azione della gravità si riduce ad una forza unica, verticale, diretta dall'alto al basso, ed applicata al centro di gravità, così, acciò abbia luogo l'equilibrio, basta che questa forza sia distrutta dalla resistenza d'un punto fisso pel quale passi la sua direzione.

Qui si presentano due casi, secondochè il corpo pesante è sostenuto da un sol punto d'appoggio o da parecchi. Nel primo caso il centro di gravità deve coincidere col punto d'appoggio, o trovarsi sulla verticale che passa per questo punto. Nel secondo, basta che la verticale, condotta dal centro di gravità passi nell'interno della *base*, cioè del poligono che si ottiene congiungendo fra loro i punti d'appoggio.

Nelle torri di Pisa e di Bologna, le quali sono talmente inclinate all'orizzonte che sembrano minacciare della loro caduta i passeggeri, l'equilibrio sussiste perchè il centro di gravità si trova in una verticale passante nell'interno della base.

Un uomo è tanto più fermo sui piedi quanto più ampia è la base che questi presentano: perchè può dare a' suoi movimenti maggiore estensione, senza che la verticale condotta dal suo centro di gravità cada fuori di questa base. Se si appoggia su di un sol piede, la base diminuisce: diminuisce ancor più se si solleva sulla punta dei piedi. In questa posizione una debolissima oscillazione basta perchè la verticale condotta dal centro di gravità non passi più per la base, e cessi l'equilibrio.

**44. Diversi stati d'equilibrio.** - A norma della diversa posizione del centro di gravità rispetto al punto d'appoggio, sonvi tre casi d'equilibrio, cioè: lo stato *d'equilibrio stabile*, quello *d'equilibrio instabile*, e quello *d'equilibrio indifferente*.

L'*equilibrio stabile* è lo stato di un corpo che, deviato dalla sua posizione d'equilibrio, vi ritorna da sè stesso, tosto che non vi si opponga nessun ostacolo. Questo stato si presenta tutte le volte che un corpo è in tal posizione che il suo centro di gravità si trovi più basso che in ogni altra posizione vicina. Ciò essendo, qualora il corpo venga spostato, il suo centro di gravità non può essere che rialzato; e siccome la gravità tende incessantemente ad abbassarlo, dopo una serie d'oscillazioni, lo riconduce alla primitiva posizione, e l'equilibrio si ristabilisce. Tale è il caso di un bilanciere d'orologio, o quello di un uovo su di un piano orizzontale, quando il suo asse maggiore è sensibilmente parallelo a questo piano.

Come esempio d'equilibrio stabile, si costruiscono delle figurine d'avorio (fig. 13), che si fanno star ritte su di un piede, caricandole di due palle di piombo collocate sì basso, che in tutte le posizioni, il centro di gravità delle palle e della figurina si trovi al disotto del punto d'appoggio.

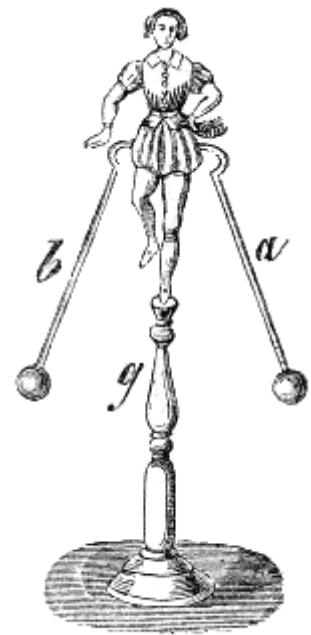


Fig. 13 (a.=21).

L'*equilibrio instabile* è lo stato d'un corpo che, deviato dalla sua posizione d'equilibrio, non tende che ad allontanarsene vieppiù. Questo stato si presenta tutte le volte che un corpo è in tal posizione che il suo centro di gravità è collocato più in alto che in ogni altra posizione vicina: perché se per uno spostamento qualunque il centro di gravità viene abbassato, la gravità tende a farlo viemaggiormente abbassare. Tale è il caso di un uovo appoggiato su di un piano orizzontale coll'asse maggiore verticale, e quello di un bastone che si tiene in equilibrio ritto sopra un dito.

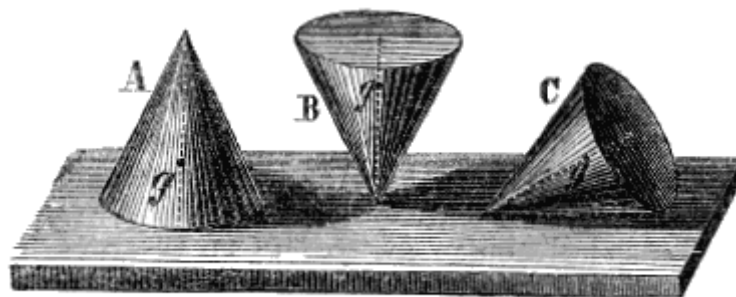


Fig. 14.

Finalmente si dà il nome di *equilibrio indifferente* a quello che sussiste in tutte le posizioni, che può prendere un corpo. Questo genere d'equilibrio ha luogo quando, in tutte le diverse posizioni del corpo, il suo centro di gravità non è nè rialzato nè abbassato, come succede di una ruota di carrozza sostenuta dal proprio asse, o di una sfera situata sopra un piano orizzontale.

La figura 14 rappresenta tre coni A, B, C, rispettivamente collocati nelle posizioni d'equilibrio stabile, instabile e indifferente. In tutti e tre la lettera g segna la posizione del centro di gravità.

**45. Leve.** - Prima di far conoscere la teoria delle bilancie richiameremo un'altra teoria che fa parte del corso di meccanica, la teoria cioè della leva, senza la quale non si può intender bene ciò che si riferisce alle bilancie.

Chiamasi *leva* ogni verga rigida AB (fig. 15), diritta o incurvata, che poggia sopra un punto fisso e, intorno a cui si aggira in senso contrario per l'azione di due forze parallele o concorrenti. L'una di queste forze, quella che agisce come motore, è la *potenza*, l'altra la *resistenza*.

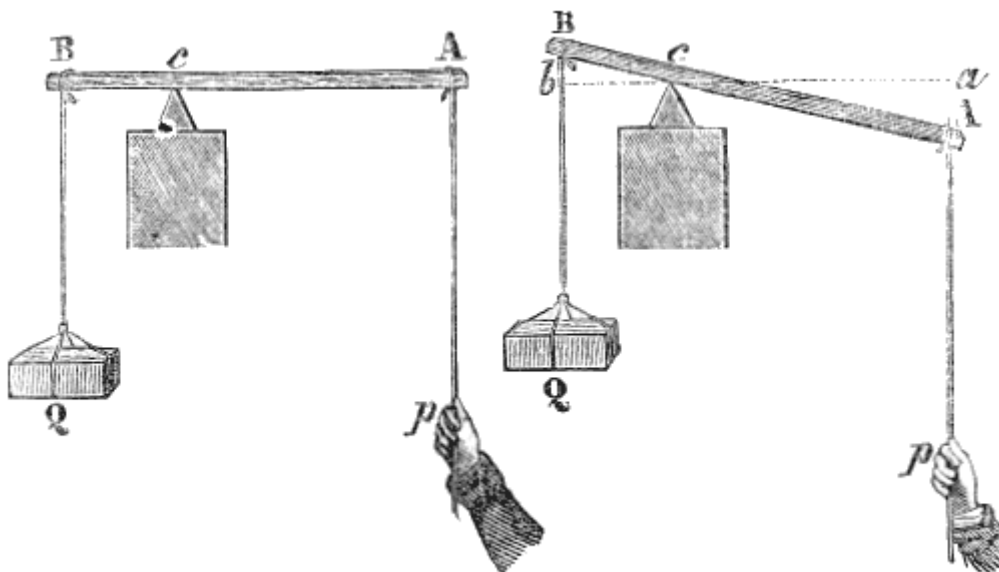


Fig. 15.

Fig. 16.

Dalla varia posizione del punto d'appoggio relativamente ai punti d'applicazione della potenza e della resistenza, distinguonsi tre generi di leve: 1.° la *leva di primo genere*, quando il punto d'appoggio è collocato tra la potenza e la resistenza; 2.° la *leva di secondo genere*, allorquando la resistenza è tra il punto d'appoggio e la potenza; 3.° la *leva di terzo genere*, quando la potenza si trova tra il punto d'appoggio e la resistenza.

Nei tre generi di leva, le rispettive distanze della potenza e della resistenza dal punto d'appoggio si chiamano bracci di leva. Se la leva è diritta, e perpendicolare alle direzioni di queste due forze, come nella figura 15 le due porzioni Ac e Bc della leva sono anche i bracci di leva: ma, se la leva è inclinata rispetto alla direzione della forza (fig. 16), i bracci di leva sono le perpendicolari ca e cb abbassate dal punto fisso su queste direzioni.

Posto ciò, si dimostra in meccanica che una forza che tende a far girare una leva intorno al suo punto d'appoggio, produce tanto maggior effetto quanto più lontana è la sua direzione da questo punto, ovvero, ciò che è lo stesso, quanto maggiore è il braccio di leva sul quale essa agisce. Risulta da ciò che quando la potenza e la resistenza hanno eguale intensità, ed agiscono su bracci di leva eguali, esse producono lo stesso effetto, ma in senso contrario, e quindi si fanno equilibrio: ma se agiscono su bracci di leva disuguali, se, per es., il braccio di leva della potenza è doppio, triplo di quello della resistenza, è evidente che gli effetti non saranno eguali, tranne nel caso che la potenza sia due, tre volte minore della resistenza, locchè si esprime dicendo, che *affinché due forze sollecitanti una leva si facciano equilibrio, si richiede che le loro intensità sieno in ragione inversa dei bracci di leva ai quali sono applicate*.

Premesse queste nozioni, passiamo alla teoria delle bilancie.

**46. Bilancie.** - Chiamansi *bilancie* gli apparati che servono a misurare il peso relativo dei corpi. Se ne costruiscono di molte sorta.

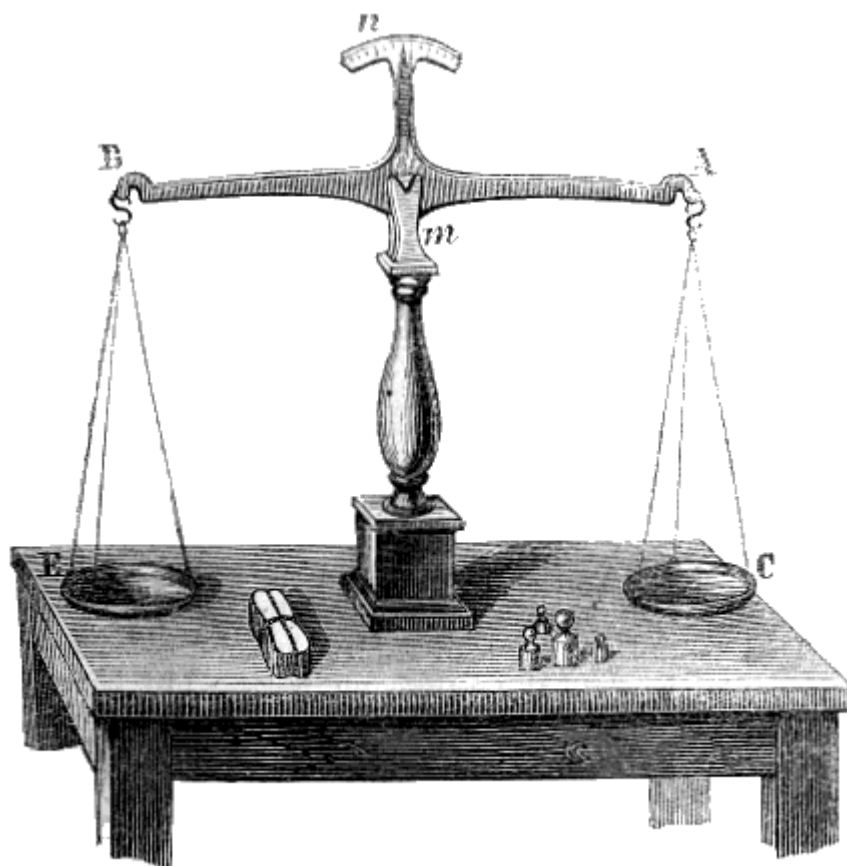


Fig. 17.

La bilancia ordinaria (fig. 17) consiste in una leva di primo genere, chiamata *giogo*, il di cui punto d'appoggio è nel mezzo: alle estremità del giogo sono sospesi i *bacini* o *piatti*, sostenuti da cordoncini o da catene, e destinati a ricevere l'uno gli oggetti che si voglion pesare, e l'altro i pesi.

Il giogo è attraversato nel mezzo da un prisma d'acciaio *a*, detto *coltello*, e che posa mediante un angolo saliente sopra due pianerottoli d'agata o d'acciaio levigato, onde diminuire gli attriti. Finalmente, al giogo è fissato un indice, che scorre su di un arco graduato *m*, lo zero del quale è segnato dall'indice, quando il giogo è perfettamente orizzontale.

Poichè abbiám visto precedentemente (45) che due forze eguali, sollecitanti una leva di primo genere, non ponno farsi equilibrio se non quando agiscono sopra bracci di leva eguali, è di somma importanza che la lunghezza dei bracci di leva *a A* e *a B* non cangi durante la pesata. Per ottenere questo risultato, si ha cura di sospendere i piatti ad un gancio, la parte curva del quale è foggia a spigolo acutissimo, e si fa insistere questo gancio sopra uno spigolo simile, di cui sono munite le estremità del giogo. In tal modo i bacini sono sostenuti da un solo punto, e questo punto resta sempre lo stesso, malgrado le oscillazioni della bilancia. La figura 17 rappresenta questo genere di sospensione.

**47. Condizioni alle quali una bilancia deve soddisfare** - Perchè una bilancia sia esatta, deve soddisfare alle condizioni seguenti:

1.° *I due bracci del giogo devono essere rigorosamente eguali*, se no, giusta la teoria della leva, dovrebbero collocare nei bacini pesi ineguali acciò si facessero equilibrio. Affine di riconoscere se i bracci del giogo sono uguali, si collocano nei piatti dei pesi in modo che il giogo prenda una posizione orizzontale. Scambiando allora i pesi nei due bacini, il giogo rimarrà orizzontale se i bracci sono uguali, poichè in questo caso, sono eguali anche i pesi: altrimenti il giogo inclinerà dal lato del braccio più lungo.

2.° *La bilancia deve rimanere in equilibrio allorquando i bacini sono vuoti*: poichè altrimenti, per ottenere l'equilibrio, bisognerebbe collocare dei pesi disuguali nei due bacini. Non si può tuttavia ritenere con certezza che i bracci sieno eguali per ciò solo che il giogo rimane orizzontale

quando i bacini sono vuoti. Infatti, perchè ciò accadesse, basterebbe sospendere al braccio più lungo un bacino più leggero.

3.° Quando il giogo è orizzontale, il suo centro di gravità si deve trovare sulla verticale che passa per lo spigolo del coltello, e un po' al disotto di questo spigolo, altrimenti il giogo non potrebbe prendere uno stato d'equilibrio stabile (44). Infatti, se il centro di gravità arrivasse allo spigolo del coltello, la bilancia sarebbe allo stato d'equilibrio indifferente (44): se oltrepassasse questa posizione, l'equilibrio sarebbe instabile: ed allora la bilancia si chiamerebbe *folle*.

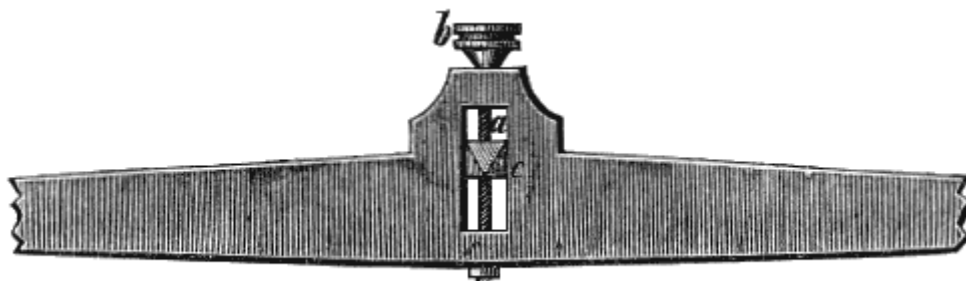


Fig. 18.

Nelle scuole di fisica si rendono sensibili i tre casi presentati dalla posizione del centro di gravità relativamente al coltello, mediante un giogo, il coltello del quale può essere rialzato od abbassato per mezzo d'una vite che gira in una madrevite praticata nello stesso coltello (fig. 18). Quando il coltello trovasi nel punto più alto della scanalatura e, entro la quale sale o discende, il centro di gravità è collocato superiormente al suo spigolo: il giogo è in equilibrio stabile, ed oscilla liberamente sui punti che sostengono il coltello. Ma se, facendo girare la vite, si abbassa lentamente il coltello in modo che il suo spigolo coincida col centro di gravità del giogo, allora questo più non oscilla, e resta in equilibrio in qualunque posizione piaccia di collocarlo. Finalmente, continuando ad abbassare il coltello, il centro di gravità passa al disopra dei punti d'appoggio, e allora la bilancia è folle.

**48. Condizioni di sensibilità.** - Chiamasi *sensibile* o *gelosa* una bilancia quando il giogo oscilla facilmente per una piccolissima differenza fra i pesi collocati nei due piattelli. Allorquando il giogo non oscilla, se non in causa di una differenza fra i pesi, un po' considerevole, la bilancia dicesi *pigra*.

Molte cause concorrono alla sensibilità d'una bilancia: in generale questa sensibilità è tanto maggiore, 1.° quanto minore è l'attrito del coltello sopra i suoi punti d'appoggio: egli è per questo che lo si fa appoggiare sopra due sostegni di agata o di acciaio ben temprato; 2.° quanto più il giogo è leggero, e meno carichi i bacini, giacchè allora l'attrito è minore; 3.° quanto più lunghi sono i bracci del giogo, perchè la differenza di peso che produce l'oscillazione agisce sopra un maggior braccio di leva; 4.° quanto più lungo è l'indice, che indica le oscillazioni, poichè queste sono più apparenti; 5.° quanto più il centro di gravità del giogo, conservandosi sempre al disotto del coltello, trovasi vicino allo spigolo di quest'ultimo.

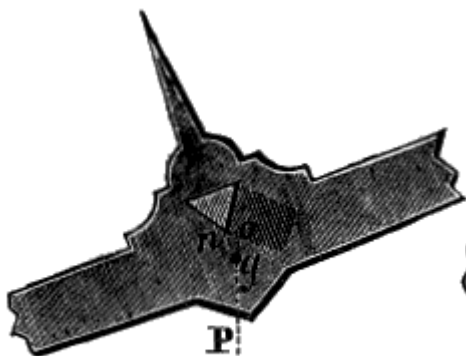


Fig. 19.

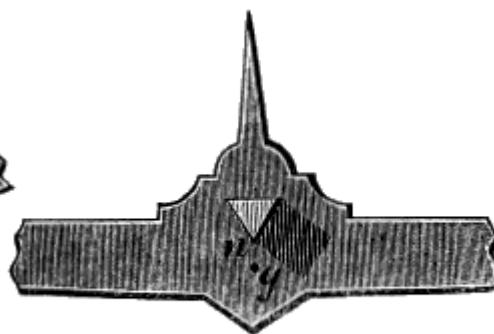


Fig. 20.

Perchè apparisca la necessità di quest'ultima condizione, basta considerare la figura 20, nella quale il centro di gravità  $g$  è alquanto al disotto dello spigolo  $n$  del coltello. In questo caso, quando il giogo oscilla, come mostra la figura 19, il punto d'appoggio  $n$  trovasi distante dalla direzione della forza applicata in  $g$ , e questa, per quanto venne superiormente detto intorno alla leva, con tanto maggior effetto si oppone alle oscillazioni, quanto maggiore è la distanza  $on$ . Al contrario, se è piccola la distanza  $gn$ , piccola è pure la  $on$ , e la forza  $P$ , agendo sopra un braccio di leva minore, debolmente resiste alle oscillazioni del giogo.

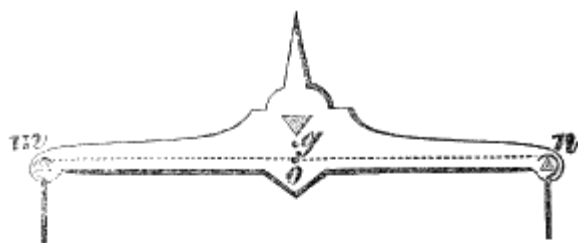


Fig. 21.

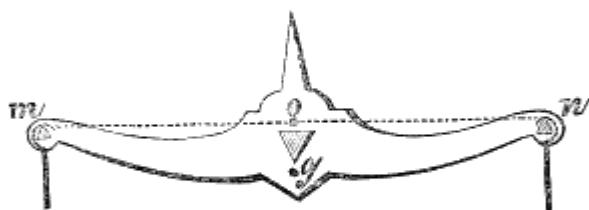


Fig. 22.

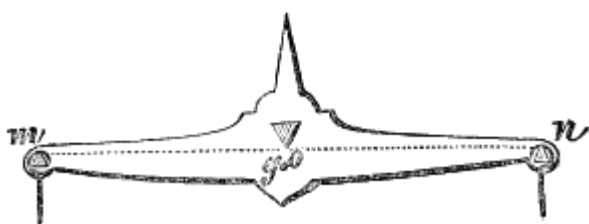


Fig. 23.

Un'altra condizione, che contribuisce alla sensibilità delle bilancie, è la posizione che hanno, rispettivamente al coltello centrale, i due coltelli estremi sopra i quali insistono i ganci d'attacco dei piattelli. La retta che unisce gli spigoli dei coltelli estremi deve incontrare lo spigolo del coltello centrale, come si vede nella figura 23. In fatti, i pesi, posti nei piattelli, ed applicati ai coltelli  $m$  ed  $n$  rappresentano due forze eguali e parallele, la risultante delle quali è applicata al punto  $o$ , punto di mezzo della  $mn$  (27). Posto ciò, se lo spigolo del coltello centrale è superiore alla retta  $mn$  (fig. 21), in generale avverrà lo stesso del centro di gravità del giogo, giacchè un tal punto deve sempre essere vicinissimo allo spigolo del coltello: allora, la risultante, che si ottiene componendo la forza applicata in  $g$  con quella applicata in  $o$ , ha il suo punto d'applicazione tra  $o$  e  $g$ ; vale a dire inferiormente al punto  $g$ , e quindi più lontano dal punto d'appoggio: dal che risulta che essa tende ad opporsi alle oscillazioni del giogo. Se la retta  $mn$  passa al di sopra dello spigolo del coltello, come nella figura 22, le due forze applicate in  $o$  ed in  $g$  si riducono ancora ad una forza unica, il cui punto d'applicazione è situato tra  $o$  e  $g$ : ma in questo caso, potendo il punto d'applicazione di questa risultante passare al di sopra del punto d'appoggio, la bilancia tende a divenir folle.

Finalmente, se i tre spigoli dei coltelli hanno comune la retta  $mn$  (fig 23), la risultante delle forze applicate in  $o$  e in  $g$  passa tra questi due punti, ed il suo punto d'applicazione è vicino al coltello più che non lo sia il punto  $g$ : allora la bilancia oscilla più facilmente: epperchè questa disposizione è la migliore.

**49. Bilancia di precisione.** - La bilancia rappresentata dalla figura 17 è quella che si adopera in commercio, relativamente ai bisogni del quale essa è sufficientemente precisa: ma in fisica e particolarmente nelle analisi chimiche si richieggono bilancie più precise.

La figura 24 rappresenta una bilancia di precisione costruita dal signor Deleuil, e siffattamente gelosa che trabocca per un eccesso di peso di un milligrammo, anche quando ciascun piattello è caricato d'un chilogrammo.

Acciò l'aria non agiti questa bilancia, la si copre con una cassa di vetro, che nello stesso tempo la preserva dalla polvere e dall'umidità.

Per introdurvi gli oggetti che si voglion pesare si solleva la faccia anteriore della cassa, facendola scorrere entro apposite scanalature praticate nelle due faccie verticali contigue.

Per non aggravare lo spigolo saliente del coltello quando la bilancia non funziona, si tiene sollevato il giogo mediante un pezzo mobile che si denomina *forchetta*. Affine d'intenderne il meccanismo, si osservi primieramente che il pezzo AA è, fisso, come pure le due aste verticali che stanno alle sue estremità. I due pezzi DD sono uniti al giogo e destinati a ricevere la spinta della forchetta. Questa consiste in una verga *aa*, alla quale sono fissate due traverse orizzontali, che si alzano colla forchetta, sollevano i due pezzi DD, e con questi il giogo. La forchetta è guidata nel suo movimento dalle aste AA, che la attraversano, alle sue estremità, a dolce sfregamento. Il movimento della forchetta poi si ottiene mediante un bottone O, che si gira colla mano, e che comunica il suo movimento a una vite situata internamente alla colonna. Girando questa vite, si fa salire la forchetta che solleva i due pezzi EE, e per mezzo di questi il giogo BB.

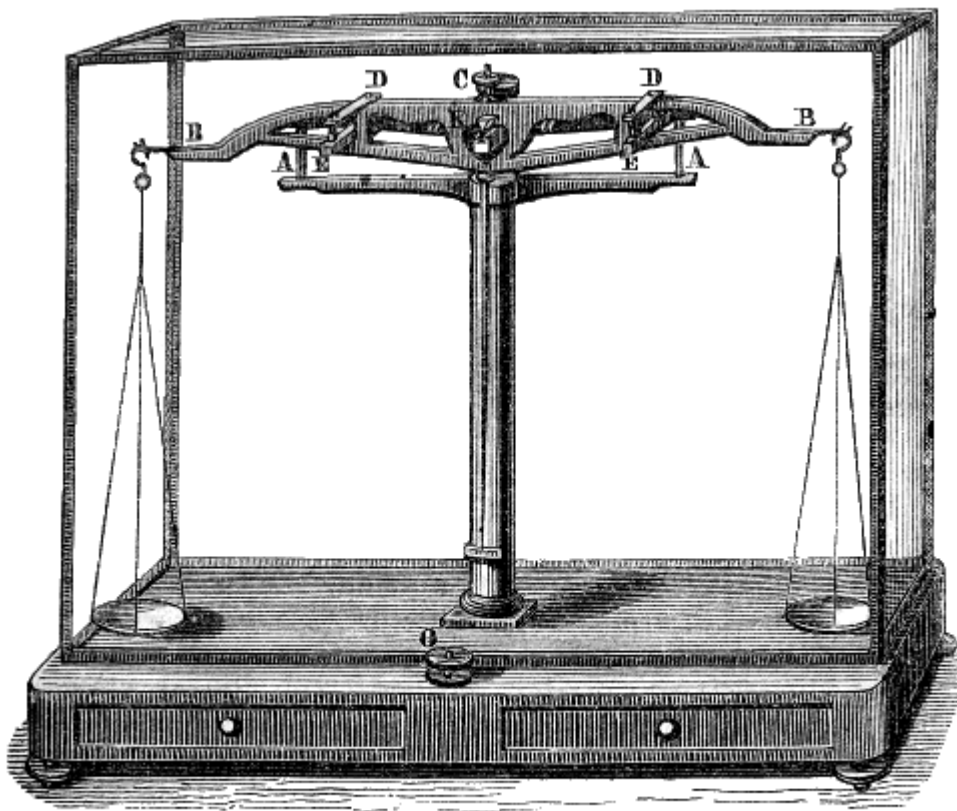


Fig. 24 (a. = 32).

Si verifica l'orizzontalità del giogo col mezzo d'un lungo indice, l'estremità superiore del quale è fissata al giogo stesso, e l'inferiore corrisponde ad un arco di cerchio graduato, che è collocato sul piede della bilancia.

Finalmente, un bottone a vite C, situato sul giogo, serve ad aumentare la sensibilità della bilancia: facendo salire questa vite, si innalza il centro di gravità del giogo, e si rende per tal modo, come vedemmo (48), più sensibile la bilancia.

**50. Bilancia a sospensione inferiore.** - Nelle bilancie testè descritte, i punti di sospensione sono superiori ai bacini. Ora, da alcuni anni in qua si fabbricano delle bilancie a punti di sospensione inferiori, l'uso delle quali vieppiù si diffonde nel commercio. Queste bilancie (fig. 25) sono graziosamente foggiate, noti ingombrano i banchi come le bilancie a colonna, e sono specialmente commode per pesare gli oggetti voluminosi: la quale comodità non offrono le bilancie ordinarie, a motivo delle catene o dei cordoncini, a cui s'attaccano i piattelli. Tuttavia le bilancie a sospensione inferiore non sono bilancie di precisione, perché in esse l'attrito è grande: ma ponno essere adoperate in commercio, stantechè l'errore è di un qualche decigrammo.



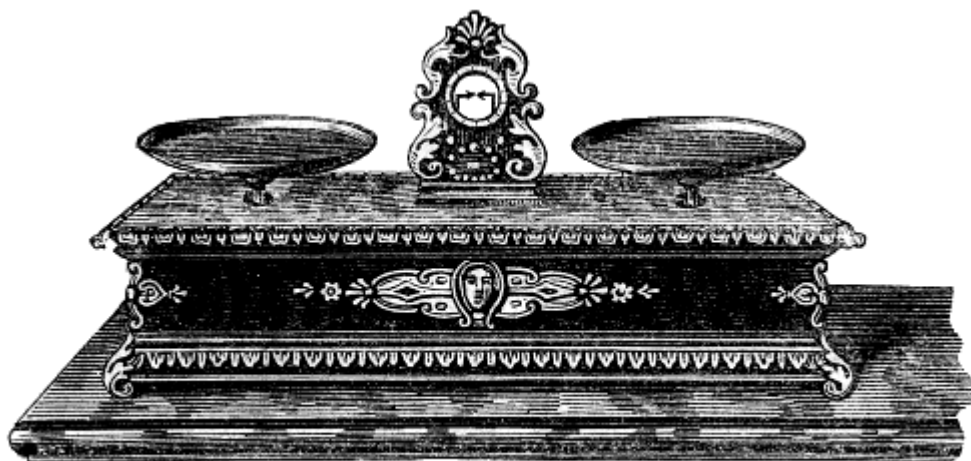


Fig. 25.

Le prime bilancie a sospensione inferiore ebbero il nome di *bilancie inglesi*, ed anche quello di *bilancie di Roberval*, poichè effettivamente erano un'applicazione d'un principio sulle leve dato da questo geometra professore di matematica a Parigi nel secolo XVII. La bilancia, che descriveremo (fig. 25 e 26) è una combinazione della bilancia di Roberval e di quella di Quintenz, dovuta al signor Beranger, fabbricatore di Lione. Questo costruttore ebbe di mira: 1.° che il movimento dei bacini avvenisse esattamente in linea retta; 2.° che lo stato d'equilibrio della bilancia fosse indipendente dalla posizione della carica nei bacini, condizione che sussiste teoricamente nella Bilancia di Roberval, ma che rigorosamente non ha luogo in pratica, per causa degli attriti.

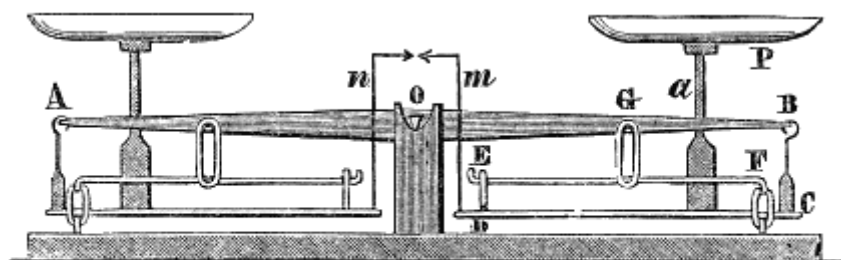


Fig. 26.

Il meccanismo adottato dal signor Beranger si compone, per ciascun bacino, di tre leve AB, EF e DC (fig 26). La leva DC, che porta il bacino P, si abbassa o s'innalza nello stesso tempo, a' suoi due estremi di quantità eguali, quando l'estremità B discende o sale, come facilmente si scorge osservando la figura. Questa leva DC si muove dunque parallelamente a sè stessa, e per conseguenza l'asta  $a$ , tanto nella discesa che nella salita, si mantiene verticale. Attesa la combinazione delle tre leve, la posizione della carica nei piatti non influisce come nella bilancia di Roberval. Però in tutte le bilancie, è preferibile il collocamento della carica nel mezzo dei bacini. Due astine ripiegate  $m$  e  $n$ , fissate alla leva orizzontale DC, salgono e scendono colla medesima, e quando la bilancia è in equilibrio sono l'una dirimpetto all'altra.

**51. Metodo delle doppie pesate.** - Borda, fisico francese, morto a Parigi nell'anno 1799, trovò un metodo che serve ad ottenere delle pesate accuratissime anche per mezzo d'una bilancia a bracci diseguali. A tale scopo si dispone in uno dei piattelli il corpo che si vuol pesare, e lo si equilibra mediante della migliarola di piombo o della sabbia, di cui si carica l'altro piattello: poi si toglie dal primo piatto il corpo che si vuol pesare, e vi si sostituiscono dei grammi e degli altri pesi minori, finchè si ristabilisca l'equilibrio. Il peso ottenuto in tal modo è precisamente quello del corpo: poichè, in questa doppia pesata, la stessa resistenza venne equilibrata dal corpo e dai grammi, rimanendo lo stesso il braccio del giogo su cui hanno successivamente agito.

Si può determinare con precisione il peso di un corpo anche col metodo seguente, che consiste nel pesare due volte il corpo, collocandolo successivamente in ciascuno dei piatti, ciò che equivale ancora alla doppia pesata; indi a dedurre col calcolo il peso cercato dai due risultati ottenuti.

E per vero, collocato il corpo da pesarsi in uno dei piatti, e nell'altro dei grammi sino a che si abbia equilibrio, sia  $x$  il peso cercato,  $p$  il numero dei grammi che fanno equilibrio con esso, e  $a$  e  $b$  la lunghezza dei bracci di leva corrispondenti rispettivamente ai pesi  $x$  e  $p$ . Secondo il principio d'equilibrio della leva, indicato più sopra (43), si ha  $x/p = b/a$ , o  $ax = bp$  (1).

Così pure se rappresentasi con  $p'$  il numero dei grammi che fanno equilibrio col corpo dopo averlo cangiato di piatto, si ha  $bx = ap'$  (2). Moltiplicando membro per membro la uguaglianza (1) e (2), e sopprimendo il fattore comune  $ab$ , si ha

$$x^2 = pp' \text{ da cui } x = \sqrt{pp'}$$

Ciò che dimostra che il peso cercato è media proporzionale fra i due pesi  $p$  e  $p'$ .

I due bracci d'una bilancia non essendo mai perfettamente eguali, devesi, nella pesata di precisione, far sempre uso di uno dei due metodi suesposti. Tutto questo però non basta per ottenere rigorosamente il peso di un corpo. Diffatti, si vedrà in appresso (159) che ogni corpo pesato nell'aria perde una parte del suo peso eguale al peso dell'aria spostata; d'onde risulta che ogni peso ottenuto colla bilancia non è che un peso apparente, minore del peso reale. Si vedrà più tardi (324), dopo che avremo trattato delle dilatazioni e dei vapori, come si possa, mediante il calcolo, dedurre il peso reale del peso apparente.

## CAPITOLO III

# LEGGI DELLA CADUTA DEI CORPI, INTENSITÀ DELLA GRAVITÀ, PENDOLO

**52. Leggi della caduta dei corpi.** - Trascurando la resistenza dell'aria, supponendo cioè che i corpi cadano nel vuoto, troviamo che i corpi che cadono vanno soggetti alle tre leggi seguenti:

1<sup>a</sup> LEGGE. - *Tutti i corpi nel vuoto cadono con egual velocità.*

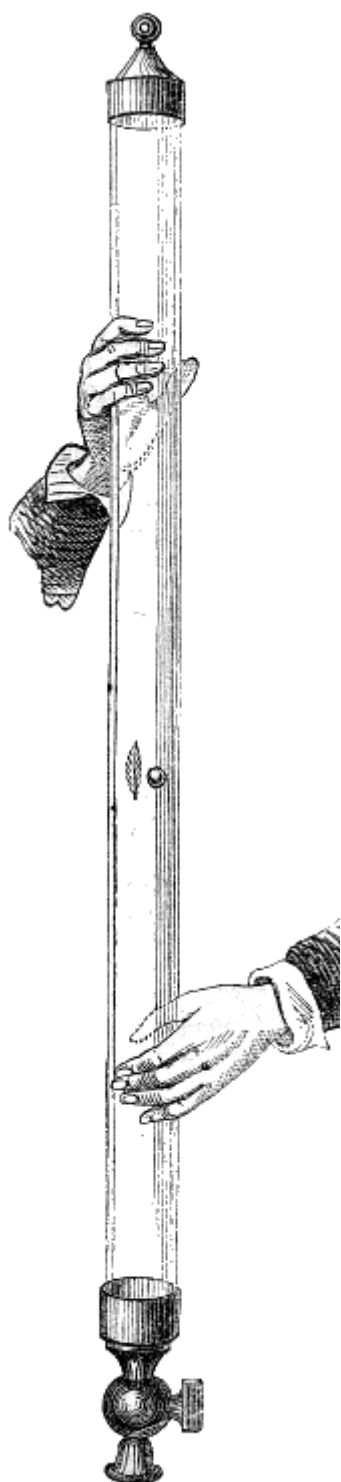


Fig. 27 ( $a = 2m^1$ ).

Questa legge si dimostra coll'esperienza mediante un tubo di vetro, lungo circa due metri, chiuso ad un'estremità, e terminato all'altra da un robinetto d'ottone. Vi si introducono dei corpi di densità diverse, per es., del piombo, del sughero, della carta: e quindi vi si pratica il vuoto colla macchina pneumatica. Capovolgendo allora rapidamente il tubo, si vede che tutti i corpi introdotti cadono con egual velocità (fig. 27). Ma se, dopo d'aver fatto rientrar un po' d'aria, si capovolge di nuovo il tubo, si osserva che i corpi più leggieri cadono alquanto meno velocemente dei più pesanti. Finalmente questa diminuzione di velocità riesce sensibilissima, quando siasi lasciata rientrare totalmente l'aria nel tubo. Dal che si conchiude che se nelle condizioni ordinarie i corpi cadono con velocità diverse, bisogna attribuirne la causa unicamente all'aria e non supporre che l'azione della gravità sia più intensa su questa sostanza che su quella. Poiché, egli è vero bensì che un corpo, che ha una massa doppia di quella d'un altro, è attratto verso la terra da una forza doppia; ma dovendo questa forza doppia mettere in moto una doppia quantità di materia, non può imprimere a questa, come vedemmo (35), che un grado di velocità eguale a quello della velocità comunicata all'altro corpo da una forza due volte minore.

La resistenza che l'aria oppone alla caduta dei corpi è sensibile principalmente pei liquidi. Nell'aria essi si dividono e cadono in goccioline, mentre invece nel vuoto cadono senza dividersi, come una massa solida. Questo fenomeno si dimostra col *martello d'acqua*, Chiamasi così un tubo di vetro di qualche spessore, lungo da 30 a 40 centimetri, riempito per metà d'acqua e chiuso alla lampada, dopo averne scacciata l'aria mediante l'ebollizione. Allorquando si capovolge rapidamente questo tubo, l'acqua, cadendo, va a colpire l'estremità inferiore mandando un suono secco, paragonabile all'urto di due corpi solidi.

**2<sup>a</sup> LEGGE** - *Gli spazi percorsi da un corpo che cade nel vuoto, sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.*

In altri termini gli spazi percorsi nei tempi rappresentati da 1, 2, 3, 4... sono rispettivamente rappresentati da 1, 4, 9, 16...

**3<sup>a</sup> LEGGE.** - *La velocità acquistata da un corpo, che cade nel vuoto, è proporzionale alla durata della caduta. Cioè alla fine d'un tempo doppio, triplo, quadruplo, la velocità acquistata è anch'essa doppia, tripla, quadrupla.*

*Conseguenza.* - Siccome, giusta la seconda legge, ritenendo rappresentato da 1 lo spazio percorso nel primo minuto secondo, quelli percorsi in 2, 3, 4, 5... secondi sono 4, 9, 16, 25..., ne consegue che lo spazio percorso nella seconda unità di tempo è 4 meno 1, ossia 3; quello percorso nella terza 9 meno 4 ossia 5; quello nella quarta 16 meno 9, ossia 7, e così di seguito: locchè vuol dire che gli spazi percorsi successivamente nella prima, nella seconda, terza, quarta...

unità di tempo stanno fra loro come la serie naturale dei numeri dispari 1, 3, 5, 7.... D'onde si conchiude che gli spazi percorsi aumentano di quantità eguali in tempi eguali; il che è conforme alla definizione del moto uniformemente accelerato, che superiormente si diede.

Le leggi della caduta dei corpi non si verificano che nel vuoto e quando le altezze da cui cadono sono poco considerevoli. Se i corpi cadono nell'aria, esse sono modificate in forza della resistenza che v'incontrano. Inoltre si vedrà quanto prima che per altezze diseguali nell'atmosfera l'intensità della gravità non è rigorosamente la stessa.

Galileo, alla fine del secolo XVI, scoprì le leggi della gravità, e le fece conoscere nelle sue lezioni all'Università di Pisa, ove insegnava le matematiche.

**53. Piano inclinato.** - S'immaginarono molti apparati per dimostrare le leggi della caduta dei corpi, cioè: il *piano inclinato*, la *macchina d'Atwood* e l'*apparato a cilindro girante di Morin*. Nei primi due il moto è sufficientemente lento perché si possa trascurare la resistenza dell'aria.

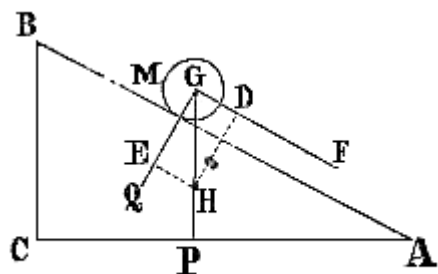


Fig. 28.

Chiamasi *piano inclinato* qualunque piano che faccia con un piano orizzontale un angolo minore di un retto. Quanto più acuto è quest'angolo, tanto minore è la velocità d'un corpo che discende lungo il piano inclinato. Infatti: rappresenti AB (fig. 28) il profilo d'un piano inclinato, AC quello d'un piano orizzontale e BC la perpendicolare abbassata da un punto B del piano inclinato sul piano orizzontale. sia M un corpo qualunque sostenuto dal piano inclinato; si potrà sempre decomporre il suo peso P in due forze Q e F, l'una perpendicolare, l'altra parallela al piano inclinato. La prima sarà distrutta dalla resistenza del piano, e la sola forza F agirà sulla massa M per farla discendere.

Per calcolare il valore di F, si porti sulla GP una lunghezza GH rappresentante la grandezza del peso P, e si compia il parallelogrammo

DGEH (29): la forza F allora è rappresentata da DG. Ora essendo i triangoli DGH e ABC simili, perchè equiangoli, si avrà

$$DG/GH = BC/AB \text{ ossia } F/P = BC/AB$$

Dall'ultima eguaglianza si conchiude che la forza F è tanto minore relativamente a P, quanto minore è l'*altezza* BC del piano inclinato relativamente alla lunghezza AB. Puossi dunque impicciolire la forza F quanto si vuole, e rallentare il moto del mobile M in modo che riesca possibile di misurare, sul piano inclinato, gli spazi percorsi in uno, due, tre... minuti secondi: e tutto questo senza che le leggi del moto sieno cambiate, imperocchè la forza F è continua e costante. Fu in questo modo che Galileo scoprì che gli spazi percorsi crescono come i quadrati dei tempi.

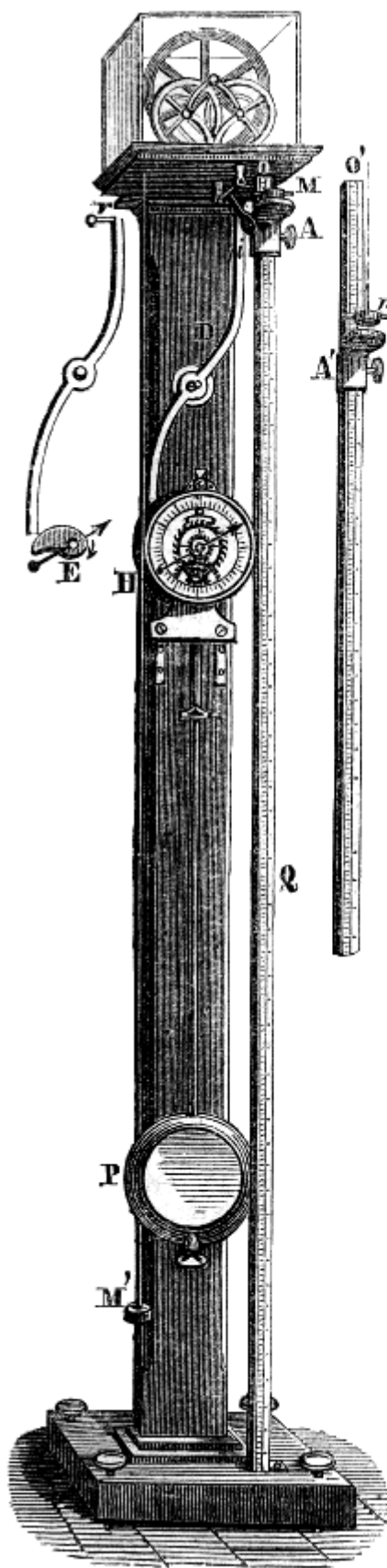


Fig. 29.  
(a. = 2m, 30).

**54. Macchina d'Atwood.** - Le leggi della caduta dei corpi si dimostrano anche col mezzo della macchina d'Atwood, così chiamata dal nome del suo inventore, professore di chimica a Cambridge, alla fine del secolo scorso. Questa macchina si compone di una colonna di legno (fig. 29) dell'altezza di circa 2<sup>m</sup>,30. Alla sua sommità evvi una cassa di vetro sotto la quale è situata una puleggia d'ottone: nella gola di questa si colloca un filo di seta così sottile, che il suo peso possa essere trascurato: esso porta ai suoi capi due pesi eguali M ed M'.

L'asse della puleggia, in luogo di poggiare sopra due cuscinetti fissi, riposa sulle periferie di quattro ruote mobili, accoppiate a due a due. Trasmettendo, mediante tale disposizione, l'asse della puleggia il suo moto alle quattro ruote l'attrito viene di molto diminuito.

Alla colonna è fissato un meccanismo da orologio H, regolato da un pendolo a secondi P, per mezzo di uno scappamento ad àncora. Quest'ultimo è rappresentato sul quadrante superiormente alla ruota di rincontro, la quale ne occupa il centro. Lo scappamento oscilla col pendolo, e inclinando ora a destra, ora a sinistra, lascia passare ad ogni oscillazione un dente della ruota di rincontro. L'asse di questa porta all'estremità anteriore una lancetta che segna i secondi, e all'estremità posteriore, dietro il quadrante, un eccentrico, che è rappresentato in E, alla sinistra della colonna. Questo eccentrico, che gira contemporaneamente colla lancetta, poggia sopra una leva D, e facendola avanzare, fa cadere un piatto i, che era sostenuto da questa leva, e destinato a sorreggere la massa M.

Finalmente, parallelamente alla colonna evvi un regolo Q graduato a centimetri, che serve a misurare gli spazi percorsi dal corpo discendente. Questo regolo è munito di due corsoi, cioè di due pezzi mobili, che per mezzo di viti di pressione ponno essere collocati ove si vuole. Questi corsoi si veggono nella figura rappresentati nelle diverse posizioni da A, A', B, C, B' e C'.

Uno di questi corsoi, che ha la forma d'un disco, arresta il moto del corpo M; l'altro

porta un anello, che lascia passare questo corpo, ma trattiene un peso addizionale che si colloca su

di esso, e che consiste in una piastra d'ottone più lunga del diametro dell'anello del corsoio.

La macchina d'Atwood serve a rallentare la velocità della caduta, e a far succedere, come più piaccia, un moto uniforme ad un moto accelerato.

Onde conoscere come questa macchina possa rallentare il moto, supponiamo che la piccola piastra d'ottone  $m$ , rappresentata nella figura da  $m$ ,  $m'$ ,  $m''$ , cada sola, e chiamiamo  $g$  la sua velocità alla fine d'un minuto secondo: allora sarà  $mg^{(2)}$  la sua quantità di moto.

Se si colloca questa piastra  $m$  sulla massa  $M$  essa non potrà cadere se non comunicando una parte della sua velocità alle masse  $M$  ed  $M'$ . Infatti essendo le due masse  $M$  ed  $M'$  in equilibrio, la gravità non produce in esse alcun effetto. Per conseguenza, la forza che faceva cadere il peso  $m$ , quand'era solo, è quella stessa che adesso fa muovere questo peso, e le due masse  $M$  ed  $M'$ . La quantità di moto sarà dunque la stessa (35).

Ora, detta  $x$  la velocità alla fine d'un minuto secondo, la quantità di moto sarà  $(m + 2M)x$ ; eguagliandola a quella che acquista il peso  $m$ , quando cade solo, si ha:  $(m + 2M)x = gm$ ; da cui si deduce  $x = gm/m + 2M$ . Se si suppone, per es., che ciascuna delle masse  $M$  ed  $M'$  sia 16, ed 1 la massa  $m$ , si ha  $x = g/13$ ; cioè che la velocità sarà 33 volte più piccola di quella che acquisterebbe il corpo cadendo liberamente nell'atmosfera. Tanto basta per seguire il corpo nella sua caduta, e per rendere appena sensibile la resistenza dell'aria.

Conosciuti i diversi pezzi della macchina, passeremo all'esperienza, dimostrando anzi tutto che gli spazi percorsi crescono come i quadrati dei tempi. A tal fine, quando il pendolo  $P$  è in quiete e la lancetta del quadrante non segna lo zero, si colloca il peso addizionale  $m$  sulla massa  $M$ , e questa, così caricata, si dispone sul piatto  $i$  mantenuto orizzontale dall'estremità della leva  $D$ , e corrispondente allo zero delle divisioni del regolo. Allora si fissa solamente il corsoio a piattello a una distanza tale dallo zero del regolo, che le due masse  $m$  ed  $M$  impieghino un minuto secondo a cadere da  $O$  in  $A$ . La caduta incomincia all'istante in cui la lancetta arriva allo zero del quadrante, dopo che si è fatto oscillare il pendolo: poichè, in quell'istante, la leva  $D$  è respinta dall'eccentrico, ed il piattello  $i$  cade.

Ammettiamo che siasi trovato, che l'altezza della caduta in un minuto secondo è 7. Ricominciamo allora nello stesso modo l'esperienza, ma abbassando il corsoio, e collocandolo a una distanza  $O'A'$  quattro volte maggiore di  $OA$ , vale a dire alla ventottesima divisione del regolo, si osserva che questo spazio è precisamente percorso in due minuti secondi dalle due masse  $m$  ed  $M$ . In egual modo si trova che un'altezza nove volte maggiore, cioè di 63 divisioni, è percorsa in 3 minuti secondi, e così di seguito: e in tal modo resta verificata la seconda legge.

Per verificare la terza, bisogna richiamare, che nel moto accelerato per velocità di un dato istante s'intende quella del moto uniforme che succede al moto accelerato (34). Per conseguenza, onde constatare secondo qual legge varii la velocità di un corpo che cade, basta misurare la velocità del moto uniforme che sussegue al moto, accelerato dopo uno, due, tre... minuti secondi di caduta.

Viene il moto uniforme sostituito al moto accelerato col mezzo del corsoio ad anello  $B$ . Perciò lo si colloca a una tale distanza, che le due masse  $m$  ed  $M$  riunite, impieghino, a cadere sino in  $B$ , un minuto secondo come nella prima esperienza: quindi, essendo la massa addizionale  $m$  arrestata dal corsoio  $B$ , e continuando la massa  $M$  a discendere sola, si fissa il corsoio a piattello in  $C$ , inferiormente a  $B$ , e ad una distanza conveniente perchè la massa  $M$  impieghi un minuto secondo a discendere da un corsoio all'altro. Ora da  $O''$  in  $B$  il moto è uniformemente accelerato, e da  $B$  in  $C$  è uniforme: poichè, tolta la massa addizionale  $m$ , la gravità più non agisce da  $B$  in  $C$ , ed il moto continua soltanto per l'inerzia. Dunque il numero di divisioni del regolo, che percorre la massa  $M$  da un corsoio all'altro, rappresenta la velocità acquistata dalle due masse  $m$  ed  $M$  alla fine d'un minuto secondo (34).

Cominciando allora di nuovo l'esperienza, si abbassa il corsoio ad anello  $B$  in  $B'$ , a una distanza tale che le due masse  $M$  ed  $m$  impieghino due secondi a cadere da  $O'''$  in  $B'$ : quindi si fissa il secondo corsoio  $C'$  a una distanza dal primo doppia di quella che li separava dapprima, cioè doppia di  $BO$ . Ora, impiegando le due masse due minuti secondi a cadere, di moto uniformemente accelerato, dal punto  $O'$  al punto  $B'$ , si trova che la massa  $M$  percorre da sola, in un minuto secondo, l'intervallo  $B'C'$  che separa i due corsoi. Dunque la velocità acquistata alla fine di due minuti

---

<sup>(2)</sup> Ritenendo indicata con  $m$  la massa della piastra d'ottone (N. del T.)

secondi, è il doppio di quella acquistata in un minuto secondo. Allo stesso modo si verifica, che questa velocità, dopo tre, quattro secondi, è tre, quattro volte maggiore.

Le leggi della caduta dei corpi si dimostrano pure coll'apparato a indicazioni continue dei signori Morin e Poncelet; ma la descrizione di questo apparecchio spetta piuttosto al corso di meccanica che a quello di fisica.

**55. Formole relative alla caduta dei corpi.** - La terza legge della caduta dei corpi (52), si può rappresentare mediante la formola  $v = gt$ ; e la seconda mediante la formola  $s = 1/2gt^2$ .

Infatti, sieno  $g$  la velocità acquistata alla fine d'un minuto secondo, da un corpo che cade nel vuoto, e  $v$  la velocità alla fine del tempo  $t$ : essendo le velocità proporzionali ai tempi si ha  $v/g = t/1$ ; da cui  $v = gt$ ... (a).

Per ottenere la formola  $s = 1/2gt^2$ , osserviamo che un corpo che cade per la durata di  $t$  secondi, di moto uniformemente accelerato, con una velocità iniziale nulla ed una finale  $a = gt$ , percorre necessariamente lo stesso spazio che percorrerebbe cadendo per la durata d'un tempo eguale, di moto uniforme, con una velocità media fra le due velocità 0 e  $gt$ , cioè colla velocità  $1/2gt$ , essendo la media fra due quantità la semisomma delle medesime. Ora in quest'ultimo caso, essendo il moto uniforme, lo spazio percorso è uguale al prodotto della velocità pel tempo (32); chiamando  $s$  questo spazio, si avrà  $s = 1/2gt \cdot t$ , ossia  $s = 1/2gt^2$ ... (b).

Ponendo nella formola (b)  $t = 1$ , si ha  $s = 1/2g$ , da cui  $g = 2s$ . Cioè la velocità acquistata alla fine dell'unità di tempo è doppia dello spazio percorso nel medesimo tempo.

Nella formola (a) la velocità  $v$  è espressa in funzione del tempo; ma si può esprimerlo anche in funzione dello spazio percorso, eliminando  $t$  dalle formole (a) e (b). A tal uopo si deduce dalla prima  $t = v/g$ , epperò  $t^2 = v^2/g^2$ . Ponendo questo valore di  $t^2$  nella formola (b), si ha  $s = 1/2g \cdot v^2/g^2$ : ossia  $s = v^2/2g$ , sopprimendo il fattore comune  $g$ . Moltiplicando per  $2g$  i due membri di quest'equazione, si ha  $v^2 = 2gs$ ; ed estraendo la radice  $v = \sqrt{2gs}$  ... (g).

Quest'ultima formula dice che la velocità di un dato istante d'un corpo cadente nel vuoto è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza da cui cade.

Le formole  $v = gt$  ed  $s = 1/2gt^2$ , ottenute considerando la gravità come una forza acceleratrice e costante, e per conseguenza nel caso in cui il moto è accelerato, si possono riguardare come formole generali di questo genere di movimento. Tuttavia, essendo  $g$  l'incremento della velocità impressa in ogni minuto secondo dalla forza acceleratrice, il valore di  $g$  varia al variare dell'intensità della forza.

**56. Cause che modificano l'intensità della gravità.** - Tre cause fanno variare l'intensità della gravità, cioè l'elevazione sul suolo, lo schiacciamento della terra e la forza centrifuga.

1.° Esercitandosi l'attrazione terrestre come se tutta la massa del globo fosse riunita al suo centro, ed agendo quest'attrazione in ragione inversa del quadrato della distanza (37 e 38), ne segue che l'intensità della gravità cresce o decresce, a norma che i corpi si avvicinano o si allontanano dalla superficie del suolo. Però, questa variazione non è apparente nei fenomeni che si osservano alla superficie del nostro globo, perchè, essendo il raggio medio della terra di 6367400 metri, l'intensità della gravità resta sensibilmente la medesima, quando un corpo s'innalza o si abbassa di alcune centinaia di metri. Ma per altezze di caduta più considerevoli, la gravità non può più essere ritenuta come una forza costante. È d'importanza dunque l'osservare che le leggi della caduta dei corpi enunciate al numero 52 valgono soltanto pei corpi che cadono da una piccola altezza.

2.° Anche lo schiacciamento ai poli della terra modifica l'intensità della gravità: poichè, presso i poli, i corpi sono più vicini al centro dello sferoide terrestre, e per conseguenza maggiormente attratti.

3.° La terza causa, che modifica l'intensità della gravità, è la *forza centrifuga*. È così denominata una forza, prodotta dal moto curvilineo, in causa della quale le masse animate da questo moto tendono ad allontanarsi dall'asse di rotazione. In meccanica si dimostra che la forza centrifuga è proporzionale al quadrato della velocità di rotazione, d'onde risulta che, in uno stesso meridiano, questa forza cresce di mano in mano che ci avviciniamo all'equatore, dove è massima, perchè ivi è pur massima la velocità. Ai poli la velocità è nulla.

Sotto l'equatore la forza centrifuga è direttamente opposta alla gravità, ed è uguale a  $1/289$  della sua intensità. Ora, essendo 289 il quadrato di 17, ne segue che se il moto di rotazione della terra fosse 17 volte più rapido, la forza centrifuga, che è proporzionale al quadrato della velocità, sarebbe all'equatore 289 volte più intensa di quello che essa non sia, vale a dire eguale alla gravità, ed i corpi non sarebbero più pesanti. Se il moto di rotazione fosse ancor più rapido, essi verrebbero lanciati nello spazio per effetto della forza centrifuga.



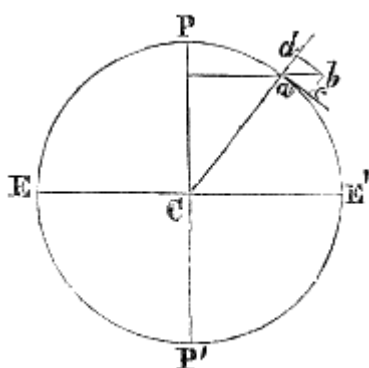


Fig. 30.

Andando dall'equatore verso i poli, la gravità è gradatamente meno indebolita dalla forza centrifuga; primieramente perchè quest'ultima forza decresce nel medesimo senso: secondariamente perchè sotto l'equatore essa è direttamente opposta alla gravità; laddove, avvicinandosi ai poli, la sua direzione si scosta vie maggiormente dalla verticale: locchè vien dimostrato dalla figura 30, nella quale PP' rappresenta l'asse di rotazione della terra, ed EE' l'equatore. In un punto qualunque E' dell'equatore, la forza centrifuga è diretta secondo CE', e tende tutta a diminuire l'intensità della gravità: ma in un punto *a*, più vicino al polo essendo la forza centrifuga rappresentata da una retta *ab* perpendicolare all'asse PP, mentre la gravità agisce secondo *aC*, si vede che la gravità non è

più direttamente opposta alla forza centrifuga, ma solamente alla sua componente *ad*, che è tanto minore relativamente ad *ab* quanto più vicino al polo trovasi il punto *a*.

**57. Misura dell'intensità della gravità.** - Dietro quanto si disse, potendo la gravità, per uno stesso luogo e per altezze di caduta poco considerevoli, essere considerata come una forza acceleratrice costante, si prende per misura della sua intensità la velocità, che essa imprime, in un minuto secondo, ai corpi che cadono nel vuoto (35), senza aver riguardo alla massa, giacchè nel vuoto tutti i corpi cadono colla stessa velocità (52).

Questa velocità viene generalmente rappresentata colla lettera *g*. Essa cresce dall'equatore al polo; a Parigi è di 9<sup>m</sup>,8088. In seguito vedremo come si possa, in ciascun luogo, determinarla per mezzo del pendolo (62).

Le variazioni d'intensità cui soggiace il peso col variar della latitudine o dell'altezza, modificano il peso assoluto dei corpi (41), ma non cangiano punto il loro peso relativo, vale a dire quello che dà la bilancia. Infatti, l'azione del peso esercitandosi egualmente su tutte le sostanze, ne segue che l'aumento o la diminuzione di peso che risulta dalle variazioni di questa forza sono lo stesso, in ogni luogo, pei corpi da pesarsi e pei pesi metrici od altri di cui si fa uso. In breve, il numero di grammi che rappresenta il peso d'un corpo a Parigi, lo rappresenta eziandio al polo o all'equatore. Ciò che varia è il peso del grammo, che cresce o decresce proporzionalmente all'intensità del peso.

**58. Pendolo.** - Si distinguono due sorta di pendoli: il pendolo semplice, cioè, ed il composto. Il *pendolo semplice* o *pendolo ideale*, è quello che risulterebbe da un punto materiale pesante, sospeso mediante un filo inestensibile, senza massa e senza peso, ad un punto fisso, intorno al quale potrebbe liberamente oscillare, vale a dire prendere un movimento oscillatorio più o meno rapido.

Questo pendolo non può realizzarsi; esso è puramente teorico, e serve solo a determinare, nel calcolo, le leggi delle oscillazioni del pendolo.

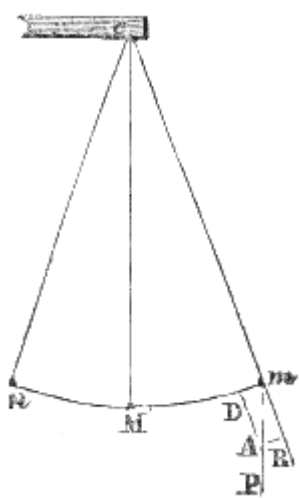


Fig. 31.

Chiamasi *pendolo composto* ogni corpo che può oscillare intorno ad un punto o ad un asse fisso. Quando il pendolo oscilla intorno ad un punto, questo prende il nome di *centro di sospensione*: quando invece oscilla intorno ad una retta orizzontale, questa retta è denominata *asse di sospensione*. Il pendolo composto è il solo che si possa costruire. La sua forma può variare all'infinito: ma in generale esso consiste in una massa metallica, foggjata a guisa d'una lente o d'una sfera, sospesa ad un'asta mobile intorno ad un asse orizzontale: tali sono i bilancieri d'orologio: tale è il pendolo P rappresentato dalla figura 29.

I pendoli composti si sospendono o mediante un coltello analogo a quello della bilancia (fig. 17) o mediante una lama d'acciaio sottile e flessibile, che leggermente s'incurva ad ogni oscillazione.

Affine di studiare il movimento oscillatorio del pendolo, consideriamo dapprima un pendolo semplice *cM*, del quale M sia il punto materiale e *c* il centro di sospensione (fig. 31). Quando il punto M si trova inferiormente al punto *c*, sulla verticale passante per questo punto,

l'azione della gravità è distrutta: ma se il punto M è trasportato in  $m$ , il suo peso P si scompone in due forze, l'una diretta secondo il prolungamento mB del filo, l'altra secondo la tangente mD all'arco mMn.

La componente mB è distrutta dalla resistenza del punto  $c$ , mentre la componente mD sollecita il peso materiale a discendere da  $m$  in M. Giunto in questo punto, il pendolo non s'arresta, ma per l'inerzia prosegue nella direzione Mn.

Ora, se in un punto qualunque dell'arco Mn si ripete la costruzione del punto  $m$ , si scorge che la gravità la quale da  $m$  in M agì come forza acceleratrice, da M in  $n$  agisce come forza ritardatrice.

Essa toglie successivamente al mobile la velocità acquistata durante la discesa; dunque questa forza deve diminuire la velocità precisamente di quanto l'ha aumentata da  $m$  in M: dimodochè l'avrà interamente distrutta quando il pendolo sarà salito in  $n$ , al di sopra del punto M, ad un'altezza égale a quella del punto  $m$ . Ritornando allora il pendolo da  $n$  verso M, si riproduce la medesima serie di fenomeni, ed il pendolo tende così ad oscillare continuamente, descrivendo archi eguali da una parte e dall'altra del punto M. Ma nelle esperienze, non avviene così, perchè esistono due cause che contribuiscono incessantemente a rallentare il moto od anche a distruggerlo: la prima è la resistenza del mezzo nel quale il pendolo si muove, la seconda è l'attrito che si sviluppa all'asse di sospensione.

**59. Leggi delle oscillazioni del pendolo.** - Chiamasi *oscillazione* il passaggio del pendolo da una posizione estrema  $m$  all'altra posizione estrema  $n$ . L'arco  $mn$  dicesi *ampiezza* d'oscillazione, e la distanza del punto di sospensione  $c$  dal punto materiale M *lunghezza* del pendolo semplice.

Nella meccanica razionale si dimostra che le oscillazioni del pendolo semplice sono sottomesse alle quattro leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> *Per un medesimo pendolo le piccole oscillazioni sono isocrone*: vale a dire che esse avvengono assai sensibilmente in tempi eguali, qualora non oltrepassino un certo limite, di 2 o 3 gradi. Il calcolo insegna che la resistenza dell'aria aumenta la durata delle oscillazioni, a motivo della perdita di peso che il pendolo subisce nell'aria (159), ma che l'isocronismo persiste tanto nell'aria che nel vuoto; siccome però l'ampiezza va diminuendo, il pendolo finisce necessariamente coll'arrestarsi.

Galileo pel primo constatò l'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo. È fama che facesse questa scoperta ancor giovane osservando le oscillazioni d'una lampada sospesa alla volta della cattedrale di Pisa.

2.<sup>a</sup> *Per pendoli della stessa lunghezza, la durata delle oscillazioni è uguale, qualunque sia la materia da cui sono formati*. Ciò vuol dire che i pendoli semplici, il punto materiale dei quali fosse di sughero, di piombo, d'oro, eseguono lo stesso numero d'oscillazioni, nello stesso tempo, se hanno la medesima lunghezza.

3.<sup>a</sup> *Per pendoli di differente lunghezza, la durata delle oscillazioni è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza*. Il che significa che se la lunghezza d'un pendolo diventasse 4, 9, 16... volte maggiore, la durata delle oscillazioni sarebbe solamente 2, 3, 4... volte maggiore.

4.<sup>a</sup> *In diversi luoghi della terra, per pendoli della stessa lunghezza la durata delle oscillazioni è reciprocamente proporzionale alla radice quadrata dell'intensità della gravità*.

Queste leggi si deducono dalla formola  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  alla quale si giunge applicando il calcolo al movimento del pendolo

semplice. In questa formola  $t$  rappresenta la durata d'una oscillazione,  $l$  la lunghezza del pendolo,  $g$  l'intensità della gravità, ossia la velocità acquistata alla fine d'un minuto secondo, da un corpo che cade nel vuoto (57):  $\pi$  poi è una quantità costante che rappresenta il rapporto tra la circonferenza ed il diametro. Dalla geometria si sa che  $\pi$  è uguale a 3,141592...

Le due prime leggi si deducono immediatamente dalla formola  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  imperciocchè, non contenendo questa

formola nè l'ampiezza dell'oscillazione, nè la densità della materia, di cui è il pendolo formato, il valore di  $t$  è indipendente da queste due quantità.

Le ultime due leggi poi sono espresse dalla formola, poichè sotto il radicale evvi  $l$  come numeratore e  $g$  come denominatore.

**60. Lunghezza del pendolo composto.** - Le leggi e la formola a cui accennammo, s'applicano anche al pendolo composto: ma allora bisogna definire ciò che s'intende per lunghezza di questo pendolo. A tale intento, osserviamo che essendo qualsivoglia pendolo composto d'un'asta pesante terminata da una massa più o meno considerevole, i diversi punti materiali di questo sistema tendono, giusta la terza legge del pendolo, a compiere le loro oscillazioni in tempi tanto maggiori quanto più discosti sono dal punto di sospensione. Ora, essendo tutti questi punti tra loro invariabilmente legati, le loro oscillazioni avvengono necessariamente nello stesso tempo. Dal che emerge che il movimento dei punti più vicini all'asse di sospensione è ritardato, mentre quello dei punti più discosti è accelerato. Fra queste due posizioni estreme, esistono dunque dei punti, il movimento dei quali non viene nè ritardato nè accelerato, e che oscillano come se fossero indipendenti dal resto del sistema. Essendo questi punti equidistanti dall'asse di sospensione, determinano un asse d'oscillazione parallelo al primo. È appunto la distanza dell'asse di sospensione dall'asse d'oscillazione che chiamasi *lunghezza del pendolo composto*. Si dirà adunque che *la lunghezza d'un pendolo composto è quella d'un pendolo semplice che compisce le sue oscillazioni nello stesso tempo*.

L'asse d'oscillazione ha la proprietà d'essere reciproco all'asse di sospensione; che equivale a dire che sospendendo il pendolo per l'asse d'oscillazione, la durata delle oscillazioni non cambia, locchè prova che la lunghezza non è cambiata. Questa proprietà, dimostrata per la prima volta da Huyghens, fisico olandese, fornisce il mezzo di trovare experimentalmente la lunghezza del pendolo composto. A tal uopo, si capovolge il pendolo e lo si sospende, per mezzo d'un asse mobile, che si colloca, dopo alcuni tentativi, in modo che il numero delle oscillazioni, che si compiono in un dato tempo, sia eguale a quello delle oscillazioni avvenute nello stesso tempo prima del capovolgimento.

Ottenuto ciò, la lunghezza cercata è la distanza del secondo asse di sospensione dal primo.

Sostituendo allora nella formola del pendolo semplice in luogo di  $l$  il valore così ottenuto, si ha una formola che si può applicare al pendolo composto, e le leggi delle oscillazioni sono eguali a quelle del pendolo composto.

La lunghezza del pendolo che batte i secondi, vale a dire che compie le sue oscillazioni in un minuto secondo, varia coll'intensità della gravità, ed è:

Sotto l'equatore	0 <sup>m</sup> ,990925
A Parigi	0 <sup>m</sup> ,993866
A 10° dal polo	0 <sup>m</sup> ,995924

**61. Verificazioni delle leggi del pendolo.** - Le leggi del pendolo semplice si ponno verificare soltanto col mezzo del pendolo composto, procurando di costruir quest'ultimo in modo che raggiunga possibilmente le condizioni del primo. A tale intento si sospende all'estremità di sottil filo una piccola sfera d'una materia molto densa, per es., di piombo o di platino. Il pendolo, così formato, oscilla sensibilmente come il pendolo semplice, la di cui lunghezza fosse eguale alla distanza del centro della piccola sfera dal punto di sospensione.

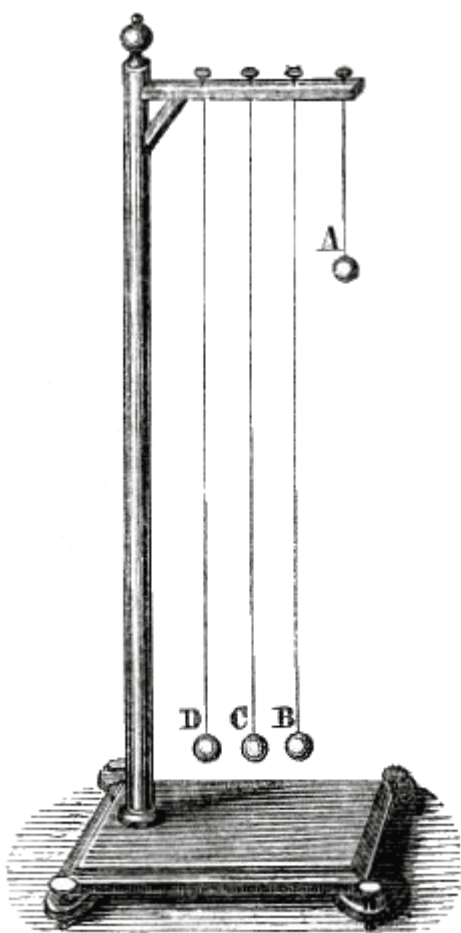


Fig. 32 ( $h = 1\text{m},53$ ).

Per verificare la legge dell'isocronismo delle piccole oscillazioni, si fa oscillare il pendolo così costruito, si conta il numero d'oscillazioni ch'esso compie, in tempi eguali, quando l'ampiezza è successivamente di 3, 2 ed 1 grado. Per tal modo si osserva che il numero d'oscillazioni è costante.

Per dimostrare la seconda legge si prendono parecchi pendoli B, C, D (fig. 32), costruiti come superiormente si è detto, aventi tutti eguale lunghezza, e terminati da sfere d'egual diametro, ma di sostanze differenti, per es., di piombo, di ottone, di avorio. Si osserva che trascurando la resistenza dell'aria, tutti questi pendoli compiono nello stesso tempo lo stesso numero d'oscillazioni: d'onde si conchiude che la gravità agisce sopra tutte le sostanze colla stessa intensità; il che fu già constatato (52).

La terza legge si verifica facendo oscillare dei pendoli, le lunghezze dei quali sono rappresentate rispettivamente da 1, 4, 9 ... e si trova che i numeri d'oscillazioni corrispondenti sono 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ...; il

che dimostra che le loro durate sono successivamente 1, 2, 3...

La quarta legge non può essere dimostrata che cambiando di luogo sulla superficie della terra per avvicinarsi od allontanarsi dall'equatore.

**62. Usi del pendolo.** - Il pendolo serve a constatare, come vedemmo nel paragrafo precedente, che la gravità sollecita tutti i corpi colla stessa intensità. Serve pure a determinare l'intensità della gravità nei diversi punti del nostro globo e per conseguenza la forma del medesimo.

L'isocronismo delle sue oscillazioni suggerì l'idea di applicarlo, come regolatore, agli orologi. Finalmente in questi ultimi tempi il signor Foucault l'adoperò per dimostrare experimentalmente il moto di rotazione diurno della terra.

Per, misurare l'intensità della gravità (57) mediante il pendolo, si risolve l'equazione  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  (59) rispetto a  $g$ .

Innalzando i due membri al quadrato  $\pi$  si trova  $t^2 = \pi^2 l / g$ .

Moltiplicando per  $g$  e dividendo poscia per  $t^2$ , si ottiene  $g = \pi^2 l / t^2$ . Donde si vede che per conoscere  $g$  bisogna misurare da prima la lunghezza  $l$  d'un pendolo composto (69), quindi misurare la durata  $t$  delle sue oscillazioni; locchè si ottiene cercando quante oscillazioni compie in un numero conosciuto di secondi, e dividendo quest'ultimo pel numero delle oscillazioni.

Fu appunto in tal modo che si determinò il valore di  $g$  in diversi punti del globo, e che Borda e Cassini hanno trovato che a Parigi essa è di  $9^m,8088$ . Ma tenendo conto di ciò che la perdita di peso d'un corpo nell'aria è più grande quando il corpo è in movimento che quando è in riposo, e facendo subire al movimento del pendolo la correzione che questa perdita ineguale di peso necessita, il signor Bessel, astronomo di Koenigsberg, ha trovato che a Parigi, il vero valore di  $g$  è di  $9^m,8096$ .

In seguito mediante il calcolo si dedusse dal valore di  $g$  in ciascun luogo la distanza dal centro della terra, e per conseguenza la forma della medesima.

Huyghens pel primo applicò il pendolo come regolatore agli orologi nell'anno 1657, e la molla spirale agli orologi da tasca nell'anno 1675.

Quando il pendolo è adoperato come regolatore, porta alla parte superiore della sua asta un pezzo foggiato ad arco di cerchio, terminato da due palette, che si chiama *scappamento ad àncora*, a motivo della sua forma. Quando il pendolo è in quiete, una delle palette appoggia sopra uno dei

denti d'una ruota che si chiama *ruota di rincontro*, e tutto il movimento dell'orologio è arrestato. Ma quando il pendolo oscilla, la paletta ad ogni oscillazione lascia passare un dente della ruota di rincontro. Ora, siccome le oscillazioni del pendolo sono isocrone, la ruota di rincontro ed il meccanismo che da questa dipende si muovono e si fermano ad intervalli eguali, e per conseguenza indicano divisioni eguali di tempo.

**63. Problemi sulla gravità.** - I. Quale sarà a Parigi, dopo 45 minuti secondi di caduta, la velocità di un corpo che cade liberamente nel vuoto?

Questo problema si risolve mediante la formula  $v = gt$  (55) ponendovi  $g = 9^m,8088$  (57) e  $t = 45^{s(3)}$ ; onde abbiamo:  

$$v = 9^m,8088 \times 45 = 441^m,396.$$

Sotto una latitudine diversa da quella di Parigi, non essendo più il valore di  $g$   $9^m,8088$ , la velocità acquistata dal corpo che cade sarebbe maggiore o minore di  $441^m,396$ .

II. Quale deve essere la durata della caduta di un corpo nel vuoto, acciò acquisti a Parigi una velocità di 600 metri, che è quella d'una palla di cannone?

Dalla formola  $v = gt$  si deduce  $t = v/g$ ; e sostituendo in essa a  $v$  e  $g$  i loro valori primitivi, si ha:  

$$t = 600/9,8088 = 61^s,16$$

III. Qual è il tempo necessario perchè un corpo cada nel vuoto da un'altezza di 1000 metri?

Dalla formola  $s = 1/2gt^2$ , si deduce  $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ , da cui  $t = \sqrt{\frac{2000}{9,8088}} = 14^s,28.$

IV. Da quale altezza dovrebbe cadere un corpo nel vuoto per acquistare una velocità di 300 metri?

La formola  $v^2 = 2gs$  (55) dà  $s = v^2/2g$ , per cui  $s = 90.000/2 \cdot 9,8088 = 4587^m,7.$

V. Qual è lo sforzo necessario per trascinare un peso di 2500 chilogrammi sopra un piano inclinato la di cui lunghezza AB (fig. 28) è uguale a 1000 metri, e l'altezza DC a 5 metri, supponendo nullo l'attrito?

Rappresentando con P il peso, e con F la forza, vedemmo (53) che sussiste la relazione  $F/P = BC/AB$ , dalla quale si ha:  $F = P \cdot BC/AB = 2500 \cdot 5/1000 = 12^{ch},500.$

VI. Supposta di  $245^m,22$  la velocità iniziale d'un proiettile lanciato nel vuoto verticalmente dal basso all'alto, si domanda dopo quanto tempo esso incomincerà a cadere ed a qual altezza s'innalzerà?

Sieno a la velocità iniziale impressa al mobile, e  $t$  il tempo che impiega a salire; siccome la gravità, agendo durante questo tempo qual forza ritardatrice, diminuisce la velocità a d'una quantità eguale a  $g$  in un minuto secondo, e d'una quantità  $gt$  alla fine di  $t$  secondi; così nell'istante in cui il corpo cessa di salire, sarà  $gt = a$ , quindi:

$$t = a/g = 245,22/9,8088 = 25s$$

Onde avere l'altezza raggiunta dal mobile, osserviamo che la gravità durante la salita gli toglie gradatamente la velocità, che gli comunicerebbe in tempo eguale se cadesse, e che però bisogna che il corpo impieghi nel raggiungere la sua massima altezza precisamente il tempo che impiegherebbe a discenderne. Quindi l'altezza a cui sale può aversi dalla formola  $s = 1/2gt^2$ , che dà

$$s = 4,9044 \times 625 = 3065^m,25.$$

<sup>(3)</sup> Nel testo "455". Corretto doppio confronto con l'originale francese, reperibile su gallica.bnf.fr. [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

# CAPITOLO IV

## FORZE MOLECOLARI

**64. Natura delle forze molecolari.** - I fenomeni che i corpi presentano fanno conoscere che le loro molecole sono costantemente sollecitate da due forze contrarie, l'una delle quali tende ad avvicinarle, l'altra ad allontanarle. La prima, che dicesi *attrazione molecolare*, varia per uno stesso corpo soltanto colla distanza: la seconda, prodotta dal calorico, varia coll'intensità di questo agente e colla distanza. Dal reciproco rapporto di queste forze e dalla disposizione, che le molecole da esse ricevono, risulta lo stato solido, liquido o gasoso (5).

L'attrazione molecolare agisce solamente a distanze infinitamente piccole. Il suo effetto è nullo a qualsivoglia distanza sensibile. Questo modo d'agire la distingue dalla gravità e dalla gravitazione universale, che manifestano la loro azione a tutte le distanze. Non si conosce ancora a quali leggi sia dedita assoggettata.

A seconda del modo, con cui la si considera, l'attrazione molecolare denominasi *coesione*, *affinità*, o *adesione*.

**65. Coesione.** - La *coesione* è la forza che unisce tra loro le molecole simili, cioè della stessa natura, come sarebbero due molecole d'acqua, o due molecole di ferro. Questa forza è minima nei gas, piccola nei liquidi, e massima nei solidi. La sua intensità decresce quando la temperatura si eleva ed aumenta la forza ripulsiva dovuta al calorico. Questo è il motivo pel quale i corpi riscaldati talora liquefanno, e tal'altra passano anche allo stato aeriforme.

La coesione non varia solamente colla natura dei corpi, ma anche colla disposizione delle loro molecole, come succede nella cottura delle argille, nella tempera dell'acciaio. Molte proprietà dei corpi, quali sarebbero la tenacità, la duttilità, la durezza, dipendono dalle modificazioni che subisce la coesione.

Nei liquidi, presi in grande massa, la gravità supera la coesione; dimodochè cedendo essi alla prima forza, non hanno veruna forma particolare, ed assumono sempre quella dei vasi che li contengono. Ma quando la loro massa è piccola, l'azione della coesione vince quella della gravità, ed essi prendono la forma sferoidale. Tanto avviene delle goccioline di rugiada sospese alle foglie delle piante, e di un liquido che non bagni la superficie sulla quale viene sparso, come avverrebbe del mercurio versato sul legno. Lo stesso esperimento si può fare anche coll'acqua, spargendo sulla superficie una polvere leggera come il nero di fumo.

**66. Affinità.** - L'*affinità* è l'attrazione che si esercita tra due sostanze eterogenee: i due atomi, per es., d'idrogeno ed ossigeno, che formano l'acqua, stanno fra loro uniti per affinità: ed è la coesione che unisce due molecole d'acqua. Il che vuol dire che nei corpi composti ha luogo simultaneamente la coesione e l'affinità, mentre nei corpi semplici soltanto la coesione.

Tutti i fenomeni di composizione e decomposizione chimica si denno riferire alla affinità.

Qualunque causa tendente a diminuire la coesione aumenta l'affinità. Infatti, quest'ultima forza è favorita dallo stato di divisione, non che dallo stato liquido o gasoso. Essa si sviluppa specialmente per lo *stato nascente*, cioè per lo stato in cui si trova un corpo, quando si svincola da una combinazione, ed è isolato e libero d'obbedire alla forza d'affinità anche la più debole. Finalmente l'affinità presenta effetti variabilissimi secondo l'innalzamento di temperatura. In vari casi il calorico favorisce le combinazioni coll'allontanare le molecole e col diminuire la coesione. Per es., il solfo e l'ossigeno alla temperatura ordinaria non sentono l'effetto dell'affinità: invece a una temperatura elevata questi corpi si combinano e danno origine ad un composto molto stabile, qual è l'acido solforoso. Per lo contrario in altri casi il calorico distrugge le combinazioni, comunicando ai loro elementi un'ineguale espansibilità. È in questo modo che molti ossidi metallici sono decomposti dall'azione del calorico.

**67. Adesione.** - Chiamasi *adesione* l'attrazione molecolare che si manifesta tra i corpi in contatto. Due pezzi di grosso vetro da specchio, per es., l'uno all'altro sovrapposti, tanto aderiscono da

lasciarsi piuttosto rompere che separare. Questa forza non solo agisce tra i solidi, ma anche tra i solidi e i liquidi, e tra i solidi e i gas.

L'adesione tra i solidi non è un effetto della pressione atmosferica, poiché la si osserva anche nel vuoto. Essa cresce al crescere della levigatezza delle superficie messe a contatto, e della durata del medesimo: infatti, la resistenza alla separazione è tanto maggiore quanto più a lungo fu prolungato il contatto. Finalmente la coesione tra i corpi solidi è indipendente dal loro spessore, il che dà a dividere che l'attrazione molecolare non si esercita che a piccolissime distanze.

I corpi solidi, immersi nell'acqua, nell'alcool e nella maggior parte dei liquidi si estraggono ricoperti d'un velo liquido, che l'adesione vi trattiene.

Fra i solidi ed i gas ha luogo la stessa adesione, che si produce fra i solidi ed i liquidi. In fatti se si immerge una lastra di vetro od una lamina di metallo nell'acqua, si veggono comparire alla sua superficie delle bolle d'aria. Siccome, in questo caso, l'acqua non penetra nei pori della lastra o della lamina, queste bolle non potrebbero provenire dall'aria che ne verrebbe scacciata: dunque esse sono unicamente prodotte da uno strato d'aria che ricopriva la lastra o la lamina, e la bagnava a guisa d'un liquido.

Quanto prima, sotto i nomi di *capillarità*, *d'endosmosi*, *d'assorbimento* e *d'imbibizione* si farà conoscere una serie di fenomeni che hanno pure per causa l'attrazione molecolare.

# CAPITOLO V

## PROPRIETÀ PARTICOLARI DEI SOLIDI

**68. Diverse proprietà particolari.** - Dopo d'aver esaminato le principali proprietà comuni ai solidi, ai liquidi ed ai gas, diremo delle principali proprietà particolari dei solidi. Queste proprietà sono: l'*elasticità di trazione*, l'*elasticità di torsione*, l'*elasticità di flessione*, la *tenacità*, la *duttilità* e la *durezza*.

**69. Elasticità di trazione.** - Trattammo già dell'elasticità come proprietà generale (19): ma si parlava solamente dell'elasticità sviluppata dalla pressione. Ora nei solidi l'elasticità può manifestarsi anche colla trazione, colla torsione e colla flessione.

Per istudiare le leggi dell'elasticità di trazione, Savart usò dell'apparato rappresentato dalla figura 33. Quest'apparato si compone d'un sostegno di legno al quale si sospendono le aste od i fili, che si vogliono sperimentare, si attacca alla loro estremità inferiore un piattello destinato a ricevere dei pesi, e sulla loro lunghezza si segnano due punti A e B, la distanza dei quali si misura esattamente col mezzo di un catetometro prima che il piattello sia carico.

Chiamasi *catetometro* un regolo di ottone K, diviso in millimetri e che può prendere una posizione verticale mediante un piede a viti di livello e un filo a piombo. Un cannocchiale, perfettamente in isquadra col regolo, può scorrere nel senso della sua lunghezza, e porta un verniero che offre il mezzo di misurare i cinquantiesimi di millimetro. Fissando successivamente questo cannocchiale dirimpetto ai punti A e B, come nella figura, si ottiene, sul regolo graduato, la distanza di questi due punti. Collocando quindi dei pesi nel bacino e misurando di nuovo la distanza dei punti A e B, si determina l'allungamento.

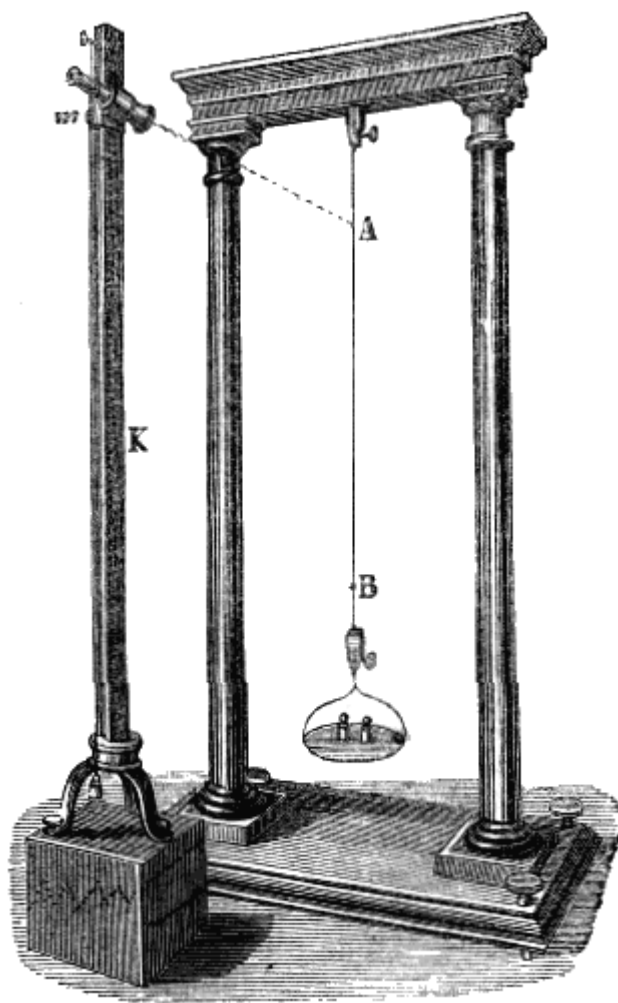


Fig. 33.

Finché non si oltrepassa il limite di elasticità, la trazione delle aste e dei fili è soggetta alle tre leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> *Le aste ed i fili hanno un'elasticità perfetta, cioè riprendono esattamente la loro lunghezza primitiva appenachè cessa la trazione.*

2.<sup>a</sup> *Per aste e per fili di una stessa sostanza e d'egual diametro, l'allungamento è proporzionale alla forza di trazione ed alla lunghezza.*

3.<sup>a</sup> *Per aste o per fili d'ugual lunghezza e d'una medesima sostanza, ma d'ineguale grossezza, gli allungamenti sono inversamente proporzionali ai quadrati dei diametri.*

Il calcolo e l'esperienza dimostrano che quando i corpi si allungano per trazione, il loro volume aumenta.



Vertheim, il quale istituì numerose esperienze sulla elasticità dei metalli, verificò che l'elasticità decresce in modo continuo di mano in mano che la temperatura si innalza da  $-15^{\circ}$  a  $200^{\circ}$ ; a questa regola fanno eccezione il ferro e l'acciaio, giacchè la loro elasticità aumenta fino a  $100^{\circ}$  e diminuisce in seguito. Lo stesso fisico trovò che in generale *tutte le cause che aumentano la densità, aumentano in pari tempo l'elasticità e viceversa*.

**70. Elasticità di torsione.** - Coulomb, fisico francese, morto nell'anno 1806, determinò le leggi della torsione dei fili. Questo scienziato nelle sue ricerche adoperò un apparato che si denomina *bilancia di torsione*, che si compone di un filo metallico, sottile e fissato ad una lancetta orizzontale. Inferiormente avvi un cerchio graduato, il centro del quale trovasi sul prolungamento del filo, quando questo è verticale. Se si rimuove la lancetta dalla sua posizione d'equilibrio, d'un certo angolo, che è l'*angolo di torsione*, la forza necessaria per ottenere quest'angolo è la *forza di torsione*. Dopo questa deviazione, le molecole, che erano disposte dapprima in linea retta, secondo la lunghezza del filo, sono situate secondo un'elica avvolta intorno a questo filo. Se non venne oltrepassato il limite d'elasticità, le molecole tendono a ripigliare la loro posizione primitiva, e vi ritornano effettivamente appenachè cessa la forza di torsione; ma non vi si trattengono. In virtù della velocità acquistata, esse oltrepassano questa posizione, dando origine a una torsione in senso contrario. Trovandosi di nuovo interrotto l'equilibrio, il filo si storce ancora, e la lancetta non si ferma allo zero del quadrante se non dopo un certo numero d'oscillazioni da una parte e dall'altra di questo punto.

Mediante l'apparato pur mo' descritto, Coulomb constatò che quando l'ampiezza delle oscillazioni non oltrepassa un piccolo numero di gradi, queste oscillazioni sono soggette alle quattro seguenti leggi:

1.° *Esse sono sensibilmente isocrone.*

2.° *Per un medesimo filo, l'angolo di torsione è proporzionale alla forza di torsione.*

3.° *Per una medesima forza di torsione e per fili del medesimo diametro, l'angolo di torsione è proporzionale alla lunghezza dei fili.*

4.° *Per una medesima forza e per fili della medesima lunghezza, l'angolo di torsione è inversamente proporzionale alla quarta potenza dei diametri.*

**71. Elasticità di inflessione.** - Tutti i solidi tagliati in lamine sottili, e fissati per una delle loro estremità, possono, dopo di essere stati più o meno incurvati, ritornare alla loro forma primitiva quando vengono abbandonati a sè stessi. Questa proprietà è sensibilissima nell'acciaio temprato, nella gomma elastica, nel legno e nella carta.

L'elasticità di inflessione trova numerose applicazioni negli archi, nelle balestre, nelle molle da orologio, nelle molle da carrozza, in alcuni apparati che servono a pesare, e nei dinamometri destinati a misurare la forza dei motori. L'elasticità dei crini, della lana e delle piume, è utilizzata nei materassi e nei cuscini comunemente adoperati.

Abbiamo già osservato che, qualunque sia la specie di elasticità che si considera, essa ha sempre un limite, cioè uno spostamento molecolare, al di là del quale i corpi si spezzano, o per lo meno più non ripigliano la primitiva loro forma. Molte cause ponno far variare questo limite. Infatti si verifica che l'elasticità di molti metalli è aumentata dall'*incrudimento*, cioè dal ravvicinamento delle molecole, operato a freddo per mezzo del laminatoio, della filiera o del martello. Alcune sostanze, come l'acciaio, la ghisa, il vetro, divengono anche più elastiche e nello stesso tempo più dure per la *tempera* (75).

L'elasticità è al contrario diminuita dal *ricuocimento*, operazione che consiste nel portare il corpo ad una temperatura meno elevata che per la tempera, e lasciarlo in seguito raffreddare lentamente. È appunto mediante il ricuocimento che si dà alle molle quel grado d'elasticità che più piace. Siccome il vetro riscaldato subisce una vera tempera allorchè si raffredda troppo rapidamente, così, appunto per diminuire la fragilità degli oggetti di vetro appena fabbricati, si fanno ricuocere in un forno da cui vengono in seguito lentamente allontanati.

**72. Tenacità.** - La *tenacità* è la resistenza che i corpi oppongono alla trazione. Per valutare questa forza si dà ai corpi la forma di verghe cilindriche o prismatiche, e si sottopongono, nel senso della loro lunghezza, ad una trazione misurata in chilogrammi, e sufficiente a determinare la rottura.

*La tenacità è direttamente proporzionale alla forza che determina la rottura, ed inversamente proporzionale alla sezione dei fili o dei prismi.*

Secondo numerose esperienze sui metalli, la forza necessaria per la rottura, è presso a poco tripla di quella che corrisponde al limite di elasticità.

La tenacità diminuisce colla durata della trazione. Si verifica infatti che le verghe metalliche e parecchie altre, cedono, dopo un certo tempo, a pesi minori di quelli che sarebbero stati necessari per produrne immediatamente la rottura; in tutti i casi la resistenza alla trazione è minore della resistenza alla pressione.

La tenacità non varia solo di sostanza in sostanza; ma per una stessa materia, varia anche colla forma dei corpi. Per sezioni equivalenti, il prisma è meno resistente che il cilindro. Per una data quantità di materia il cilindro vuoto è più resistente del cilindro pieno, ed il massimo grado di tenacità ha luogo quando il raggio esterno sta al raggio interno nel rapporto di 11 a 5.

Per uno stesso corpo, la forma, ha la medesima influenza sulla resistenza allo schiacciamento, che sulla resistenza alla trazione. Infatti, a parità di massa e di altezza, un cilindro vuoto è più resistente di un cilindro pieno; dal che risulta che le ossa degli animali, le penne degli uccelli, i fusti delle graminacee e di un gran numero di piante, oppongono, a parità di massa, maggior resistenza che se fossero piene.

Finalmente la tenacità come l'elasticità, varia per uno stesso corpo, variando la direzione che si considera. Nei legni, per es., la tenacità e l'elasticità sono maggiori nel senso delle fibre che in quello trasversale.

Questa differenza si osserva in generale in tutti i corpi, la tessitura delle fibre dei quali non è la stessa in tutte le direzioni.

Pesi in chilogrammi, che determinano la rottura		
Metalli	Fili di ferro	60 chil. per mil <sup>o</sup> $q^o$
	Ferro in barre	45 “ “ “
	Lamiera di ferro	36 a 40 “ “
	Acciaio in barre	30 a 40 “ “
	Ghisa	14 “ “ “
	Rame laminato	21 “ “ “
	Ottone	12,6 “ “ “
	Piombo laminato	1,35 “ “ “
Verghe o tubi di vetro		2 a 3 “ “ “
Legni nel senso delle fibre	Bosso	1400 chil. per cent <sup>o</sup> $q^o$
	Frassino	1200 chil. per cent <sup>o</sup> $q^o$
	Abete	900 chil. per cent <sup>o</sup> $q^o$
	Faggio	800 chil. per cent <sup>o</sup> $q^o$
	Quercia	700 chil. per cent <sup>o</sup> $q^o$

In questa tavola si suppone che i corpi sieno alla temperatura ordinaria: ma ad una temperatura più elevata, la tenacità decresce rapidamente. Il signor Seguin, il seniore, che fece recentemente delle ricerche per questo oggetto sul ferro e sul rame, trovò le tenacità seguenti in chilogrammi per millimetro quadrato

Ferro a 10°, 60<sup>ch.</sup>; a 370°, 54<sup>ch.</sup>; a 500°, 35<sup>ch.</sup>.  
 Rame “ 21<sup>ch.</sup>; “ 7<sup>ch.</sup>, 7

**73. Duttilità.** - Chiamasi *duttilità* la proprietà che hanno molti corpi di cambiar di forma per l'effetto di pressioni o di trazioni più o meno considerevoli.

Per certi corpi, come sarebbero l'argilla, le cera, piccoli sforzi bastano per produrre una deformazione; per altri invece, come il vetro, le resine, è necessario che vi concorra anche l'azione del calorico: pei metalli si richieggono sforzi potenti, come la percussione, la filiera, il laminatoio.

La duttilità riceve il nome di *malleabilità*, quando si produce sotto il martello. Il metallo più malleabile è il piombo, il più duttile al laminatoio è l'oro, alla filiera il platino.

Wollaston, in causa della somma duttilità del platino, poté ottenere dei fili di questo metallo del diametro di 1/1200 di millimetro. Onde giungere a questo risultato, egli ricopriva d'argento un filo di platino del diametro di  $\frac{1}{4}$  di millimetro, in modo di ottenere un cilindro della grossezza di 5 millimetri, la parte centrale del quale fosse di platino.

Passando questo cilindro alla filiera, finchè si assottigliasse quant'era possibile, i due metalli si allungavano egualmente. Facendo allora bollire il filo nell'acido azotico, l'argento si scioglieva, e rimaneva solo il filo di platino: 100 metri di questo filo pesavano solamente 5 centigrammi.

**74. Durezza.** -- La *durezza* è la resistenza che offrono i corpi ad essere intaccati o lisciati da altri corpi.

Questa proprietà è soltanto relativa, perchè un corpo, duro rispetto a una sostanza, è molle rispetto a un'altra. Si distingue la durezza relativa di due corpi cercando quello che scalfisce l'altro senza essere scalfito. In tal modo si constatò che il più duro di tutti i corpi è il diamante, poichè li intacca tutti, senza essere intaccato da nessuno. Al diamante tengono dietro lo zaffiro, il rubino, il cristallo di rocca, le silici, i grès, ecc. I metalli allo stato di purezza sono assai molli.

Le leghe sono più dure dei metalli che le compongono. Ed è appunto per aumentare la durezza dell'oro e dell'argento che si usano nell'oreficeria e nella fabbricazione delle monete, che si allegano col rame.

La durezza di un corpo non è in rapporto colla sua resistenza alla pressione. Il vetro, il diamante sono assai più duri del legno, e tuttavia resistono molto meno ai colpi del martello.

Abbiamo una applicazione della durezza dei corpi nelle polveri che servono a pulire, quali sono lo smeriglio, il pomice, il tripoli. Il diamante, essendo il più duro di tutti i corpi, non si può lavorare che mediante la propria polvere.

**75. Tempera.** - La *tempera* è il rapido raffreddamento di un corpo portato ad una elevata temperatura. Mediante questa operazione, l'acciaio e la ghisa acquistano una grande durezza, ed è specialmente a questo scopo che si adopera la tempera. Tutti gli strumenti taglienti sono in acciaio temperato. Vi sono però dei corpi sui quali la tempera produce un effetto del tutto contrario. La lega dei *tamtam*, la quale è composta di una parte di stagno e di quattro parti di rame, divien duttile e malleabile quando sia raffreddata istantaneamente; ed al contrario, è dura e fragile come il vetro quando sia raffreddata lentamente.

# LIBRO III

## DEI LIQUIDI

### CAPITOLO I

#### IDROSTATICA

**76. Oggetto dell'idrostatica** - *L'idrostatica* è la scienza che ha per oggetto lo studio delle condizioni di equilibrio dei liquidi e quello delle pressioni che essi trasmettono, sia alla loro massa, sia alle pareti dei vasi che li contengono.

La scienza che tratta del movimento dei liquidi chiamasi *idrodinamica*, e l'applicazione dei suoi principii all'arte di condurre ed innalzare le acque si distingue specialmente col nome di *idraulica*.

**77. Caratteri generali dei liquidi.** - Abbiamo già veduto (5) che i liquidi sono corpi le di cui molecole, a cagione di una somma mobilità, cedono al più leggero sforzo che tenda a spostarle. La loro fluidità tuttavia non è perfetta; esiste sempre fra le loro molecole un'aderenza che produce una viscosità più o meno grande.

La fluidità dei liquidi si ritrova, ma ad un grado più elevato, nei gas; quello che distingue queste due specie di corpi si è che i liquidi sono dotati di una compressibilità appena sensibile, mentre invece i fluidi aeriformi sono eminentemente compressibili ed espansivi.

La fluidità dei liquidi si manifesta per la facilità colla quale questi corpi prendono qualunque sorta di forme; la loro poca compressibilità si può constatare mediante la seguente esperienza.

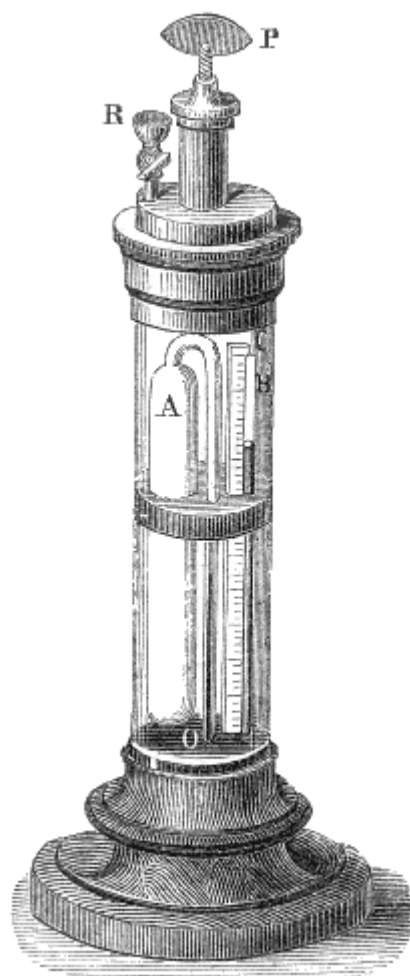


Fig. 34 (a. 64).

**78. Compressibilità dei liquidi.** - Dopo l'esperimento degli accademici di Firenze più sopra riferito (15), per lungo tempo si riguardarono i liquidi come completamente incompressibili. Si fecero in seguito delle indagini sul medesimo soggetto, in Inghilterra, da Canton, nel 1761, e da Perkins nel 1819; a Copenaghen, da Ørsted, nel 1823; finalmente, nel 1827, da Colladon e Sturm; e si verificò in questi diversi esperimenti che i liquidi sono effettivamente compressibili. Gli apparati destinati a misurare la compressibilità dei liquidi ricevettero il nome di *piezometri*. Noi qui descriveremo quello di Ørsted colle modificazioni fattevi da Despretz e Saigey. Esso si compone di un cilindro di cristallo a pareti assai grosse, e di un diametro da 8 a 9 centimetri (fig. 34). Questo cilindro, riempito completamente d'acqua è chiuso, alla sua base, da un piede di legno, al quale è solidamente unito con mastice, ed alla sua parte superiore si adatta in un pezzo cilindrico di ottone chiuso da un coperchio a vite. Questo coperchio porta un imbuto R destinato ad introdurre l'acqua nel cilindro, ed un piccolo corpo di tromba, nel quale avvi uno stantuffo a tenuta d'aria, che si fa avanzare mediante una vite di pressione P.

Nell'interno dell'apparato è collocato un serbatoio di vetro A riempito del liquido che si vuol comprimere e terminato alla sua parte superiore da un tubo capillare ricurvo, che viene ad immergersi in un bagno di mercurio O.

Questo tubo è stato prima diviso in parti di egual capacità, e venne determinato quante di queste parti contenga il serbatoio A; ciò che si ottiene cercando il peso P del mercurio che contiene il serbatoio A, ed il peso  $p$  del mercurio contenuto in un certo numero  $n$  di divisioni del tubo capillare.

Rappresentando allora con N il numero delle divisioni del piccolo tubo contenute nel serbatoio si ha  $N/n = P/p$ ; da cui si cava il valore di N.

Finalmente nell'interno del cilindro vi è un *manometro ad aria compressa*. Chiamasi così un tubo di vetro B, l'estremità superiore del quale è chiusa, e la inferiore, che è aperta, si immerge nel bagno di mercurio che si trova sul fondo dell'apparato. Allorchè non si esercita alcuna pressione sull'acqua che riempie il cilindro, il tubo B è completamente pieno d'aria; ma se, mediante la vite P e lo stantuffo, si comprime l'acqua del cilindro, la pressione si trasmette al mercurio, il quale si innalza nel tubo B comprimendo l'aria che vi si trova. Una scala graduata C, collocata lungo questo tubo, indica la riduzione di volume dell'aria, e da questa riduzione di volume si misura la pressione esercitata sul liquido contenuto nel cilindro, come dimostreremo trattando dei manometri (153).

Ciò posto, per sperimentare col piezometro, si incomincia dal riempire il serbatoio A del liquido che si vuol comprimere; poi, mediante l'imbuto R si riempie d'acqua il cilindro. Girando allora la vite P in modo da far discendere lo stantuffo, si esercita una pressione sull'acqua e sul mercurio che trovansi nell'apparato, e, per effetto di questa pressione, il mercurio s'innalza non solo nel tubo B, ma anche nel tubo capillare unito al serbatoio A, come lo mostra il disegno. Questo innalzamento del mercurio nel tubo capillare indica che il liquido chiuso nel serbatoio è diminuito di volume, e dà anche la misura di questa diminuzione, giacchè si sa che il serbatoio contiene un numero N delle divisioni segnate sul tubo capillare.

Ørsted, nelle sue esperienze, suppose che la capacità del serbatoio A restasse invariabile, essendo le sue pareti compresse tanto internamente che esternamente dal liquido (79). Ma l'analisi matematica prova che questo volume diminuisce per effetto della pressione interna ed esterna.

Gli esperimenti di Colladon e Sturm furono fatti tenendo conto di questo cambiamento di capacità. Questi scienziati hanno in tal guisa constatato, per una pressione eguale al peso dell'atmosfera, ed alla temperatura zero, le seguenti contrazioni:

Mercurio	5 milionesimi del vol. primitivo.
Acqua distillata non priva d'aria	49 “
Acqua distillata priva d'aria	51 “
Etere solforico	133 “

Inoltre hanno osservato che, fra certi limiti, la diminuzione del volume dell'acqua e del mercurio è proporzionale alla pressione.

Qualunque sia la compressione alla quale si è sottoposto un liquido, l'esperienza dimostra che appena l'eccesso di pressione cessa, il liquido ritorna esattamente al suo primitivo volume; da ciò si conchiude che i liquidi sono perfettamente elastici.

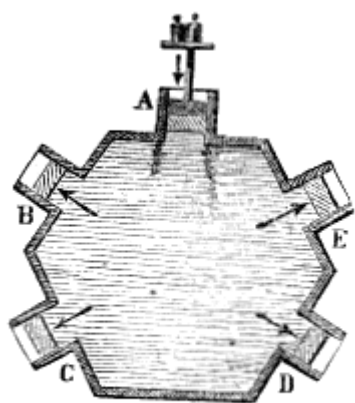


Fig. 35.

**79. Principio dell'eguaglianza di pressione, o principio di Pascal.** - Ritenendo i liquidi come incompressibili, dotati d'una perfetta fluidità, e supponendoli privi di peso, si giunse al principio seguente: *I liquidi trasmettono egualmente, in tutti i sensi, le pressioni esercitate in un punto qualunque della loro massa.* Questo principio è conosciuto sotto il nome di principio dell'eguaglianza di pressione o principio di Pascal, perchè Biagio Pascal, celebre scrittore e geometra, lo stabilì per primo.

Acciò s'intenda questo principio, immaginisi un vaso di qualsiasi forma, nelle pareti del quale sianvi diverse aperture cilindriche, chiuse da stantuffi mobili. Se sullo stantuffo superiore A (fig. 35) si esercita dall'esterno all'interno una pressione qualunque, per es. di 20 chilogrammi, questa pressione si trasmette istantaneamente sulla faccia interna degli stantuffi B, C... che

vengono spinti dall'interno all'esterno da una pressione 20, se la loro superficie uguaglia quella del primo stantuffo: ma per superficie due, tre volte maggiori la pressione trasmessa è 40 o 60 chilogrammi, cioè cresce proporzionalmente alla superficie.

Il principio dell'eguaglianza di pressione è generalmente ammesso come una conseguenza della costituzione dei liquidi. Mediante l'esperienza seguente si può dimostrare che la pressione si trasmette in

tutti i sensi; ma non si dimostra che si trasmette con eguale intensità. Un cilindro, nel quale si muove uno stantuffo (fig. 36) è terminato da una sfera, sulla quale sono collocati dei piccoli tubi cilindrici perpendicolarmente alla sua superficie.

Riempiti che sieno d'acqua il cilindro e la sfera, si spinge lo stantuffo, e il liquido zampilla da tutti gli orifizi, e non solamente da quello che è opposto allo stantuffo.

Se non si può dare una dimostrazione sperimentale soddisfacente del principio dell'eguaglianza di pressione, dobbiamo attribuirne la causa all'impossibilità, nelle esperienze, di far astrazione dal peso dei liquidi, e dall'attrito degli stantuffi, che trasmettono la pressione.

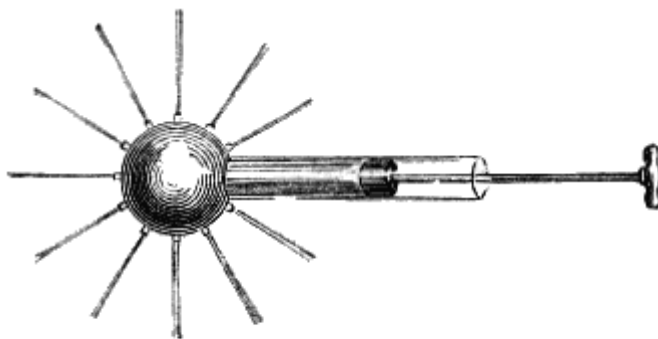


Fig. 36.

## PRESSIONI PRODOTTE NEI LIQUIDI DALLA GRAVITÀ

**80. Pressione verticale dall'alto al basso; sue leggi.** - Se un liquido qualunque, che giace in quiete in un vaso, vien supposto diviso in istrati orizzontali d'eguale spessore, è evidente che ciascuno di questi strati sostiene il peso di quelli che gli sovrastano. L'azione della gravità, adunque, sviluppa nella massa liquida delle pressioni interne variabili da un punto all'altro. Queste pressioni sono soggette alle seguenti leggi generali:

1.<sup>a</sup> *La pressione sopra ogni strato è proporzionale alla profondità.*

2.<sup>a</sup> *Per liquidi diversi, la pressione che soffrono gli strati di egual profondità è proporzionale alla densità del liquido.*

3.<sup>a</sup> *La pressione è eguale su tutti i punti di un medesimo strato orizzontale.*

Le due prime leggi si ponno ammettere come evidenti; la terza è una conseguenza della prima e del principio di Pascal.

**81. Pressione verticale dal basso all'alto.** - La pressione che gli strati superiori di un liquido esercitano sugli strati inferiori, fa nascere in questi dal basso all'alto una reazione eguale e contraria, che è una conseguenza del principio della trasmissione di pressione in tutti i sensi (80). Questa pressione dal basso all'alto è conosciuta sotto il nome di *spinta dei liquidi*.

Essa è sensibilissima allorchè si immerge la mano in un liquido, principalmente se è di una grande densità, come il mercurio.

Per constatarla, mediante l'esperienza, si fa uso di un tubo di vetro A aperto alle due estremità (fig. 37). Dopo di avere applicato contro l'estremità inferiore un disco di vetro O, che serve di otturatore, e che da principio si sostiene mediante un filo C, che gli è fissato, si immerge il tutto nell'acqua, quindi si abbandona il filo a sè stesso. L'otturatore rimane allora applicato contro il tubo; dal che siamo già avvertiti ch'esso sopporta dal basso all'alto una

pressione superiore al suo peso. Finalmente, se si versa lentamente dell'acqua nel tubo, il disco sostiene il peso di questo liquido, e non cade se non al momento in cui l'acqua che si trova nel tubo, e quella esterna sono sensibilmente allo stesso livello. Questo dimostra che la pressione dal basso all'alto, che si esercita sul disco, è uguale al peso di una colonna d'acqua avente per base la sezione interna del tubo A, e per altezza la distanza verticale del disco dalla superficie superiore del liquido nel quale il tubo è immerso. Da ciò si conchiude che la spinta dei liquidi, in un punto qualunque della loro massa, è sottoposta alle tre leggi medesime cui è sottoposta la pressione verticale dall'alto al basso (80).

**82. La pressione è indipendente dalla forma dei vasi.** - La pressione esercitata da un liquido, in forza del suo peso, sopra un punto qualunque della sua massa, o sulle pareti del vaso che lo contengono, dipende, come abbiain veduto (80), dalla profondità e dalla densità del liquido ma *essa è indipendente dalla forma del vaso e dalla quantità di liquido*.

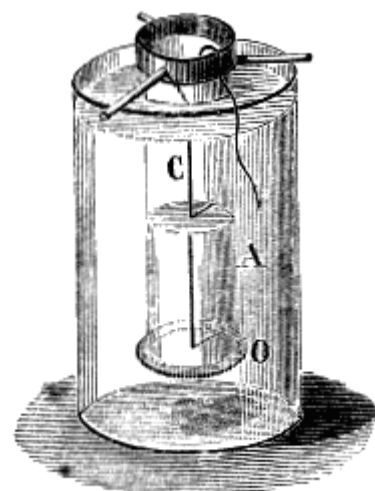


Fig. 37 (a. = 20).

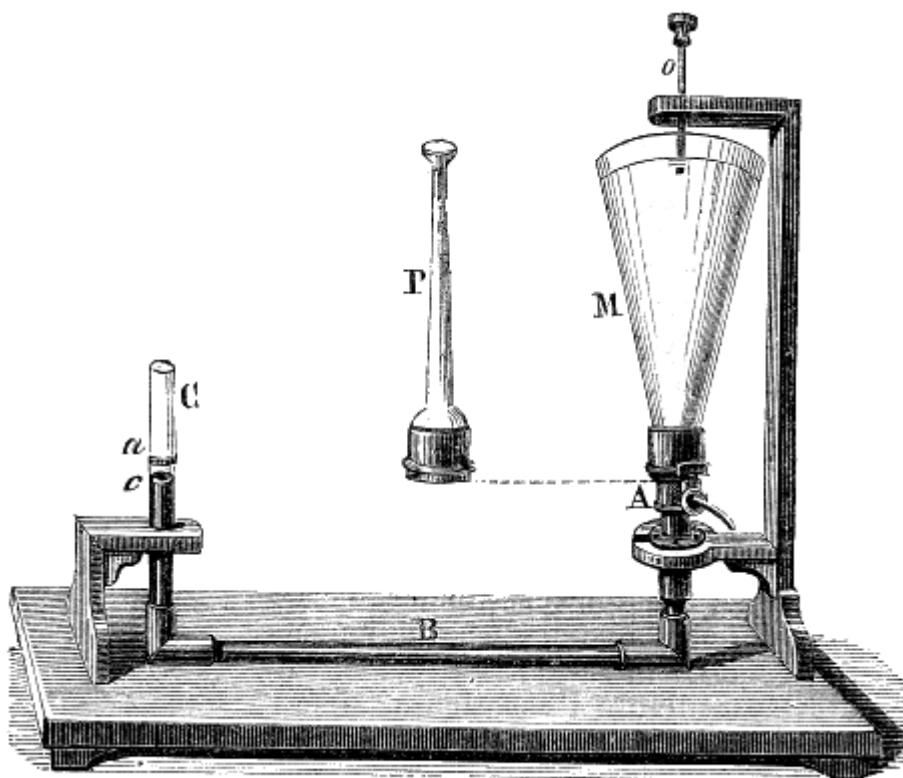


Fig. 38 (a. = 72).

Questo principio, che è una conseguenza del principio dell'eguaglianza di pressione, può dimostrarsi sperimentalmente con molti apparecchi; quello che è più generalmente in uso è dovuto ad Haldat. Esso si compone di un tubo a gomito ABC (fig. 38) terminato in A da un robinetto di ottone, al quale si ponno unire a vite successivamente due vasi M e P della stessa altezza, ma di forma e capacità differenti, cioè, il primo conico, ed il secondo quasi cilindrico. Per fare l'esperienza, si incomincia col versare del mercurio nel tubo ABC, in modo che il suo livello giunga quasi al robinetto A. Allora si unisce a vite col tubo il vaso M, che si riempie d'acqua: questa pel suo peso preme il mercurio, e lo fa innalzare nel tubo C, ove si segna il suo livello mediante la viera *a*, che può scorrere lungo il tubo. Si segna anche il livello dell'acqua nel vaso M per mezzo di un'asta mobile o postavi superiormente. Ciò fatto, si vuota il vaso M mediante il robinetto, lo si toglie, e gli si sostituisce il vaso P. Versando l'acqua in quest'ultimo, si scorge il mercurio, che aveva ripreso il suo livello primitivo nei due rami del tubo ABC, innalzarsi di nuovo nel tubo C, ed al momento in cui l'acqua raggiunge nel vaso P un'altezza eguale a quella che aveva nel vaso M, il che si riconosce mediante l'asta O, il mercurio giunge nel tubo C ad un livello eguale a quello che aveva nel primo caso, il che è indicato dalla viera *a*. Dal che si conchiude che in ambedue i casi la pressione trasmessa al mercurio nella direzione ABC è uguale. Questa pressione è adunque indipendente dalla forma del vaso e per conseguenza dalla quantità del liquido. Il fondo del vaso poi in ambedue i casi è evidentemente lo stesso, cioè la superficie del mercurio nell'interno del tubo A.

Dal che emerge che si ponno produrre delle pressioni considerevoli con una piccolissima quantità di liquido. A tale intento basta fissare alla parete d'un vaso chiuso e pieno d'acqua, un tubo d'un piccolo diametro e d'una grande altezza. Riempito questo tubo d'acqua, la pressione trasmessa sul fondo del vaso è uguale al peso di una colonna d'acqua avente per base questo fondo, e per altezza l'altezza del tubo.

Pertanto si può renderla grande come si vuole. Pascal, mediante un semplice filo d'acqua di 10 metri d'altezza, giunse a fare iscoppiare una botte saldamente costrutta.

Giusta il principio pur mo' dimostrato, si ponno calcolare facilmente le pressioni che sopporta il fondo dei mari. Infatti, si dimostrerà quanto prima, che la pressione atmosferica è uguale a quella d'una colonna d'acqua dell'altezza di 10 metri. Ora i navigatori hanno. spesso osservato, che lo



scandaglio non raggiungeva il fondo dei mari a una profondità di 4000 metri: dunque la pressione che soffre il fondo di alcuni mari è più di 400 volte maggiore della pressione atmosferica.

**83. Pressioni laterali sulle pareti.** - Siccome le pressioni prodotte dalla gravità nella massa dei liquidi si trasmettono, giusta il principio di Pascal, in tutti i sensi, così ne segue che in ciascun punto delle pareti laterali, hanno luogo delle pressioni soggette alle leggi precedentemente enunciate (80), ed agenti sempre perpendicolarmente a queste pareti, qualunque sia la forma delle medesime; imperciocchè ogni pressione obliqua a una parete si scompone in due forze, l'una perpendicolare alla parete, l'altra parallela; la prima è quella che produce la pressione, la seconda non produce verun effetto. La risultante di tutte queste pressioni rappresenta la pressione totale: ma siccome queste pressioni crescono proporzionalmente alla profondità ed all'estensione della parete in direzione orizzontale, così la loro risultante non si può determinare che mediante il calcolo, che fa conoscere che la pressione totale, sopra una porzione determinata di parete, è *uguale al peso di una colonna liquida avente per base questa porzione di parete, e per altezza la distanza verticale del suo centro di gravità dalla superficie libera del liquido.*

Il punto d'applicazione di questa pressione totale, denominato *centro di pressione*, è sempre alquanto al disotto del centro di gravità della parete. Infatti, se le pressioni esercitate sui diversi punti della parete fossero tra loro eguali, è evidente che il punto d'applicazione della loro risultante, cioè il centro di pressione, coinciderebbe col centro di gravità di questa parete: ma siccome queste pressioni crescono colla profondità, il centro di pressione si trova necessariamente al disotto del centro di gravità. La posizione di questo punto si determina col calcolo, che dà i seguenti risultati: 1.° sopra una parete rettangolare, avente il lembo superiore a fior d'acqua, il centro di pressione è situato a  $\frac{2}{3}$  della retta che unisce i punti di mezzo dei lati orizzontali, partendo dalla superficie libera dell'acqua; 2.° sopra una parete triangolare, avente la base a fior d'acqua, il centro di pressione trovasi nel punto di mezzo della retta che unisce il vertice del triangolo col punto di mezzo della base; 3.° sopra una parete, pure triangolare, ma avente il vertice a fior d'acqua e la base orizzontale, il centro di pressione è sulla retta che unisce il punto di mezzo di questa base col vertice, ed a  $\frac{3}{4}$  partendo da questo punto.

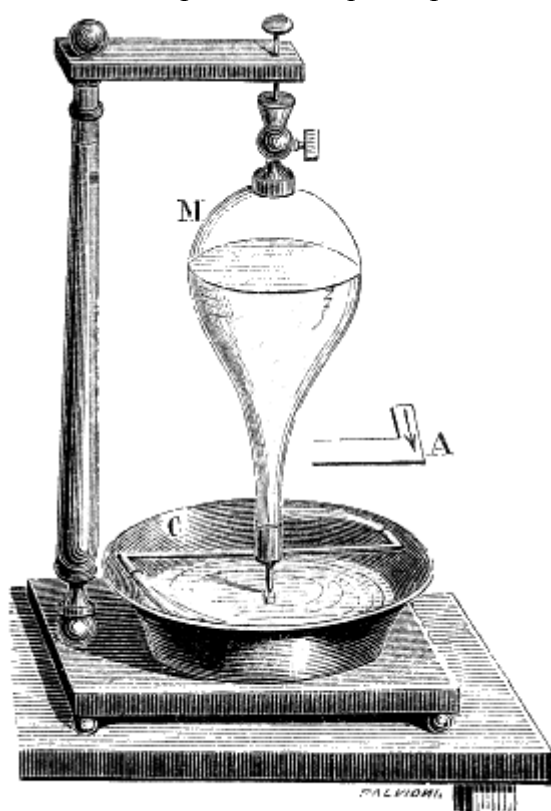


Fig. 39 (a. = 62).

**84. Arganetto idraulico.** - Quando un liquido è in equilibrio in un vaso, hanno luogo sulle pareti opposte, secondo ogni strato orizzontale, delle pressioni a due a due uguali e contrarie che si distruggono, in modo che non ci accorgiamo dell'esistenza di queste pressioni. Si ponno però constatare mediante l'*arganetto idraulico*, che si compone d'un vaso di vetro M (fig. 39), che riposa sopra un perno, in modo che può liberamente ruotare intorno ad un asse verticale. Questo vaso porta alla sua parte inferiore, perpendicolarmente al suo asse, un tubo d'ottone C, terminato a' suoi estremi da due gomiti disposti orizzontalmente, ed in senso contrario. Empito d'acqua l'apparato, si producono sulle pareti del tubo inferiore delle pressioni interne che si distruggerebbero, perchè a due a due eguali e contrarie, se il tubo fosse perfettamente chiuso: ma siccome è aperto alle due estremità, il liquido effluisce, e allora la pressione più non si esercita agli orifizi aperti, ma soltanto sulla porzione di parete opposta A, come vedesi a destra della figura. La pressione che soffre la parete in A, non essendo equilibrata dalla pressione opposta, imprime al tubo e a tutto l'apparato un

moto di rotazione nel senso della freccia A; il qual moto è tanto più veloce quanto maggiore è l'altezza del liquido nel vaso, e quanto maggiore è la superficie della sezione degli orifizi, per cui sorte il liquido.

Le pressioni laterali ebbero più importante applicazione nei motori idraulici, conosciuti sotto il nome di ruote a reazione.

**85. Paradosso idrostatico.** - Vedemmo (82) che la pressione sul fondo d'un vaso pieno di un liquido non dipende nè dalla forma del vaso, nè dalla quantità di liquido, ma solamente dall'altezza di quest'ultimo al disopra del fondo. Ora, non si deve confondere tal pressione sul fondo con quella che il vaso esercita sui corpi che lo sostengono. Quest'ultima è sempre eguale al peso totale del vaso e del liquido, ch'esso contiene; la prima invece può essere maggiore di questo peso, minore od eguale, secondo la forma del vaso. Un tal fatto si denomina ordinariamente *paradosso idrostatico*, perchè sulle prime sembra paradossale.

Per intendere come ciò avvenga, s'immagini un vaso CD (fig. 40), formato di due parti cilindriche di diametro disuguale, e pieno d'acqua fino in *a*. Giusta il principio che la pressione sul fondo di un vaso è indipendente dalla forma del vaso, il fondo del vaso CD sopporta una pressione uguale a quella che sopporterebbe se il suo diametro fosse dappertutto uguale a quello della sua parte inferiore; dal che parrebbe che collocando il vaso CD in un piattello di bilancia MN, questa dovesse dare un peso eguale a quello che darebbe quando si collocasse nel piattello un vaso cilindrico, avente per diametro quello della parte D, e contenente acqua che arriva alla medesima altezza, cui arrivava nel vaso CD. Ma facilmente si vede che la pressione esercitata dal liquido sul fondo del vaso non si trasmette interamente sul piattello MN. Infatti, siccome pel principio di Pascal, la pressione dovuta alla colonna d'acqua *ab* si trasmette dal basso all'alto, nell'interno del vaso sulla parete *no*, ne deriva una pressione in senso contrario a quella esercitata in *m*, che riduce la pressione sul piattello MN soltanto al peso del vaso CD, ed a quello dell'acqua ch'esso contiene.

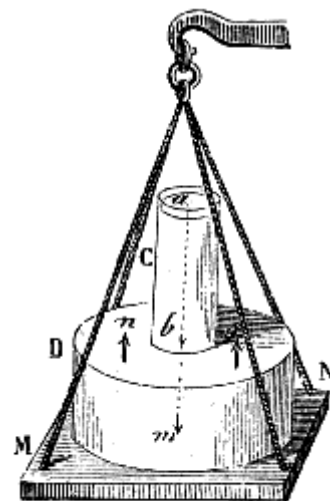


Fig. 40.

## CONDIZIONI D'EQUILIBRIO DEI LIQUIDI

**86. Equilibrio di un liquido in un sol vaso.** - Perchè un liquido si mantenga in equilibrio in un vaso di forma qualunque, bisogna che soddisfaccia alle due condizioni seguenti:

1.° *La sua superficie, in ciascun punto, deve essere perpendicolare alla direzione della risultante delle forze che sollecitano le molecole del liquido.*

2.° *Una molecola qualunque della sua massa deve provare in tutti i sensi pressioni eguali e contrarie.*

La seconda condizione è evidente per sè stessa; perchè se le pressioni che si esercitano sopra una molecola qualunque in due diverse direzioni, non fossero eguali e contrarie, la molecola sarebbe trascinata nel senso della pressione maggiore, e non vi sarebbe più equilibrio. Questa seconda condizione è, del resto, una conseguenza del principio dell'eguaglianza di pressione, e della reazione che tutte le pressioni fanno nascere in una massa liquida (81).

Per dimostrare che la prima condizione è necessaria, supponiamo che *mp* rappresenti la direzione della risultante delle forze che sollecitano una molecola qualunque *m* della superficie (fig. 41), e questa superficie sia inclinata rispetto alla forza *mp*. Quest'ultima forza si potrà allora decomporre nelle due *mq* ed *mf* (28): l'una perpendicolare alla superficie del liquido, l'altra perpendicolare alla direzione *mp*. Ora la prima sarà distrutta dalla resistenza del liquido, e la seconda trascinerà

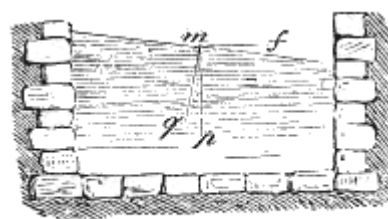


Fig. 41.

la molecola nella direzione  $mf$ , ciò che dimostra che l'equilibrio è impossibile.

Se la forza che sollecita il liquido è la gravità, la direzione  $mp$  è verticale, ed allora, perchè vi sia equilibrio, la superficie libera del liquido deve essere piana ed orizzontale (38), almeno se il liquido è contenuto in un vaso o bacino di piccola estensione, perchè allora la direzione della gravità è la stessa in ciascun punto. Ma così non avviene per una superficie liquida di grande estensione, come quella del mare. Infatti, dovendo questa superficie essere in ciascun luogo perpendicolare alla direzione della gravità, che cambia da un luogo all'altro, dirigendosi sempre verso il centro della terra, ne risulta che la superficie del mare cambia di direzione insieme colla gravità, e prende una forma sensibilmente sferica.

Per constatare sperimentalmente che il filo a piombo in ciascun luogo è perpendicolare alla superficie dei liquidi in equilibrio, tenendo in mano il filo a piombo come nella figura 8, se ne immerge la palla in un vaso pieno d'acqua; allora si scorge nell'acqua una immagine del filo esattamente in linea retta con lui, ciò che non accadrebbe se esso non fosse perpendicolare alla superficie del liquido.

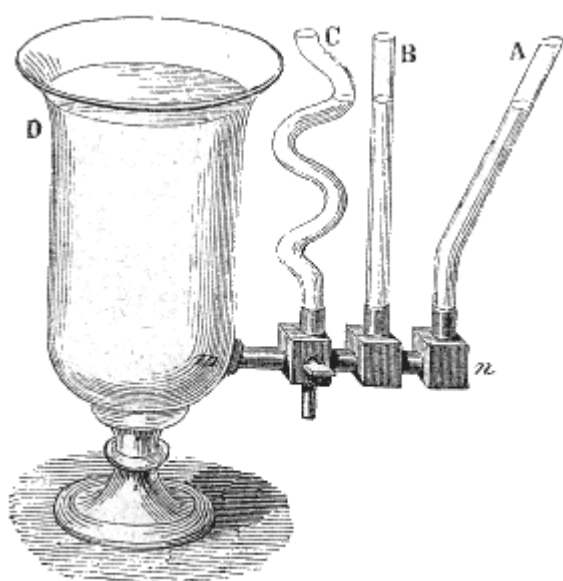


Fig. 42 (a. = 38).

immagina adunque un piano orizzontale condotto pel centro di gravità di questa sezione, si vede che l'equilibrio non può sussistere se non quando l'altezza del liquido al di sopra di questo piano è in ciascun vaso la stessa; ciò che dimostra il principio enunciato.

Si può anche dedurre questo principio da una costruzione simile a quella usata (fig. 37 bis) per dimostrare la pressione sul fondo dei vasi. Applicando lo stesso ragionamento, si vede facilmente che siccome le pressioni prodotte dalle colonne liquide  $mn$ ,  $op$ ,  $qr$ ,  $st$  e  $uv$  (fig. 42 bis) si sommano fra loro, le pressioni in  $b$  ed in  $c$ , sopra una medesima sezione orizzontale, non possono essere eguali, e per conseguenza non vi può essere equilibrio, se non se nel caso che l'altezza nei due vasi sia eguale.

**88. Equilibrio dei liquidi sovrapposti.** - Allorchè diversi liquidi eterogenei sono sovrapposti in uno stesso vaso, perchè vi sia equilibrio, bisogna che ciascuno di essi soddisfaccia alle condizioni necessarie pel caso di un sol liquido (86); ma, inoltre, *perchè l'equilibrio sia stabile, i liquidi devono essere sovrapposti in ordine di densità decrescenti dal basso all'alto.*

**87. Equilibrio di uno stesso liquido in parecchi vasi comunicanti.** - Allorchè parecchi vasi di forma qualunque, contenenti lo stesso liquido, comunicano fra loro, non vi è equilibrio se non quando il liquido, in ciascun vaso, soddisfa alle due condizioni precedenti (86), ed inoltre *le diverse superficie libere del liquido, in tutti i vasi, sono situate in un medesimo piano orizzontale.*

Infatti, siano A, B, C, D, diversi vasi comunicanti fra loro (fig. 42); se nel tubo di comunicazione  $mn$  si immagina uno strato liquido, esso non vi si potrà mantenere in equilibrio, se non allora quando le pressioni che sopporta da  $m$  verso  $n$  e da  $n$  verso  $m$  siano eguali e contrarie. Ma abbiamo veduto (83) che queste pressioni sono rispettivamente equivalenti al peso di una colonna d'acqua avente per base la sezione che si considera, e per altezza la verticale condotta dal suo centro di gravità alla superficie libera del liquido. Se si

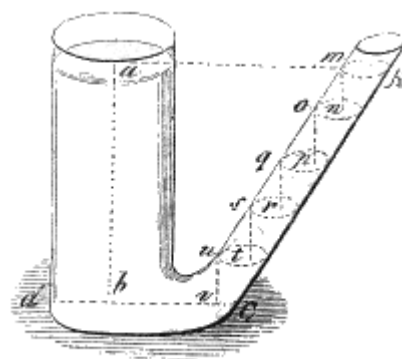


Fig. 42 bis.

Quest'ultima condizione si dimostra sperimentalmente mediante la *fiala dei quattro elementi*. Chiamasi così una bottiglia lunga e stretta contenente mercurio, acqua satura di carbonato di potassa, alcool colorato in rosso ed olio di nafta. Agitando la bottiglia, i quattro liquidi si mescolano; ma appena che la si lascia in riposo, il mercurio che è il più denso, precipita al fondo; quindi al disopra del mercurio si depositano successivamente l'acqua, l'alcool e l'olio di nafta. Tale infatti è l'ordine delle densità decrescenti di questi corpi. Si satura l'acqua di carbonato di potassa, acciò non si mescoli coll'alcool, nel quale il carbonato è insolubile.

La separazione dei liquidi, nella precedente esperienza, bisogna dedurla dalla stessa causa per la quale i solidi, immersi in un liquido più denso di essi, galleggiano alla sua superficie (97).

È appunto pel principio di idrostatica or ora enunciato, che l'acqua dolce, allo sbocco dei fiumi galleggia lungo tempo sull'acqua salata del mare. E per la causa istessa che la crema, la quale è meno densa del latte, se ne separa a poco a poco, e si porta alla sua superficie.

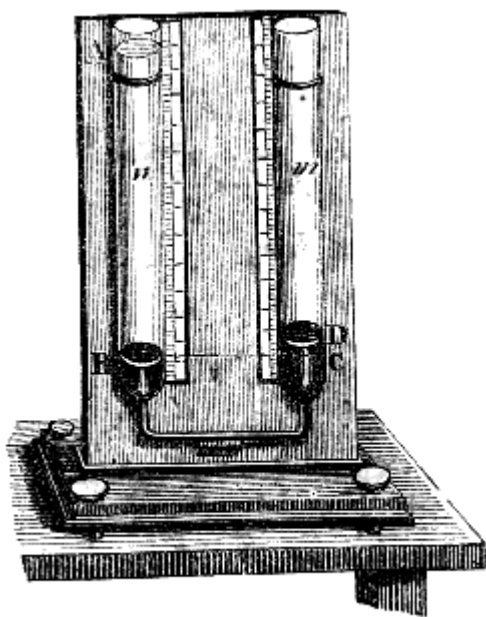


Fig. 43 (a. = 72).

**89. Equilibrio di due liquidi eterogenei in due vasi comunicanti.** - Allorchè due liquidi di densità differente e senza azione chimica l'uno sull'altro, sono contenuti in due vasi comunicanti, alle due condizioni di equilibrio già conosciute (86) bisogna aggiungere questa, che *le altezze delle colonne liquide, che si fanno equilibrio, devono essere in ragione inversa delle densità dei due liquidi*.

Per dimostrare questo principio coll'esperienza, si prende un tubo ricurvo *mn*, fisso ad una tavoletta verticale (fig. 43) e vi si versa del mercurio; quindi in uno dei rami *AB* si versa dell'acqua. Siccome la colonna d'acqua *AB* esercita in *B* una pressione sul mercurio, il livello di quest'ultimo si abbassa nel ramo *AB* e si eleva nell'altro di una quantità *CD*; di modo che, stabilito l'equilibrio, se si immagina in *B* un piano orizzontale *BC*, la colonna di acqua *AB* fa equilibrio alla colonna di mercurio *DC*. Se si misurano allora le altezze *DC* ed *AB* mediante due scale fissate parallelamente alle braccia del tubo, si trova che la *DC* è tredici volte e mezzo minore della *AB*. Ora,

vedremo quanto prima, che la densità del mercurio è 13 volte e mezzo quella dell'acqua; adunque le altezze sono in ragione inversa delle densità. Si comprende infatti, come, dovendo essere uguali le pressioni, sopra una medesima sezione orizzontale, questo risultato non possa ottenersi se non guadagnando in altezza ciò che si perde in densità.

Il principio precedente si può dedurre da un calcolo semplicissimo. Perciò sieno *d* e *d'* le densità dell'acqua e del mercurio, *h* e *h'* le altezze di questi liquidi quando sono in equilibrio, e sia *g* l'intensità della gravità. La pressione in *B*, essendo proporzionale alla densità del liquido sovrastante alla sua altezza ed all'intensità della gravità, ha per misura il prodotto *dhg*. Per la stessa ragione, la pressione che si esercita in *C* ha per misura *d'h'g*. Ma quando vi è equilibrio, queste pressioni sono uguali; dunque si ha *dhg = d'h'g*, o, sopprimendo il fattor comune *g*, *dh = d'h'*. Ora quest'ultima eguaglianza altro non è che l'espressione del principio che si trattava di dimostrare, poichè, dovendo i due prodotti *dh* e *d'h'* restar sempre uguali fra loro, ne segue che quanto maggiore sarà *d'* rispetto a *d* tanto minore sarà *h'* rispetto ad *h*.

Questo principio di idrostatica può servire a determinare la densità di un liquido. Infatti, supponiamo che l'uno dei rami del tubo precedente contenga acqua e l'altro olio, e che le altezze rispettive delle due colonne liquide, che si fanno equilibrio, siano 38 centimetri per l'olio, e 35 per l'acqua. Prendendo per unità la densità dell'acqua, e rappresentando con *x* quella dell'olio, si ha

$$38 \cdot x = 35 \cdot 1: \text{ da cui } x = 35/38 = 0,92$$

## APPLICAZIONI DEI PRECEDENTI PRINCIPII DI IDROSTATICA

**90. Torchio idraulico.** - Il principio dell'eguaglianza di pressione ricevette una importante applicazione nel *torchio idraulico*, che Pascal immaginò, e Bramah costruì per la prima volta a Londra nell'anno 1796.

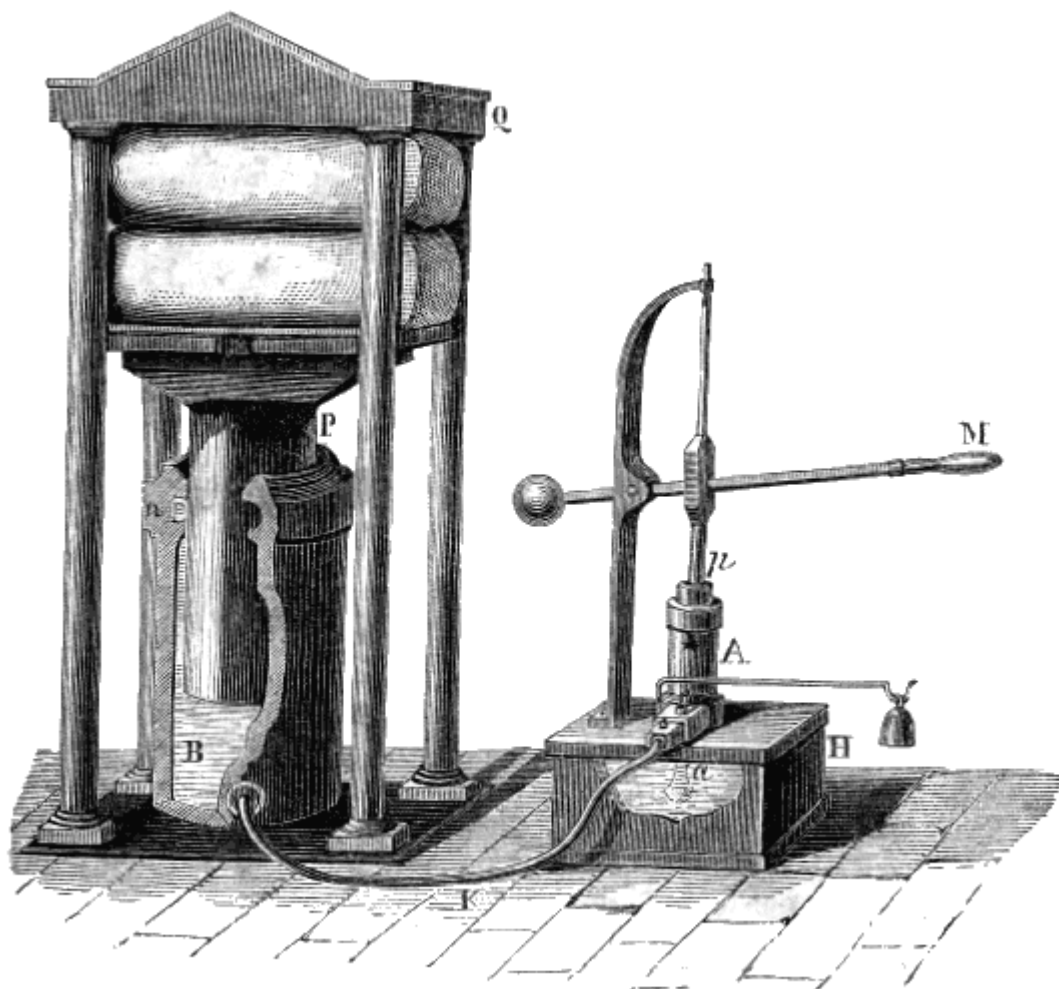


Fig. 44 (a. = 2m).

Questo apparato, mediante il quale si ponno produrre delle enormi pressioni, si compone di un corpo di tromba B, a pareti assai resistenti (fig. 44). In esso sale e discende, a dolce attrito, un lungo cilindro P di metallo, il quale fa l'ufficio di stantuffo, non toccando però le pareti del corpo di tromba che alla loro parte superiore. Lo stantuffo P porta una lastra di ghisa, che sale e scende con esso, scorrendo fra quattro colonne dello stesso metallo, le quali sostengono nel medesimo tempo una seconda lastra Q, ad esse fissata. È appunto fra quest'ultima e la lastra mobile che si collocano i corpi che si vogliono comprimere.

Lo stantuffo P si fa salire nel modo seguente: riempito di acqua il corpo di tromba B, vi si trasmette la pressione col mezzo d'una tromba premente A, detta *tromba d'iniezione*, la quale è posta in comunicazione col corpo di tromba B mediante un tubo di piombo K. La tromba A è mossa da una leva M. Quando il suo stantuffo *p* sale, al disotto si forma il vuoto, e l'acqua contenuta nel serbatoio H viene aspirata per mezzo di un tubo *a*, terminato da un cappelletto a piccoli fori, onde arrestare i corpi estranei che si potessero trovare nell'acqua. Quando in seguito lo stantuffo *p* discende, spinge l'acqua nel corpo di tromba B per mezzo del tubo K.

La figura 45 rappresenta in ispaccato e sopra una scala più grande un sistema di valvole necessarie all'apparato. La valvola *c* si apre allorchè lo stantuffo *p* si innalza, e si chiude quando discende. Ma allora la valvola *o* viene sollevata dalla pressione dell'acqua, la quale passa in seguito nel condotto K. La valvola *i* è una *valvola di sicurezza*, tenuta in posto da un peso che agisce su di essa mediante una leva (fig. 44). Si può limitare la pressione aumentando o diminuendo il peso

posto sulla valvola, perchè, tosto che essa sopporta dal basso all'alto una pressione maggiore del suo carico, si solleva e lascia sfuggire l'acqua. Una vite  $r$ , che si può muovere ad arbitrio, serve a scaricare l'apparato, lasciando libero il corso all'acqua per ritornare dal corpo di tromba B nel serbatoio H. In fine, allorquando si vogliono conservare dei corpi compressi per qualche tempo, si gira la vite  $h$  in modo da chiudere la valvola  $o$ .

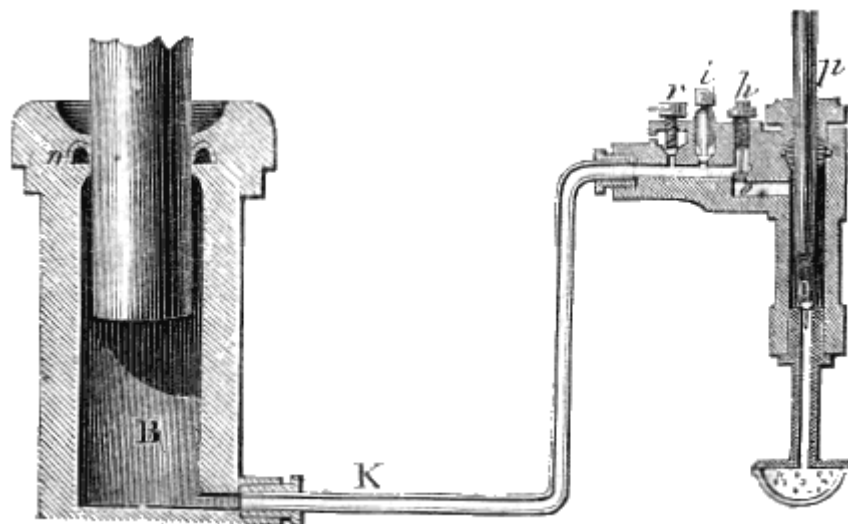


Fig. 45.

Avvi un altro pezzo che merita di essere descritto, ed è il *cuoio convesso*. Chiamasi così un cuoio forte, imbevuto di olio ed impermeabile all'acqua, che serve a chiudere esattamente il corpo di tromba B. Questo cuoio, ricurvo a guisa di un U rovescio, si avvolge circolarmente in una cavità  $n$  praticata all'alto della parete del corpo di tromba. Quanto più l'acqua in quest'ultimo è compressa, tanto più questo cuoio si applica, da una parte al corpo di tromba, e dall'altra allo stantuffo P, in modo da impedire qualunque fuga.

La pressione che si può ottenere mediante il torchio idraulico, dipende dal rapporto fra la sezione dello stantuffo P e quella dello stantuffo  $p$ . Se la prima è 50 o 100 volte maggiore della seconda, la pressione che lo stantuffo P sopporta dal basso all'alto sarà 50 o 100 volte quella esercitata dallo stantuffo  $p$ . Inoltre, si può aumentare la pressione anche per mezzo della leva M. Infatti tenendo il braccio di leva della potenza uguale a cinque volte quello della resistenza, la potenza verrà quintuplicata (45). Se adunque un uomo esercita in M uno sforzo di  $30^{\text{ch}}$ , l'effetto trasmesso dallo stantuffo  $p$  sarà di  $150^{\text{ch}}$ , e quello che trasmetterà lo stantuffo P, supposto che la sua sezione sia 100 volte quella del piccolo, sarà di  $15,000^{\text{ch}}$ .

Bisogna notare che quanto più il diametro dello stantuffo P sarà grande rispetto a quello dello stantuffo  $p$ , tanto più la corsa del primo sarà lenta in confronto a quella del secondo, vale a dire che *ciò che si guadagna in forza si perde in velocità*. Questo difatti è un principio generale di meccanica che si verifica in tutte le macchine.

Il torchio idraulico viene adoperato in tutti i lavori, nei quali necessitano grandi pressioni. Lo si adopera per sodare i panni, per estrarre il succo dalle barbabietole, l'olio dai semi oleosi. Serve altresì per provare i cannoni, le caldaie a vapore e le catene destinate alla marina.

**91. Livello ad acqua.** - Il *livello ad acqua* è una applicazione delle condizioni di equilibrio nei vasi comunicanti (87). Esso si compone di un tubo di latta o di ottone piegato a gomito alle sue estremità; a queste sono adattati due tubi di vetro D ed E (fig. 46). Per servirsi di questo apparato lo si dispone orizzontalmente sopra un sostegno a tre gambe, e vi si versa dell'acqua fino a che il liquido si innalzi nei due tubi di vetro. Stabilito l'equilibrio, il liquido si trova in questi due tubi allo stesso livello, cioè la superficie del liquido in D ed in E sono in un medesimo piano orizzontale.

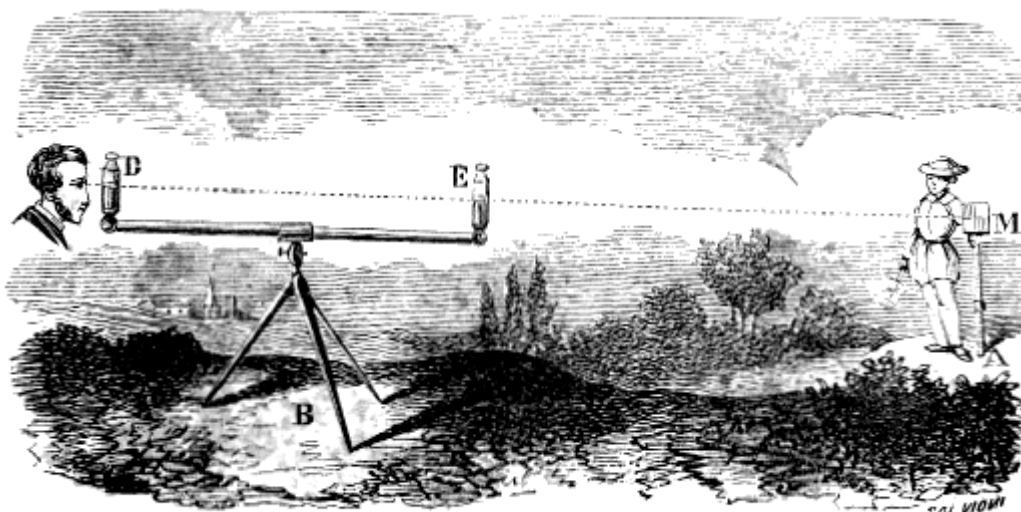


Fig. 46 (l. = 90).

Questo strumento serve a fare delle livellazioni, vale a dire a determinare di quanto un punto è più elevato di un altro. Per esempio, se si vuol trovare di quanto un punto B del suolo è al disopra di un altro punto A, si pone in quest'ultimo punto una *biffa*. Chiamasi così un regolo di legno formato da due aste unite ad incastro e terminate da una piastra M di latta, che chiamasi lo *scopo*, e che porta al suo centro un segno. Disposta questa biffa verticalmente in A, un osservatore, situato vicino al livello, dirige per i punti D ed E un raggio visuale verso la biffa, e fa segno ad un assistente di rialzare od abbassare lo scopo, sino a che il suo centro si trovi sul prolungamento della linea DE. Misurando allora l'altezza AM, e sottraendovi l'altezza del livello al disopra del suolo, si conosce di quanto il punto B è elevato sul punto A.

Il livello così determinato è il *livello apparente*, vale a dire quello che corrisponde a punti situati in un piano tangente alla superficie del globo, supposto perfettamente sferico. Il *livello vero* è quello che corrisponde a punti equidistanti dal centro della terra. Il livello apparente può esser preso pel livello vero solamente per punti poco distanti fra loro.

Fig. 47.

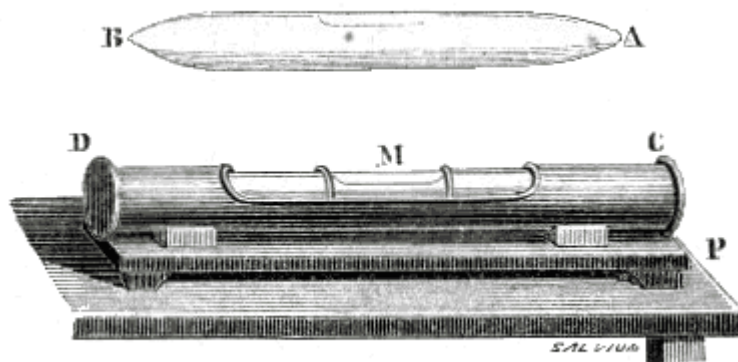


Fig. 48 (l. = 20).

**92. Livello a bolla d'aria.** - Il livello a bolla d'aria è più sensibile e più preciso del livello ad acqua. Esso consiste semplicemente in un tubo di vetro AB (fig. 47) pochissimo incurvato nel senso della lunghezza, e che si riempie di acqua, lasciandovi solo una piccola bolla d'aria, la quale tende sempre ad occuparne la parte più elevata (88). Questo tubo, chiuso alla lampada, alle sue estremità, è racchiuso in un astuccio di ottone CD (fig. 48). Quest'ultimo è fissato ad un sostegno dello stesso metallo, il quale è disposto in modo che quando giace sopra un piano orizzontale P, la bolla d'aria M si ferma precisamente fra due punti segnati sull'astuccio.

Per fare delle livellazioni con questo apparato, lo si unisce con un cannocchiale, in modo che serva ad indicare quando l'asse del medesimo è orizzontale.



**93. Corso delle acque, pozzi artesiani.** - I laghi, i mari, le sorgenti, i fiumi, sono altrettanti vasi comunicanti, nei quali le acque tendono continuamente a disporsi ad uno stesso livello vero (91).

Lo stesso accade dei *pozzi artesiani*, così chiamati perchè furono per la prima volta costruiti nell'antica provincia di Artois, nella quale se ne trovano alcuni, la cui origine sembra rimontare alla fine del XII secolo. Nella China e nell'Egitto furono praticati pozzi di questo genere in un'epoca assai più remota.

Questi pozzi sono fori assai ristretti, praticati mediante una trivella, e la profondità dei quali è assai variabile. Le acque loro, generalmente, sono zampillanti. Per intenderne la teoria bisogna notare che dei terreni componenti la corteccia del globo alcuni sono impermeabili, come le argille. Ciò posto, si supponga un bacino geografico più o meno esteso, al disotto del quale si trovino due strati impermeabili AA, BB (fig. 49) fra i quali è compreso uno strato permeabile MM. Supponiamo, infine, che quest'ultimo comunichi con altri terreni più elevati, attraverso i quali si infiltrino le acque piovane. Queste, seguendo la pendenza naturale del terreno, attraverso lo strato permeabile, si portano al disotto del bacino geografico da noi supposto, senza poter comunicare con esso, perchè ne sono separate dallo strato impermeabile AA. Ma se, incominciando dal suolo, si pratica un foro attraverso questo strato, le acque, tendendo sempre a disporsi allo stesso livello, si innalzano in questo foro ad un'altezza tanto maggiore, quanto più in alto è il terreno con cui comunicano.

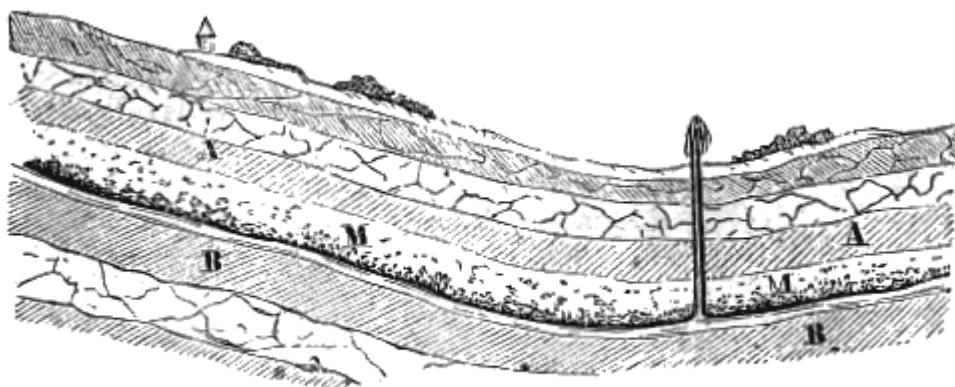


Fig. 49.

Le acque che alimentano i pozzi artesiani vengono sovente da 20 o 30 leghe di distanza. La loro profondità varia a seconda della località. Il pozzo trivellato di Grenelle che è uno dei più profondi ed abbondanti ha 548 metri di profondità, e dà per ogni minuto 3000 litri d'acqua, la quale è a 27° in ogni stagione. Dietro la legge dell'aumento di temperatura degli strati terrestri al disotto del livello del suolo (386), le acque di questo pozzo sortirebbero tutto l'anno a 32°, cioè alla temperatura ordinaria dei bagni, qualora se ne accrescesse la profondità di 150 metri.

## CORPI IMMERSI NEI LIQUIDI

**94. Pressioni sopportate da un corpo immerso in un liquido.** - Quando un corpo solido è interamente immerso in un liquido, la sua superficie sostiene in ciascun punto delle pressioni che le sono rispettivamente perpendicolari, e che crescono col crescere della profondità. Se tutte queste pressioni si immaginano decomposte in pressioni orizzontali e pressioni verticali, le prime, per ogni sezione orizzontale, sono eguali e contrarie a due a due, e, per conseguenza, si fanno equilibrio. Riguardo alle pressioni verticali poi, è facile il vedere che esse sono inuguali, e che tendono a spingere il corpo immerso dal basso all'alto.

Infatti immaginiamo un cubo immerso in una massa d'acqua (fig. 50), e supponiamo, per maggiore semplicità, che le sue pareti laterali siano disposte verticalmente. Queste pareti, presentando la stessa superficie, e trovandosi alla stessa profondità, sostengono pressioni eguali (83).



Egli è d'altronde evidente che le pressioni sopra due facce opposte sono in direzione contraria, e si fanno quindi equilibrio. Se ora consideriamo le pressioni che si esercitano sulle facce orizzontali A e B, vediamo che la prima è premuta dall'alto al basso dal peso di una colonna d'acqua avente per base la faccia stessa, e per altezza AD (80); e parimenti, la faccia inferiore è spinta dal basso all'alto dal peso di una colonna d'acqua avente per base questa faccia stessa e per altezza BD (81). Il cubo tende adunque ad essere sollevato per la differenza di queste pressioni, differenza che è

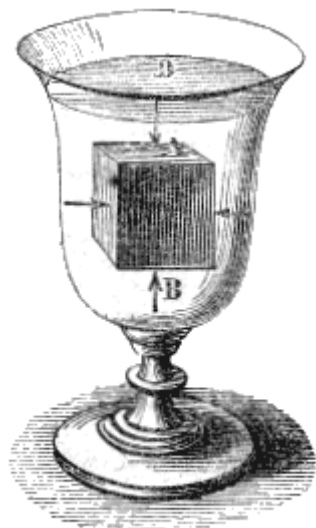


Fig. 50.

evidentemente eguale al peso di una colonna d'acqua avente la stessa base e la stessa altezza del cubo; per conseguenza, *questa pressione equivale al peso stesso del volume d'acqua spostato dal corpo immerso*. Si può riconoscere, anche mediante il ragionamento seguente, che tutti i corpi immersi in un liquido sostengono, dal basso all'alto, una spinta eguale al peso del liquido spostato. Infatti, in una massa liquida in equilibrio, consideriamo una porzione di liquido di una forma qualunque, sferica, ellissoidica, o irregolare, e supponiamola solidificata, senza aumento nè diminuzione di volume. È evidente, che la parte così solidificata supporterà, per parte della massa liquida, le stesse pressioni che per lo avanti, e che per conseguenza, essa sarà ancora in equilibrio; ciò che non può aver luogo se non perchè è soggetta dal basso all'alto ad una spinta eguale al suo peso. Ora, se invece della parte solidificata, si immagina un corpo di un'altra sostanza, ma esattamente dello stesso volume e della stessa forma, questo corpo sosterrà necessariamente le stesse pressioni che sopportava il liquido

solidificato, e da quel momento sarà sottoposto ei pure ad una spinta uguale al peso del liquido spostato.

**93. Principio d'Archimede.** - Secondo ciò che dicemmo, tutti i corpi immersi in un liquido sono sottoposti all'azione di due forze opposte la gravità: che tende ad abbassarli, e la spinta del liquido, che tende a sollevarli con uno sforzo eguale al peso stesso del liquido, che il corpo sposta. Il peso di quest'ultimo è adunque distrutto in tutto od in parte da questa spinta; dal che si conchiude che *un corpo immerso in un liquido perde tanto del proprio peso quant'è il peso del liquido spostato*.

Questo principio, che serve di base alla teoria dei corpi immersi e dei corpi galleggianti, è conosciuto sotto il nome di *principio d'Archimede*, perchè fu scoperto da questo celebre geometra, morto a Siracusa 212 anni prima dell'era cristiana.

Il principio di Archimede si dimostra sperimentalmente, mediante la bilancia idrostatica, la quale altro non è che una bilancia ordinaria, munita a ciascun piatto di un uncino, ed il di cui giogo può essere sollevato ad arbitrio per mezzo di un'asta dentata che si fa muovere mediante un rocchetto C (fig. 51). Un nottolino D trattiene l'asta dentata quando la si è sollevata. Spinto il giogo in alto, si sospende, al disotto dell'uno de' suoi piatti, un cilindro cavo A di ottone, ed al disotto di quest'ultimo un cilindro pieno B, il di cui volume è esattamente eguale alla capacità del primo; quindi, sull'altro piatto si pongono dei pesi fintanto che si stabilisce l'equilibrio. Se allora si riempie d'acqua il cilindro A, è tolto l'equilibrio; ma se si abbassa nello stesso tempo il giogo, in modo che il cilindro B si immerga interamente nell'acqua di un vaso sottoposto, si vede ristabilirsi l'equilibrio. Il cilindro B perde adunque, per la sua immersione, tanto del proprio peso quant'è il peso dell'acqua versata nel cilindro A. Il principio d'Archimede trovasi così dimostrato, poichè la capacità di quest'ultimo cilindro è precisamente uguale al volume del cilindro B.

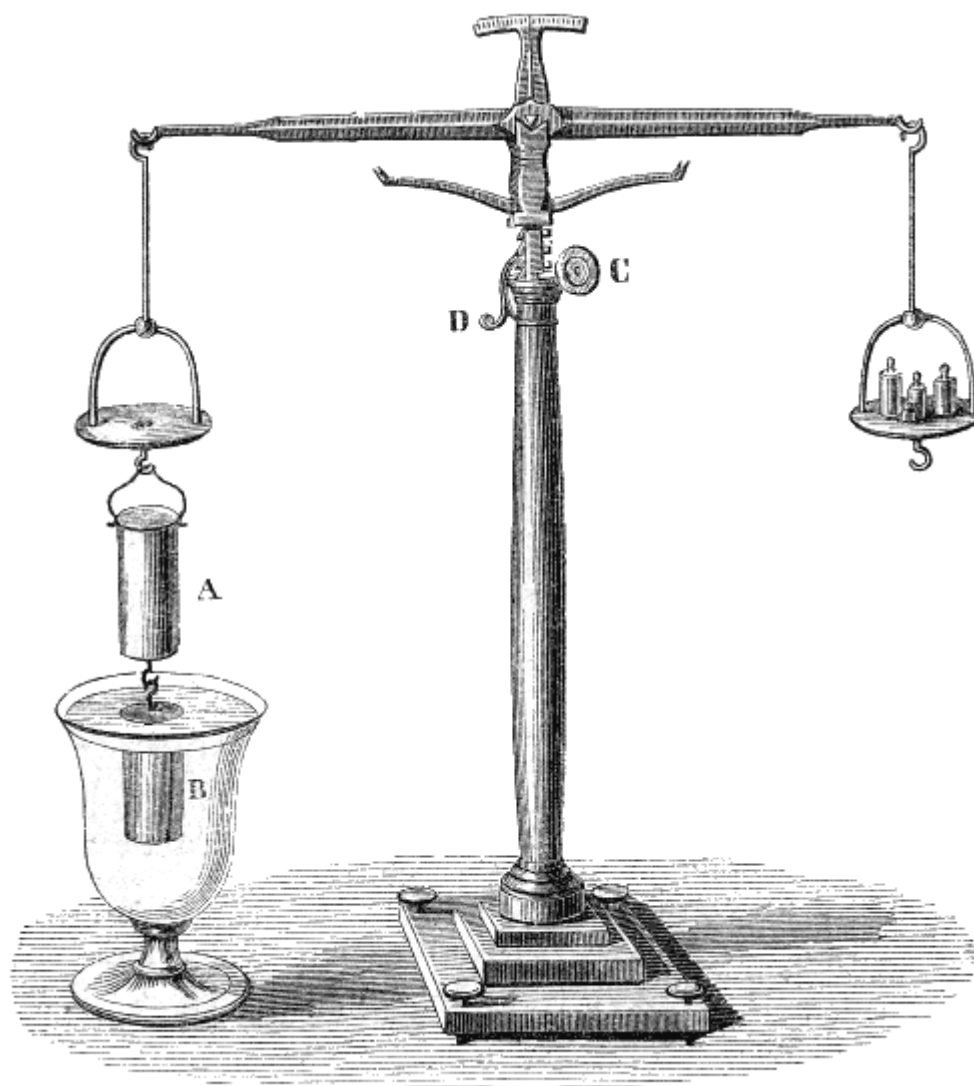


Fig. 31 (a. = 61.)

**96. Determinazione del volume di un corpo.** - Il principio d'Archimede fornisce il mezzo di ottenere, con precisione, il volume di un corpo di forma anche la più irregolare, purchè non sia solubile nell'acqua. Perciò, lo si sospende, mediante un filo sottile, alla bilancia idrostatica, e lo si pesa prima nell'aria, indi nell'acqua distillata ed a 4°. La perdita di peso che allora si verifica è il peso dell'acqua spostata. Dal peso di quest'acqua si deduce il suo volume, e per conseguenza, anche il volume del corpo immerso che evidentemente è ad esso eguale. La perdita di peso sia, per es., di 155 grammi. Essa indica che l'acqua spostata pesa 155 grammi; ma si sa che il grammo è il peso di un centimetro cubo d'acqua distillata ed a 4°; dunque il volume d'acqua spostata e per conseguenza quello del corpo immerso, è di 155 centimetri cubi.

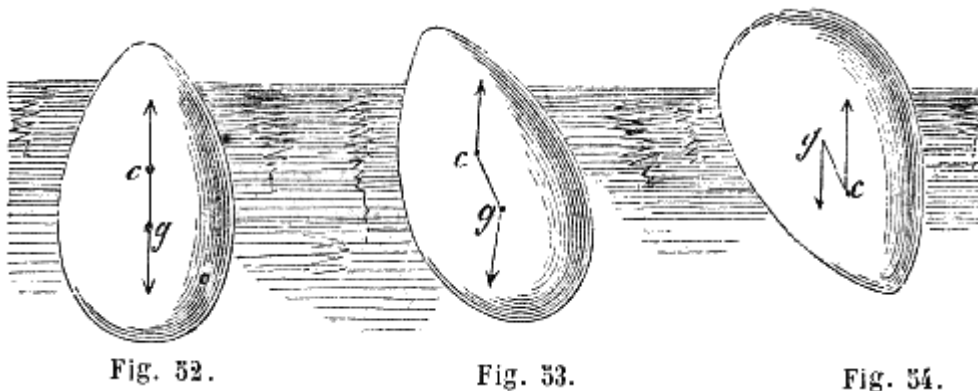
**97. Equilibrio dei corpi immersi e dei corpi galleggianti.** - Dalle considerazioni teoriche che ci condussero al principio d'Archimede (94 e 95), si rileva, che se un corpo immerso in un liquido ha la medesima densità del liquido, la spinta che tende a sollevare questo corpo è uguale al suo peso. Il corpo rimane adunque sospeso nel seno del liquido.

Ma se il corpo è più denso del liquido, cade perchè il suo peso supera la spinta diretta dal basso all'alto.

Infine, se il corpo immerso è meno denso del liquido, prevale la spinta di quest'ultimo. Il corpo concepisce adunque un movimento di ascesa, e s'innalza fuori del liquido fino a che non ne sposti che un volume di peso eguale al proprio. Allora si dice che il corpo *galleggia*. La cera, il legno e tutti i corpi più leggeri dell'acqua galleggiano alla sua superficie.

Perchè i corpi, immersi o galleggianti, prendano uno stato di equilibrio stabile, è necessario: 1.° *che il liquido spostato abbia un peso eguale al loro*; 2.° *che il loro centro di gravità sia al disotto del centro di pressione (83) e sulla stessa verticale*.

Siano infatti  $c$  il centro di pressione e  $g$  il centro di gravità di un corpo galleggiante (fig. 52); se sono soddisfatte le due condizioni antecedenti, le forze applicate in  $c$  ed in  $g$ , essendo eguali e contrarie, si distruggono, ed avvi equilibrio. Di più, questo equilibrio è stabile, perchè se il corpo è inclinato, come lo mostra la figura 53, le forze applicate in  $c$  ed in  $g$  tendono evidentemente a ricondurlo nella posizione verticale. Ma se il centro di pressione trovasi al disotto del centro di gravità, non vi può essere che un equilibrio instabile, quando i punti  $g$  e  $c$  sono sulla stessa verticale; perchè appena che il corpo si inclina (fig. 54) le azioni delle due forze concorrono per farlo rovesciare e ricondurlo nella sua primitiva posizione (fig. 52). Tuttavia si dimostra, in meccanica, che vi può essere equilibrio stabile anche quando il centro di pressione è inferiore al centro di gravità. Ma bisogna allora che quest'ultimo sia al disotto di un certo punto che si chiama *metacentro*, e che si determina mediante il calcolo. La conoscenza di questo punto è di somma importanza nella disposizione della zavorra delle navi, perchè dalla posizione relativa di questi punti dipende la loro stabilità.



Secondo il principio d'Archimede, i corpi galleggiano tanto più facilmente alla superficie dei liquidi, quanto questi sono relativamente più densi. Si ponga, per es., un uovo nell'acqua ordinaria, esso va a fondo, perchè a volume uguale è più pesante dell'acqua; ma se lo si pone nell'acqua satura di sale, galleggia. Un pezzo di quercia galleggia sull'acqua, ma si sommerge nell'olio. Una massa di ferro galleggia in un bagno di mercurio; nell'acqua cala a fondo immediatamente. Il volume della parte immersa di un corpo galleggiante è in ragione inversa della densità del liquido, od in ragione diretta di quella del corpo stesso.

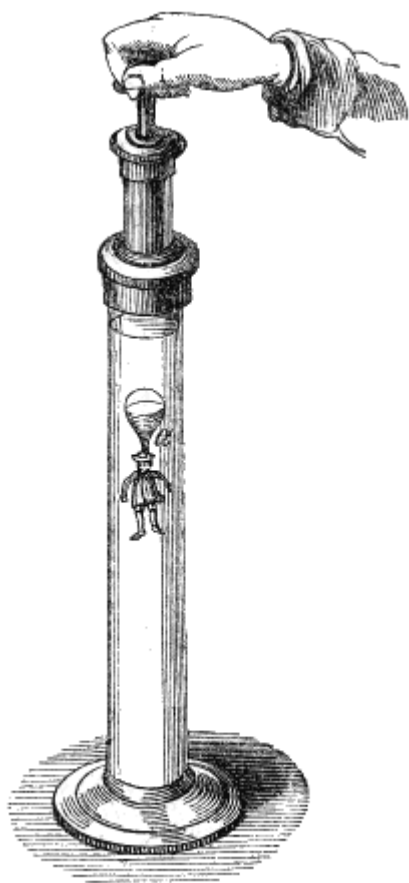


Fig. 53.

**98. Diavolo di Cartesio.** - I diversi effetti di sospensione, immersione e galleggiamento in un liquido, sono riprodotti in un piccolo apparato, detto *diavolo di Cartesio* (fig. 55). Esso si compone di una provetta di vetro riempita in parte di acqua, e sormontata da un tubo di ottone nel quale avvi uno stantuffo che si muove a mano, e che chiude esattamente. Nel liquido avvi una piccola figura di smalto, sostenuta da una bolla di vetro *a*, che contiene aria ed acqua e che galleggia alla superficie del liquido. Questa bolla ha, alla sua parte inferiore, una piccola apertura per la quale l'acqua può entrare o sortire, secondo che l'aria interna della bolla è più o meno compressa. La quantità d'acqua introdotta previamente nella bolla è tale, che l'apparato non ha bisogno che di un piccolissimo aumento di peso per sommergersi intieramente. Se adunque colla mano si esercita una leggera pressione sullo stantuffo, come mostra la figura 55, l'aria sottoposta si trova compressa, e trasmette la sua pressione all'acqua del vaso ed all'aria che trovasi nella bolla. Ne risulta che una certa quantità d'acqua penetra in quest'ultima, ed il corpo galleggiante, reso più pesante, si immerge. Se allora cessa la pressione, l'aria della bolla si dilata, ne discaccia l'eccesso d'acqua penetratovi, ed il corpo immerso divenuto più leggero, torna di nuovo a galleggiare.

**99. Vescica natatoria dei pesci.** - Moltissime specie di pesci portano nell'addome o sotto la spina dorsale una vescica piena di aria, detta *vescica natatoria*. Il pesce, comprimendola o dilatandola mediante uno sforzo muscolare, fa variare il proprio volume, e produce effetti analoghi a quelli che osservammo nel

diavolo di Cartesio; vale a dire che si abbassa e si innalza a volontà nel seno delle acque.

**100. Nuoto.** - Il corpo umano, a volume uguale, è generalmente più leggero dell'acqua dolce: può quindi galleggiare naturalmente su questo liquido, e meglio ancora sull'acqua salata del mare che è più densa. La difficoltà del nuoto adunque non consiste nel mantenersi alla superficie dell'acqua, ma nel poter tenere la testa fuori del liquido, onde respirare liberamente. Ora, siccome nell'uomo la testa ha un gran peso in confronto alle membra inferiori, così essa tende a sommergersi; ed è appunto questo che rende il nuoto per l'uomo un'arte che ei deve coltivare. Nei quadrupedi invece, la testa, essendo meno pesante che la parte posteriore del corpo, può rimanere fuori dell'acqua senza sforzo; perciò questi animali nuotano naturalmente.

## PESI SPECIFICI, AREOMETRI A VOLUME COSTANTE

**101. Determinazione dei pesi specifici.** - Abbiamo già veduto (41) che il peso specifico di un corpo, sia solido, sia liquido, è un numero che esprime quanto pesi questo corpo, a volume eguale, comparativamente all'acqua distillata presa a 4 gradi. Dietro questa definizione, per calcolare il peso specifico di un corpo, basta determinare il suo peso e quello di un egual volume di acqua; quindi dividere il primo peso pel secondo: il quoziente è il peso specifico cercato, assumendosi per unità quello dell'acqua.

Per determinare i pesi specifici dei solidi e dei liquidi si usano tre metodi: il metodo della bilancia idrostatica, quello degli areometri e quello della boccetta. Tutti e tre si riducono, secondo quel che abbiamo detto, a cercare dapprima il peso del corpo, e quindi quello di un egual volume di acqua. Noi applicheremo successivamente questi diversi metodi alla ricerca dei pesi specifici dei solidi, quindi a quella dei liquidi.

**102. Pesì specifici dei solidi.** - 1.º *Metodo della bilancia idrostatica.* - Per ottenere il peso specifico di un solido mediante la bilancia idrostatica (fig. 51), si pesa dapprima questo corpo nell'aria, quindi, sospendendolo all'uncino della bilancia, lo si pesa nell'acqua. La perdita di peso che allora si verifica è, secondo il principio di Archimede, il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo; non rimane adunque che a dividere il peso del corpo nell'aria, per la perdita di peso che soffre nell'acqua. Il quoziente è il peso specifico richiesto (101).

Se P rappresenta il peso di un corpo nell'aria, P' il suo peso nell'acqua, e D il suo peso specifico, essendo  $P - P'$  il peso dell'acqua spostata, si ha  $D = P / (P - P')$ .

2.º *Metodo dell'areometro di Nicholson.* - L'*areometro di Nicholson* è un apparato galleggiante, che serve a determinare il peso specifico dei corpi. Esso si compone di un cilindro cavo B (fig. 56) di latta, terminato da un cono C riempito di piombo.

Quest'ultimo serve a zavorrare l'apparato in modo che il suo centro di gravità si trovi al disotto del centro di pressione, condizione necessaria affinché l'equilibrio sia stabile (97). Alla parte superiore, l'apparato termina in un'asta, che porta un piatto A destinato a ricevere i pesi ed il corpo, di cui si cerca il peso specifico. Infine, sull'asta evvi un'incisione o che si chiama *punto di affioramento*, e che serve ad indicare se è sempre uguale la porzione immersa dell'apparato.

Ciò posto, per sperimentare con questo apparato, si cerca dapprima il peso che bisogna mettere nel piatto A, acciocchè l'*areometro* si immerga nell'acqua fino al punto di affioramento; perchè senza questo peso, s'aderge in parte fuori dell'acqua. Supponiamo che questo peso sia, per es., 125 grammi, ed ammettiamo che si tratti di trovare il peso specifico dello zolfo; se ne prende un pezzo di un peso minore di 125 grammi, lo si pone nel piatto A, e vi si aggiungono tanti grammi fino a che l'*areometro* affiori di nuovo. Se si aggiunsero, per es., 55 grammi, è evidente che il peso dello zolfo sarà la differenza tra 125 e 55, ossia 70 grammi. Determinato così il peso dello zolfo nell'aria,

altro non rimane che a trovare il peso di un egual volume di acqua. Perciò si solleva l'*areometro*, e si porta il pezzo di zolfo dal piatto A sul piatto C in *m*, come mostra la figura. Il peso totale dello strumento non è cambiato, eppure immergendolo di nuovo, si osserva che più non affiora; la causa si è, che lo zolfo, essendo immerso, perde attualmente una parte del suo peso eguale al peso dell'acqua che sposta. Se allora si aggiungono nel piatto superiore dei pesi fino a tanto che l'*areometro* torni ad affiorare, per esempio 34<sup>gr</sup>,4, questo numero rappresenta il peso del volume di acqua spostato, vale a dire di un volume d'acqua eguale a quello dello zolfo. Ora non resta adunque che a dividere 70 grammi, peso dello zolfo nell'aria per 34<sup>gr</sup>,4; il quoziente 2,03 rappresenta il peso specifico dello zolfo.

Se la sostanza di cui si cerca il peso specifico è più leggiera dell'acqua, tendendo a galleggiare, non può rimanere sul piatto inferiore C.

In tal caso si adatta a quest'ultimo una piccola reticella mobile, di filo di ferro, la quale si oppone all'ascesa del corpo: in quanto al resto l'esperienza si compie come poc'anzi.

3.º *Metodo della boccetta.* - Questo metodo si impiega specialmente pei corpi in polvere. Esso richiede semplicemente l'uso di una piccola boccia a collo largo, che si chiude con un turacciolo di vetro smerigliato.

Dopo di aver pesata la polvere di cui si cerca il peso specifico, la si colloca in uno dei piatti di una bilancia, e le si pone accanto la boccetta suddescritta, ripiena esattamente di acqua, chiusa ed asciugata con cura. Quindi si stabilisce la tara, ponendo nell'altro piatto della migliarola di piombo.

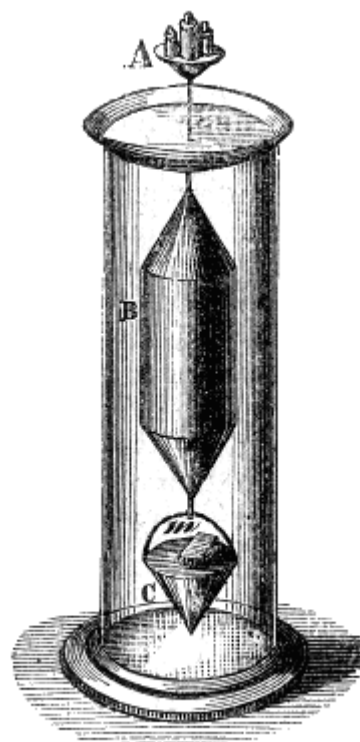


Fig. 56 (a. — 40).

Ciò fatto, si ritira la boccetta, la si schiude, e vi si versa la polvere. Riposto il turacciolo, avendo cura che non resti aria nella boccetta, la si colloca di nuovo nel piatto ove era dapprima. L'equilibrio più non sussiste, perchè la polvere ha scacciata dalla boccetta una certa quantità di acqua. Se, dal lato della boccia, si aggiungono dei pesi fino a che la bilancia riprende la sua posizione orizzontale, il numero dei grammi aggiunti rappresenta il peso di un volume d'acqua eguale a quello della polvere. Altro non rimane a fare che il calcolo accennato nei due metodi precedenti.

In questa esperienza è necessario scacciare una piccola quantità di aria che è aderente alle molecole del corpo in polvere, e che produce lo spostamento d'un volume d'acqua troppo considerevole. A quest'effetto, dopo d'aver versata la polvere nell'acqua della boccetta, si pone quest'ultima sotto la campana della macchina pneumatica, e si fa il vuoto; l'aria allora sfugge in virtù della sua forza elastica. Lo stesso risultato si otterrebbe facendo bollire l'acqua nella quale si trova la polvere.

**103. Corpi solubili nell'acqua.** - Se, con uno dei tre metodi, che testè abbiamo considerati, accadesse che il corpo fosse solubile nell'acqua, si troverebbe il peso specifico di questo corpo relativamente ad un liquido, nel quale non fosse solubile, per esempio l'alcool. Dopo, cercando, con uno dei processi che descriveremo, il peso specifico dell'alcool relativamente all'acqua, si ha il peso specifico della sostanza data, moltiplicando il suo peso specifico relativamente all'alcool, pel peso specifico di questo liquido relativamente all'acqua.

Infatti, siano, a volume eguale, P il peso della sostanza, P' quello dell'alcool, P'' quello dell'acqua,  $P/P'$  sarà il peso specifico della sostanza relativamente all'alcool, e  $P'/P''$  quello dell'alcool relativamente all'acqua. Ora, il prodotto di queste due frazioni, omettendo il fattor comune P', è  $P/P''$ , che rappresenta appunto il peso specifico della sostanza relativamente all'acqua.

<i>Pesi specifici dei solidi, a zero, relativamente a quello dell'acqua distillata ed a 4 gradi, preso per unità</i>			
Platino laminato	22,069	Marmo statuario	2,837
Platino lavorato a martello	20,337	Cristallo di rocca puro	2,653
Oro lavorato a martello	19,362	Vetro di Saint-Gobain	2,488
Oro fuso	19,258	Porcellana della China	2,385
Piombo fuso	11,352	Porcellana di Sevres	2,146
Argento fuso	10,474	Zolfo nativo	2,033
Bismuto fuso	9,822	Avorio	1,917
Rame passato alla trafilatura	8,878	Antracite	1,800
Rame fuso	8,788	Carbon fossile compatto	1,329
Ottone	8,383	Succino	1,078
Acciaio non incrudito	7,816	Ghiaccio fondentesi	0,930
Ferro in barre	7,788	Faggio	0,852
Ferro fuso	7,207	Frassino	0,845
Ghisa	7,053	Tasso	0,807
Stagno fuso	7,291	Olmo	0,800
Zinco fuso	6,861	Pomo	0,733
Antimonio fuso	6,712	Abete giallo	0,657
Diamanti (i più pesanti)	3,531	Pioppo bianco di Spagna	0,529
Diamanti (i più leggeri)	3,501	Pioppo comune	0,389
Flint - glass	3,329	Sughero	0,240

**104. Pesi specifici dei liquidi.** - 1.º *Metodo della bilancia idrostatica.* - All'uncino di uno dei piatti della bilancia si sospende un corpo sul quale il liquido, di cui si cerca il peso specifico, non abbia azione chimica, per es., una sfera di platino. Pesando successivamente questa sfera nell'aria, nell'acqua distillata presa a 4 gradi, e nel liquido dato, si nota la perdita di peso che questa massa soffre nell'acqua e nel secondo liquido, e così si ottengono due numeri che rappresentano, a volume usuale, il peso dell'acqua e quello del liquido di cui si tratta; per conseguenza, altro non resta che a dividere il secondo peso poi primo.

Sia P il peso della sfera di platino nell'aria, P' il suo peso nell'acqua, P'' il suo peso nel secondo liquido, e D il peso specifico di quest'ultimo; il peso dell'acqua spostata dalla sfera di platino è P-P', e quello del secondo liquido P-P'', da cui  $D = (P - P'') / (P - P')$ .

2.° *Metodo dell'areometro di Fahrenheit.* - L'areometro di Fahrenheit (fig. 57) è un galleggiante destinato a determinare i pesi specifici dei liquidi. La sua forma è analoga a quella dell'areometro di Nicholson: ma non ha il piatto alla parte inferiore, ed è in vetro, acciocchè si possa porre in ogni specie di liquido. La sua asta porta pure un punto di affioramento, onde appaia se costante è la porzione immersa. Finalmente, alla parte inferiore, è zavorrato mediante una piccola bolla piena di mercurio.

Prima di sperimentare con questo areometro, se ne determina con precisione il peso; quindi, facendolo galleggiare in una provetta riempita d'acqua, si aggiungono dei pesi nella capsula superiore fino a che il punto di affioramento abbia raggiunto il livello dell'acqua. In questo stato, secondo la prima condizione di equilibrio dei corpi galleggianti (97), il peso dell'areometro, unitamente al peso che trovasi nella capsula, rappresenta il peso di un volume d'acqua eguale a quello della parte immersa dell'apparato. Determinando nel modo istesso il peso di un egual volume del liquido di cui si cerca il peso specifico, rimane solo a dividere l'ultimo peso pel primo.

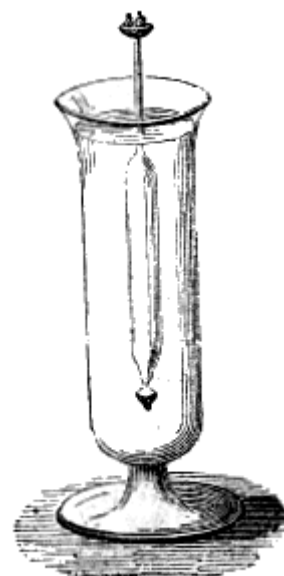


Fig. 57 (a. = 25).

L'areometro di Fahrenheit, al pari di quello di Nicholson, non offre per la determinazione dei pesi specifici, la precisione che dà la bilancia idrostatica.

3.° *Metodo della boccetta.* - Questo metodo consiste nel prendere una piccola boccia di vetro, che si chiude con un turacciolo smerigliato, pesarla vuota d'ogni liquido, e quindi pesarla piena successivamente di acqua e del liquido di cui si cerca il peso specifico. Sottraendo allora il peso del vetro da quello ottenuto in ciascuna delle due pesate successive, si ha il peso dell'acqua e quello del liquido, sotto un egual volume, e quindi se ne deduce il peso specifico cercato.

**105. Temperatura da osservarsi nella ricerca dei pesi specifici.** - Siccome il volume dei corpi aumenta coll'aumentare della temperatura, e siccome questo aumento varia da un corpo all'altro, ne segue che il peso specifico di una sostanza qualunque non è rigorosamente lo stesso a temperature differenti. Questa è la causa per cui, per la determinazione dei pesi specifici, si dovette scegliere una temperatura costante.

Si convenne, per conseguenza, che l'acqua debba essere a 4 gradi, perché questa è la temperatura cui corrisponde al suo massimo grado di densità. Gli altri corpi, solidi o liquidi, si suppongono a zero. Queste condizioni non vengono generalmente soddisfatte allorchè si determina un peso specifico; e perché lo sieno, vedremo le opportune correzioni da farsi, quando studieremo il calorico.

<i>Pesi specifici dei liquidi, a zero, relativamente a quello dell'acqua distillata ed a 4 gradi, preso per unità</i>			
Mercurio	13,598	Acqua distillata ed a 4°	1,000
Acido solforico	1,841	Acqua distillata ed a 0°	0,999
Acido cloridrico	1,24	Olio d'oliva	0,915
Acido azotico	1,217	Essenza di trementina	0,870
Latte	1,03	Olio di nafta	1,847
Acqua di mare	1,026	Alcool assoluto	0,792
Vino di Bordò	0,994	Etere solforico	0,715

**106. Uso delle tavole dei pesi specifici.** - Le tavole dei pesi specifici offrono numerose applicazioni. In mineralogia, forniscono un carattere distintivo onde riconoscere le specie minerali secondo la loro densità.

Servono altresì a trovare il peso di un corpo di cui si conosce il volume, o reciprocamente, a calcolarne il volume allorquando il peso è dato.

Infatti essendo il grammo ed il chilogrammo rispettivamente il peso di un centimetro e di un decimetro cubo d'acqua, ne risulta che un volume di acqua, misurato in centimetri cubi, pesa tanti grammi quanti centimetri contiene, e se il volume è misurato in decimetri cubi, pesa altrettanti chilogrammi quanti sono i decimetri. Si ha adunque per l'acqua la formola  $P = V$ , computando però il peso in grammi od in chilogrammi, secondo che il volume si ha in centimetri od in decimetri cubi. Ciò posto, siccome il peso specifico di un corpo altro non è che un numero, il quale indica quanto pesi questo corpo relativamente all'acqua, ne segue, che un corpo, il quale ha un peso specifico due, tre volte maggiore dell'acqua, pesa pure due, tre volte di più. Per conseguenza, se si rappresenta il peso specifico con  $D$ , la formola  $P = V$  si cangia, per un corpo diverso dell'acqua, in  $P = VD$ . Vale a dire che *il peso relativo di un corpo è uguale al prodotto del suo volume pel suo peso specifico*.

Dalla formola  $P = VD$ , si deduce  $V = P/D$ ; formola che fa conoscere il volume in centimetri od in decimetri cubi, secondo che il peso è espresso in grammi od in chilogrammi.

Come applicazione della formola  $P = VD$ , proponiamoci di calcolare il diametro interno di un tubo di vetro. Per far questo, si introduce in questo tubo una colonna di mercurio, della quale si misura con precisione la lunghezza ed il peso a zero. Potendosi ritenere questa colonna di mercurio, come sensibilmente cilindrica, dalla geometria si ha  $V = \pi r^2 l$ ; in cui  $r$  rappresenta il raggio del cilindro,  $l$  la sua altezza, e  $\pi$  il rapporto fra la circonferenza ed il diametro. Sostituendo a  $V$  nella eguaglianza  $P = VD$  il valore dato dalla precedente, si ha  $P = \pi r^2 l D$ ; d'onde  $r = \sqrt{\frac{P}{\pi l D}}$ .

In modo analogo si calcolerebbe il diametro di un filo metallico assai sottile.

La formola  $P = VD$ , di cui ora facemmo uso, serve a trovare il peso relativo di un corpo, mentre le formole  $P = VDg$ , e  $P = Mg$  date precedentemente (41), rappresentano il peso assoluto.

## AREOMETRI A VOLUME VARIABILE

**107. Diverse specie di areometri.** - Gli areometri di Nicholson e di Fahrenheit ora descritti, si dicono *a volume costante ed a peso variabile*, perché si fanno sempre immergere sino ad un punto fissato, aggiungendovi dei pesi che variano a seconda dei solidi o dei liquidi sui quali si esperimenta. Ora, si costrussero anche degli areometri a volume variabile e peso costante, vale a dire che non hanno un punto di affioramento fisso e conservano sempre lo stesso peso. Questi strumenti, chiamati *pesa-sali*, *pesa-acidi*, *pesa-liquori*, non sono destinati a misurare i pesi specifici dei liquidi, ma a far conoscere se le soluzioni saline, gli acidi, gli alcool, sono più o meno concentrati.

**108. Areometro di Baumè.** - Baumè, farmacista a Parigi, morto nel 1804, costruì un areometro a peso costante, il di cui uso è assai diffuso. È un galleggiante di vetro rappresentato dalla figura 58. Esso è formato da un cannello AB, al quale sono unite due bolle, l'una al disotto dell'altra: la superiore un po' grossa, è piena d'aria, l'inferiore è piena di mercurio e serve di zavorra.

Vi sono due maniere di graduare questo istrumento, secondo che deve immergersi nei liquidi più densi dell'acqua o nei liquidi meno densi. Nel primo caso se ne regola il peso in modo che nell'acqua distillata ed a 4 gradi si immerga presso a poco fino all'estremità superiore del suo cannello, in un punto A, ove si segna 0. Per compiere la graduazione, si fa una soluzione di 85 parti di acqua, in peso, e 15 di sale marino. Essendo questa soluzione più densa dell'acqua pura, l'apparato non vi si immerge che fino ad un punto B, ove si segna 15. Dividendo finalmente l'intervallo fra i punti A e B in 15 parti eguali, e continuando le divisioni sino alla estremità inferiore del cannello, lo strumento è graduato. Le divisioni si segnano sopra una piccola lista di carta posta nell'interno del cannello.

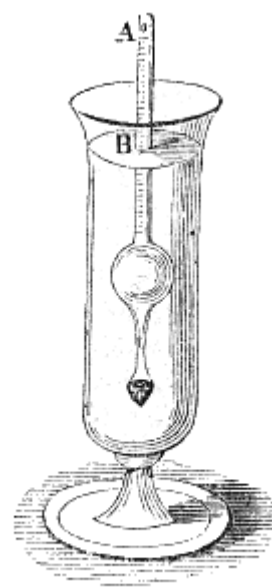


Fig. 38 (a. = 26).



L'areometro così costruito non può essere impiegato che per liquidi più densi dell'acqua, quali sono gli acidi e le soluzioni saline; esso è nel tempo istesso un pesa-acidi ed un pesa-sali. Per liquidi meno densi dell'acqua, dovendo lo zero trovarsi al basso dell'asta, la graduazione è cangiata. Baumè prese per zero il punto di affioramento in una soluzione di 90 parti di acqua, in peso, con 10 di sal marino, e, per 10 il punto di affioramento nell'acqua distillata. Dividendo poi l'intervallo compreso fra questi due punti in 10 parti eguali, e continuando la divisione sino alla sommità del cannello, l'apparato è terminato: è il pesa-liquori.

I due areometri che ora abbiamo descritti, ambedue dovuti a Baumè, sono graduati in una maniera affatto arbitraria, e non indicano nè le densità dei liquidi, nè le quantità di sale disciolte. Tuttavia si impiegano vantaggiosamente per riconoscere se una dissoluzione salina od acida venne portata ad un determinato punto di concentrazione. In breve, essi offrono dei punti determinati per mezzo dei quali si riproducono rapidamente delle mescolanze o delle soluzioni in date proporzioni, non con precisione, ma con una approssimazione sufficiente in un gran numero di casi. Per es., nella fabbricazione dei siroppi ordinarii si è constatato mediante l'esperienza che in un siroppo ben confezionato, il pesa-sali di Baumè deve marcare 35, a freddo. In tal caso, ecco che è uno strumento che il fabbricatore può facilmente consultare pel grado di concentrazione del suo siroppo. Parimenti, siccome nell'acqua marina, alla temperatura di 22 gradi, il pesa-sali di Baumè marca 3, così si ha un'indicazione per bagni salati ordinati in certe malattie. Le proporzioni di sale marino che ordinano i medici sono, in generale, assai più deboli di quelle che dà l'areometro; vale a dire che i bagni salati artificiali contengono minore quantità di sale dell'acqua marina, il che toglie a questi bagni una parte della loro efficacia.

**109. Alcoometro centesimale di Gay-Lussac.** - L'alcoometro di Gay-Lussac è un istrumento destinato a misurare la *forza* dei liquidi spiritosi a 15 gradi, vale a dire *il numero di centesimi di alcool puro, in volume, che contengono questi liquidi a questa temperatura.*

La forma dell'alcoometro è totalmente precisa a quella dell'areometro di Baumè (fig. 58); ma la sua graduazione, che si fa a 15 gradi, è differente. La scala posta sul cannello è divisa in 100 parti, o gradi, di cui ciascuno rappresenta un centesimo d'alcool in volume; lo 0 corrisponde all'acqua pura, ed il 100 all'alcool puro. Immerso in un liquido spiritoso a 15°, l'alcoometro ne fa immediatamente conoscere la forza. Se, per esempio, in un'acquavite a 15° l'alcoometro si immerge fino alla divisione 48, ciò indica che la forza di questa acquavite è di 48 centesimi, ossia che contiene 48 centesimi del suo volume di alcool puro ed il resto di acqua; perocchè ognun sa che i liquidi conosciuti in commercio sotto i nomi di *acquavite* e di *spiriti*, sono mescolanze di acqua e di alcool.

La scala dell'alcoometro si gradua immergendo successivamente l'istrumento in varie mescolanze di alcool e di acqua in proporzioni determinate. Ma, perchè la graduazione sia esatta, bisogna tener conto della diminuzione di volume che subiscono l'acqua e l'alcool quando si mescolano.

Perciò, siano  $v$  il volume dell'acqua,  $v'$  quello dell'alcool, e  $V$  il volume della mescolanza, che è minore di  $v + v'$ , siano inoltre  $d'$  la densità dell'alcool e  $\delta$  la densità della mescolanza, densità che si determina mediante la bilancia idrostatica o l'areometro di Fahrenheit; siccome la densità dell'acqua è 1, si ha, in peso,

$$v + v'd' = V\delta \text{ da cui } V = (v + v'd')/\delta$$

Una volta conosciuto il volume  $V$ , si determina sulla scala il numero  $n$  di divisioni corrispondente al punto di affioramento nella mescolanza  $v + v'$  mediante la proporzione

$$100/n = V/v' \text{ da cui } n = 100v'/V$$

Bisogna osservare, che siccome la graduazione dell'alcoometro è fatta a 15°, le sue indicazioni non sono precise che a questa temperatura.

Infatti, a temperature più alte o più basse di 15°, aumentando o diminuendo la densità dei liquidi, l'alcoometro vi si immerge più o meno, vale a dire che il calore altera nello stesso tempo il volume dei liquidi spiritosi e le indicazioni dell'alcoometro: da ciò due cause che riunite ponno produrre un errore maggiore del 12 per 100 del valore del liquido, da 0 a 30 gradi. Per correggere questi errori, Gay-Lussac formò delle tavole che contengono, in una colonna verticale, la temperatura da 0 a 30

gradi, ed, in una colonna orizzontale, i gradi dell'areometro da 0 a 100. In queste tavole, come nelle tavole della moltiplicazione ordinaria, al punto di incontro della verticale abbassata dalla casella che contiene i gradi alcoometrici colla orizzontale che parte dalla casella ove sono i gradi del termometro, si trova il numero che indica la ricchezza reale del liquido spiritoso. Per es., se in un dato liquido alla temperatura di 22° l'areometro marca 36, nelle tavole si troverà che la ricchezza reale di questo liquido, ridotto a 15°, è 33; vale a dire cioè che contiene 33 centesimi del suo volume di alcool, e per conseguenza 67 centesimi di acqua.

**110. Pesa-sali graduati sul principio dell'alcoometro centesimale.** - Si costruiscono pure dei pesa-sali graduati sul principio dell'alcoometro centesimale; che fanno cioè conoscere in peso, la quantità del tale o tal altro sale contenuto in una soluzione. Lo zero di tutti questi strumenti corrisponde all'acqua pura; e la loro graduazione si forma facendo sciogliere 5, 10, 15, 20... grammi del dato sale, in 95, 90, 85, 80... grammi d'acqua, fino a saturazione della soluzione. Immergendo quindi successivamente lo strumento in queste soluzioni, si marca 5, 10, 15, 20, ai diversi punti di affioramento, e si divide ciascun intervallo in 5 parti eguali.

Vi è però l'inconveniente, che necessita un apposito strumento per ogni specie di sale. Quello, per es., graduato per l'azotato di potassa, darebbe indicazioni completamente false in una soluzione di carbonato di potassa o di tutt'altro sale.

Sullo stesso principio si costrussero dei pesa-latte, dei pesa-vini, destinati a misurare la quantità di acqua che la frode potesse introdurre in questi liquidi. Ma questi istrumenti non presentano una reale utilità, perchè la densità del latte e del vino essendo variabilissime anche quando questi liquidi sono perfettamente naturali, si potrebbe attribuire alla frode quello che non dipenderebbe da altro che dalla cattiva qualità del latte o del vino. Molti medici fanno pure uso del pesa-orine, fondato sullo stesso principio.

**111. Densimetri.** - I *densimetri* sono areometri graduati in modo da far conoscere la densità relativa di un liquido secondo che vi si immergono in un minore o maggior grado. Noi descriveremo quello di Gay-Lussac, e quello recentemente inventato da Rousseau.

1.° *Densimetro di Gay-Lussac.* - Il densimetro di Gay-Lussac è intieramente simile all'areometro Baumé rappresentato dalla figura 58; non ne differisce che per la graduazione, la quale varia secondo che l'apparato è destinato pei liquidi più o meno densi dell'acqua. Nel primo caso lo si zavorra in modo che nell'acqua pura si immerga fino ad un punto A (fig. 58) situato all'estremità superiore del cannello. Scegliendo in seguito un liquido la di cui densità sia conosciuta, e maggiore di quella dell'acqua, per esempio, nel rapporto di 4 a 3, vi si immerge l'apparato, il quale discende soltanto fino ad un certo punto B del cannello. Ora se si rappresentano con V e con v i volumi immersi rispettivamente nell'acqua e nel secondo liquido, siccome questi volumi sono in ragione inversa delle densità di questi liquidi (97) si ha

$$V/v=4/3; \text{ da cui } v=3/4V.$$

Se adunque si rappresenta con 100 il volume V, il volume v sarà rappresentato da 75. Per conseguenza, si segnano rispettivamente ai punti A e B i numeri 100 e 75; ed essendo il volume AB, dietro il valore di v, il quarto di V si divide lo spazio AB in 25 parti eguali, e ciascuna di queste parti è 1/25 di AB o 1/100 di V, vale a dire del volume immerso nell'acqua pura. Finalmente, si continuano le divisioni fino alla parte inferiore del cannello, il quale in tutta la sua lunghezza deve essere esattamente dello stesso diametro.

Ciò posto, per conoscere la densità di un liquido, per es., dell'acido solforico, basta immergervi il densimetro, e se affiora alla 54° divisione, significa che il volume del liquido spostato è rappresentato da 54, essendo il volume di acqua V rappresentato da 100. Ora, siccome tutti i corpi galleggianti spostano un peso di liquido eguale al proprio (97), ne segue che il volume di acqua V, o 100, ed il volume d'acido solforico 54, hanno lo stesso peso, quello cioè dell'istrumento; ma, a pesi eguali, i volumi di due corpi sono evidentemente in ragione inversa delle loro densità; per conseguenza. se si rappresenta con x la densità dell'acido solforico, essendo 1 quella dell'acqua, si ha

$$X/1=100/54; \text{ da cui } x=100/54=1,85$$

Se il densimetro è destinato per liquidi meno densi dell'acqua, bisogna zavorrarlo in modo che il punto 100, corrispondente all'acqua distillata, si trovi alla parte inferiore del cannello. Poi si fissa all'estremità superiore di questo un peso che corrisponda al quarto di quello dell'istrumento. Ora essendo il peso dell'istrumento, quando era solo, rappresentato da 100, il suo peso attuale sarà 125. Si segna adunque questo nuovo numero in corrispondenza al nuovo punto di affioramento, quindi si divide l'intervallo compreso fra i punti 100 e 125 in 25 parti eguali, e si continuano le divisioni fino alla sommità del cannello.

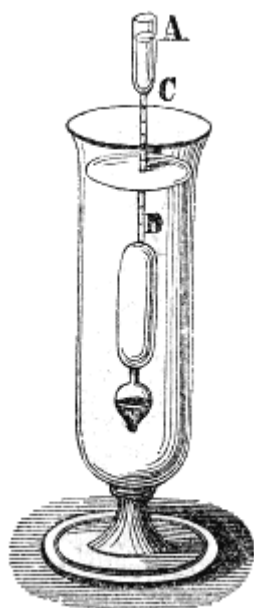


Fig. 59  $\rho_a = 30^\circ$ .

2.° *Densimetro di Rousseau.* - Il densimetro di Gay-Lussac richiede una quantità di liquido sufficiente per riempire una provetta di discreta capacità. Ora in certi casi, per esempio in fisiologia, allorchè si esperimenta sopra liquidi animali, può accadere che non si possa disporre che di qualche grammo di materia. In questo caso il densimetro di Rousseau dà facilmente la densità. Questo strumento ha la forma dell'areometro di Baumè; ma la sommità del cannello è munita di una piccola capsula a (fig. 59) destinata a ricevere il liquido di cui si cerca la densità. Sulla parete di questa capsula avvi un segno che indica una capacità AC di un centimetro cubo.

Ciò posto, per graduare l'istrumento, lo si zavorra in modo che nell'acqua distillata ed a 4 gradi, il suo punto di affioramento si trovi in B, al principio del cannello; questo punto è lo zero dello strumento. In seguito, si riempie di acqua distillata ed a 4 gradi la capacità di un centimetro cubo, segnata sulla capsula, oppure, ciò che torna lo stesso, vi si pone un peso di un grammo; sul nuovo punto di affioramento si segna 20. Si divide allora l'intervallo tra 0 e 20 in 20 parti eguali e si continuano le divisioni fino alla sommità del cannello. Siccome questo è esattamente dello stesso diametro in tutta la sua lunghezza, ciascuna divisione corrisponde ad  $\frac{1}{20}$  di grammo, ovvero a gr. 0,65.

Dietro questa graduazione, se si vuol avere la densità di un liquido, per es., della bile, se ne riempie la capacità AC segnata sulla capsula, e se l'istrumento affiora a 20 divisioni e mezzo, se ne conchiude che il peso della bile, che è nella capsula è di gr.  $0,05 \times 20,5$ , o gr. 1,025, il che vuol dire, che a volume eguale, essendo 1 il peso dell'acqua, quello della bile è 1,025. Quest'ultimo numero rappresenta adunque la densità della bile relativamente all'acqua; perchè, sotto lo stesso volume, i pesi stanno nello stesso rapporto delle densità.

## CAPITOLO II

# CAPILLARITÀ, ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE

**112. Fenomeni capillari.** - Nel contatto dei solidi coi liquidi si produce una serie di fenomeni, ai quali si diede il nome di *fenomeni capillari*, perchè si osservano principalmente nei tubi di un diametro abbastanza piccolo per essere paragonato a quello di un capello. Tuttavia questa espressione si applica anche alla forza che produce questi fenomeni.

Gli effetti della capillarità, sono assai svariati; ma in tutti i casi sono dovuti alla reciproca attrazione delle molecole liquide ed a quella che si esercita fra queste molecole ed i corpi solidi. Tali sono i fenomeni seguenti:

Allorchè si immerge un corpo in un liquido di tal natura che lo possa bagnare, il liquido, come se più non fosse soggetto alle leggi dell'idrostatica, si solleva intorno al corpo solido, e la sua superficie, cessando di essere orizzontale, prende una forma concava, come lo mostra la figura 60.

Se, al contrario, il corpo immerso non è bagnato dal liquido, ciò che ha luogo pel vetro posto a contatto col mercurio, il liquido, invece di elevarsi, si deprime, e la sua superficie prende una forma convessa intorno al corpo immerso, come lo mostra la figura 61. La superficie del liquido assume pure la stessa concavità, o convessità intorno alle pareti del vaso che lo contiene secondo che le bagna o non le bagna.

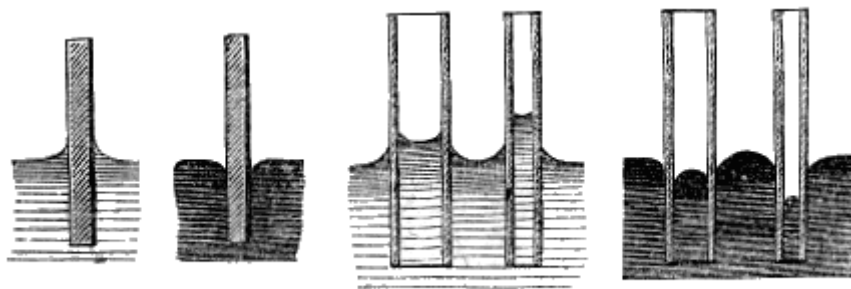


Fig. 60.

Fig. 61.

Fig. 62.

Fig. 63.

Questi fenomeni divengono più apparenti allorchè, invece di un corpo massiccio, si immergono nel liquido dei tubi di vetro di piccolo diametro. Secondo che questi tubi sono o no bagnati dal liquido, si produce un innalzamento od una depressione tanto maggiore, quanto minore è il diametro del tubo (fig. 62 e 63).

Se i tubi sono bagnati dal liquido, la superficie di quest'ultimo prende la forma di un segmento emisferico concavo, detto *menisco concavo* (fig. 62); se non lo sono, allora si ha un *menisco convesso* (fig. 63).

**113. Leggi dell'innalzamento e della depressione nei tubi capillari.** - Gay-Lussac dimostrò coll'esperienza, che l'innalzamento e la depressione dei liquidi nei tubi capillari sono sottoposti alle tre leggi seguenti:

- 1.<sup>a</sup> Avvi innalzamento allorchè il liquido bagna i tubi, e depressione quando non li bagna.
- 2.<sup>a</sup> Questo innalzamento o questa depressione sono in ragione inversa dei diametri dei tubi, posto che questi diametri non sorpassino 2 o 3 millimetri.
- 3.<sup>a</sup> L'innalzamento e la depressione variano colla natura del liquido e colla temperatura, ma sono indipendenti dalla sostanza dei tubi e dallo spessore delle loro pareti se furono prima bagnate.

Tutte queste leggi si verificano tanto nel vuoto che nell'aria; ma Wolf ha fatto vedere che, quando la temperatura aumenta, l'innalzamento dell'acqua nei tubi diminuisce, e può anche divenir nulla, o cangiarsi in abbassamento.

Nell'uso di molti apparati, è necessario conoscere il valore della depressione del mercurio nei tubi di vetro. La tavola seguente dà queste depressioni in tubi da 2 a 10 millimetri di diametro:

Diametri dei tubi in millimetri	Depressioni in millimetri	Diametri dei tubi in millimetri	Depressioni in millimetri
2	4,054	6,5	1,030
2,5	3,558	7	0,909
3	2,219	7,5	0,803
3,5	2,442	8	0,712
4	2,068	8,5	0,632
4,5	1,774	9	0,562
5	1,534	9,5	0,500
5,5	1,337	10	0,445
6	1,171		

**114. Leggi dell'innalzamento e della depressione fra due lamine parallele od inclinate.** - Fra due corpi di forma qualunque immersi in un liquido ed abbastanza ravvicinati, si producono fenomeni eguali a quelli che presentano i tubi capillari. Se, per esempio, si immergono nell'acqua due lamine di vetro parallele così riavvicinate l'una all'altra che le due curvature formate dal liquido al loro contatto si congiungano, si osserva:

1.° che l'acqua si innalza regolarmente fra le due lamine, in ragione inversa dell'intervallo che le separa;

2.° che l'innalzamento, per un dato intervallo, è la metà di quello che avrebbe luogo in un tubo il cui diametro fosse eguale a quest'intervallo.

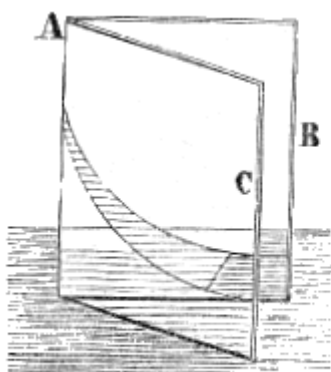


Fig. 64.

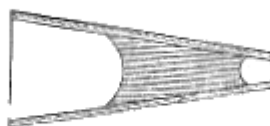


Fig. 65.



Fig. 66.

Se le lamine parallele vengono immerse nel mercurio, avvii depressione, anch'essa soggetta alle stesse leggi.

Se si immergono in un liquido che le bagni due lamine di vetro AB ed AC, inclinate fra loro, come mostra la figura 64, in modo che la loro linea di contatto sia verticale, il liquido s'innalza verso il vertice dell'angolo formato dalle due lamine, e la sua superficie dal punto più elevato al più basso, prende la forma della curva conosciuta in geometria sotto il nome d'*iperbole equilatera*.

Quando la linea di contatto delle due lamine è orizzontale come quella che avrebbe luogo nelle lamine rappresentate dalle figure 65 e 66, se venissero prolungate, e quando, nel tempo istesso, l'angolo che formano è assai piccolo, una goccia d'acqua posta tra loro prende alle sue estremità la forma di menisco concavo (fig. 65) e precipita verso il vertice dell'angolo formato dalle due lamine. Se, al contrario, il liquido non bagna le lamine, e ciò avrebbe luogo col mercurio, la goccia piglia la forma di menisco convesso (fig. 66), e si allontana dal vertice dell'angolo.

**115. Attrazioni e ripulsioni risultanti dalla capillarità.** - Alla capillarità sono dovute le attrazioni e le ripulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti alla superficie dei liquidi, attrazioni e ripulsioni che sono sottoposte alle seguenti leggi.

Quando i corpi galleggianti sono ambedue bagnati dal liquido, come, per esempio, due palle di sughero nell'acqua, appena che sono riavvicinate in modo che fra di loro più non esista superficie piana, si produce una forte attrazione.

Se dei due corpi non è bagnato nè l'uno nè l'altro, come nel caso di due palle di cera sull'acqua, si osserva ancora una viva attrazione, tosto che sono poste nella stessa condizione suesposta.

Finalmente, se il liquido bagna uno dei due corpi galleggianti e non l'altro, come succede di una palla di sughero e di una palla di cera collocate nell'acqua, si vede che esse si respingono al momento in cui si sono abbastanza avvicinate perchè le due curvature contrarie del liquido si trovino a contatto.

Tutti i fenomeni capillari che abbiamo descritti dipendono dalla curvatura concava o convessa che prende la superficie del liquido al contatto dei corpi. Or più non resta che a far conoscere la causa che determina la forma di questa curvatura.

**116. Causa della curvatura delle superficie liquide al contatto dei solidi** - La forma della superficie di un liquido al contatto di un corpo solido deriva dal rapporto che esiste fra l'attrazione del solido sul liquido, e l'attrazione del liquido sopra sè stesso.

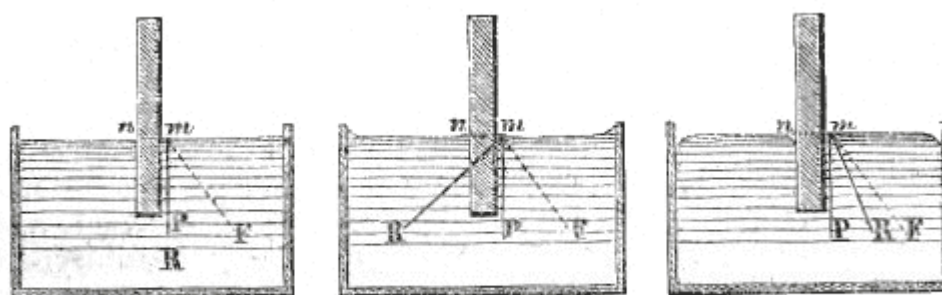


Fig. 67.

Fig. 68.

Fig. 69.

Infatti sia  $m$  (fig. 67) una molecola liquida a contatto con un corpo solido. Questa molecola è sottoposta a tre forze: la gravità che la sollecita secondo la verticale  $mP$ , l'attrazione del liquido che agisce nella direzione  $mF$ , e l'attrazione della lamina che si esercita nella direzione  $mn$ .

Ora, secondo le intensità rispettive di queste forze, la loro risultante può prendere le tre posizioni seguenti:

1.° Questa risultante può essere diretta secondo la verticale  $mR$  (fig. 67); allora la superficie in  $m$  è piana ed orizzontale, perchè, secondo le condizioni di equilibrio dei liquidi (86), la loro superficie deve essere perpendicolare alla direzione della forza che sollecita le loro molecole.

2.° Aumentando la forza  $n$ , o diminuendo la  $F$ , la risultante  $R$  si dirige entro l'angolo  $nmP$  (fig. 68); in questo caso, la superficie prende una direzione inclinata perpendicolare ad  $mR$ , ed è concava.

3.° Aumentando la forza  $F$ , o diminuendo la  $n$ , la risultante prende la direzione  $mR$  (fig. 69) entro l'angolo  $PmF$ , e la superficie disponendosi perpendicolarmente a questa direzione, diviene convessa.

Il calcolo dimostra che, nel primo caso, l'attrazione del liquido sopra sè stesso è doppia di quella del solido sul liquido; nel secondo caso, l'attuazione del liquido è minore del doppio di quella del solido; nel terzo caso è maggiore.

**117. Influenza della curvatura del liquido sui fenomeni capillari.** - L'innalzamento o la depressione di un liquido in un tubo capillare dipende dalla forma concava o convessa del menisco. Infatti, se si considera un menisco concavo  $abcd$  (fig. 70), le molecole liquide di questo menisco, essendo sostenute in equilibrio dalle forze che le sollecitano (116), non esercitano alcuna pressione sugli strati inferiori; inoltre, esse agiscono, in virtù dell'attrazione molecolare, sugli strati inferiori più vicini; dal che risulta che sopra uno strato qualunque  $mn$ , considerato nell'interno del tubo, la pressione è minore di quella che avrebbe luogo se non vi fosse il menisco. Per conseguenza, secondo le condizioni di equilibrio dei liquidi (80 e 86), il liquido deve innalzarsi nel tubo, fino a che la pressione interna sullo strato  $mn$  sia eguale alla pressione  $op$  che si esercita esternamente sopra un punto qualunque  $p$  dello stesso strato.

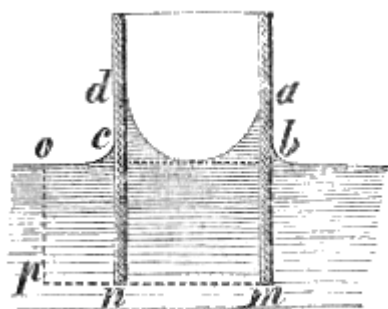


Fig. 70.

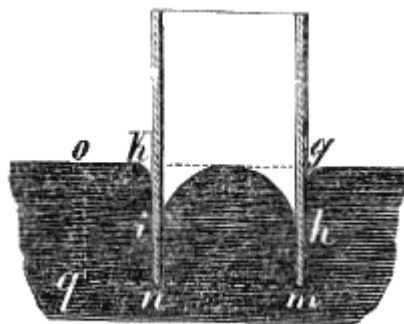


Fig. 71.

L'equilibrio sussiste in virtù delle forze molecolari che sollecitano il liquido anche quando il menisco è convesso: ma le molecole, che occuperebbero lo spazio *ghik*, se non vi fosse l'azione capillare, più non agiscono per attrazione sulle molecole inferiori. Ne risulta che la pressione sopra uno strato qualunque *ma* è maggiore nell'interno del tubo di quello che lo sarebbe se lo spazio *ghik* fosse riempito, perchè le forze molecolari di cui si tratta sono assai più intense della gravità.

Il liquido adunque deve abbassarsi nel tubo fintanto che la pressione interna, sopra uno strato *mn*, sia la stessa che in un punto qualunque *q* di questo strato.

La teoria della capillarità, una delle più difficili della fisica, non può essere trattata completamente se non coll'analisi matematica: motivo per cui venne studiata principalmente dai matematici, e soprattutto, in Francia, da Clairaut, Laplace e Poisson. Questa teoria, quale noi l'abbian fatta conoscere, dà ragione dell'innalzamento e della depressione dei liquidi non solo nei tubi, ma anche fra le lamine parallele ed inclinate (114). Essa spiega pure le attrazioni e le ripulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti (115).

**118. Fatti diversi dipendenti dalla capillarità.** - Nel novero dei fenomeni che hanno per causa la capillarità, noi citeremo i seguenti:

Se si ritira con precauzione un tubo capillare immerso in un liquido che lo bagna, si osserva che la colonna liquida, la quale rimane sospesa nel tubo, ha un'altezza maggiore di quella che aveva quando il tubo era immerso. Causa di ciò si è che il tubo porta seco una goccia liquida, la quale aderisce alla sua parte inferiore e vi forma un menisco convesso, il quale concorre col menisco concavo superiore onde sostenere una colonna più alta (117).

Pel medesimo motivo un tubo capillare, immerso in un liquido, non dà luogo ad efflusso, sebbene sia più corto della colonna liquida che tende ad innalzarsi. Questo avviene perchè all'istante in cui il liquido arriva alla sommità del tubo, la sua superficie superiore da concava che era, si fa convessa, e, per conseguenza, diventando la pressione maggiore di quella che sarebbe se la superficie fosse piana, il moto di ascesa si arresta.

Si veggono sovente degli insetti che si mantengono alla superficie dell'acqua senza sprofondarvisi. Questo è un fenomeno capillare, perchè non essendo le loro zampe bagnate dal liquido, vi si forma all'intorno una depressione, la quale sostiene gli insetti ad onta del loro peso, nel modo istesso che l'acqua è sostenuta nei tubi. Per una consimile depressione, un sottile ago da cucire, collocato pian piano sull'acqua, rimane alla sua superficie quando sia intonacato di una materia grassa, perchè allora non è bagnato; ma se fu lavato nell'alcool o nella potassa allora va a fondo.

È pure per effetto della capillarità che l'olio s'innalza nei lucignoli delle lampade, e che succede la penetrazione dei liquidi nei legni, nelle spugne ed in tutti i corpi che hanno pori sensibili (15). Finalmente, sotto i nomi di endosmosi, di assorbimento, di imbibizione, faremo ora conoscere altri fenomeni che hanno grande analogia colla capillarità, e che sovente con essa si confondono.

#### ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE

**119. Endosmosi ed esosmosi.** - Chiamansi *endosmosi* ed *esosmosi* le correnti di direzione contraria, che si stabiliscono fra due liquidi di natura differente quando si trovano separati da un

diaframma sottile ed assai poroso, organico od inorganico. Queste espressioni che significano *corrente entrante* e *corrente uscente*, furono adottate da Dutrochet che nel 1826 fece conoscere in modo completo questi fenomeni fino allora assai poco studiati. Queste correnti si constatacono mediante l'*endosmometro*. Chiamasi con questo nome un sacco membranoso sormontato da un tubo di vetro un po' lungo, intorno al quale si fa aderire esattamente per mezzo di una legatura (fig. 72). Questo sacco, riempito di una soluzione concentrata di gomma, o di un altro liquido più denso dell'acqua, come il latte, l'albumina, una soluzione di zucchero, si immerge in un vaso pieno d'acqua. Ben presto si osserva che il livello nel tubo si eleva a poco a poco ad una altezza che può giungere a parecchi decimetri, e si abbassa nel vaso in cui è immerso l'endosmometro; per cui bisogna conchiudere che l'acqua pura è passata attraverso la membrana onde mescolarsi col liquido interno. Si può constatare inoltre, che dopo un certo tempo, l'acqua in cui è immerso l'endosmometro contiene della gomma; adunque si è prodotta una corrente in ambedue i sensi. Questo fenomeno si esprime col dire che vi è endosmosi pel liquido, il di cui volume aumenta, ed esosmosi per quelli il di cui volume diminuisce. Se si pone acqua pura nel sacco membranoso, e lo si immerge nell'acqua gommata, si produce ancora l'endosmosi dell'acqua pura verso l'acqua gommata, cioè il livello si innalza all'esterno.

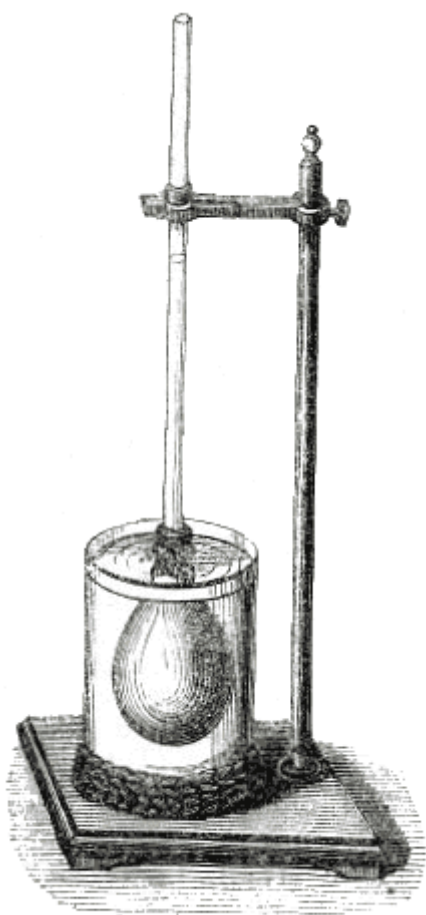


Fig 72.

L'altezza cui giunge il liquido nell'endosmometro, varia col variare dei liquidi. Fra tutte le sostanze vegetali, quella che a pari densità possiede maggior facoltà d'endosmosi è lo zucchero sciolto; fra le sostanze animali l'albumina. La gelatina, invece, non possiede che una debolissima forza d'endosmosi. In generale, la corrente d'endosmosi si dirige verso il liquido più denso; tuttavia, fanno eccezione l'alcool e l'etere, che si comportano verso l'acqua come i liquidi più densi. Cogli acidi, secondo che sono più o meno diluiti, succede l'endosmosi dell'acqua verso l'acido o dell'acido verso l'acqua.

Dutrochet constatò che, perchè i fenomeni di endosmosi si producano, bisogna: 1.° che i liquidi siano eterogenei e suscettibili di mescolamento, come, per esempio, l'acqua e l'alcool, di modo che coll'acqua e l'olio non si verifica il fenomeno; 2.° che i due liquidi siano di differente densità; 3.° che il diaframma che separa i liquidi sia permeabile almeno ad uno di essi.

Tutte le sostanze vegetali ed animali sono permeabili; riguardo alle sostanze inorganiche, come le ardesie, il gres, la porcellana greggia, la terra da pipa poco cotta, sono tanto meno permeabili, quanta maggior quantità di silice contengono. La terra da pipa, che è più alluminosa della porcellana, è anche più permeabile: è per questo motivo che allappa la lingua. Attraverso le lamine inorganiche sottili la corrente è debole, ma può continuare indefinitamente. Al contrario, le membrane organiche si disorganizzano prontamente, e l'endosmosi cessa.

Si proposero varie teorie dell'endosmosi. Alcuni l'attribuirono ad una corrente elettrica diretta nel senso stesso dell'endosmosi. Altri ammisero che la causa del fenomeno fosse un'azione capillare congiunta all'affinità dei liquidi. Si opinò pure che l'endosmosi fosse dovuta ad una ineguale viscosità dei liquidi. Infine, si credette che questo fenomeno fosse occasionato dalla maggiore o minore permeabilità delle membrane per tale o tal altro liquido. Nessuna di queste ipotesi spiega l'endosmosi in modo soddisfacente. Comunque sia, il fenomeno sembra intimamente congiunto colle stesse cause che producono la capillarità; si osserva però che l'innalzamento della temperatura, il quale rende più attiva l'endosmosi, indebolisce, invece,



i fenomeni capillari.

**120. Endosmosi dei gas.** - I gas presentano dei veri fenomeni di endosmosi. Se due gas di natura diversa si trovano separati da una membrana secca, succede solo una mescolanza, vi sono cioè correnti eguali da ambedue le parti; ma se la membrana è umida, allora avvi vera endosmosi, vi sono cioè correnti ineguali. Per verificare questo fenomeno sperimentalmente, si chiude una vescica piena d'acido carbonico in una seconda vescica più grande contenente ossigeno. Dopo qualche tempo si trova quest'ultima riempita d'acido carbonico; il che mostra esservi endosmosi dall'acido carbonico verso l'ossigeno. Del pari, se si pone sotto una campana piena d'acido carbonico una bolla d'acqua saponata contenente aria, la si vede gonfiarsi.

**121. Assorbimento ed imbibizione.** - Le parole *assorbimento* ed *imbibizione*, in fisica, sono presso a poco sinonimi: tutte e due ugualmente indicano una penetrazione di una sostanza estranea in un corpo poroso.

Tuttavia, l'assorbimento si usa indistintamente tanto per le sostanze liquide che per i gas, mentre invece l'imbibizione si adopera specialmente parlando dei liquidi.

In fisiologia si distingue l'assorbimento dall'imbibizione. Nel primo di questi fenomeni avvi penetrazione di una sostanza estranea nei tessuti di un essere vivente; laddove la parola imbibizione si usa quando si vuol esprimere una penetrazione nei corpi inorganici ed organici privi di vita. In una parola, nell'assorbimento sono poste in moto le forze vitali, che nella imbibizione non prendono parte veruna.

**122. Assorbimento dei gas.** - La proprietà di assorbire i gas nel senso fisico appartiene a tutti i corpi dotati di pori sensibili, in gradi però assai variabili. Questa proprietà si trova principalmente nel carbone di quercia. Spento sotto una campana piena di un dato gas, questo corpo, alla pressione ordinaria, assorbe 90 volte il suo volume di gas ammoniac, 33 volte il suo volume di gas acido carbonico, e 9 volte il suo volume di ossigeno. Il carbone bagnato ha una proprietà assorbente che è la metà di quella dell'asciutto; il che prova che esso ripete questa sua proprietà dalla porosità, e per conseguenza da un'azione capillare. Il potere assorbente del carbone di abete è la metà di quello del carbone di quercia. Il carbone di sughero, che è molto poroso, non ha facoltà assorbente; lo stesso avviene di quel carbone naturale assai compatto detto grafite. Si conchiude da questo, che sebbene la porosità sia una condizione essenziale dell'assorbimento dei gas, tuttavia, la grandezza dei pori deve essere compresa entro certi limiti.

**123. Fenomeni di assorbimento nelle piante.** - Nel regno vegetale l'assorbimento è operato da tutte le parti delle piante, ma principalmente dalle spugne o fibrille che formano le estremità delle radici, e dalle foglie. Appunto da questi organi vengono l'ossigeno, l'idrogeno, il carbonio e l'azoto, necessari alla nutrizione dei vegetali, assorbiti allo stato di acqua, d'acido carbonico e d'ammoniaca.

I liquidi, ed i sali che essi tengono disciolti, sono dapprima assorbiti dalle fibrille, per un doppio fenomeno d'endosmosi e di capillarità; poi il succo, elaborato dal vegetale, aumentando di densità verso le parti superiori, continua ad ascendere ancora per un fenomeno d'endosmosi. Infine, il moto d'ascesa del succo è favorito anche dal vuoto che tende a formarsi nelle parti superiori delle piante per effetto dell'evaporazione delle foglie. L'azione capillare poi, non può innalzare il liquido che nelle cellule inferiori, e non può produrre correnti.

Il dottore Boucherie, di Bordeaux, fece una felice applicazione della proprietà assorbente dei vegetali, per introdurre nel tessuto dei legni, dei sali, di cui alcuni vi comunicano dei colori più o meno vivi, altri aumentano la loro flessibilità e la loro tenacità, o li rendono meno combustibili.

**124. Fenomeni d'assorbimento negli animali.** - Negli animali inferiori, i di cui tessuti non sono formati che da cellule, il tutto viene assorbito come nei vegetali, per imbibizione e per endosmosi. L'imbibizione, mediante la quale alcuni di questi animali si nutrono, è una vera endosmosi.

Negli animali superiori, avvi assorbimento. Per es., la robbia, presa internamente da questi animali, penetra nelle loro ossa e le colora in rosso. Del pari, se un liquido vien posto a contatto con una superficie cutanea, privata dell'epidermide, o con una membrana mucosa, in causa della grandissima vascolarità di queste parti, passa nei vasi per un effetto d'endosmosi, il che costituisce l'assorbimento.

Quanto più una sostanza è liquida, tanto più facilmente viene assorbita. Tuttavia, perchè si effettui l'assorbimento, è necessario che i liquidi bagnino le membrane. Infatti, le grascie, che non le bagnano, non sono assorbite. Ma Bernard riconobbe che esse vengono assorbite facilmente quando ne sia fatta emulsione col succo pancreatico. Recentemente, il dottor Lego osservò che il fegato di merluzzo, medicamento assai in voga da qualche anno, emulsionato nel modo istesso, acquista maggior energia; il che proviene dall'essere il medesimo in tale stato più completamente assorbito.

L'assorbimento, al pari dell'endosmosi, è favorito dal calore; come lo è pure dalle cavate di sangue. In seguito ad un'abbondante traspirazione o ad un salasso, l'assorbimento aumenta.

# LIBRO IV DEI GAS

## CAPITOLO I

### PROPRIETÀ DEI GAS, ATMOSFERA, BAROMETRI

**125. Caratteri fisici dei gas.** - I *gas* o *fluidi aeriformi*, sono corpi le cui molecole posseggono una perfetta mobilità, e si trovano in uno stato continuo di ripulsione che si distingue col nome di *espansibilità*, di *tensione* o di *forza elastica*; il perchè i gas stessi prendono sovente il nome di fluidi elastici.

I fluidi elastici si dividono in due classi: i *gas permanenti* o gas propriamente detti, ed i *gas non permanenti* o *vapori*. I primi sono quelli che conservano lo stato aeriforme, benchè sottoposti a qualunque pressione ed a qualunque abbassamento di temperatura; tali sono l'ossigeno, l'idrogeno, il biossido di azoto e l'ossido di carbonio. I gas non permanenti, al contrario, passano più o meno facilmente allo stato liquido, sia per un eccesso di pressione, sia pel raffreddamento. Tuttavia, questa distinzione non è rigorosa, perchè un gran numero di gas, che si ritenevano come permanenti, furono liquefatti o da Faraday o da altri fisici, e bisogna ammettere che quelli che nol furono finora, lo sarebbero se venissero sottoposti ad una pressione e ad un freddo sufficienti. Per questo la parola gas si usa, in generale, per indicare corpi che, alla pressione ed alla temperatura ordinaria, non si presentano che allo stato aeriforme, mentre per vapore si intende lo stato aeriforme che assumono, sotto l'influenza del calorico, alcuni corpi, i quali come l'acqua, l'alcool e l'etere, sono liquidi alle pressioni e temperature ordinarie.

I gas al presente conosciuti in chimica sono in numero di 34, di cui 4 sono semplici, cioè: l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto ed il cloro, e 7 soli si trovano liberi in natura, cioè: l'ossigeno, l'azoto, l'acido carbonico, il protocarburo ed il bicarburo d'idrogeno, l'ammoniaca e l'acido solforoso. Tutti gli altri non si ottengono che mediante reazioni chimiche.

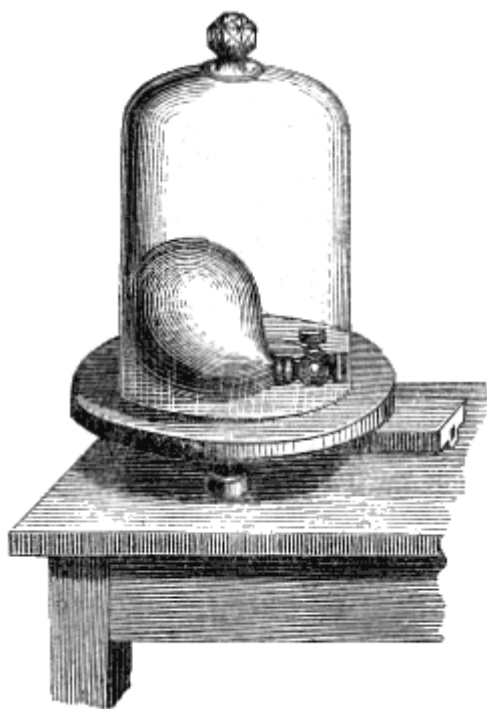


Fig. 73.

**126. Forza espansiva dei gas.** - La forza espansiva dei gas, cioè la loro tendenza a prendere sempre un volume maggiore, si dimostra mediante la seguente esperienza. Si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica una vescica a robinetto, contenente una piccola quantità d'aria, e previamente bagnata onde sia più flessibile. Da principio, la forza elastica dell'aria che trovasi sotto il recipiente e quella dell'aria chiusa nella vescica si fanno equilibrio; ma tostochè si incomincia a fare il vuoto, la pressione che si esercita sulla vescica diviene più debole, e questa si gonfia sempre più, come se dentro vi si soffiasse (fig. 73); ciò che dimostra la forza elastica dei gas in essa contenuto. Se in seguito si lascia rientrare l'aria esterna, per mezzo di un robinetto a ciò destinato, si scorge che la vescica, compressa di nuovo dal gas rientrante, riprende il suo volume primitivo. In egual modo si può constatare la forza elastica di qualunque gas.

Sembra che un gas qualunque, contenuto in un vaso aperto, in virtù della sua forza espansiva, dovrebbe sfuggirsene istantaneamente. Questo infatti accadrebbe, se il vaso si trovasse nel vuoto; ma nelle ordinarie circostanze, la pressione dell'aria si oppone all'uscita del

gas. Tuttavia, questo avviene solo quando il fluido elastico contenuto nel vaso è pur esso aria. Infatti, l'esperienza dimostra che non si può far equilibrio alla forza espansiva di un gas, se non mediante la pressione esercitata da una massa gasosa della stessa natura. Per es., la pressione dell'aria non può fare equilibrio alla forza espansiva dell'idrogeno o dell'acido carbonico. Questi gas, in tal caso, non isfuggono come farebbero nel vuoto, ma si mescolano rapidamente col fluido esterno.

Dimostreremo in seguito che la forza elastica dei gas è sempre uguale e contraria alla pressione che sopportano, e cresce colla temperatura.

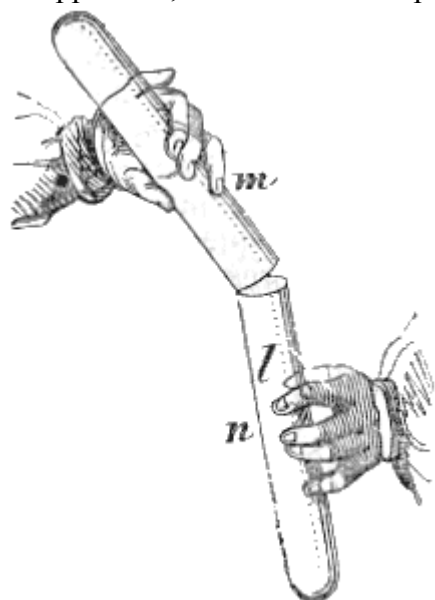


Fig. 74.

**127. Travasamento dei gas.** - I gas, al pari dei liquidi, ponno essere travasati da uno in altro recipiente. L'esperienza riesce assai bene coll'acido carbonico, il quale è molto più denso dell'aria. Si incomincia dal riempire una campanella di questo gas, raccogliendolo in un vaso pieno di acqua, quindi, prendendo un'altra campanella di capacità eguale alla prima e piena d'aria, vi si rovescia sopra la prima, come mostra la figura 74, e si tengono immobili per qualche tempo. In causa della sua densità, l'acido carbonico discende lentamente dalla campanella *m* nella campanella *n*, da cui ne scaccia l'aria, in guisa che tostamente la campanella *n* è piena d'acido carbonico, e la campanella *m* lo è di aria, cosa che si può constatare fondandosi sulla proprietà che ha l'acido carbonico di spegnere i corpi in combustione. Infatti, prima dell'esperimento, una candela accesa arde nella campanella *n*, e si spegne nell'altra, mentre dopo l'esperimento accade il contrario.

**128. Peso dei gas.** - I gas, a motivo della loro estrema fluidità, e principalmente della loro espansibilità, sembrano dover isfuggire alle leggi della gravità; ma così non è, mentre anche questi fluidi così sottili vi obbediscono al pari dei solidi e dei liquidi. Per verificar ciò, si sospende ad uno dei piatti di una bilancia assai sensibile, un pallone di vetro della capacità di 3 o 4 litri, il di cui collo è munito di un robinetto che chiude esattamente. Si pesa dapprima questo pallone pieno di aria; poi, dopo d'avervi fatto il vuoto colla macchina pneumatica, lo si pesa di nuovo, e si trova che la seconda pesata è di parecchi grammi minore della prima, il che fa conoscere il peso dell'aria levata dal pallone.

Misurando previamente la capacità del pallone in litri, si trova con questo processo, che un litro d'aria pura, alla temperatura di 0° e sotto la pressione atmosferica di 0<sup>m</sup>,76 (136) pesa gr. 1,3. Un litro d'idrogeno, che è il gas più leggero, pesa gr. 0,09, cioè circa 14 volte meno dell'aria; un litro di gas iodidrico, che è il più denso dei gas, pesa grammi 5,776.

**129. Pressioni esercitate dai gas.** - I gas esercitano sulle molecole della loro massa e sulle pareti dei vasi che li contengono, delle pressioni che si ponno considerare sotto due punti di vista: 1.° facendo astrazione dalla gravità; 2.° tenendo conto di questa forza. Se in una massa gasosa, in equilibrio in un vaso, si fa astrazione dal suo peso, per non aver riguardo che alla forza espansiva, le pressioni dovute a questa forza si trasmettono colla stessa intensità sopra tutti i punti delle pareti e della massa fluida; perché la forza ripulsiva che si esercita fra le molecole è la stessa in tutti i punti, ed agisce ugualmente in tutte le direzioni, il che è conseguenza dell'elasticità e della perfetta fluidità dei gas. Ma se si ha riguardo all'azione della gravità, questa forza fa nascere delle pressioni sottoposte interamente alle stesse leggi di quelle dei liquidi (80); esse crescono cioè proporzionalmente alla densità del gas ed alla profondità; sono costanti sopra uno stesso strato orizzontale, ed indipendenti dalla forma che assume la massa gasosa. La forza espansiva del gas è allora in ciascun punto eguale e contraria alla pressione che il gas istesso sopporta, e per conseguenza, cresce colla profondità. Per una piccola massa gasosa, le pressioni che risultano dal

suo peso, sono assai deboli, e ponno essere trascurate: ma per le grandi masse, come l'atmosfera, le pressioni dovute alla gravità ponno essere considerevoli.

**130. Composizione dell'atmosfera; pressione atmosferica.** - Si dà il nome di *atmosfera* alla massa d'aria che avvolge il nostro globo, e si muove con esso nello spazio.

L'aria era riguardata dagli antichi come uno dei quattro elementi che essi ammettevano. La chimica moderna dimostrò che è una mescolanza di azoto e di ossigeno, nel rapporto, in volume, di 20,80 d'ossigeno e di 79,20 d'azoto, ed in peso di 23,01 d'ossigeno e 76,99 d'azoto.

Trovasi pure nell'atmosfera del vapore d'acqua. in quantità variabile a seconda della temperatura, delle stagioni, dei climi e della direzione dei venti. Finalmente, l'aria contiene da 3 a 6 diecimillesimi, in volume, di gas acido carbonico.

L'acido carbonico dell'aria proviene dalla respirazione degli animali, dalle combustioni e dalla decomposizione delle sostanze animali. Secondo Boussingault, in Parigi, nello spazio di 24 ore, si produce approssimativamente la quantità d'acido carbonico seguente:

Dalla popolazione e dagli animali...	336,777 metri cubi.
Dalle diverse combustioni...	2,607,864 "
Totale	2,944,641 metri cubi

Malgrado questa produzione permanente di acido carbonico alla superficie del globo, la composizione dell'atmosfera non sembra punto modificarsi, perchè, nell'atto della vegetazione, le parti verdi dei vegetali, sotto l'influenza della luce solare, decompongono l'acido carbonico, se ne assimilano il carbonio e restituiscono così all'atmosfera l'ossigeno che gli è costantemente tolto dalla respirazione degli animali e dalle combustioni.

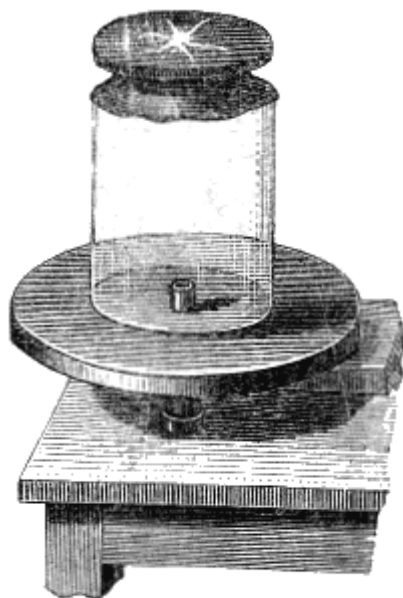


Fig. 73.

**131. Pressione atmosferica.** - Siccome l'aria è pesante, ne viene che, se si immagina l'aria divisa in strati orizzontali, gli strati superiori, pel loro peso, comprimono gli inferiori: e siccome questa pressione decresce evidentemente col numero degli strati, così l'aria è tanto più rarefatta, quanto più si innalza nell'atmosfera.

Sembra che le molecole dell'atmosfera, in virtù della forza espansiva dell'aria, dovrebbero diffondersi indefinitamente negli spazi planetari. Ma per l'effetto stesso della dilatazione, la forza espansiva dell'aria decresce sempre più; essa è inoltre indebolita dalla bassa temperatura delle alte regioni dell'atmosfera, di modo che giunge un momento in cui si stabilisce l'equilibrio fra la forza espansiva delle molecole dell'aria e l'azione della gravità che le sollecita verso il centro della terra: da ciò si conchiude che l'atmosfera deve essere limitata.

L'altezza dell'atmosfera, dal suo peso, dal suo decremento di densità e dall'osservazione dei fenomeni crepuscolari, si valuta dai 50 ai 60 chilometri. Al di là di questa altezza avvi un'aria assai rarefatta, ed a 100 chilometri circa si ammette un vuoto

assoluto.

Dietro recenti osservazioni fatte nella zona intertropicale, e particolarmente a Rio Janeiro, sugli archi crepuscolari e sul limite della polarizzazione atmosferica, il signor Liais ammette che l'altezza dell'atmosfera sarebbe di 320 a 340 chilometri, altezza che differisce considerevolmente da quella ammessa sin qui.

Poichè si riconobbe precedentemente (128) che un litro di aria pesa  $1^{\text{gr}}.03$ , bisogna conchiudere che l'intera atmosfera deve esercitare sulla superficie del globo, una pressione considerevole, pressione, la di cui esistenza si dimostra mediante le esperienze seguenti.

**132. Crepa-vescica.** - Il *crepa-vescica* consiste in un ampio tubo di vetro chiuso esattamente alla sua parte superiore, da una membrana di vescica. L'altra estremità, i di cui orli sono assai lisci ed

unti di sego, si applica sul piatto della macchina pneumatica (fig. 75). Appena che si incomincia a fare il vuoto nel tubo, la membrana si deprime sotto la pressione atmosferica che sopporta, e tosto crepa con una forte detuonazione cagionata dal subito rientrare dell'aria.



Fig. 76.



Fig. 77.

**133. Emisferi di Magdeburgo.** - Il crepa-vescica non dimostra la pressione atmosferica che dall'alto al basso. Mediante gli emisferi di Magdeburgo, dovuti ad Ottone de Guéricke, e così chiamati dalla città ove furono inventati, si dimostra che questa pressione si trasmette in tutti i sensi. Questo apparato si compone di due emisferi cavi d'ottone, del diametro di 10 a 12 centimetri (fig. 76). I loro orli sono guerniti di una lista annulare di cuoio, spalmata con cura di sego, affine di mantenere il vuoto quando questi orli sono posti a contatto. Uno degli emisferi porta un robinetto che si può fissare a vite sul piatto della macchina pneumatica, e l'altro un anello che serve di impugnatura per afferrarlo, ed esercitare così una trazione. Fintanto che i due emisferi, posti a contatto, racchiudono aria, si ponno separare senza difficoltà, perchè vi è equilibrio fra la forza espansiva dell'aria interna e la pressione esterna dell'atmosfera. Ma, una volta fatto il vuoto, non si ponno più disgiungere senza un possente sforzo, in qualunque posizione si tenga l'apparato (fig. 77); il che dimostra che la pressione atmosferica si esercita in tutti i sensi.

## MISURA DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA; BAROMETRI

**134. Esperienza di Torricelli.** - Le due esperienze precedenti dimostrano l'esistenza della pressione atmosferica, ma non ne fanno conoscere il valore. La seguente, fatta per la prima volta da Torricelli, discepolo di Galileo, dà la misura esatta del peso dell'atmosfera.

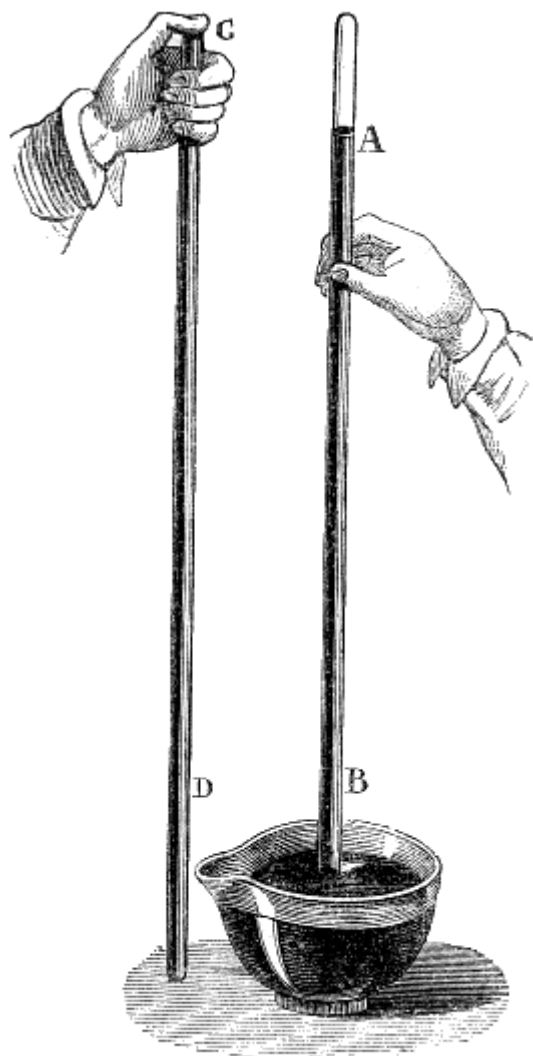


Fig. 78.

Si prende un tubo di vetro, lungo per lo meno 80 centimetri, di un diametro interno di 5 a 6 millimetri, e chiuso ad una delle sue estremità.

Dopo di aver situato questo tubo in una posizione verticale CD (fig. 78), lo si riempie interamente di mercurio; poi chiudendo l'apertura C col pollice, si capovolge il tubo, e se ne immerge l'estremità aperta in una vaschetta piena di mercurio. Ritirando allora il dito, la colonna di mercurio tosto si abbassa di parecchi centimetri, e conserva, al livello dei mari, una altezza AB, il cui medio valore è di 76 centimetri.

Siccome in quest'esperienza si produce il vuoto al disopra del livello A del mercurio, così questo liquido, nel tubo, non sopporta alcuna pressione, laddove nella vaschetta, è sottoposto alla pressione atmosferica. Adunque è questa pressione che, pesando sul mercurio della vaschetta, sostiene la colonna AB nell'interno del tubo; si conchiude da ciò che la pressione atmosferica ha un valore medio eguale al peso di una colonna di mercurio avente l'altezza di  $0^m,76$ : ma se il peso dell'atmosfera aumenta o diminuisce, si prevede di leggeri che lo stesso deve accadere della colonna di mercurio AB.

**135. Esperienza di Pascal.** - Pascal, volendo constatare se la forza che sosteneva il mercurio nel tubo di Torricelli era veramente la pressione atmosferica, ricorse alle due esperienze seguenti: 1.° Prevedendo che la colonna di mercurio doveva abbassarsi nel tubo, a misura che lo si innalzasse nell'atmosfera, perchè in tal caso la pressione diminuisce, pregò un suo parente, abitante l'Alvernia, affinchè ripetesse, sul Puy-de-Dôme, l'esperienza di Torricelli. Ora, la colonna di

mercurio diminuì di circa 8 centimetri, ciò che dimostra essere veramente il peso dell'atmosfera che sostiene la colonna di mercurio nel tubo, perchè se questo peso diminuisce, lo stesso avviene della colonna di mercurio. 2.° Pascal ripeté l'esperienza di Torricelli a Rouen, nel 1646, con un liquido diverso del mercurio. Ei prese un tubo della lunghezza di 15 metri, chiuso ad una estremità; lo riempì d'acqua, e capovolto lo dispose verticalmente in un serbatoio pieno dello stesso liquido; allora osservò che il liquido si arrestò, nel tubo, ad un'altezza di  $10^m,33$ , che è 13,6 volte maggiore di quella del mercurio; ora, essendo l'acqua 13,6 volte men densa del mercurio, il peso della colonna di acqua era eguale a quello della colonna di mercurio nell'esperienza di Torricelli: era dunque veramente la pressione atmosferica che sosteneva successivamente i due liquidi.

**136. Valore della pressione atmosferica in chilogrammi.** - Dall'altezza alla quale rimane in equilibrio il mercurio nel tubo di Torricelli, si può facilmente valutare, in chilogrammi, la pressione dell'atmosfera sopra una data superficie. A tal uopo, ammettiamo che la sezione interna del tubo sia esattamente di un centimetro quadrato: la colonna di mercurio che è nel tubo, avendo allora la

forma di un cilindro di un centimetro quadrato di base, e di 76 centimetri di altezza, il suo volume sarà di 76 centimetri cubi, poichè si sa che un cilindro ha per misura il prodotto della sua base per la sua altezza. Ora, se un centimetro cubo di acqua pesa un grammo, un centimetro cubo di mercurio dovrà pesare  $13^{\text{gr}},6$ , essendo questo liquido 13,6 volte più denso dell'acqua: dal che si conchiude che il peso della colonna di mercurio nel tubo che noi consideriamo, equivale a  $13^{\text{gr}},6$  moltiplicati per 76, ossia 1033 grammi, o, ciò che è lo stesso, ad 1 chilogrammo e 33 grammi. Adunque sopra 1 decimetro quadrato, che contiene 100 centimetri quadrati, la pressione atmosferica è di  $103^{\text{ch}},300^{\text{gr}}$ , e sopra 1 metro quadrato, ossia 100 decimetri quadrati, è di  $10330^{\text{ch}}$ .

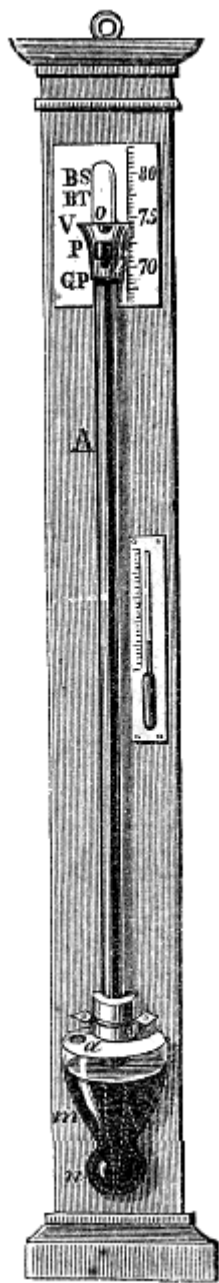


Fig. 79 (a. = 72)

La superficie totale del corpo umano, in un individuo di statura e grossezza ordinaria, è di un metro quadrato e mezzo: dunque la pressione media, che sopporta un uomo alla superficie della terra, è di 15500 chilogrammi. Parebbe che una pressione così grande ci dovesse schiacciare: ma il nostro corpo vi resiste per la reazione dei fluidi elastici che esso racchiude.

Le nostre membra non ne sono guari incomodate nei loro movimenti, perchè la pressione atmosferica si esercita in tutte le direzioni, e noi sopportiamo, in tutti i sensi, delle pressioni uguali e contrarie che si fanno equilibrio, e sono più atte a reggerci che ad incomodarci. Infatti, nei giorni in cui la pressione atmosferica è più debole noi proviamo un mal essere che manifestiamo col dire che il tempo è pesante; bisognerebbe dire il contrario.

**137. Specie diverse di barometri.** - Chiamansi *barometri* alcuni istrumenti atti a misurare la pressione atmosferica. Nei barometri ordinari, questa pressione è misurata dall'altezza di una colonna di mercurio in un tubo di vetro, come nell'esperienza di Torricelli, di tal genere sono i barometri che passiamo a descrivere e che si dividono in barometri a vaschetta, barometri a sifone e barometri a quadrante. Si costruiscono però anche barometri senza mercurio. Tale è quello di Bourdon, che faremo conoscere in seguito, e che è rimarchevole per la sua semplicità e pel suo volume.

**138. Barometro a vaschetta.** - Il *barometro a vaschetta* si compone di un tubo di vetro, della lunghezza di circa 85 centimetri, pieno di mercurio, ed immerso in una vaschetta, piena essa pure dello stesso metallo. Tale è l'apparato già descritto sotto il nome di tubo di Torricelli (fig. 78). Colla mira di rendere il barometro più portatile e meno sensibili le variazioni di livello nella vaschetta, allorchè il mercurio si innalza o si abbassa nel tubo, si variò di molto la forma della vaschetta stessa. La figura 79 rappresenta un barometro di questo genere, che si può trasportare con facilità.

La vaschetta è divisa in due scompartimenti *m* ed *n*, il più grande de' quali è unito con mastice al tubo, e non comunica coll'atmosfera che mediante una piccola apertura ricoperta da un disco di pelle *a*, che si vede rappresentato sulla parete superiore della vaschetta vicino al tubo. Lo scompartimento più piccolo *n* è situato al disotto del primo, ed è riempito completamente di mercurio, mentre il primo non lo è che in parte. Questi due scompartimenti sono riuniti da una tubulatura stretta nella quale si impegna la parte inferiore del tubo barometrico *A*. Quest'ultimo non chiude la tubulatura che congiunge gli scompartimenti, ma lascia, fra le pareti di

questa e le sue, uno spazio abbastanza piccolo perchè la capillarità non lasci sfuggire il mercurio del piccolo scompartimento allorchè si inclina o si capovolge il barometro; per tal modo, in qualunque posizione, la punta assottigliata del tubo si trova sempre immersa nel mercurio, e l'aria per conseguenza non vi può penetrare.



Tutto l'apparato è fissato ad una tavoletta di acaiù, che porta alla sua parte superiore una scala graduata in millimetri, incominciando dal livello del mercurio nella vaschetta; finalmente, un corsoio mobile *i*, posto all'alto del tubo, serve a verificare, sulla scala, il livello *o* del mercurio.

Questo barometro, come tutti quelli di questo genere, offre poca precisione, perchè lo zero della scala non corrisponde invariabilmente al livello del mercurio nella vaschetta. Infatti; siccome la pressione atmosferica non è costante, questo livello varia secondo che la pressione aumenta o diminuisce, perchè allora una certa quantità di mercurio passa dalla vaschetta nel tubo, o dal tubo nella vaschetta, e da ciò risulta che nella maggior parte dei casi, la graduazione della scala non indica la vera altezza del barometro. Vedremo in seguito come questa causa di errore è evitata nel barometro di Fortin.



Fig. 81.

Chiamasi *altezza del barometro* la differenza di livello del mercurio nel tubo e nella vaschetta. Siccome la pressione che il mercurio esercita pel proprio peso, alla base del tubo, è indipendente dalla forma di quest'ultimo e dal suo diametro (83), purchè non sia capillare, così l'altezza del barometro è essa pure indipendente dal diametro del tubo e dalla sua forma diritta o curva; ma questa altezza è in ragione inversa della densità del liquido. Col mercurio l'altezza media al livello del mare, è di 0<sup>m</sup>,76, in un barometro ad acqua essa sarebbe di 10<sup>m</sup>,33.

**139. Barometro di Fortin.** - Il barometro di Fortin, così chiamato dal nome del suo inventore, è un barometro a vaschetta; ma quest'ultima differisce però da quella del barometro già descritto (138). Il fondo ne è di pelle di daino e può innalzarsi od abbassarsi mediante una vite di pressione collocata al disotto, ciò che offre due vantaggi: quello di poter

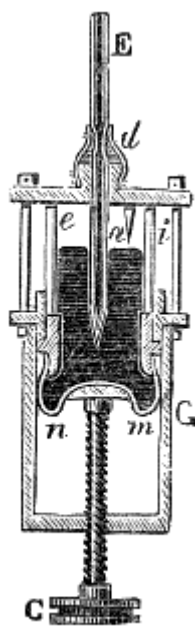


Fig. 80.

ottenere un livello costante nella vaschetta, e quello di rendere più portatile lo strumento. Infatti, per trasportarlo in viaggio, basta sollevare la pelle di daino fino a che il mercurio innalzandosi con essa, riempisca completamente il tubo e la vaschetta; allora si può inclinare ed anche capovolgere il barometro senza timore che vi entri aria, o che l'urto del mercurio spezzi il tubo.

La figura 81 rappresenta l'insieme di questo barometro, il cui tubo è chiuso in un astuccio di ottone destinato a difenderlo. Quest'astuccio, verso la sua parte superiore, presenta due fessure longitudinali opposte l'una all'altra, onde lasciar scorgere il livello *B* del mercurio. Sull'astuccio è segnata una scala graduata in millimetri. Un corsoio *A* che si fa scorrere a mano, fornisce, mediante un verniero, l'altezza del barometro a mano di 1/10 di millimetro. Alla parte inferiore dell'astuccio, è fissata la vaschetta *b* che contiene il mercurio *O*.

La figura 80 rappresenta partitamente, sopra una scala più grande, la vaschetta, la quale si compone di un cilindro di vetro *ei*, che lasci scorgere il livello del mercurio. Il fondo di questo cilindro è chiuso da una pelle di daino *mn*, che si può innalzare od abbassare mediante una vite *C*. La chiocciola di questa vite è incavata nel fondo di un cilindro di ottone *G*, che trovasi fissato al disotto del cilindro di vetro che contiene il mercurio. Finalmente, alla parete superiore della vaschetta, è fissata una piccola asta d'avorio *a*, la di cui punta corrisponde esattamente allo zero della scala graduata sull'astuccio. La vaschetta, alla sua parte superiore, è chiusa da una pelle di daino *d*, legata da una parte al tubo barometrico *E*, dall'altra ad una tubulatura unita ad un disco di

ottone che ricopre la vaschetta. La pressione atmosferica si esercita a traverso i pori di questa pelle. Per adoperare lo strumento, si ha cura, ad ogni osservazione, di far affiorare la superficie del mercurio nella vaschetta, colla punta *a*, ciò che si ottiene facendo girare la vite *C* in un senso o nell'altro. In tal modo la distanza dell'estremo *B* della colonna di mercurio alla punta d'avorio *a* (fig. 81) rappresenta esattamente l'altezza del barometro.

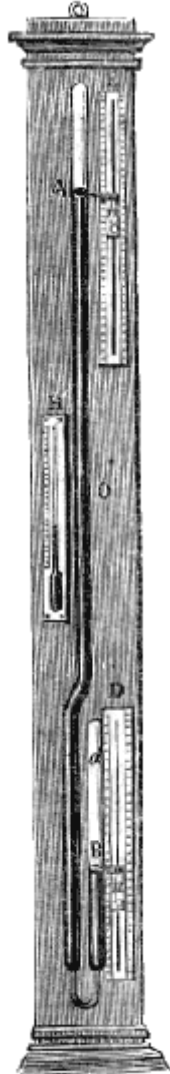


Fig. 82.

**140. Barometro a sifone di Gay-Lussac.** - Il *barometro a sifone* consiste in un tubo di vetro curvato in due rami ineguali: il ramo più lungo è chiuso alla sua estremità, e riempito di mercurio come nel barometro a vaschetta; il più corto è aperto e tien luogo di vaschetta. La differenza di livello nei due rami è l'altezza del barometro.

La figura 82 rappresenta il barometro a sifone, quale venne modificato da Gay-Lussac. Questo fisico, onde rendere più facile il trasporto dello strumento in viaggio senza che vi possa penetrare aria, congiunse i due rami mediante un tubo capillare rappresentato nella figura alla parte inferiore del barometro. Allorchè si capovolge lo strumento, questo tubo, a cagione della capillarità, rimane sempre pieno, e l'aria non può penetrare nel ramo più lungo. Tuttavia, sotto un urto repentino, la colonna di mercurio che trovasi nel tubo capillare, può dividersi e lasciar passare dell'aria. Per ovviare a questo inconveniente, Buntzen adottò la modificazione rappresentata dalla figura 83. Il tubo capillare invece di essere saldato al ramo più lungo, lo è ad un tubo *K*, di grande diametro, nel quale penetra questo braccio in forma di punta affilata. Mediante questa disposizione, se passano delle bolle d'aria nel tubo capillare, non possono

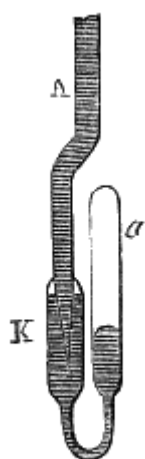


Fig. 83.

entrare nella punta affilata del tubo, e vengono quindi a collocarsi in *K* nella parte più elevata del rigonfiamento, come mostra la figura; là esse non nuocono per nulla allo strumento, poichè alla sommità del tubo esiste sempre il vuoto.

Nel barometro di Gay-Lussac, il ramo corto del tubo è chiuso alla sua estremità superiore, e non porta che una piccola apertura laterale *a*, attraverso la quale agisce la pressione atmosferica.

La misura dell'altezza si ottiene mediante due scale aventi lo zero comune in *O*, verso la metà del ramo più lungo, e graduate in senso contrario, l'una da *O* verso *E*, l'altra da *O* verso *B*, sopra due regoli di ottone paralleli al tubo barometrico. Due corsei a verniero *m* ed *n*, possono scorrere stilla scala in modo da indicare il numero dei

millimetri e dei decimi di millimetro contenuti da *O* in *A* e da *O* in *B*. Sommando poi i due numeri così ottenuti, si ha l'altezza totale *AB*.

La figura 82 rappresenta il barometro di Gay-Lussac fisso ad una tavoletta di acaiù, onde render più facile la dimostrazione. Ma per viaggiare, lo si rinchiude in un astuccio di ottone simile a quello del barometro di Fortin (fig. 81), meno la vaschetta.

**141. Costruzione dei barometri.** - Quanto ora diremo sulla costruzione dei barometri si applica a tutti i barometri a mercurio. Per fabbricare questi istrumenti, si adopera il mercurio, perchè essendo il più denso dei liquidi, giunge alla minore altezza; ma merita questa preferenza anche perchè è poco volatile e non bagna il vetro. È necessario che il mercurio sia perfettamente puro e privo di ossido; altrimenti fa la coda, aderisce cioè al vetro e lo appanna. Inoltre, se non è puro, la sua densità è cambiata e l'altezza del barometro è troppo grande o troppo piccola.

In tutti i barometri, è necessario che lo spazio vuoto che si trova alla sommità del tubo (fig. 78 e 79), e che si chiama *camera barometrica* o *vuoto di Torricelli*, sia completamente privo di aria e di vapore d'acqua, altrimenti questi fluidi, in virtù della loro forza elastica, deprimerebbero la colonna

di mercurio. Per ottenere questo risultato non si versa dapprima nel tubo che una porzione del mercurio destinato a riempirlo, o lo si riscalda fino all'ebollizione; si lascia in seguito raffreddare, e vi si versa una nuova quantità di mercurio che si fa bollire come prima, e così di seguito fino a che il tubo sia pieno. In tal modo, l'aria e l'umidità che aderivano alle pareti del tubo sono trascinate dai vapori di mercurio.

Si riconosce che un barometro è affatto privo di aria e di umidità, allorché inclinato dolcemente, dà un suono secco e metallico, prodotto dal mercurio che va a battere contro la sommità del tubo. Se avvi dell'aria o dell'umidità nel tubo, il suono è attutito.

**142. Correzione relativa alla capillarità.** - Nei barometri a vaschetta avvi sempre, nell'altezza del mercurio, una certa depressione dovuta alla capillarità. Per correggere questo errore bisogna conoscere il diametro interno del tubo barometrico, ed allora mediante la tavola data al paragrafo 113, si determina la depressione che si deve sempre aggiungere alle altezze osservate. Quando il diametro interno non si conosce precedentemente, lo si deduce approssimativamente dal diametro esterno, levando da quest'ultimo  $2^{\text{mill}},3$  se è da 8 a 10 millimetri, e  $2^{\text{mill}},5$  se è da 10 a 12 millimetri. Per un tubo del diametro interno di 20 millimetri, l'errore proveniente dalla capillarità sarebbe trascurabile.

Nel barometro di Gay-Lussac (fig. 82), si evita la correzione relativa alla capillarità, avendo cura che i due rami A e B siano dello stesso diametro, perchè allora le depressioni in A ed in B sono eguali, e la colonna AB conserva la sua vera lunghezza.

**143. Correzione relativa alla temperatura.** - In tutte le osservazioni fatte coi barometri tanto a vaschetta che a sifone, bisogna aver riguardo alla temperatura. Di fatti, quando il mercurio si dilata o si restringe per le variazioni di temperatura, la sua densità cambia, e cambia quindi anche la sua altezza, poichè questa altezza sta in ragione inversa della densità del liquido rinchiuso nel tubo (138); di modo che si potrebbero avere, nel barometro, altezze uguali per pressioni atmosferiche differenti. È necessario adunque, in ogni osservazione, ridurre sempre l'altezza a quella che si avrebbe ad una temperatura determinata ed invariabile. Essendo quest'ultima affatto arbitraria, si scelse la temperatura del ghiaccio fondentesi. Si vedrà nello studiare il calorico (264), come si eseguisce questa correzione mediante il calcolo. Per conoscere la temperatura del mercurio nel barometro si colloca un termometro vicino al tubo, come mostrano le figure 81 e 82.

Si può con un calcolo semplicissimo ridurre allo zero l'altezza del barometro, mediante le tavole di correzione costruite a quest'uopo. Queste tavole si trovano nell'Annuario dell'Ufficio delle longitudini per l'anno 1838.

**144. Variazioni dell'altezza barometrica.** - Se si osserva per parecchi giorni il barometro, si vede che la sua altezza varia in ciascun luogo, non solo da un giorno all'altro, ma ben anche nello stesso giorno.

L'ampiezza delle variazioni, cioè la differenza media tra la maggiore e la minore altezza, non è dovunque la stessa. Essa cresce dall'equatore verso i poli. Le variazioni maggiori, salvo i casi straordinari, sono di 6 millimetri all'equatore, di 30 al tropico del cancro, di 40 in Francia, alla latitudine media, e di 60 a 25 gradi dal polo. Infine, le variazioni maggiori han luogo d'inverno.

Chiamasi *altezza media diurna* il numero che si ottiene facendo la somma di 24 osservazioni successive del barometro, prese d'ora in ora, e dividendo questo numero per 24. Ramond constatò, coll'esperienza, che alla nostra latitudine l'altezza del barometro, a mezzogiorno, è sensibilmente la media del giorno.

L'*altezza media mensile* si ottiene sommando le altezze medie diurne per un mese, e dividendo questo numero per 30.

Finalmente l'*altezza media dell'anno* si determina sommando le altezze medie diurne per un anno, e dividendo la somma per 365.

Sotto l'equatore, la media annuale, al livello del mare, è  $0^{\text{m}},758$ .

Essa aumenta allontanandosi dall'equatore e raggiunge, tra le latitudini di 30 a 40 gradi, un massimo di  $0^{\text{m}},763$ . Essa decresce nelle latitudini più elevate, ed, a Parigi, è solamente  $0^{\text{m}},7568$ .

La media generale, al livello dei mari, sembra sia  $0^{\text{m}},761$ .

La media mensile è più elevata d'inverno che d'estate; il che è una conseguenza del raffreddamento dell'atmosfera.

Nel barometro si distinguono due sorta di variazioni: 1.° le *variazioni accidentali*, che non offrono alcuna regolarità nella loro successione, e che dipendono dalle stagioni, dalla direzione dei venti e dalla posizione geografica; queste sono quelle che si osservano principalmente nei nostri climi; 2.° le *variazioni diurne*, che si producono periodicamente a certe ore del giorno.

All'equatore e nelle regioni intertropicali non si osservano variazioni accidentali; ma le variazioni diurne vi si producono con tale una regolarità, che ivi un barometro potrebbe in certo modo servire d'orologio. Dopo mezzogiorno, il barometro si abbassa fino verso le 4 ore.

A quest'ora giunge all'altezza minima, poi riascende e raggiunge l'altezza massima verso 10 ore di sera. Finalmente si abbassa di nuovo, raggiunge una seconda altezza minima verso le 4 ore di mattino, ed una seconda altezza massima verso 10 ore.

Anche nelle zone temperate si osservano delle variazioni diverse, ma sono però più difficili a constatarsi che all'equatore, perchè si confondono colle variazioni accidentali.

Le ore della massima e della minima altezza nelle variazioni diurne sembrano le stesse in tutti i climi, qualunque sia la latitudine; solo variano un poco colle stagioni.

**145. Causa delle variazioni barometriche.** - Si osserva in generale che le variazioni barometriche sono in senso contrario di quelle del termometro; cioè che, innalzandosi la temperatura, il barometro si abbassa, e viceversa; questo indica che le variazioni barometriche, in luogo determinato, risultano dalle dilatazioni o dalle contrazioni dell'aria in questo luogo, e per conseguenza dai suoi cangiamenti di densità. Se la temperatura fosse costante ed uniforme in tutta l'estensione dell'atmosfera, non si produrrebbe nel suo seno alcuna corrente, e la pressione atmosferica, ad altezza eguale, sarebbe invariabile ed ovunque la stessa.

Ma allorché una certa regione dell'atmosfera si riscalda più che le regioni vicine, l'aria dilatata si innalza in virtù della sua leggerezza specifica e si spande nelle alte regioni dell'atmosfera; da ciò risulta che la pressione diminuisce ed il barometro si abbassa. Lo stesso accadrebbe se, una regione dell'atmosfera conservasse la stessa temperatura, e le altre si raffreddassero; perché, allora, l'aria della prima si innalzerebbe ancora a cagione della sua minor densità. Accade, ordinariamente, che un abbassamento straordinario sopra un punto del globo è compensato da un'altezza simile sopra un altro punto.

Sembra che le variazioni diurne risultino dalle dilatazioni e contrazioni che si producono periodicamente nell'atmosfera per effetto dell'azione calorifica del sole durante la rotazione della terra.

**146. Relazione fra le variazioni barometriche e lo stato del cielo.** - Si osserva che nei nostri climi, il barometro sta comunemente al di sopra di 0<sup>m</sup>,758 durante il bel tempo, ed al di sotto di questo punto nei tempi di pioggia, di neve, di vento o di temporale; e finalmente, che per un certo numero di giorni in cui il barometro segna 0<sup>m</sup>,758 vi sono, in media, tutti i giorni di bel tempo ed altrettanti di pioggia.

Dietro questa coincidenza, fra l'altezza del barometro e lo stato del cielo, si segnarono sul barometro le seguenti indicazioni, contando da 9 in 9 millimetri, al di sopra ed al di sotto di 0<sup>m</sup>,758.

Altezza	Stato dell'atmosfera
731 millimetri	Tempesta
740 millimetri	gran pioggia
749 millimetri	pioggia o vento
758 millimetri	variabile
767 millimetri	bel tempo
776 millimetri	bello stabile
785 millimetri	assai secco

Consultando il barometro, come strumento atto ad annunciare i cangiamenti di tempo, non bisogna perdere di vista che esso non è realmente destinato che a misurare il peso dell'aria, e che

non si innalza o si abbassa se non quando questo peso aumenta o diminuisce. Ora, dal fatto che i cangiamenti di tempo coincidono, il più delle volte colle variazioni di pressione, non si può dedurre che siano fra loro invariabilmente collegate. Questa coincidenza dipende da alcune condizioni meteorologiche particolari ai nostri climi, e non è senza eccezioni. L'abbassarsi del barometro, che nelle nostre regioni precede ordinariamente la pioggia, dipende dalla posizione dell'Europa. Infatti, i venti di sud-ovest, che sono i più caldi, e per conseguenza i meno pesanti, fanno abbassare il barometro; ma nello stesso tempo, siccome attraversando l'Oceano si sono caricati di vapor d'acqua, ci apportano pioggia. I venti del nord e del nord-ovest, al contrario, essendo freddi e più densi, fanno innalzare il barometro; ma siccome non ci arrivano che dopo aver attraversati vasti continenti, sono secchi ed accompagnati, in generale, da un cielo puro e sereno.

I venti caldi di sud-ovest, nel tempo istesso che tendono ad aumentare la pressione atmosferica mediante il loro peso e la tensione del vapore che contengono, tendono pure ad abbassarla per la loro dilatazione. Ma siccome quest'ultima influenza è la più energica, ne deriva alla fine, che i venti di mare, nei nostri climi, fanno discendere il barometro, a motivo dell'innalzamento della temperatura. I venti marini freddi produrrebbero l'effetto contrario. All'imboccatura della Plata, per es., il barometro si tiene più alto pei venti del mare orientale, che pei venti d'ovest che soffiano da terra, e ciò dipende dalla temperatura elevata di questi ultimi. Noi ignoriamo le indicazioni del barometro in Egitto, ma si prevede anticipatamente che i venti che soffiano dal golfo Persico, essendo caldi ed umidi, debbono far abbassare il barometro ed arrecare pioggia, mentre al contrario, i venti di sud-ovest, che sono caldi ed hanno attraversato il deserto, debbono essi pure far abbassare il barometro, ma arrecano però siccità.

Risulta da un gran numero di osservazioni, che le indicazioni fornite dal barometro sono assai probabili, quando questo strumento ascende o discende lentamente, cioè durante due o tre giorni, verso il bel tempo o verso la pioggia. Le variazioni rapide, tanto in un senso che nell'altro, presagiscono cattivo tempo o vento.

Avuto riguardo alle precedenti osservazioni, non che alla direzione dei venti, ed alla temperatura dell'aria, si ponno dedurre dal barometro indicazioni utili, specialmente per l'agricoltura. Bisogna però notare che la tavola d'indicazioni data superiormente, è il risultato di antiche osservazioni fatte a Parigi. Ora, la maggior parte dei fabbricatori di barometri adottarono le medesime indicazioni per tutta la Francia e per tutti i paesi della terra. Ne risulta che in luoghi più elevati di Parigi, o situati in condizioni geografiche diverse, i barometri non fornirono che indicazioni completamente false; non bisogna però attribuirne la causa a questi strumenti, ma bensì a quelli che li fabbricano o li consultano. In ogni paese, le indicazioni del barometro sono modificate dalla posizione geografica, e quindi, per avere indicazioni esatte, bisogna tenerne conto.

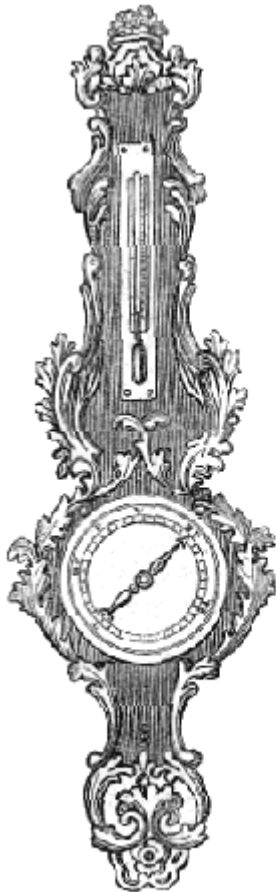


Fig. 84.



Fig. 85.

**147. Barometro a quadrante.** - Il *barometro a quadrante*, dovuto ad Hook, è un barometro a sifone, destinato principalmente ad indicare il bello ed il cattivo tempo. Esso è così chiamato perchè munito di un quadrante su cui si move un lungo indice (fig. 84) che è posto in movimento dal mercurio stesso dello strumento, mediante un meccanismo rappresentato dalla figura 85. All'asse dell'indice è fissata una carrucola O, sì, cui si avvolge un filo che porta all'una delle sue estremità un peso P, ed all'altra un galleggiante, un poco più pesante di questo peso e sostenuto dal mercurio del ramo più corto del tubo barometrico. Se la pressione atmosferica aumenta, il livello si abbassa nel ramo più corto, il galleggiante discende e fa ruotare la carrucola e l'ago da sinistra a destra. Il movimento contrario ha luogo se la pressione diminuisce, perchè allora il mercurio si innalza nel piccolo braccio, ed ascende nel tempo istesso anche il galleggiante. Ne risulta da ciò che l'indice si ferma alle parole variabile, pioggia, bel tempo, ecc., allorchè il barometro arriva alle altezze corrispondenti, purchè però l'istrumento sia ben regolato; ora, questa condizione è rare volte soddisfatta in quelli che si trovano in commercio.

**148. Misura delle altezze mediante il barometro.** - Siccome la pressione dell'atmosfera decresce quanto più si ascende, ne viene che il barometro si abbassa tanto più quanto maggiore è l'altezza cui viene portato lo strumento, il che permette di utilizzarlo per misurare l'altezza delle montagne.

Se la densità dell'aria rimanesse uguale in tutti gli strati dell'atmosfera, si potrebbe con un calcolo semplicissimo dedurre

l'altezza di un luogo, dalla depressione del barometro. Diffatti, siccome la densità dell'aria è 10466 volte minore di quella del mercurio, se il barometro si abbassasse, per es. di 1 millimetro, si dedurrebbe che la colonna d'aria, che fa equilibrio al mercurio, ha sofferta una diminuzione 10466 volte maggiore, cioè di 1 millimetro moltiplicato per 10466, ossia 10<sup>m</sup>,466. Tale sarebbe adunque l'altezza cui si sarebbe giunti.

Se la depressione del mercurio fosse di 2, 3... millimetri, si concluderebbe del pari che l'ascesa sarebbe due volte, tre volte... 10,466. Ma siccome la densità dell'aria decresce a misura che si ascende nell'atmosfera, questo calcolo non si può applicare che a piccole altezze.

Per misurare l'altezza delle montagne, mediante il barometro, Laplace diede la formola

$$D = 18393 (1 + 0,002837 \cos 2\varphi) [1 + (2T+2t)/1000] \log H/h$$

nella quale, D indica la distanza verticale fra i due luoghi di cui si cerca la differenza di livello, H l'altezza del barometro alla stazione inferiore, ed h l'altezza alla stazione superiore; T e t sono le temperature dell'aria corrispondenti a ciascuna osservazione;  $\varphi$  è la latitudine.

Per la latitudine minore di 45°, si ha  $\cos 2\varphi = 0$ , e la formola diventa

$$D = 18393 [1 + (2T+2t)/1000] \log H/h$$

Per altezze minori di 1000 metri, Babinet recentemente propose la formola

$$D = 10000^m [(H-h)/(H+h)] [1 + (2T+2t)/1000]$$

colla quale non si fa uso dei logaritmi.

Oltmanns costrusse alcune tavole colle quali si calcola assai semplicemente la differenza di livello fra due stazioni, purchè si conoscano le altezze H e h del barometro, e le temperature T e t alla stazione inferiore ed alla superiore. Queste tavole e la maniera di servirsene sono nell'Annuario dell'Ufficio delle longitudini.

Se l'altezza che si vuol misurare non è assai grande, si può operare da solo; ma se è considerevole, ed esige un tempo di ascesa un po' lungo, durante il quale la pressione atmosferica può variare, bisogna essere in due, ed avere due barometri che siano ben d'accordo. L'uno degli osservatori rimane al piede della montagna, e l'altro si porta alla sua sommità; poi, ad un'ora determinata, osservano simultaneamente il barometro; di modo che la differenza delle altezze delle colonne è dovuta interamente alla differenza dei livelli.

## CAPITOLO II

### MISURA DELLA FORZA ELASTICA DEI GAS

**149. Legge di Mariotte.** - L'abbate Mariotte, fisico francese, morto nel 1684, stabilì, per il primo, la legge seguente sulla compressibilità dei gas: *Rimanendo costante la temperatura, il volume di una data massa di gas è in ragione inversa della pressione che sostiene.*

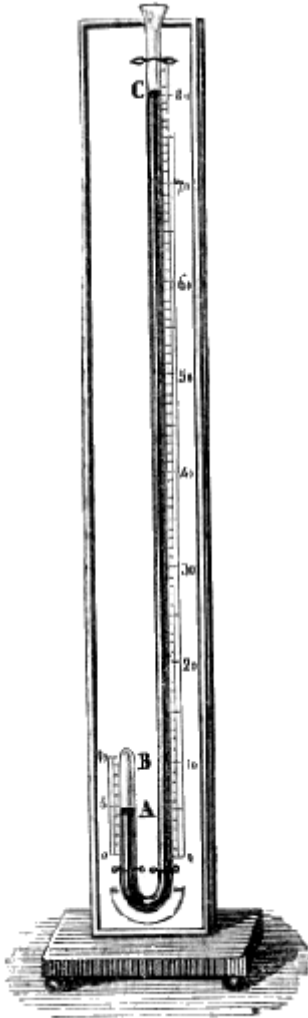


Fig. 86 (a. = 1,000).

Questa legge si verifica, per l'aria, mediante l'apparato seguente, conosciuto sotto il nome di *tubo di Mariotte*. Sopra una tavoletta di legno, disposta verticalmente, è fissato un tubo di vetro ricurvo a sifone, avente i due rami diseguali (fig. 86). Lungo il tubo più corto, che è chiuso, evvi una scala che indica capacità uguali, ed un'altra scala posta lunghezso il ramo più lungo indica le altezze in centimetri. Gli zeri delle due scale si trovano sopra una medesima linea orizzontale.

Per sperimentare, si incomincia coll'introdurre del mercurio nell'apparato, per la sommità del ramo più lungo, in modo che il livello del liquido in ambedue i rami corrisponda allo zero, ciò che si ottiene dopo qualche tentativo. L'aria rinchiusa nel ramo più corto è allora sottoposta, alla pressione atmosferica che si esercita, sulla superficie del mercurio, nel tubo più lungo, perchè altrimenti il livello non sarebbe lo stesso. Finalmente si versa del mercurio nel tubo finchè la pressione che ne risulta riduca alla metà il volume dell'aria rinchiusa nel braccio più corto, cioè finchè questo volume che dapprima era 10, non sia più che 5, come mostra la figura 86. Se allora si misura la differenza del livello CA del mercurio nei due rami, si trova che è precisamente uguale all'altezza del barometro al momento in cui si sperimenti. La pressione della colonna CA equivale adunque ad un'atmosfera. Aggiungendovi la pressione atmosferica che si esercita in C, alla sommità della colonna, si vede che al momento in cui il volume d'aria è ridotto alla metà, la pressione è doppia della primitiva, il che dimostra la legge.

Se la lunghezza del ramo più lungo è tale che vi si possa versare mercurio finchè il volume dell'aria rinchiusa nel ramo più corto sia ridotto ad un terzo di quello che era in principio, si trova che la differenza di livello nei due tubi è uguale a due volte l'altezza del barometro; essa equivale cioè a due pressioni atmosferiche, che aggiunte a quella che si esercita direttamente sulla superficie del mercurio nel tubo più lungo, danno una pressione di tre atmosfere. Il volume dell'aria, adunque, è divenuto tre volte minore sotto una

pressione tripla. La legge di Mariotte venne in tal modo verificata per l'aria fino a 27 atmosfere, da Dulong ed Arago, mediante un apparato analogo a quello da noi descritto.

La legge di Mariotte si verifica anche per pressioni minori di quelle di un'atmosfera. A tal uopo si riempie di mercurio un tubo barometrico fin circa a due terzi, lasciando il resto pieno d'aria; poi lo si capovolge e lo si immerge in una provetta profonda, piena di mercurio (fig. 87); in seguito si spinge a fondo il tubo finchè il livello del mercurio sia lo stesso tanto all'interno che all'esterno, e si osserva, mediante una scala fissa alla provetta, qual è il volume dell'aria rinchiusa nel tubo. Ciò posto, si solleva il tubo, come rappresenta la figura, fintanto che, per la diminuzione di pressione, il volume dell'aria sia divenuto il doppio. Ora, si trova che allora il mercurio si innalza nel tubo A, e che l'altezza cui giunge è la metà di quella del barometro. Quindi l'aria, di cui il volume è raddoppiato, non è più sottoposta che alla pressione di mezza atmosfera, perchè è la forza elastica di



quest'aria, che unita al peso della colonna sollevata, fa equilibrio alla pressione atmosferica esterna. Il volume adunque è ancora in ragione inversa della pressione.

Nell'esperienza del tubo di Mariotte, siccome l'aria rinchiusa nel tubo rimane la stessa, così la sua densità diviene necessariamente tanto maggiore, quanto più diminuisce il suo volume; dal che si deduce come conseguenza della legge di Mariotte, il principio seguente: *Per una stessa temperatura, la densità di un gas è proporzionale alla pressione che esso sopporta.*

Per conseguenza, siccome sotto la pressione atmosferica ordinaria la densità dell'aria è 770 volte minore di quella dell'acqua, sotto una pressione di 770 atmosfere, l'aria avrebbe la stessa densità dell'acqua, se ad una tale pressione fosse ancora gasosa, ciò che si ignora.

Sino a questi ultimi anni, la legge di Mariotte si ammetteva in modo assoluto per tutti i gas ed a tutte le pressioni. Despretz dimostrò, pel primo, che l'acido carbonico, l'idrogeno solforato, l'ammoniaca e il cianogene sono più compressibili dell'aria, e che l'idrogeno, comportandosi dapprima come l'aria sino ad una pressione di 15 atmosfere, è in seguito meno compressibile. Avendo le esperienze di Despretz comprovato che tutti i gas non sono egualmente compressibili, deducesi che la legge di Mariotte non era generale.

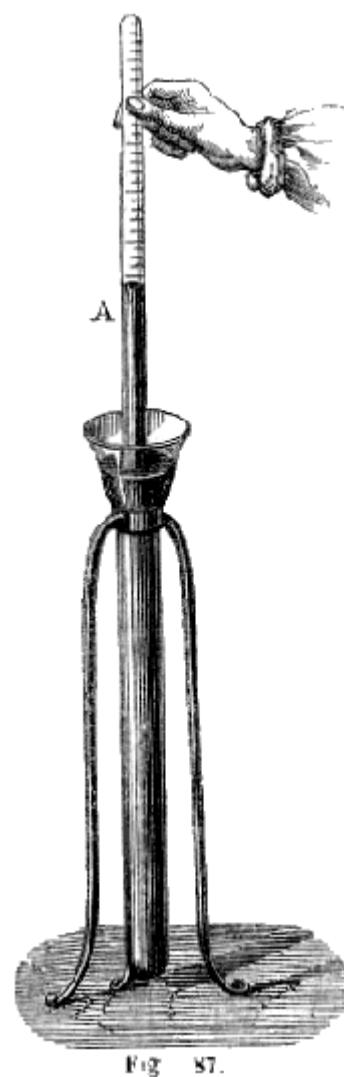
Questa legge trovavasi quindi difettosa, quando Dulong ed Arago intrapresero sulla forza elastica del vapor acqueo alcune ricerche nelle quali essi dovevano far uso di un manometro ad aria compressa (153) per misurare la tensione. Ora volendo essi a questo scopo assicurarsi dell'esattezza del loro manometro, lo graduarono, non secondo la legge di Mariotte, ma sottomettendo direttamente l'aria rinchiusa nel manometro a delle pressioni sempre più grandi. Per ciò il tubo manometrico era immerso in un recipiente ripieno di mercurio, ermeticamente chiuso, e comunicante con un tubo verticale dell'altezza di 25 metri, che corrispondeva alla grande branca del tubo di Mariotte, mentre il manometro faceva le veci della branca piccola. Ciò posto, versando gradatamente del mercurio nel gran tubo, la pressione si trasmetteva al mercurio del recipiente, e il liquido si elevava nel tubo manometrico comprimendo l'aria che vi era rinchiusa. Ora, a misura che il volume così riducevasi, l'altezza del mercurio nel gran tubo faceva conoscere la pressione corrispondente. I due fisici avendo sperimentato sino a 27 atmosfere, osservarono che il volume dell'aria diminuiva sempre un po' più di quello lo indicasse la legge di Mariotte, ma le differenze essendo piccolissime, essi le attribuirono ad errori di osservazioni, e ammisero che questa legge era rigorosamente esatta per l'aria, per lo meno fino a 27 atmosfere di pressione, limite delle loro esperienze.

Finalmente Regnault nel 1847 pubblicò talune esperienze sulla compressibilità dei gas fatte con un apparecchio che aveva molti rapporti con quello di Dulong ed Arago, ma col quale erasi tenuto conto di tutte le cause di errore e fatte le osservazioni con una precisione estrema.

Ora avendo fatte le sue esperienze sull'aria, l'azoto, l'acido carbonico e l'idrogeno, Regnault constatò dapprima che l'aria non segue rigorosamente la legge di Mariotte, ma si comprime di più che essa non indichi, e inoltre che la sua compressibilità aumenta

colla pressione; vale a dire che i risultati ottenuti per mezzo dell'osservazione e quelli dedotti dalla legge di Mariotte differiscono tanto più quanto più forte è la pressione.

Regnault ha trovato che l'azoto si comporta come l'aria, tranne che è meno compressibile. Quanto poi all'acido carbonico, esso allontanasi di molto dalla legge di Mariotte, quando le



pressioni siano un po' considerevoli. Finalmente anche l'idrogeno se ne allontana; ma la sua compressibilità, invece di aumentare colla pressione, diminuisce.

Regnault ha inoltre osservato che l'acido carbonico si allontana tanto meno dalla legge di Mariotte quanto più elevata è la temperatura, e si ammette generalmente che ciò valga anche per gli altri gas. Infatti l'esperienza dimostra che i gas differiscono tanto più da questa legge quanto più vicini sono al loro punto di liquefazione, e che al contrario allontanandosi da questo punto, la compressibilità tende sempre più a diventar proporzionale alla pressione. Del resto possiamo aggiungere che per tutti i gas che non si poterono liquefare, la differenza tra la legge di Mariotte e l'osservazione sono estremamente piccole e affatto trascurabili nelle esperienze di fisica e chimica, quando non si considerino che pressioni poco considerevoli, come è il caso ordinario.

**150. Applicazioni della legge di Mariotte.** - Ecco, sulla legge di Mariotte, alcuni problemi di uso frequente in fisica ed in chimica.

I. Un vaso, a pareti compressibili, contiene 4 lit., 3 d'aria, alla pressione di  $0^m,74$ ; quale sarà il volume d'aria contenuto alla pressione di 0,76, non variando la temperatura?

Se alla pressione  $0^m,74$  il volume d'aria è 4 lit., 3, dietro la legge di Mariotte, alla pressione  $0^m,01$  sarà 74 volte maggiore, ossia 4 lit.,3 X  $74^{(4)}$ ; e, dietro alla stessa legge, alla pressione  $0^m,76$ , sarà 76 volte minore, cioè  $(4,3 \cdot 74)/76 = 4^{lit},186$ .

II. Si hanno 20 litri di gas sotto la pressione di un'atmosfera; a qual pressione, in atmosfere, dovrà esser sottoposto questo gas acciocchè il suo volume si riduca ad 8 litri?

Per ridurre il volume di 20 litri ad un solo, dietro la legge di Mariotte, bisognerebbe una pressione 20 volte maggiore, una pressione cioè di 20 atmosfere; per ridurlo quindi da 1 sol litro ad 8, è necessaria una pressione 8 volte minore, ossia  $20/8 = 2$  atmosfere e  $\frac{1}{2}$ .

III. Un litro d'aria pesa gr. 1,3, a  $0^\circ$  o sotto la pressione di 76c di mercurio; quale sarà il suo peso, ad ugual temperatura, se la pressione fosse 72c?

Essendo il peso di un dato volume di gas direttamente proporzionale alla pressione, un litro d'aria, alla pressione di 76, peserebbe 76 volte meno che alla pressione di 72, peserebbe cioè  $1^{gr},03/76$ , ed alla pressione 72, pesa 72 volte di più, cioè  $1^{gr},03 \cdot 72/76 = 1^{gr},23$

**151. Manometri.** - Si dà il nome generale di *manometri* ad alcuni strumenti destinati a misurare la tensione dei gas e dei vapori, allorchando è superiore alla pressione atmosferica. Se ne distinguono tre sorta, cioè il manometro ad aria libera, il manometro ad aria compressa ed il manometro metallico.

In questi differenti generi di manometri, l'unità di misura che venne scelta è la pressione atmosferica, quando il barometro segna  $0^m,76$ . Ora, sappiamo (133) che questa pressione, sopra un centimetro quadrato, equivale al peso di  $1^{kg},033^{gr}$ ; per conseguenza, se si dice che un gas ha una tensione di due, di tre atmosfere, ciò significa che esso esercita, sopra ciascun centimetro quadrato delle pareti che lo contengono, una pressione uguale a due o tre volte il peso di  $1^{kg},033^{gr}$ .

**152. Manometro ad aria libera.** - Il *manometro ad aria libera* si compone di un tubo BD (fig. 88) di cristallo, lungo circa 5 metri, e di una vaschetta D di ferro lavorato a martello, contenente del mercurio, nel quale si immerge il tubo. Quest'ultimo, che è aperto alle due estremità, è solidamente unito con mastice alla vaschetta, e fissato su di una tavoletta di abete, lungo la quale è situato un secondo tubo AC, di ferro, alto 4 metri. Per mezzo di questo tubo la pressione del gas o del vapore si trasmette fino al mercurio della vaschetta. Siccome i manometri funzionano il più delle volte coi vapori, la di cui elevata temperatura ammolirebbe il mastice che serve a fissare il tubo di cristallo alla vaschetta, si riempie il tubo AC di acqua, ed è quest'ultima che riceve direttamente la pressione del vapore e la trasmette al mercurio.

Per graduare il manometro, si lascia l'orifizio A in comunicazione coll'atmosfera, ed al livello cui giunge allora il mercurio nel tubo di cristallo, si segna 1, cioè un'atmosfera, poi a partire da questo punto, di 76 in 76 centimetri, si marcano le cifre 2, 3, 4, 5, 6, che indicano il numero d'atmosfera, giacchè si sa che una colonna di mercurio di 76 centimetri rappresenta la pressione atmosferica.

---

<sup>(4)</sup> Nel testo "4 lit.,3 + 74". Corretto doppio confronto con l'originale francese, reperibile su gallica.bnf.fr. [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

Fig. 88  
(a. = 4m.80).

**153. Manometro ad aria compressa.** - Il *manometro ad aria compressa*, fondato sulla legge di Mariotte, si compone di un tubo di cristallo chiuso alla sua estremità superiore e pieno d'aria secca. Questo tubo pesca in una vaschetta di ferro, piena in parte di mercurio, ed alla quale è unito con mastice. Quest'ultima, mediante una tubulatura A (fig. 89), è posta in comunicazione con un vaso chiuso contenente il gas od il vapore di cui si vuol misurare la forza elastica.

La posizione esatta delle cifre 2, 3, 4, ... sulla scala del manometro, si determina mediante il calcolo.

Per fare questo calcolo, consideriamo dapprima il caso in cui il diametro interno della vaschetta sia abbastanza grande perché si possa ammettere che il livello vi resti sensibilmente costante, quando il mercurio si innalza nel tubo. Ciò posto, messo il manometro in comunicazione con un vaso che contiene un gas compresso, sia  $F$  la tensione in centimetri in questo vaso,  $h$  l'altezza del tubo manometrico partendo dal livello del mercurio nella vaschetta, e  $x$  l'altezza alla quale si innalza il mercurio Per effetto della pressione  $F$ .

La pressione esterna essendo dapprima di un'atmosfera, o 76 centimetri, il volume d'aria nel tubo manometrico può essere rappresentato da  $h$ , poscia, la pressione esterna diventando  $F$ , il volume di aria riducesi ad  $h - x$ ; esso è dunque allora più compresso, e acquista una tensione  $F$  che si calcola, colla legge di Mariotte, ponendo  $f/76 = h/(h-x)$ ,  $f = 76h/(h-x)$ . Ora, facendo  $F$  equilibrio colla colonna di mercurio  $x$  e colla elasticità  $f$  dell'aria compressa, si ha  $f = 76h/(h-x) + x$  (1); d'onde si tirano i due valori

$$x' = \frac{(F+h) + \sqrt{(F+h)^2 - 4h(F-76)}}{2}$$

$$x'' = \frac{(F+h) - \sqrt{(F+h)^2 - 4h(F-76)}}{2}$$

Pag. 95

Volendo ora tener conto della depressione del mercurio nella vaschetta, sia  $x'$  questa depressione,  $R$  il raggio interno della vaschetta,  $r$  quello del tubo manometrico, e  $x$  l'ascensione del mercurio in quest'ultimo. L'ascensione e la depressione del mercurio essendo in ragione inversa delle sezioni del tubo e della vaschetta, o, ciò che è lo stesso, in ragione inversa dei quadrati dei raggi di queste stesse sezioni, si ha  $x'/x = r^2/R^2$ , d'onde si ha  $x' = r^2 x / R^2$ .

Ciò posto, la differenza di livello nel tubo e nella vaschetta essendo attualmente  $x + x'$ , la tensione  $F$  fa equilibrio ad una colonna di mercurio  $x + x'$ , più alla forza elastica dell'aria compressa nel tubo, la quale è ancora  $76h/(h-x)$ . Si ha dunque.

Sostituendo ad  $x$  il suo valore e riducendo,

$$F = (R^2 + r^2)/R^2 + 76h/(h-x) \quad (2)$$

Nel caso che il manometro consistesse semplicemente in un tubo ricurvo, chiuso alla sua estremità superiore e contenente del mercurio (fig. 90), di avrebbe  $R = r$ , e allora la formola (2) diventa

$$F = 2x + 76h/(h-x).$$

**154. Manometro di Bourdon.** - Bourdon, meccanico a Parigi, inventò recentemente un nuovo manometro rappresentato dalla figura 91. Questo strumento, che è tutto di metallo e senza mercurio, è basato sul seguente principio, fondato sul cangiamento di forma operato nei tubi dalle pressioni allorchè un tubo, a pareti flessibili e leggermente appianate, è piegato in forma di spirale nel senso del suo diametro più piccolo, *ogni pressione interna sulle pareti tende a svolgerlo, ed invece, qualsivoglia pressione esterna tende ad avvolgerlo maggiormente.*

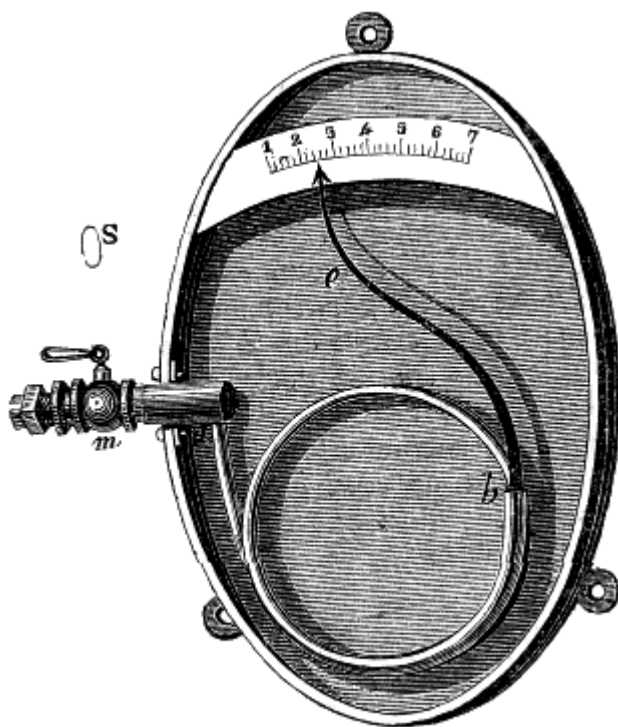


Fig. 91 (a. = 26).

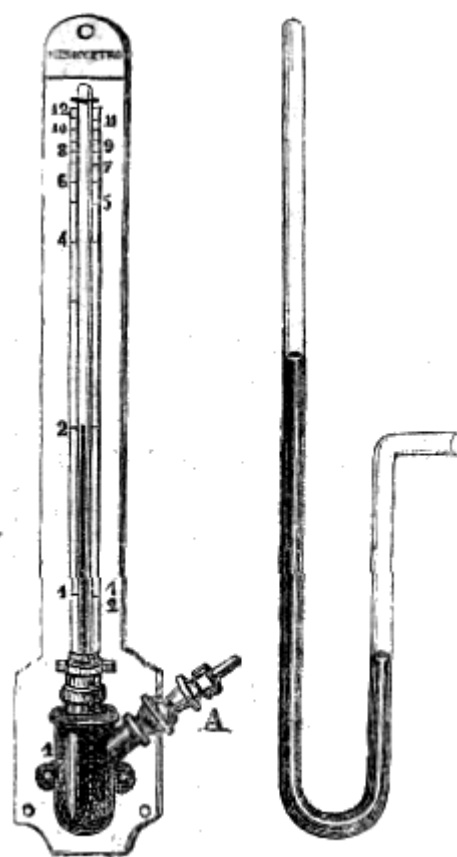


Fig. 89.

Fig. 90.

Dietro questo principio, il manometro di Bourdon si compone di un tubo ricurvo, di ottone, lungo 0<sup>m</sup>,7, le di cui pareti sono sottili e flessibili. La sua sezione rappresentata in S alla sinistra della figura, è un'elisse, il di cui asse maggiore è di 11 millimetri, ed il minore di 4. L'estremità  $a$ , che è aperta, è fissata ad una tubulatura a robinetto  $m$ , destinata a porre l'apparato in comunicazione con una caldaia a vapore. L'estremità  $b$  è chiusa e mobile come tutto il rimanente del tubo.

Ciò posto, trovandosi aperto il robinetto  $m$ , la pressione che si produce, in forza della tensione del vapore, sull'interno delle pareti del tubo, lo fa svolgere. L'estremità  $b$  è allora trascinata da sinistra a destra, e con essa un lungo ago  $e$ , che indica, sopra un quadrante, la tensione del vapore in atmosfere. Questo quadrante si gradua precedentemente confrontandolo con un manometro ad aria libera, facendo agire l'apparato mediante l'aria compressa.

Il manometro di Bourdon offre, sui precedenti, il vantaggio di essere assai portatile e per nulla fragile. Per tal motivo è adottato sulle locomotive di molte strade-ferrate.

**155. Barometro metallico di Bourdon.** - Bourdon inventò pure un barometro metallico fondato sullo stesso principio del suo manometro. Quest'apparato, rappresentato dalla figura 92, si compone di un tubo simile a quello del manometro sopra descritto, ma meno lungo, chiuso ermeticamente, e fissato soltanto alla sua metà; per tal modo, essendovi precedentemente stato operato il vuoto, ogni qualvolta la pressione atmosferica diminuisce, il tubo si svolge in forza del principio suesposto (154). Il movimento si comunica ad un ago che indica la pressione sopra un quadrante. La trasmissione del movimento, ha luogo mediante due piccoli fili metallici *b* ed *a*, che uniscono le estremità del tubo ad una leva fissata all'asse dell'ago. Se, al contrario, la pressione aumenta, il tubo piega su sè stesso, ed una piccola molla a spirale e fa girare l'indice da sinistra a destra sul quadrante. Questo barometro è di piccolissimo volume, assai sensibile e rimarchevole per la sua semplicità.



Fig. 92 ( $a, = 10$ ).

**156. Leggi delle mescolanze dei gas.** - Abbiamo veduto che nelle mescolanze dei liquidi non vi può essere equilibrio se non allorché essi sono sovrapposti in ordine di densità crescenti dall'alto al basso (88); e la superficie di separazione dei diversi liquidi è orizzontale. I gas, in virtù della loro forza espansiva, presentano, allorché vengono mescolati, altre condizioni di equilibrio, quali sono le seguenti:

1.° *La mescolanza, che si compie sempre rapidamente, è omogenea e stabile, di modo che tutte le parti del volume totale contengono le stesse proporzioni di ciascun gas costituente la mescolanza.*

2.° *Se la temperatura è costante, e se la mescolanza ha luogo in un vaso a pareti inestensibili, la forza elastica della mescolanza è sempre uguale alla somma delle forze elastiche dei gas mescolati, ciascuna di esse essendo riferita al volume totale, secondo la legge di Mariotte.*

Questa seconda legge si può enunciare anche dicendo che, *in una mescolanza di vari gas, la pressione che ciascuno di essi esercita è uguale a quella che eserciterebbe se fosse solo.*

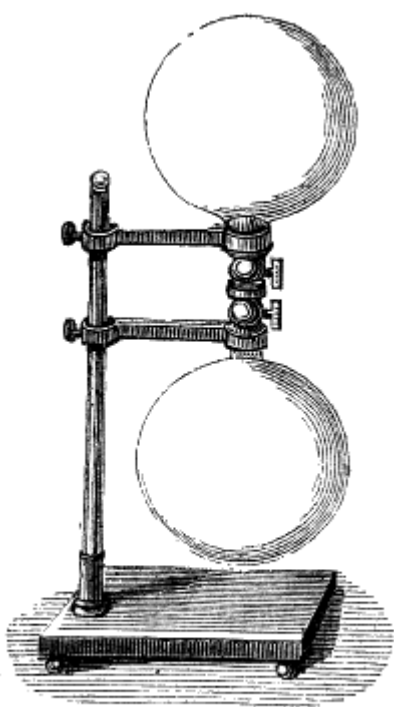


Fig. 93.

La prima legge è una conseguenza della somma porosità dei gas e della loro forza espansiva. Essa venne dimostrata per la prima volta dal chimico francese Berthollet, mediante l'apparato rappresentato dalla figura 93, il quale si compone di due palloni di vetro, munito ciascuno di un collo a robinetto, ed uniti a vite l'uno sull'altro. Il pallone superiore era pieno di idrogeno, la cui densità è 0,0692, e l'altro di gas acido carbonico, la cui densità è 1,529, cioè 22 volte maggiore. L'apparato fu collocato nelle cantine dell'Osservatorio, onde preservarlo da ogni agitazione e da ogni variazione di temperatura. Essendo stati aperti i robinetti, l'acido carbonico, ad onta del suo peso maggiore, passò in parte nel pallone superiore, e, dopo qualche tempo, si verificò che i due palloni contenevano proporzioni uguali di idrogeno e d'acido carbonico. Sottoposti alla stessa esperienza, tutti i gas che non esercitano fra loro azione chimica danno lo stesso risultato, e si osserva che la mescolanza si opera tanto più rapidamente quanto maggiore è la differenza di densità.

La seconda legge è una conseguenza della legge di Mariotte. Se ne deduce inoltre che se le pareti del vaso in cui si operi la mescolanza sono estensibili, e se i gas che si mescolano sono sottoposti alla pressione atmosferica, la forza elastica della mescolanza è uguale a questa pressione; ma in tal caso, il volume della mescolanza è precisamente uguale alla somma dei volumi

dei gas mescolati. Finalmente, le mescolanze gaseose sono sottoposte alla legge di Mariotte del pari che i gas semplici; questo venne già constatato per l'aria (149), che è una mescolanza di azoto e di ossigeno.

**157. Leggi delle mescolanze dei gas e dei liquidi.** - L'acqua e molti altri liquidi sono dotati della proprietà di lasciarsi penetrare dai gas. Ma nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, uno stesso liquido non assorbe quantità uguali di differenti gas. Per es., alla temperatura ed alla pressione ordinaria, l'acqua discioglie 25 millesimi del suo volume di azoto, 46 millesimi dello stesso volume di ossigeno, un volume uguale al proprio d'acido carbonico, e 430 volte il suo volume di gas ammoniacco. Il mercurio sembra rifiutarsi interamente alla penetrazione dei gas.

L'esperienza dimostra che le mescolanze dei gas e dei liquidi sono sottoposte alle tre leggi seguenti:

1.° *Per uno stesso gas, uno stesso liquido ed una stessa temperatura, il peso di gas assorbito è proporzionale alla pressione;* ciò vuol dire che a tutte le pressioni il volume disciolto è lo stesso, ovvero anche che la densità del gas assorbito è in un rapporto costante con quella del gas esterno non assorbito.

2.° *La quantità di gas assorbito è tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura,* cioè quanto minore è la forza elastica del gas.

3.° *La quantità di gas che un liquido può disciogliere è indipendente dalla natura e dalla quantità degli altri gas che tiene già in soluzione.*

Infatti, se invece di un sol fluido elastico, l'atmosfera superiore al liquido ne contiene vari, si trova che ciascuno di questi gas, qualunque ne sia il numero, si discioglie come se fosse solo, cioè nella stessa proporzione, tenendo conto però della pressione che gli è propria. Per es., non formando l'ossigeno sensibilmente che  $\frac{1}{5}$  dell'aria, l'acqua, nelle condizioni ordinarie, assorbe precisamente la stessa quantità di ossigeno come se l'atmosfera fosse interamente formata di questo gas, sotto una pressione uguale ad  $\frac{1}{5}$  di quella dell'atmosfera.

Dietro la prima legge, allorché la pressione diminuisce, deve decrescere anche la quantità di gas disciolto. Ciò appunto si verifica collocando una soluzione gasosa sotto la campana della macchina pneumatica e facendo il vuoto: si scorge il gas ubbidire alla sua forza espansiva e sfuggire in bolle.

Lo stesso effetto si ottiene coll'innalzamento della temperatura, perchè la forza elastica del gas disciolto aumenta.

**158. Equilibrio dei fluidi le cui diverse parti non hanno la stessa densità.** - In una massa fluida, tanto liquida che gasosa, l'equilibrio non può sussistere se non nel caso, in cui essendo eguale la pressione su tutti i punti di ciascun strato orizzontale (80), lo stesso avvenga della densità; altrimenti, le parti meno dense si innalzano nella massa fluida, a guisa dei corpi galleggianti (97), e le più dense si abbassano. Per conseguenza perchè una massa fluida si conservi in equilibrio, bisogna:

1.° *che la densità sia uguale per tutti i punti di uno strato orizzontale;*

2.° *perchè l'equilibrio sia stabile, gli strati fluidi debbono essere disposti in ordine di densità crescenti dall'alto al basso* (88).

Ora siccome i gas ed i liquidi sono assai dilatibili per l'azione del calorico, la loro densità decresce coll'aumentare della temperatura; per conseguenza la seconda condizione suaccennata non può essere soddisfatta, almeno pei liquidi, se non quando gli strati inferiori sono più freddi dei superiori. Ma pei gas, che sono assai compressibili, non è necessario che gli strati superiori siano più caldi degli inferiori, perchè questi ultimi essendo più compressi, tendono ad esser più densi; basta adunque che la densità aumenti, per effetto della pressione, negli strati inferiori, più di quello che decresca per l'innalzamento della temperatura; questo appunto ha luogo, in generale, nell'atmosfera.

Le correnti che nascono in una massa fluida per effetto delle differenze di densità cagionate dalle differenze di temperatura dei diversi strati, hanno ricevuta la loro applicazione nel tirante dei camini e negli apparati di riscaldamento a circolazione d'acqua calda. Noi daremo queste applicazioni (lib. VI, cap. XI) dopo aver fatta conoscere la dilatazione dei liquidi e dei gas.

## CAPITOLO III

### PRESSIONI SOSTENUTE DAI CORPI DIVERSI NELL'ARIA, AEROSTATI

**159. Principio d'Archimede applicato ai gas.** - Si sa che le pressioni esercitate dai gas, in virtù della loro forza elastica e del loro peso, si trasmettono egualmente in tutti i sensi (129), ciò che per l'aria venne già dimostrata mediante gli emisferi di Magdeburgo (133); ne risulta che si può applicare parola per parola ai corpi immersi nell'atmosfera ciò che dicemmo (94) dei corpi immersi nei liquidi, e concludere ch'essi perdono una quantità del loro peso uguale a quello dell'aria spostata.

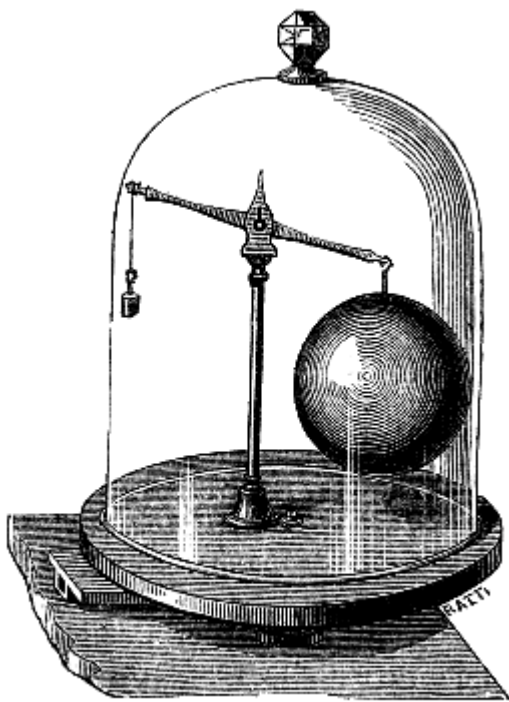


Fig. 94 (a. = 20).

Questa perdita di peso, nell'aria, si dimostra mediante il *baroscopio*. Chiamasi così un apparato che consiste in un giogo di bilancia, il quale porta all'una delle sue estremità una piccola massa di piombo, ed all'altra una sfera cava di ottone, il di cui volume è circa un decimetro cubo (fig. 94). Nell'aria i due corpi si fanno equilibrio; ma se si colloca l'apparato sotto la campana della macchina pneumatica e si fa il vuoto, si vede il giogo inclinarsi dal lato della grossa sfera, come mostra la figura, locchè indica che in realtà essa pesa più della piccola massa di piombo, perchè attualmente esse non sopportano alcuna pressione e non ubbidiscono che alla gravità. Adunque, nell'aria, la sfera perdeva una certa parte del suo peso. Se si vuol verificare, mediante lo stesso apparato, che questa perdita è veramente uguale al peso dell'aria spostata, si misura il volume della sfera, che noi supporremo eguale ad un mezzo litro. Siccome il peso di egual volume d'aria è 0<sup>gr</sup>,65 (128), si aggiunge questo peso alla piccola massa di piombo; l'equilibrio che dapprima aveva luogo, nell'aria, più non sussiste, ma, nel vuoto, si ristabilisce.

Siccome il principio di Archimede si verifica pei corpi immersi nell'aria, si può loro applicare tutto ciò che si disse pei corpi immersi nei liquidi (97), cioè che quando un corpo è più pesante dell'aria, cade, per l'eccesso del suo peso rispetto alla spinta del fluido. Se è della stessa densità dell'aria, il suo peso e la spinta dal basso all'alto si fanno equilibrio, ed il corpo galleggia nell'atmosfera. Finalmente, se il corpo è men denso dell'aria, prevale la spinta ed il corpo si eleva nell'atmosfera fin quando incontra degli strati d'aria di densità uguale alla sua.

La forza d'ascesa e discesa è in questo caso eguale all'eccesso della spinta relativamente al peso del corpo. Questa è la causa per cui il fumo, i vapori, le nubi, gli aerostati si innalzano nell'atmosfera.

**160. Scoperta degli aerostati.** - Gli aerostati o palloni sono globi di stoffa leggera ed impermeabile, che riempiti d'aria calda o di gas idrogeno, si innalzano nell'atmosfera in virtù della loro leggerezza relativa.

L'invenzione degli aerostati è dovuta ai fratelli Stefano e Giuseppe Montgolfier, fabbricatori di carta nella piccola città d'Annonay, ove la prima prova ebbe luogo il 5 giugno 1783. Questo primo



pallone era un globo di tela ricoperto di carta, della circonferenza di 36 metri e del peso di 250 chilogrammi. Aperto alla parte inferiore, fu gonfiato ad aria calda, abbruciandovi al disotto della carta, della lana e della paglia bagnata.

«A questa notizia, scriveva l'accademico Lalande, noi tutti dicemmo: Così deve essere; come mai non ci avevamo pensato?» Vi si era pensato, ma avvi una grande differenza fra il concepire un'idea ed il mandarla ad effetto. Black, professore di fisica ad Edimburgo, aveva annunciato nelle sue lezioni, nel 1767, che una vescica piena d'idrogeno si innalzerebbe naturalmente nell'atmosfera; ma non ne fece mai l'esperienza riguardandola come di puro divertimento. Finalmente, Cavallo, nel 1782, comunicò alla Società reale di Londra alcune esperienze da lui fatte, che consistevano nel riempire d'idrogeno delle bolle di sapone le quali si innalzavano da sè sole nell'atmosfera, perchè il gas che le riempiva era più leggero dell'aria.

Checchè ne sia, i fratelli Montgolfier non conoscevano le esperienze di Cavallo nè quella di Black, quando fecero la loro scoperta. Siccome essi riempivano i loro palloni solo di aria calda, così a questi palloni si diede il nome di *Mongolfiere*, per distinguerli dagli aerostati ad idrogeno, i soli usati al dì d'oggi.

Charles, professore di fisica a Parigi, morto nel 1823, fu il primo che sostituì il gas idrogeno all'aria calda. Il 27 agosto 1783, si fece innalzare al campo di Marte un pallone così gonfiato. Giammai, scrive Mercier, fu data una lezione di fisica davanti ad un uditorio più numeroso e più attento.

Il 21 novembre dello stesso anno, Pilâtre de Rozier intraprese, in compagnia del cavalier d'Arlandes, il primo viaggio aereo con un pallone libero ad aria calda. L'ascesa ebbe luogo nel giardino della Muta vicino al bosco di Boulogne. Gli aeronauti mantenevano al disotto del pallone un fuoco di paglia bagnata per mantenere la dilatazione dell'aria interna: il fuoco poteva adunque a ciascun istante comunicarsi all'inviluppo.

Dieci giorni dopo, nel giardino delle Tuileries, Charles e Robert ripetevano lo stesso esperimento con un pallone a gas idrogeno.

Il 7 gennaio 1785, Blanchard, in compagnia del dottor Jeffriers, fece, per il primo, il traverso da Douvres a Calais. I due aeronauti non raggiunsero le coste della Francia che a grande stento, e dopo aver gettati in mare persino i loro vestimenti per rendere il pallone più leggero.

In seguito si fece un numero considerevole di ascensioni. Quella che fece Gay-Lussac, nel 1804, fu la più rimarchevole pei fatti di cui arricchì la scienza, e per l'altezza che questo celebre fisico raggiunse, altezza che fu di 7016 metri al disopra del livello del mare. In seguito, Green si innalzò ancor maggiormente. A tale altezza, il barometro era disceso a 32 centimetri, ed il termometro centigrado, che segnava 31 gradi alla superficie del suolo, era allora a 9°,5 al disotto dello zero. Una recente salita diede, per la stessa altezza, una temperatura ancor più bassa.

In queste alte regioni, la secchezza era tale, nel giorno dell'ascensione di Gay-Lussac, in giugno, che le sostanze igrometriche, quali la carta, la pergamena, si essiccavano e si contorcevano come se fosser presentate al fuoco. La respirazione e la circolazione del sangue erano accelerate per la grande rarefazione dell'aria. Gay-Lussac constatò che il suo polso dava allora 120 pulsazioni, mentre nelle circostanze normali ne dava 66. Ad un'altezza sì grande, il cielo prende una tinta turchina cupa, volgente al nero, ed un silenzio assoluto e solenne circonda l'aeronauta.

Innalzatosi nel cortile del Conservatorio d'arti e mestieri, Gay-Lussac discese vicino a Rouen, dopo sei ore, avendo fatte circa 30 leghe.

**161. Costruzione, gonfiamento ed ascensione degli aerostati.** - L'inviluppo degli aerostati è formato di lunghi fusi di taffetà uniti insieme e coperti d'una vernice di gomma elastica, che rende impermeabile il tessuto. Alla sommità del pallone avvi una valvola tenuta ben chiusa da una sosta interna, e che l'aeronauta può aprire, quando più gli piaccia mediante una funicella. Al disotto del pallone pende una leggera navicella o galleria di vimini, nella quale possono collocarsi parecchie persone, sostenuta da una rete di corda che avvolge tutto il pallone.

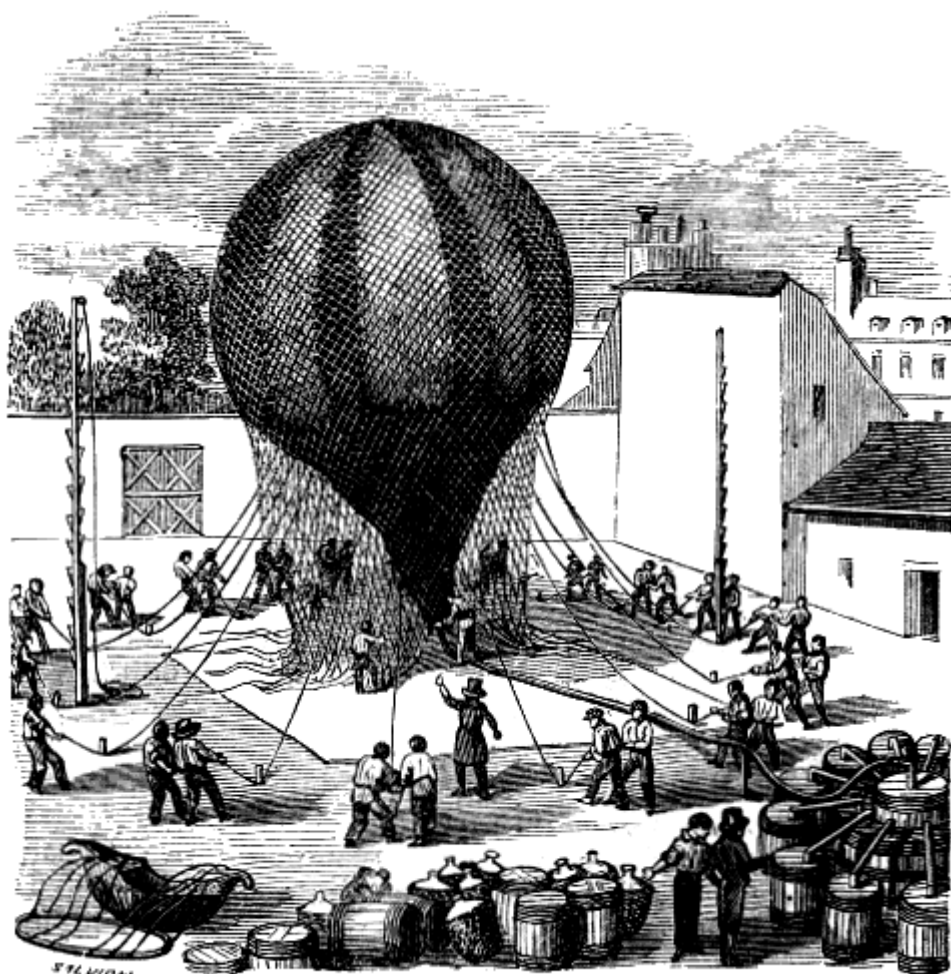


Fig. 95 (a. = 15m).

Un pallone di dimensioni ordinarie, capace di elevare facilmente tre persone, ha circa 15 metri d'altezza ed 11 di diametro, ed il suo volume, quando è completamente gonfiato, è circa di 700 metri cubi. L'involuppo pesa 100 chilogrammi, ed i pezzi accessori, quali la rete, la navicella, 50 chilogrammi.

I palloni si gonfiano tanto coll'idrogeno puro, quanto coll'idrogeno carbonato che serve per l'illuminazione.

Quantunque questo secondo gas sia più denso del primo, pure è quello che al presente, in generale, si usa, perchè lo si ottiene più facilmente ed a minor costo dell'idrogeno puro. Difatti, basta guidarlo dal gasometro più vicino fino all'aerostato, mediante un condotto di tela gommata.

La figura 95 rappresenta un pallone gonfiato con idrogeno puro. Sulla destra del disegno stanno parecchie botti nelle quali vi sono dei frammenti di ferro, dell'acqua e dell'acido solforico, sostanze necessarie per la preparazione dell'idrogeno. Da ciascuna botte, il gas passa sotto una botte centrale, priva di fondo, ed immersa in una tinozza piena d'acqua. Il gas, dopo d'essersi lavato in quest'acqua, si porta nell'aerostato per mezzo di un lungo tubo di tela, fissato ad una estremità alla botte centrale ed all'altra all'aerostato.

Per facilitare l'introduzione del gas nel pallone, si erigono due pali; alla loro sommità sono fissate delle carrucole, nella gola delle quali viene allogata una fune, che passa in un anello unito alla corona della valvola.

Con questo mezzo, si solleva di circa un metro dal suolo l'aerostato, e vi si fa pervenire il gas; poi, di mano in mano che il gas passa nel pallone, si solleva alquanto quest'ultimo, avendo cura di aiutarlo a svilupparsi fintanto che non ha più bisogno d'essere sostenuto. Ma allora bisogna opporsi alla sua forza d'ascensione. Per ciò alcuni uomini lo trattengono mediante corde fissate alla rete.

Altro più non resta che a togliere il tubo che servì a condurre il gas ad attaccare la navicella alla rete.

Questi diversi preparativi esigono almeno due ore. L'aeronaute si colloca infine nella sua navicella; ad un dato segnale si abbandonano le corde, ed il pallone s'innalza con una velocità tanto maggiore, quanto più leggero è desso in rapporto all'aria spostata (fig. 96).

E d'importanza che non accada il completo gonfiamento del pallone, poichè, siccome la pressione atmosferica diminuisce quanto più ci eleviamo, il gas interno si dilata in virtù della sua forza espansiva, e tende a far iscoppiare il pallone.

Basta che la forza attollente, l'eccesso di peso cioè dell'aria spostata sul peso totale dell'apparato, sia di 4 a 5 chilogrammi. Egli è duopo osservare che questa forza non varia per tutto il tempo che il pallone non è completamente gonfiato dalla dilatazione del gas interno. Infatti, se la pressione atmosferica, *p.* es., diminui della metà, il gas dell'aerostato, giusta la legge di Mariotte, raddoppiò di volume. Ne risulta che anche il volume dell'aria spostata è raddoppiato: d'altronde questa trovasi ridotta alla metà di sua densità: dunque il suo peso, e per conseguenza la spinta dal basso all'alto, non hanno cambiato. Ma quando il pallone è completamente gonfiato e continua ad innalzarsi, la forza attollente decresce: imperciocchè rimanendo costante il volume dell'aria spostata, diminuisce la sua densità. Giunge quindi un momento in cui la spinta è uguale al peso del pallone. In allora il pallone non si move che in direzione orizzontale, cedendo alle correnti d'aria che regnano nell'atmosfera.

L'aeronaute non può conoscere se sale o discende, se non dietro le indicazioni del barometro. Nel primo caso la colonna di mercurio si abbassa, e nel secondo si innalza. Mediante lo stesso istrumento può valutare l'altezza a cui si trova. Anche una lunga banderuola fissata alla galleria, a seconda della posizione che prende al disotto o al disopra di quest'ultima, avverte se il pallone aerostatico sale o discende.

Allorchè l'aeronaute vuol discendere, tira la funicella che apre la valvola collocata nella parte superiore del pallone: l'idrogeno si mescola coll'aria esterna, ed il pallone cala. Al contrario, onde, rallentare la discesa quand'è troppo rapida, o risalire se questa avviene in un luogo pericoloso, l'aeronaute vuota dei sacchetti di tela pieni di sabbia, che recò seco in quantità sufficiente.

Così alleggerito il pallone ascende di nuovo per discendere in un luogo che offra maggiore opportunità. Si facilita la discesa anche sospendendo con una lunga corda un'ancora alla navicella. Qualora l'ancora siasi fissata ad un ostacolo qualunque l'aeronaute richiamando a sè la corda lentamente discende.

Applicazioni importanti non ebbero finora gli aerostati. Alla battaglia di Fleurus (1794), mediante un pallone trattenuto da una corda, un osservatore, che si trovava in esso, fece conoscere col mezzo di segnali i movimenti dell'esercito nemico. Parecchie salite si effettuarono all'intento di fare delle osservazioni meteorologiche nelle alte regioni dell'atmosfera. Ma gli aerostati non potranno mai essere utilmente impiegati, se non quando ne sarà dato di dirigerli. I tentativi finora fatti fallirono completamente. Oggidì altro non resta che a salire nell'atmosfera finchè s'incontri una corrente d'aria, che più o meno favorevolmente ne trasporti nella fissata direzione.

**162. Paracadute.** - Il *paracadute* permette all'aeronaute di abbandonare il pallone, fornendogli il mezzo di rallentare la velocità della caduta. Quest'apparato è formato di una vasta tela circolare (fig.

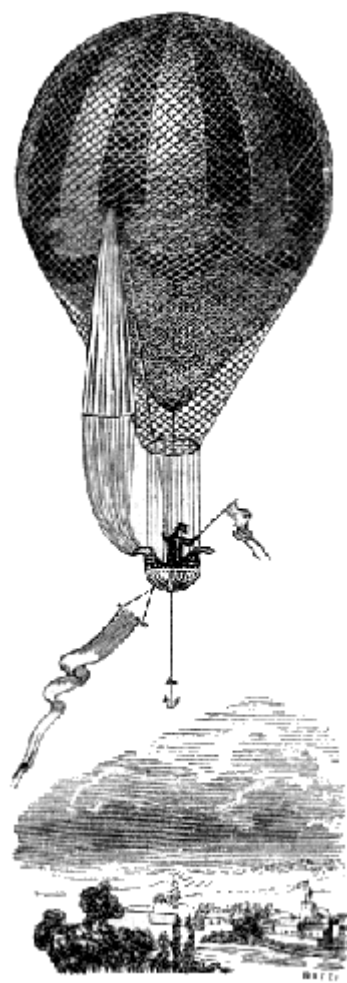


Fig. 96.

97) del diametro di 5 metri circa, e che per l'effetto della resistenza dell'aria, si distende sotto forma d'un ampio ombrello, e lentamente cade.

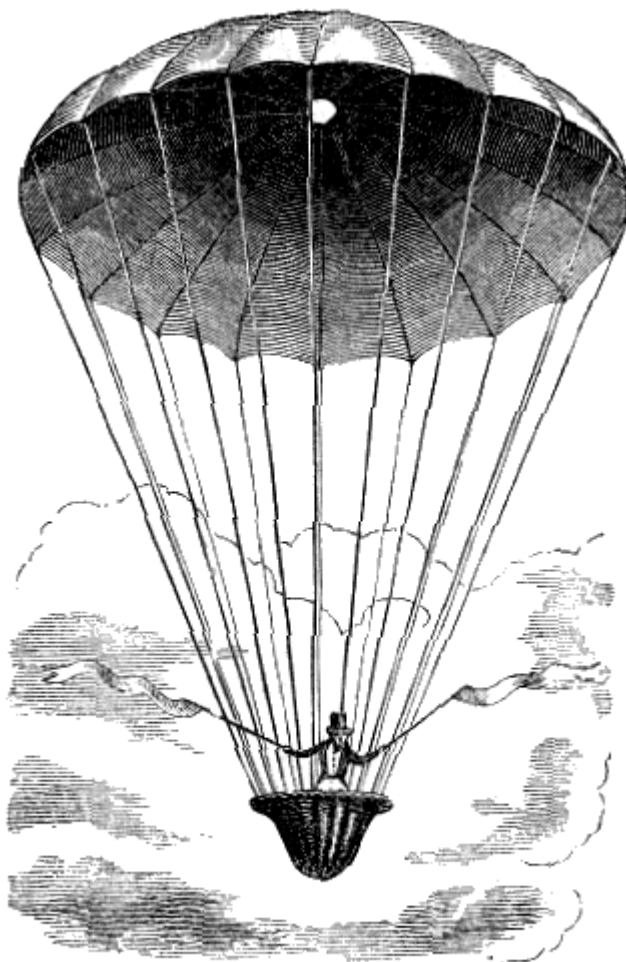


Fig. 97.

Al suo lembo son fissate delle corde che sostengono una navicella, in cui si colloca l'aeronauta. Nel centro del paracadute è praticato un'apertura, dalla quale sfugge l'aria compressa per effetto della discesa.

Mancando quest'apertura, si produrrebbe delle oscillazioni, che comunicandosi alla navicella potrebbero riescire pericolose.

Nella figura 96, si vede, lateralmente al pallone, un paracadute piegato ed attaccato alla rete mediante una corda, che passa nella gola di una puleggia, ed è fissata alla navicella. Sciolta questa fune, il paracadute abbandona l'aerostato.

G. Garnerin discese pel primo col paracadute: ma chi l'inventò pare sia stato Blanchard.

**163. Calcolo del peso, che può sollevare un pallone.** - Per calcolare il peso che può sollevare un pallone, del quale si conoscono le dimensioni, si suppone ch'esso sia perfettamente sferico, e si fa uso della formola  $V=4\pi R^3/3$ , che rappresenta, in geometria, il volume di una sfera di raggio R, e nella quale  $\pi$  è il noto rapporto della circonferenza al diametro. Sia dunque un pallone pieno di idrogeno, e del diametro di 11 metri. Se fosse completamente gonfiato, il suo volume, giusta la formola precedente, sarebbe di 696 metri cubi. Ma siccome, in generale, all'istante in cui lascia il suolo il pallone non è gonfiato che per metà, si può prendere per volume 358 metri cubi. Questo è dunque il volume d'aria spostata quando ha principio l'ascensione. Ora, siccome 1 litro d'aria pesa gr. 1,3 (151), 1 metro cubo pesa ch.1,300, per cui 358 metri cubi d'aria pesano 452 chilogrammi. Questa è la spinta che tende a sollevare il pallone (159). Per calcolare la forza attollente reale, bisogna dedurvi il peso dell'idrogeno contenuto dal pallone, e quello dell'inviluppo e dei pezzi accessori. Ora, essendo il peso dell'idrogeno circa 14 volte minore di quello dell'aria, il peso del gas contenuto dal pallone è sensibilmente 1/14 di 452, ossia 32 chilogrammi. Aggiungendo a questo peso quello dell'inviluppo e dei pezzi accessori, valutato a 150 chilogrammi, il peso che si deve dedurre da 452 è 182. La forza

attollente è dunque 270 chilogrammi. Siccome basta che questa forza sia di 5 chilogrammi, è chiaro che il pallone può sollevare 265 chilogrammi.

## CAPITOLO IV

# APPARATI FONDATI SULLE PROPRIETÀ DELL'ARIA

**164. Macchina pneumatica.** - La *macchina pneumatica* è un apparato che serve a fare il vuoto in uno spazio determinato, o, più rigorosamente, a rarefare l'aria, poichè essa non può dare il vuoto assoluto.

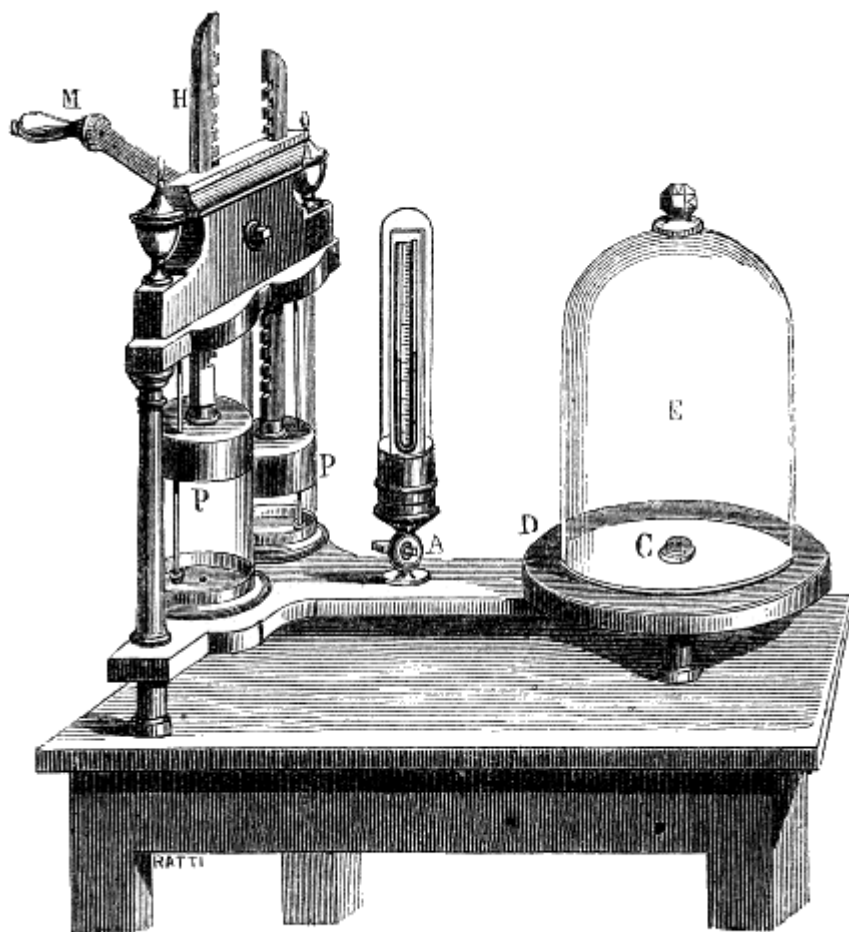


Fig. 98 (a. = 70).

Questa macchina venne inventata da Ottone di Guéricke, borgomastro di Magdeburgo, nell'anno 1650, pochi anni dopo l'invenzione del Barometro. Questo fisico diede alla sua macchina un sol corpo di tromba.

Flawksebee, fisico inglese, adottò pel primo due corpi di tromba, e mediante questo perfezionamento fe' sì che meno penosamente e con più pronto effetto si potesse servirsi di questa macchina, giacchè le pressioni esercitate dall'atmosfera, sui due stantuffi tendono ad equilibrarsi.

La macchina pneumatica, quale si costruisce oggi, si compone di due cilindri di cristallo, in ciascuno dei quali è uno stantuffo P (fig. 98) formato di parecchi dischi di cuoio sovrapposti, ed umettato d'olio in modo che chiuda esattamente adattandosi alle pareti dei cilindri, e l'aria non possa rientrare. Ciascuno stantuffo porta un fusto, fatto a seghetta, nei cui denti ingranano quelli di un rocchetto H (fig. 100), che si fa girare alternativamente da sinistra a destra mediante una manovella MN; dimodochè quando uno stantuffo si innalza, l'altro si abbassa.

I due corpi di tromba, alla loro base, sono uniti con mastice ad un sostegno di ottone, terminato all'estremità opposta da un disco D, ricoperto da una lastra di vetro, grossa e ben levigata. Su questo disco, che chiamasi il *piatto*, si colloca il *recipiente* E, nel quale trattasi di praticare il vuoto. Nel centro del piatto ovvi un'apertura C, che fa comunicare l'interno del recipiente coi corpi di tromba, per mezzo di un condotto rappresentato in pianta nella figura 99, e che si biforca secondo Kcbs e Kcdo.

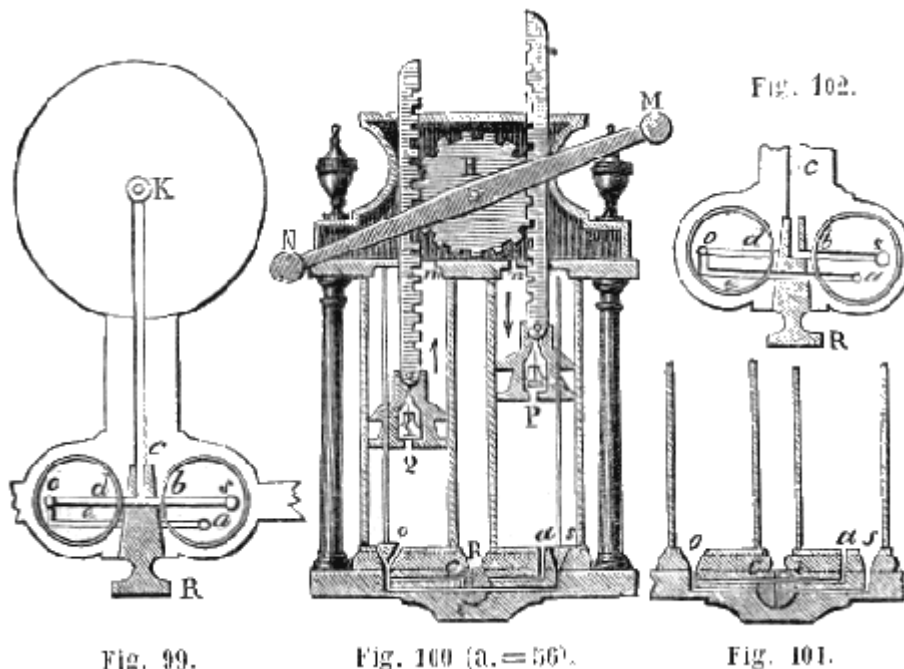


Fig. 99.

Fig. 100 (a. = 56).

Fig. 101.

La figura 100 rappresenta una sezione verticale anteriore dei corpi di tromba. Essa fa vedere come il rocchetto H, mosso dalla manovella MN, trasmette il movimento alle due aste dentate, e per conseguenza agli stantuffi P e Q. Questi non sono massicci, ma internamente avvi una cavità cilindrica, chiusa alla base da una piccola valvola trattenuta da una debole sosta. Le cavità ove sono situate queste valvole sono in comunicazione collo scompartimento superiore dei corpi di tromba per mezzo di un foro praticato nella parte superiore di ciascuno stantuffo, e che sta sempre aperto per dar passaggio all'aria. Oltre le valvole collocate nell'interno degli stantuffi, due altre valvole o ed s si trovano alla base dei corpi di tromba. Esse sono coniche e fissate ciascuna ad un fustino di ferro, che trapassa per la grossezza degli stantuffi con dolce attrito. Queste valvole aprono e chiudono alternativamente la comunicazione tra i corpi di tromba ed il recipiente. Se lo stantuffo P, per es., discende, con esso pure discende il fustino di ferro, e fa chiudere la valvola s. Se invece sale, esso solleva seco la stanghetta e la valvola, ma per brevissimo tratto, giacchè la lunghezza della stanghetta è tale che tosto intoppa nel coperchio del cilindro. Allora il fustino scorre nello stantuffo che continua a salire da sè.

Per comprendere come agisca questa macchina, basta considerare ciò che avviene in un corpo di tromba, poichè lo stesso accade nell'altro. Quando lo stantuffo Q, per es., si solleva dal fondo del cilindro per l'azione della manovella, esso trascina seco il fustino e la valvola o. La valvola, che è nell'interno dell'embolo, rimane chiusa durante la salita, in virtù del proprio peso e di quello dell'atmosfera: imperocchè i coperchi dei corpi di tromba hanno delle piccole aperture, per mezzo delle quali si trasmette la pressione atmosferica. Per tale disposizione di valvole il vuoto tende a prodursi al disotto dell'embolo mentre sale; ma l'aria del recipiente, obbedendo alla sua elasticità, passa in parte nel corpo di tromba mediante l'orifizio o. Se, per es., il volume del corpo di tromba è  $\frac{1}{20}$  di quello del recipiente,  $\frac{1}{21}$  della massa dell'aria di quest'ultimo passa nel corpo di tromba.

Quando lo stantuffo discende, la stanghetta della valvola o è trascinata dall'alto al basso, questa valvola si chiude, e l'aria del corpo di tromba non può ritornare nel recipiente. Continuando lo stantuffo a discendere, l'aria che è al disotto si comprime vieppiù, finchè la sua forza elastica, divenuta maggiore della pressione atmosferica, solleva la valvola che è nell'interno dell'embolo.

L'aria compressa passa allora al disopra di quest'embolo, e per l'apertura *m* della sua parte superiore, sfugge nell'atmosfera. Quando lo stantuffo è giunto all'imo della sua corsa, tutta l'aria che era stata estratta dal recipiente si trova sensibilmente espulsa fuori. A un secondo colpo di stantuffo, la stessa serie di fenomeni si ripete, e così di seguito nei due corpi di tromba, fintantochè si raggiunga un limite, oltre il quale l'aria che proviene dal recipiente è siffattamente rarefatta, che più non può sollevare la valvola interna dell'embolo, fosse pure quest'ultimo all'imo della sua corsa.

**165. Provino della macchina pneumatica.** - Dopo parecchi colpi di stantuffo si misura la forza elastica dell'aria, che resta nel recipiente, mediante la differenza di livello, che assume il mercurio nei due rami di un tubo di vetro curvato a sifone, l'uno dei quali è chiuso e l'altro aperto, come nei barometri. Questo piccolo strumento, che si chiama *provino* o *barometro troncato*, perchè è un vero barometro a sifone, che ha un'altezza minore di 76 centimetri, è fissato ad una scala verticale, e collocata sotto una campana di cristallo (fig. 98), la quale comunica col recipiente E per mezzo di un robinetto A, posto sul condotto che va dall'orifizio C ai corpi di tromba. Finalmente il ramo chiuso e la parte curva del tubo furono previamente riempiti di mercurio.

Ciò posto, prima che s'incominci ad aspirar l'aria, che è sotto il recipiente, la sua forza elastica fa equilibrio al peso della colonna di mercurio, che è nel ramo chiuso, e questo rimane pieno: ma di mano in mano che l'aria è rarefatta mediante il giuoco degli stantuffi, la forza elastica diminuisce, e tosto non può più equilibrare il peso della colonna di mercurio. Questa allora si abbassa, ed il mercurio tende a mettersi allo stesso livello nei due rami. Se fosse possibile di fare un vuoto assoluto, il mercurio si disporrebbe esattamente allo stesso livello, poichè non vi sarebbe pressione nè da una parte nè dall'altra. Ma anche colle migliori macchine l'altezza della colonna di mercurio nel ramo chiuso è almeno di un millimetro maggiore di quella dell'altro ramo. Pel che siamo avvertiti che il vuoto non è perfetto, poichè rimane ancora una quantità d'aria, la tensione della quale fa equilibrio ad una colonna di mercurio alta un millimetro.

Praticamente, la macchina pneumatica non può dare il vuoto assoluto, poichè, come abbiamo già osservato, arriva un istante in cui l'aria che rimane è talmente rarefatta, che anche quando gli stantuffi sono all'imo della loro corsa, la sua forza elastica non può vincere la pressione atmosferica che gravita sulle valvole collocate nell'interno degli emboli, e da quell'istante esse più non s'aprono. Egli è cosa impossibile il vuoto anche teoricamente, giacchè essendo, a mo' d'esempio, il volume di ciascun corpo di tromba  $1/20$  di quello del recipiente; si estrae, ad ogni colpo di stantuffo, solamente  $1/21$  della massa dell'aria che resta nel recipiente: per conseguenza non si arriva ad espellere fuori tutta l'aria che esso contiene. Si dimostra infatti col calcolo che per fare il vuoto perfetto sarebbe necessario un numero infinito di colpi di stantuffi.

**166. Robinetto di Babinet.** - Babinet ha applicato alla macchina pneumatica un robinetto, che permette di spingere la rarefazione dell'aria a un grado sommo. Questo robinetto è collocato alla biforcazione del canale che conduce l'aria del recipiente ai due corpi di tromba; in esso trovansi praticati parecchi condotti che funzionano successivamente, girandolo in due diverse posizioni. La figura 99 rappresenta una sezione orizzontale del robinetto R in tal posizione, che mediante il condotto centrale e due laterali, stabilisce la comunicazione tra l'orifizio K del piatto e le valvole *o* ed *s*. La macchina allora funziona come superiormente si disse (164).

Nella figura 102 si fece ruotare il robinetto di un quarto di giro; il condotto trasversale *db*, che era orizzontale nella figura 99, è ora verticale, ed i suoi orifizi si trovano chiusi dalle pareti che rivestono il robinetto. Ma un secondo condotto che prima non funzionava e che pigliò il posto del primo, mette attualmente il corpo di tromba, che è a destra, *solo* in comunicazione col recipiente per mezzo del condotto *cbs* (fig. 102), inoltre fa comunicare il corpo di tromba, che è a destra, con quello che è a sinistra, mediante un condotto *aeo* (fig. 102), o *aico* (fig. 101). Questo condotto parte da un'apertura centrale *a*, situata alla base del corpo di tromba destro, e va alla valvola *o* dall'altro corpo di tromba attraversando il robinetto, come mostrano le fig. 101 e 102; ma la comunicazione, che un tal condotto permetteva, viene interrotta dal robinetto, quando questo trovasi nella sua prima posizione, come si può vedere dalle figure 99 e 100.



Posto ciò, lo stantuffo destro, sollevandosi, aspira l'aria del recipiente; ma quando discende, l'aria testè aspirata è respinta nel corpo di tromba sinistro attraverso l'orifizio *a*, il condotto *ci* e la valvola *o* (fig. 101), che allora è aperta. Quando poi lo stesso stantuffo risale, quello a sinistra si abbassa, ma l'aria che è al disotto non ritorna nel corpo di tromba destro, poiché la valvola *o* è ora chiusa. Continuando in siffatta guisa lo stantuffo destro ad aspirar l'aria del recipiente e a respingerla nel corpo di tromba sinistro, l'aria si condensa in questo, e da ultimo acquista una tensione sufficiente per sollevare la valvola dello stantuffo *Q*; cosa impossibile prima della rotazione del robinetto, poiché non si ricorre alla medesima se non nel caso che le valvole collocate nell'interno degli emboli rifiutino d'aprirsi.

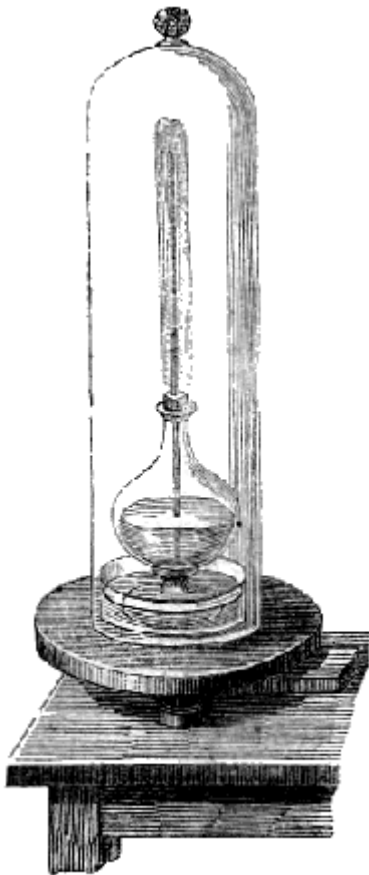


Fig. 103.



Fig. 104.

**167. Usi della macchina pneumatica.** - Abbiamo già fatto conoscere molte esperienze eseguite col mezzo della macchina pneumatica. Tali sono quelle della pioggia di mercurio (15), della caduta dei corpi nel vuoto (52), della vescica nel vuoto (126), del crepa-vescica (132), degli emisferi di Magdeburgo (133) e del

baroscopio (159).

La macchina pneumatica serve anche a dimostrare che l'aria per l'ossigeno, ch'essa contiene, è necessaria alla combustione ed alla vita. Infatti, se sotto il recipiente si colloca un corpo infiammato, per es., una candela accesa, si vede che la fiamma impallidisce di mano in mano che si fa il vuoto e quindi si spegne. Parimenti un animale cade asfissiato e muore, se, dopo d'averlo collocato sotto il recipiente, si fa il vuoto. I mammiferi e gli uccelli nel vuoto periscono subito. I pesci ed i rettili sopportano molto più a lungo la privazione dell'aria. Gli

insetti poi ponno rimanere nel vuoto parecchi giorni senza morire.

Nel vuoto le sostanze fermentabili si conservano inalterate per lunghissimo tempo, non essendo desse in contatto coll'ossigeno che è necessario alla fermentazione. Alcuni alimenti conservati entro casse esattamente chiuse, dalle quali si aveva avuto cura di espeller fuori l'aria, furono dopo parecchi anni rinvenuti freschi come il dì in cui ve li si collocarono.

La *fontana nel vuoto*, rappresentata nella fig. 103, è pure un'esperienza che si fa colla macchina pneumatica, e che serve a dimostrare l'espansibilità dell'aria. Consiste in una boccetta che contiene acqua ed aria. Il collo è chiuso da un turacciolo, attraverso il quale passa un tubo che pesca nel liquido. Collocata questa boccetta sotto il recipiente, appena che l'aria di queste vien rarefatta, vedesi l'acqua zampillare alla sommità del tubo, locchè deve alla forza elastica dell'aria, chiusa nella boccetta.

Finalmente, la figura 104 rappresenta un'esperienza che appalesa l'effetto della pressione atmosferica sul corpo umano. Un tubo di vetro di grande diametro, aperto alle sue estremità, è collocato sul piatto della macchina pneumatica. Se si pone il palmo della mano sugli orli del tubo e si fa il vuoto, allora più non equilibrandosi la pressione atmosferica sulle due faccie della mano, questa è fortemente premuta contro gli orli del tubo, e non ne può essere staccata se non mediante

uno sforzo. Inoltre, siccome l'elasticità dei fluidi, che gli organi contengono, non è più contrabbilanciata dal peso dell'atmosfera, la mano divien tumida e il sangue spiccia dai pori.

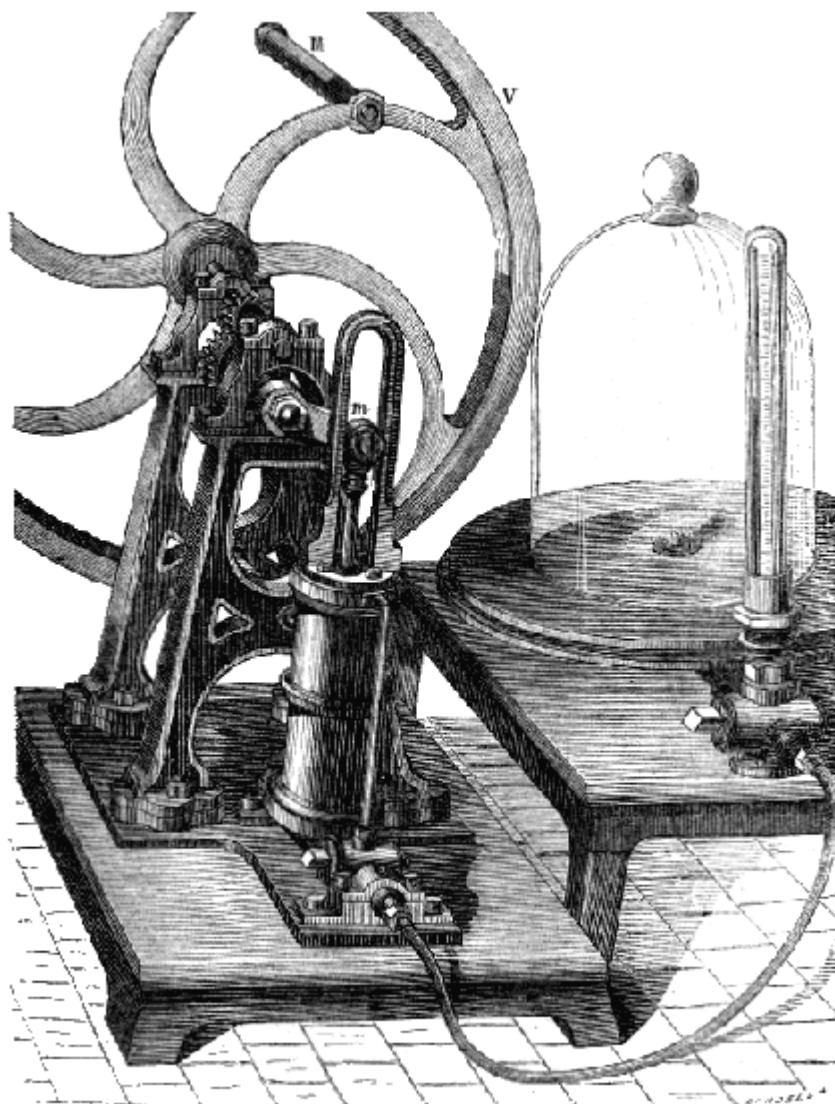


Fig. 105.

**168. Macchina pneumatica a doppio effetto del sig. Bianchi.** - Bianchi, costruttore a Parigi, ha adottato, da qualche anno, un sistema di macchina pneumatica che presenta molti vantaggi. Questa macchina, tutta di ferro fuso, non ha che un cilindro, che oscilla su di un asse orizzontale, fissato alla sua base, come vedesi nella fig. 105. Su di un sostegno egualmente di ferro fuso è montata un'asta orizzontale, con una ruota assai pesante V, che si fa girare mediante un manubrio M. A questa stessa asta è fissato un manubrio *m* che si articola colla estremità superiore della verga dello stantuffo. Ad ogni giro completo della ruota il cilindro fa dunque due oscillazioni sul suo asse.

Ciò posto, la macchina è a doppio effetto, vale a dire che l'embolo PP (fig. 106) fa il vuoto tanto nel salire che nel discendere. Per ciò, esso è munito di una valvola *b*, che si apre dal basso in alto, come nella macchina ordinaria, e per di più la verga AA è cava, e nel suo interno trovasi un tubo X di rame, destinato a dar esito all'aria che esce dalla valvola *b*. Alla parte superiore del cilindro trovasi una seconda valvola *a*, che si apre anch'essa dal basso in alto. Finalmente un'asta di ferro D attraversa l'embolo che vi può scorrere su e giù liberamente ed a tenuta d'aria, ed è terminata alle sue estremità da due valvole coniche *s* ed *s'*. Queste servono per attirar l'aria dal tubo BC che mette al recipiente in cui si pratica il vuoto, mentre le valvole *a* e *b* servono a dar uscita all'aria.

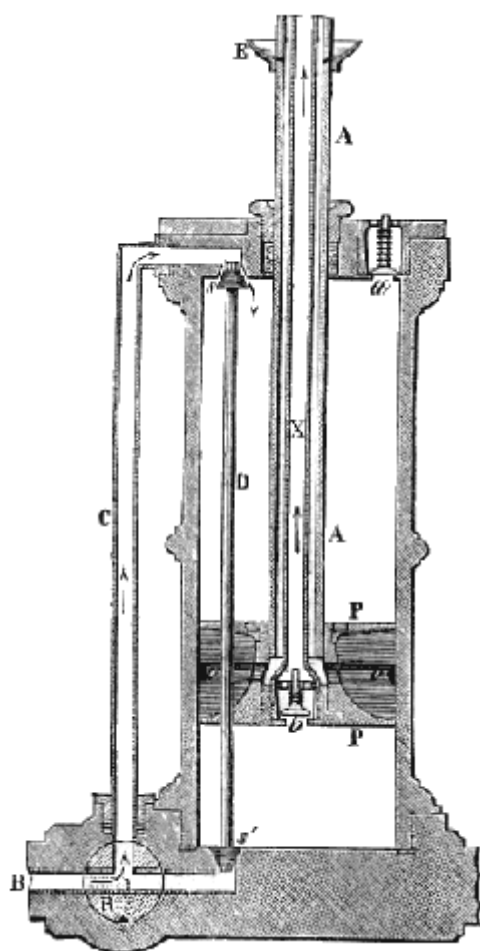


Fig. 106.

mostrare come le valvole si aprono dall'alto al basso laddove nella macchina pneumatica si aprono dal basso all'alto. Queste valvole, delle quali l'una è rappresentata in *a*, alla base dello stantuffo, e l'altra in *o*, alla base del corpo di tromba (fig. 107), sono di forma conica, e vengono tenute chiuse da piccole soste spirali. Quando lo stantuffo *p* sale, l'aria si rarefa al disotto, la valvola *o* rimane chiusa in causa della molla, e la valvola *a* s'apre per l'effetto della pressione atmosferica, lo che permette all'aria esterna di rientrare nel corpo di tromba. Quando lo stantuffo discende, l'aria che è al disotto si comprime, la valvola *a* si chiude: la valvola *o* invece si apre e permette il passaggio all'aria, la quale portasi nel recipiente *R*. Ad ogni colpo di stantuffo la massa d'aria contenuta nel corpo di tromba passa in tal guisa nel recipiente. Tuttavia evvi un limite alla tensione che può assumere il gas compresso, poichè giunge un momento in cui l'aria, che resta nel corpo di tromba, più non possiede, anche quando lo stantuffo è all'imo della sua corsa, una forza elastica superiore a quella dell'aria condensata nel recipiente, e allora l'aria più non passa in quest'ultimo, atteso che le valvole più non si aprono.

Ora, supponiamo che lo stantuffo discenda. In questo caso la valvola *s*'è chiusa, e la valvola *s* essendosi aperta, l'aria del recipiente passa al disopra dell'embolo, mentre che al disotto l'aria dal medesimo compressa solleva la valvola *b* ed esce pel tubo *X* che comunica coll'atmosfera. Quando l'embolo risale, l'aspirazione si fa per *s*', ed essendosi chiusa la valvola *s*, l'aria compressa esce per la valvola *a*.

La macchina è munita di un robinetto *R*, simile a quello di già descritto (166), e di un sistema di ugnimento molto ingegnoso. A questo scopo uno scodellino *E* applicato alla verga è ripieno d'olio, il quale va a cadere nello spazio anulare compreso tra la verga *AA* ed il tubo *X*; da questo spazio l'olio passa in un piccolo tubo *oo* praticato nel corpo dell'embolo, e spinto dalla pressione atmosferica esso si distribuisce senza interruzione sul contorno dell'embolo. Noi dobbiamo qui omettere molti dettagli di costruzione sebbene importanti, non comportandolo i limiti che ci siamo prefissi, e ci limiteremo ad osservare che, essendo tutta di ferro fuso, questa macchina può ricevere dimensioni molto più grandi della macchina ordinaria a due stantuffi, e praticare il vuoto in molto minor tempo, in apparecchi molto più grandi.

**169. Macchina di compressione.** - Chiamasi *macchina di compressione* un apparato che serve a comprimere l'aria, o qualsivoglia altro gas.

Non differendo essa in quanto alla forma dalla macchina pneumatica già descritta (fig. 106), noi qui non nè daremo che una sezione longitudinale allo scopo di

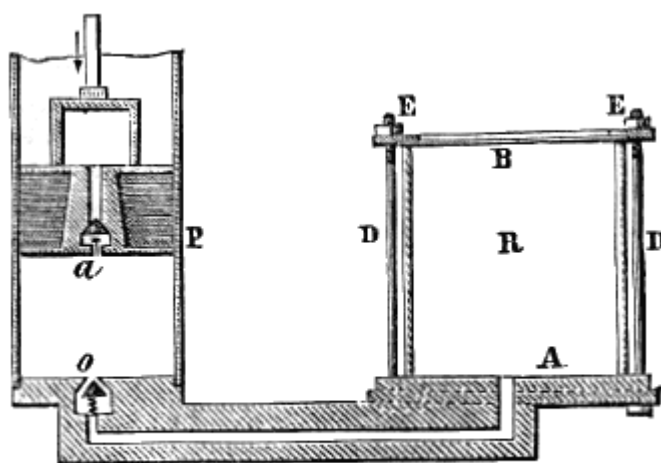


Fig. 107.

Nella macchina di compressione la tensione dell'aria si misura mediante un piccolo manometro ad aria compressa che comunica col recipiente. Finalmente in questa macchina il recipiente deve essere saldamente fissato al piatto, altrimenti verrebbe sollevato dalla elasticità dei gas. A tal uopo consta di un ampio tubo di vetro di forma cilindrica, aperto alle due estremità, i cui orli sono oltremodo levigati. Da una parte esso si appoggia sul piatto A, e dall'altra, è chiuso da un secondo piatto di vetro B, in cui sono praticati quattro fori nei quali passano quattro chiavarde di ferro D fissate sul piatto. Mediante queste chiavarde e le madreviti E, si collega strettamente il piatto B col cilindro. Onde prevenire i sinistri che potrebbero aver luogo se il cilindro fosse spezzato dalla tensione del gas compresso, lo si recinge con una rete di filo di ferro.

La macchina di compressione, che abbiamo descritto, ha poche applicazioni. Per lo contrario è d'uso frequente sotto la forma seguente.

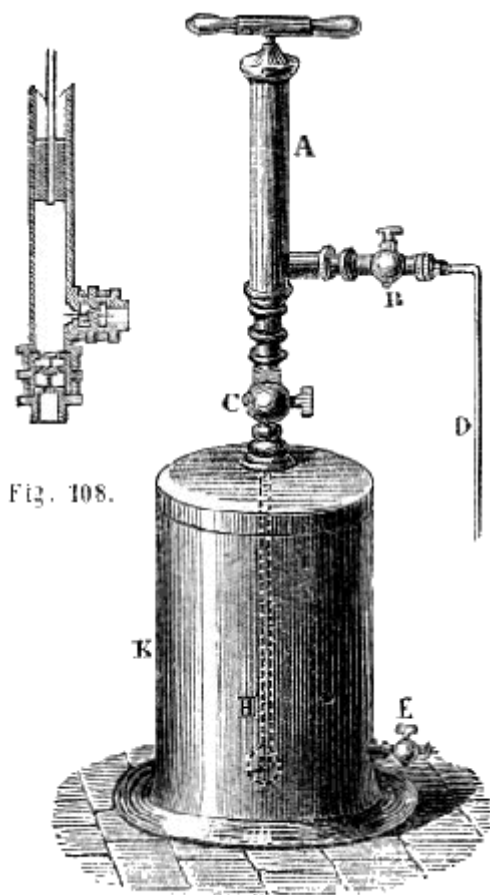


Fig. 109 (a. = 02).

**170. Tromba di compressione.** - La *tromba di compressione*, che è una vera tromba premente, si compone semplicemente d'un corpo di tromba A di piccolo diametro (fig. 109), nel quale si fa muovere a mano, mediante un'impugnatura, uno stantuffo massiccio, vale a dire senza valvola. Il corpo di tromba termina con una vite, che permette di fissarlo sopra un recipiente K, nel quale trattasi di comprimere aria o un altro gas qualsivoglia. La figura 108 mostra come sieno disposte le valvole, le quali vengono costruite in modo che la valvola laterale o aprasi dall'esterno all'interno, e la valvola inferiore s, dall'interno all'esterno. Delle piccole soste spirali tengono chiuse queste valvole, che funzionano come nella macchina di compressione.

Tanto nella tromba di compressione quanto nella macchina precedente, il limite di compressione dipende dal rapporto esistente fra i due volumi d'aria sotto lo stantuffo, quando questo è all'alto e all'imo della sua corsa. Se il secondo volume, per es., è un sessantesimo del primo, non si potrà comprimere l'aria al di là delle 60 atmosfere, poichè, oltre quel limite, la tensione nel recipiente K sarebbe maggiore di quella nel corpo di tromba, e allora la valvola inferiore di questo non potrebbe aprirsi per dar passaggio a una nuova quantità di aria.

Questo apparato serve specialmente a far assorbire i gas dell'acqua. Per ciò, si fa comunicare il robinetto B, mediante un tubo D, con un serbatoio pieno di gas che si

vuol disciogliere, per es., pieno d'acido carbonico: la tromba aspira questo gas, e lo spinge nel vaso K, ove si discioglie in quantità tanto maggiore, quanto più è compresso (157. 1.º). Le acque gasose si fabbricano mediante analoghi apparati.

**171. Fontana di Erone.** - La *fontana di Erone* ritrae il suo nome da quello dell'inventore, che viveva in Alessandria 120 anni avanti l'era cristiana. Essa componesi di una vaschetta di ottone D (fig. 110) e di due palloni di vetro M ed N, di 2 a 3 decimetri di diametro. La vaschetta è in comunicazione colla parte inferiore del pallone N per mezzo di un lungo tubo di ottone B. Un secondo tubo A fa sì che tra loro comunichino i due palloni. Finalmente un terzo tubo più piccolo attraversa la vaschetta e raggiunge la parte inferiore del pallone M.

Quest'ultimo tubo si toglie onde riempire d'acqua per metà il pallone medesimo. Quindi, ricollocato il tubo, si versa dell'acqua nella vaschetta. Il liquido scorrendo nel tubo B, si porta nel pallone inferiore, e ne espelle fuori l'aria, spingendola nel pallone superiore. In questo l'aria compressa reagisce sull'acqua, e la fa zampillare, come mostra la figura.

Se la resistenza dell'aria e l'attrito non fossero, il liquido s'innalzerebbe, al disopra della vaschetta, a un'altezza uguale alla differenza di livello nei due palloni.

Il principio della fontana di Erone trovò un'applicazione nelle lampade idrostatiche di Girard.

Gli apparati, che abbiám descritto, sono fondati sulla forza elastica dell'aria: i seguenti lo sono e su quella e sulla pressione atmosferica.

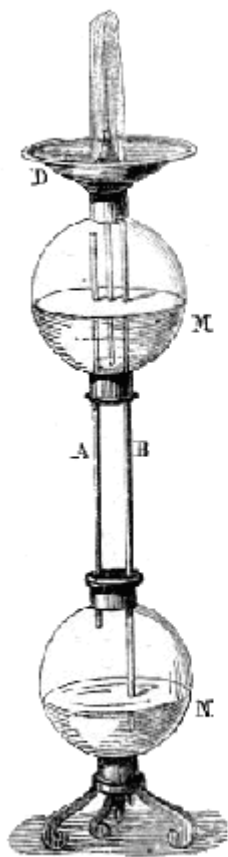


Fig. 110 (a. = 13, 17).

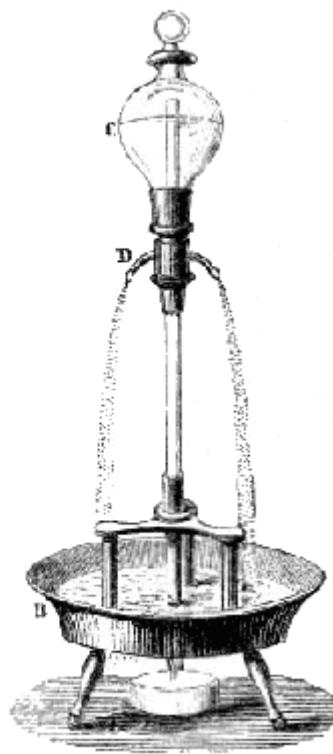


Fig. 111 (a. = 65).

**172. Fontana intermittente.** - La *fontana intermittente* è formata d'un globo di vetro C (fig. 111) esattamente chiuso da un turacciolo smerigliato. Esso porta due o tre tubulature capillari D, per mezzo delle quali avviene l'efflusso. Un tubo di cristallo, aperto alle sue estremità, penetra mediante una di queste nel globo C, e mediante l'altra mette capo ad un orifizio centrale praticato in una vaschetta d'ottone B, che porta tutto l'apparato.

Riempito d'acqua il globo C circa per due terzi, il liquido effluisce dapprima dagli orifizi D, come mostra la figura, essendo la pressione interna in D eguale a quella dell'atmosfera che si trasmette per mezzo della parte inferiore del tubo di cristallo, più al peso della colonna di acqua CD, laddove esternamente la pressione dello stesso punto è soltanto quella dell'atmosfera. Queste condizioni sussistono fintantoché l'orifizio inferiore del tubo è aperto, vale a dire finché la tensione dell'aria all'interno è uguale alla pressione atmosferica, poichè l'aria rientra di mano in mano che l'acqua effluisce: ma siccome l'apparato è disposto in modo che l'orifizio praticato sul fondo della vaschetta B lascia effluire una quantità d'acqua minore di quella proveniente dalle tubulature, il livello s'innalza a poco a poco nella vaschetta, e da ultimo avviene che il tubo peschi interamente nel liquido. Non potendo più allora l'aria esterna penetrare nel globo C, l'aria che vi si trova si rarefa di mano in mano che continua l'efflusso, e giunge un momento, in cui la pressione dovuta alla colonna d'acqua CD e alla tensione dell'aria rinchiusa nell'apparato è eguale alla pressione esterna che si esercita in D. Per conseguenza l'efflusso cessa. Ora, continuando la vaschetta a vuotarsi, l'estremità del tubo si trova tosto fuori dell'acqua. L'aria allora rientra, l'efflusso ricomincia, e così di seguito fintantochè rimane acqua nel globo C.

**173. Sifone.** - Il sifone è un tubo curvato, a rami ineguali, che serve a travasare i liquidi. Il ramo più corto è quello che pesca nel liquido che si vuol travasare.

Onde usare di questo strumento, si comincia a caricarlo, ossia a riempirlo di liquido. Perciò lo si capovolge, e lo si riempie direttamente; poi, chiudendo momentaneamente i suoi due orifizi, lo si rimette a posto come mostra la figura 112; oppure, immergendo il ramo corto nel liquido, si aspira colla bocca, per mezzo dell'orifizio B, l'aria che è nell'apparato. Producendosi allora il vuoto in questo, il liquido del vaso C è spinto nel tubo per l'effetto della pressione atmosferica e lo riempie.

Quando il liquido che si vuol travasare non è di natura tale da essere introdotto nella bocca, si fa uso di un sifone, al quale è saldato un secondo tubo M (fig. 113) parallelo al ramo più lungo. Allora mediante l'orifizio O di questo tubo addizionale si aspira l'aria, avendo cura di chiudere nello stesso tempo l'orifizio P, e di non permettere che il liquido si elevi nel tubo addizionale fino alla bocca. Qualunque poi sia il modo con cui venne riempito il sifone, l'efflusso continua dal ramo più corto verso il più lungo, fintantochè il primo pesca nel liquido.

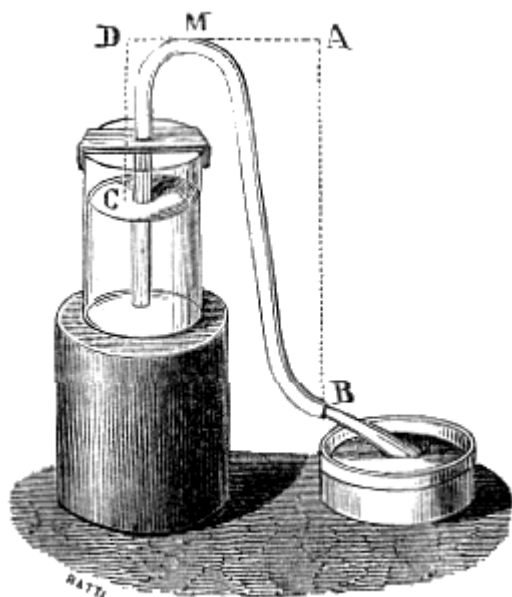


Fig. 112 (a. = 40°).

Per intendere come abbia luogo quest'efflusso, bisogna osservare che la forza che preme il liquido in C (fig. 112) e lo sollecita ad effluire nella direzione CMB, uguaglia la pressione atmosferica, meno il peso di una colonna d'acqua, l'altezza della quale è DO. Parimenti, in B la forza che sollecita il liquido nella direzione BMC è il peso dell'atmosfera meno quello di una colonna d'acqua avente per altezza AB. Ora quest'ultima colonna è maggiore di DC, ne consegue che la forza effettiva che agisce in B è minore di quella che agisce in C. L'efflusso ha dunque luogo in forza della differenza di queste due forze. Per conseguenza, la velocità d'efflusso sarà tanto maggiore quanto minore sarà la differenza di livello tra l'orifizio B e la superficie del liquido nel vaso C.

Si conclude dalla teoria del sifone che questo strumento non potrà funzionare nè nel vuoto, nè nel caso che l'altezza CD fosse maggiore della colonna liquida che fa equilibrio alla pressione atmosferica.

#### 174. Sifone ad efflusso costante. -

Dietro l'esposto, affinché nel sifone l'efflusso sia costante, bisogna che la differenza fra le altezze del liquido nei due rami sia sempre costante. Si ottiene questo risultato disponendo l'apparato come mostra la figura 114. Il sifone è mantenuto in equilibrio da un galleggiante *a* e da un peso *p*, di modo che il sifone discende nel vaso *H* di mano in mano che in questo si abbassa il livello; la differenza tra le altezze *ab* e *bc* rimane adunque costante.

**175. Sifone intermittente.** - Il *sifone intermittente*, come indica lo stesso suo nome, è quello nel quale l'efflusso non è continuo. Questo sifone è disposto in un vaso in modo che il ramo più corto aprasi vicino al fondo, ed il più lungo invece lo attraversi ed aprasi al di fuori (fig. 115). Essendo il vaso alimentato da una sorgente d'acqua costante, il livello vi si innalza a poco a poco, e nello stesso tempo nel ramo più corto sino alla



Fig. 115.

sommità del sifone. Questo allora per l'effetto della pressione del liquido si carica, e l'efflusso ha luogo come mostra la figura. Ora siccome si ha cura che la portata del sifone sia maggiore di quella del tubo che alimenta il vaso, il livello si abbassa in questo, e tostamente il ramo più corto cessa di pescare; il sifone allora si vuota, e l'efflusso è interrotto. Ma continuando il vaso ad essere alimentato dalla sorgente costante, il livello di nuovo s'innalza, e periodicamente si ripete la medesima serie di fenomeni.

Negli stabilimenti destinati alla distribuzione delle acque attraverso i differenti quartieri d'una città, si ricorre spesso fiate ad efflussi intermittenti per aprire o chiudere a determinate ore i robinetti dei condotti. A tal uopo, dei vasi alimentati da un filo

d'acqua costante si vuotano ad intervalli, e diventando in tal modo ora più pesanti, ora più leggeri, agiscono mediante contrappesi, prima in un senso poi in un altro, sulle chiavi dei robinetti.

La teoria del sifone intermittente spiega le fontane intermittenti naturali che si osservano in parecchie contrade. Sonvene talune che danno acqua pel corso di più giorni e più mesi, poi si arrestano per un lasso di tempo più o meno lungo, tornando in seguito le acque a scaturire di nuovo; talaltre invece interrompono e ripigliano il loro efflusso più volte in un'ora.

Questi fenomeni si spiegano ammettendo delle cavità sotterranee che si riempiono più o meno lentamente d'acqua per mezzo di sorgenti, e che si vuotano quindi per mezzo di fessure disposte nel suolo in modo da formar sifone intermittente.

**176. Diverse specie di trombe.** - Le *trombe* sono macchine che servono ad innalzar l'acqua per aspirazione, per pressione o pei due effetti combinati; da ciò nasce la loro divisione in *tromba aspirante*, *tromba premente*, e *tromba aspirante e premente*. Prima di Galileo attribuivasi l'ascesa dell'acqua nelle trombe aspiranti all'orrore della natura pel vuoto; ma questo fenomeno è semplicemente un effetto della pressione atmosferica.

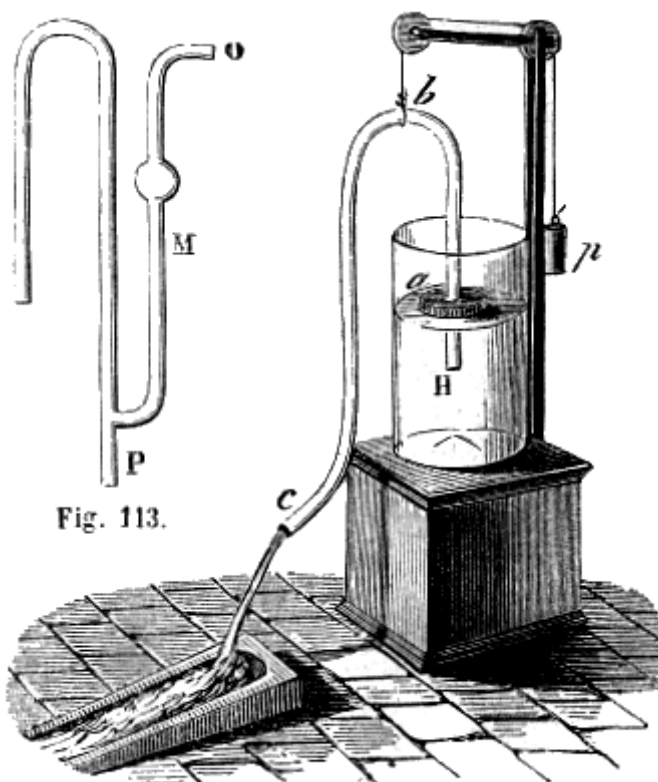


Fig. 113.

Fig. 114 (a. = .d5)

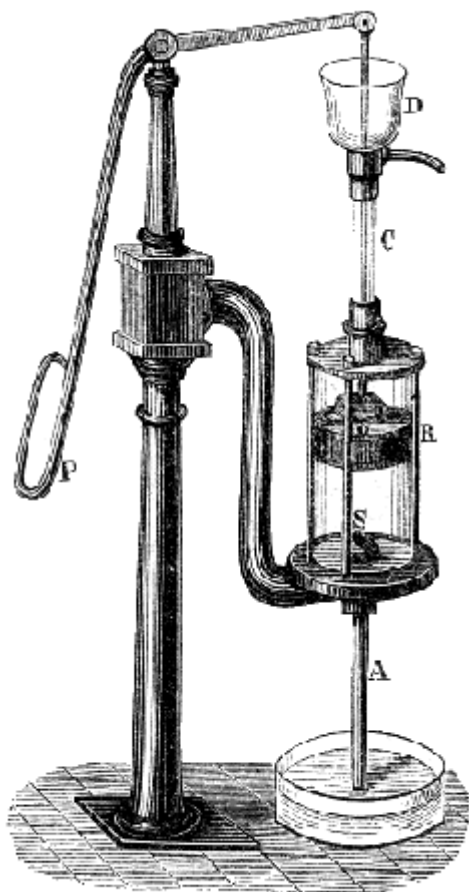


Fig. 116 (a. 73).

**177. Tromba aspirante.** - La figura 116 rappresenta un modello di tromba aspirante destinato alla dimostrazione, e che offre le stesse disposizioni delle trombe usitate nell'industria. Essa componesi:

1.° di un *corpo di tromba* cilindrico R, alla base del quale è una valvola S. che si apre dal basso all'alto;

2.° d'un tubo d'aspirazione A, che pesca nel serbatoio del quale vuolsi elevar l'acqua;

3.° d'uno stantuffo, che un fusto fa salire o discendere nel corpo di tromba, e nel quale è praticato un foro, l'orifizio superiore del quale è coperto da una valvola che si apre pure dal basso all'alto. Una *manovella* P serve a mettere in movimento il fusto e lo stantuffo.

Sollevando lo stantuffo, che si trova all'imo della sua corsa, il vuoto tende a prodursi al disotto, e la valvola O resta chiusa a motivo della pressione atmosferica, laddove l'aria del tubo A, in virtù della sua elasticità solleva la valvola S, e passa in parte nel corpo di tromba. Venendo per tal modo rarefatta l'aria, l'acqua sale nel tubo finchè la pressione della colonna liquida sollevata, aggiunta alla tensione dell'aria rarefatta che rimane nel tubo, faccia equilibrio alla pressione atmosferica esercitata sull'acqua del serbatoio.

Quando lo stantuffo discende, la valvola S si chiude pel proprio peso, e si oppone al ritorno dell'aria del corpo di tromba nel tubo d'aspirazione. L'aria, compressa dallo stantuffo, apre allora la valvola O, e passa nell'atmosfera mediante il tubo C, che è al disopra del

corpo di tromba, e che si chiama *tubo d'ascesa*. A un secondo colpo di stantuffo, si riproduce la medesima serie di fenomeni, e dopo alcuni colpi l'acqua penetra finalmente nel corpo di tromba. Da questo momento l'effetto prodotto è modificato. Durante la discesa dello stantuffo, la valvola S si chiude, l'acqua compressa solleva la valvola O e penetra al disopra dello stantuffo, che la solleva in seguito, quando risale, fino al serbatoio superiore D. Allora non v'è più aria nel corpo di tromba, e l'acqua spinta dalla pressione atmosferica, sale collo stantuffo, amenochè alla sommità della sua corsa esso non sia più di  $10^m,3$  superiore al livello dell'acqua nel serbatoio in cui pesca il tubo d'aspirazione A, poichè si è visto (135) che una colonna d'acqua dell'altezza di  $10^m,3$  fa equilibrio alla pressione atmosferica.

Per conoscere l'altezza che si può dare al tubo d'aspirazione A, bisogna osservare che, in pratica, lo stantuffo non si applica mai esattamente sulla base del corpo di tromba, e che quando si trova all'imo della sua corsa, esiste ancora al disotto di esso uno *spazio nocivo* alla pressione atmosferica pieno d'aria. Sia questo spazio nocivo eguale a  $1/30$  del volume del corpo di tromba. L'aria che è nello spazio nocivo si dilata di mano in mano che lo stantuffo risale, e quando questo è giunto all'alto della sua corsa, la tensione dell'aria che resta nel corpo di tromba è  $1/30$  della pressione atmosferica, giusta la legge di Mariotte.

L'aria del tubo d'aspirazione non può adunque essere rarefatta al di là di questo limite, e per conseguenza in questo tubo l'aria non può innalzarsi, nel caso che noi consideriamo, che ad un'altezza eguale a  $29/30$  di  $10^m,3$ , cioè a  $9^m,9$ . Quest'altezza è ancora troppo grande, poichè l'acqua deve innalzarsi d'una certa quantità al disopra della valvola S.

Epperò generalmente l'altezza, che si dà al tubo d'aspirazione, non supera mai gli 8 metri.

Riassumendo, nella tromba aspirante l'acqua è innalzata primieramente nel tubo d'aspirazione per l'effetto della pressione atmosferica, e l'altezza così ottenuta non può oltrepassare gli 8 o i 9 metri.



Ma passata l'acqua al disopra dello stantuffo, vien sollevata dalla forza d'ascensione di quest'ultimo, e l'altezza, cui allora può giungere, dipende solamente dalla forza che fa muovere lo stantuffo.

**178. Tromba aspirante e premente.** - La tromba aspirante e premente solleva l'acqua e per aspirazione e per pressione. Essa differisce poco dall'ultima descritta; eccettochè il suo stantuffo è massiccio. Alla base del corpo di tromba, sull'orifizio del tubo d'aspirazione, avvi ancora una valvola S (fig. 117) che si apre dal basso all'alto. Un'altra valvola O, che si apre nello stesso senso, chiude l'apertura di un tubo a gomito, che, partendo da un foro o praticato vicino alla valvola S, termina al disotto del piatto *a* in un vaso M, che chiamasi serbatoio di aria. Finalmente da questo serbatoio parte un tubo ascendente D, destinato a sollevar l'acqua ad un'altezza più o meno considerevole.

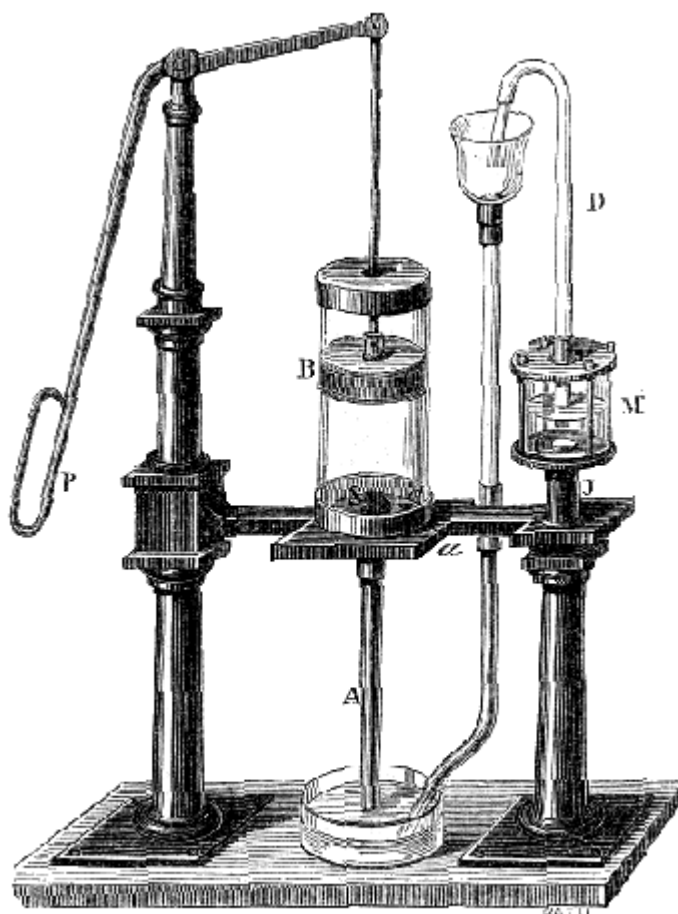


Fig. 117 (A. — 75).

Ad ogni salita dello stantuffo B, l'acqua sale nel tubo di aspirazione A, e penetra nel corpo di tromba. Quando lo stantuffo discende, la valvola S si chiude, e l'acqua compressa solleva la valvola O per passare nel serbatoio M, e da questo nel tubo d'ascesa D, nel quale l'altezza che può raggiungere, altro limite non ha tranne la forza che mette in movimento la tromba.

Se il tubo D fosse il prolungamento del tubo di comunicazione *Jao*, l'efflusso sarebbe intermittente, avendo luogo solamente quando lo stantuffo discende, ed arrestandosi appenachè sale. Ma tra questi due tubi avvi soluzione di continuità; pel che, mediante l'aria rinchiusa nel serbatoio M, si può ottenere un efflusso continuo. Infatti, l'acqua ammassata nel serbatoio M si divide in due parti, delle quali l'una, elevandosi<sup>(5)</sup> nel tubo D, comprime col suo peso l'acqua, che è nel serbatoio, mentrechè l'altra, in virtù di questa pressione, s'innalza nel serbatoio al disopra dell'orifizio inferiore del tubo D comprimendo l'aria che è ad essa superiore. Per conseguenza, quando lo stantuffo risale, e più non agisce per ispingere l'acqua, l'aria del serbatoio, per l'eccesso di pressione che ha subito,

<sup>(5)</sup> Così nel testo [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

reagisce sul liquido e lo innalza nel tubo D, finchè lo stantuffo discende di nuovo. Per tal modo si ottiene un getto senza intermittenza.

**179. Tromba premente.** - La *tromba premente* agisce solamente per pressione, e non approfitta del peso dell'atmosfera. Questa tromba non differisce dalla precedente se non in quanto essa non ha il tubo d'aspirazione, poichè il suo corpo di tromba è immerso nell'acqua stessa, che si vuol innalzare.

La continuità del getto si ottiene mercè un serbatoio d'aria simile a quello che abbiamo poc'anzi descritto mediante un sistema di due trombe accoppiate, che agiscono alternativamente; tali sono le trombe per ispegnere gli incendi.

**180. Pressione che sopporta lo stantuffo.** - Nella tromba aspirante (fig. 116), quando l'acqua ha riempito il tubo d'aspirazione ed il corpo di tromba sino all'orifizio d'efflusso, lo sforzo necessario per sollevare lo stantuffo eguaglia il peso d'una colonna d'acqua che avrebbe per base quella dello stantuffo e per altezza la distanza verticale dell'orifizio d'efflusso dal livello dell'acqua nel serbatoio, daddove la si attinge, vale a dire l'altezza alla quale s'innalza l'acqua. Infatti sia  $H$  la pressione atmosferica,  $h$  l'altezza dell'acqua nel tubo C al di sopra dello stantuffo, ed  $h'$  l'altezza della colonna d'acqua che riempie il tubo d'aspirazione A e la parte inferiore del corpo di tromba.

La pressione al disopra dello stantuffo è evidentemente  $H+h$ , e quella al disotto  $H-h'$ , poichè il peso della colonna  $h'$  tende a la equilibrio alla pressione atmosferica. Ora la pressione  $H-h'$  tende a sollevare lo stantuffo, dunque la resistenza effettiva è eguale all'eccesso di  $H+h$  relativamente ad  $H-h'$ , cioè ad  $h+h'$ , come si doveva dimostrare.

Nella tromba aspirante e premente (fig. 111) riesce facile il vedere come la pressione che sopporta lo stantuffo è pure eguale al peso d'una colonna d'acqua che avrebbe per base la sezione dello stantuffo, e per altezza quella a cui l'acqua è innalzata.

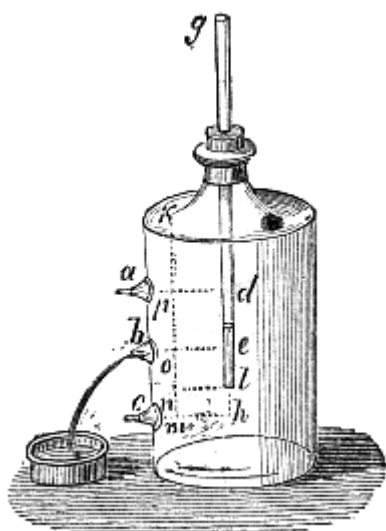


Fig. 118 (a. = 44).

**181. Bottiglia di Mariotte, ed uso della medesima.** - La *bottiglia di Mariotte* è un apparato che offre diversi effetti rimarchevoli di pressione atmosferica. È una bottiglia alquanto grande, il cui collo è chiuso da un turacciolo (fig. 118), trapassato da un tubo di vetro aperto alle due estremità. Sulla superficie laterale della bottiglia vi sono tre tubature  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , ciascuna delle quali ad orifizio ristretto e chiuso da un piccolo turacciolo di legno.

Am messo che la bottiglia ed il tubo sieno pieni d'acqua, consideriamo ciò che accade quando si apre successivamente una delle tubature  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , supponendo, come mostra la figura, che l'estremità inferiore del tubo  $g$  si trovi tra le due tubature  $b$  e  $c$ .

1.° Se si apre dappprincipio la tubulatura  $b$ , evvi efflusso, il livello si abbassa nel tubo  $g$ , ed appenachè è giunto in  $c$  cessa l'efflusso. Questi fenomeni trovano spiegazione nell'eccesso di pressione, che prima aveva luogo in  $b$  dall'interno all'esterno: eccesso di pressione che dispare quando il liquido nella bottiglia e nel tubo  $g$  è allo stesso livello. Infatti prima che incominciasse l'efflusso, la pressione su tutti i punti dello strato orizzontale  $be$  non era eguale. In  $e$  essa risultava e dalla pressione atmosferica e dal peso della colonna d'acqua  $ge$ , mentrecchè in  $b$  la pressione è soltanto eguale a quella dell'atmosfera. Ma quando il livello in  $b$  ed in  $e$  è lo stesso, evvi equilibrio, imperciocchè nella bottiglia e nel tubo allora la pressione è eguale

per tutti i punti dello strato orizzontale  $be$  ( $80,3^\circ$ ). Difatti, essendo la pressione, che si esercita in questo caso in  $b$  ed in  $e$ , eguale a quella dell'atmosfera, torna facile il dimostrare che qualsivoglia punto  $o$  dello strato  $be$  soffra la stessa pressione. Perciò rappresentiamo con  $H$  la pressione atmosferica: questa forza, agendo direttamente in  $b$  ed  $e$ , si trasmette in tutti i sensi nell'interno della bottiglia, giusta il principio di Pascal (79) e la parete  $k$  sopporta dal basso all'alto una pressione uguale ad  $H-ko$ , poichè il peso della colonna d'acqua  $ko$  distrugge in parte la pressione che tende a trasmettersi in  $k$ . Ora, pel principio di meccanica che *la reazione è sempre uguale e contraria all'azione*, la pressione  $H-ko$  vien riguardata dall'alto al basso dalla parete  $k$  sullo strato  $be$ ; dimodochè la molecola  $o$  sopporta in realtà due pressioni, l'una eguale al peso della colonna d'acqua  $ko$ , l'altra alla pressione  $H-ko$ , proveniente dalla riazione della parete  $k$ .

Adunque la pressione reale, che sopporta la molecola  $o$  è  $ko+H-ko$ , ossia  $H$ , come dovevasi dimostrare.

2.° Se si chiude la tubulatura  $b$  e si apre la tubulatura  $a$ , non evvi efflusso; al contrario l'aria rientra nella bottiglia per l'orifizio  $a$ , e l'acqua risale nel tubo  $g$  fino allo strato  $ad$ : allora l'equilibrio è ristabilito. infatti, si può di leggeri riconoscere mediante un ragionamento simile al precedente, che la pressione è allora eguale per tutti i punti dello strato orizzontale  $ad$ .

3.° Chiusi gli orifizi  $a$  e  $b$ , aprasi l'orifizio  $c$ . In questo caso evvi efflusso con velocità costante fintantochè il livello dell'acqua nella bottiglia non sia disceso al disotto dell'orifizio  $d$  del tubo; l'aria rientra allora bolla per bolla per questo orifizio, e si porta alla parte superiore della bottiglia. dove prende il posto dell'acqua che affluisce.

Per dimostrare che l'efflusso dell'orifizio  $c$  è costante, bisogna far vedere che la pressione che si esercita sullo strato orizzontale  $ch$  è invariabilmente uguale alla pressione atmosferica aumentata di quella della colonna d'acqua  $hl$ . Supponiamo infatti che nella bottiglia il livello dell'acqua si sia abbassato fino allo strato  $ad$ . L'aria, che è penetrata nella bottiglia sopporta allora una pressione uguale ad  $H-pm$ . In virtù della sua elasticità l'aria rinvia questa pressione allo strato  $ch$ . Ora questo sopporta anche il peso della colonna d'acqua  $pm$ . Dunque la pressione trasmessa in  $m$  è in realtà  $pm+H-pn$  ossia  $H+mn$ , cioè  $H+hl$ . Si dimostrerebbe del pari che questa pressione è ancora la stessa quando il livello si è abbassato in  $eb$ , e così di seguito finché il livello è superiore all'orifizio. Dunque la pressione sullo strato  $ch$  è costante, e per conseguenza la velocità di efflusso. Ma quando il livello è disceso al disotto del punto  $l$ , questa pressione decresce e per conseguenza la velocità di efflusso.

Per quanto abbiamo detto la bottiglia di Mariotte offre il mezzo di ottenere un efflusso costante; a tale intento la si riempie d'acqua e si tiene aperta la tubulatura collocata al disotto dell'orifizio  $l$  del tubo. La velocità d'efflusso è allora proporzionale alla radice quadrata dell'altezza  $lh$ .

# LIBRO V

## ACUSTICA

### CAPITOLO I

## PRODUZIONE, PROPAGAZIONE E RIFLESSIONE DEL SUONO

**182. Oggetto dell'acustica.** - L'*acustica* ha per oggetto lo studio del suono e quello delle vibrazioni dei corpi elastici.

La musica considera i suoni relativamente ai sentimenti ed alle passioni che ponno destare in noi; l'acustica invece non tratta che delle proprietà dei suoni, astratto dalle sensazioni che noi ne proviamo.

**183. Suono e rumore.** - Il *suono* è una sensazione particolare eccitata nell'organo dell'udito dal movimento vibratorio dei corpi, allorchè questo movimento può essere trasmesso all'orecchio mercè l'aiuto d'un mezzo intermediario.

Tutti i suoni non sono identici: essi presentano delle differenze assai sensibili perchè si possano distinguere tra loro, paragonarli e determinare i loro rapporti.

Distinguesi in generale il suono dal *rumore*. Il suono propriamente detto, o *suono musicale*, è quello che produce una sensazione continua, e di cui si può apprezzare il valore musicale; laddove il rumore è un suono d'una durata troppo breve per essere ben apprezzato, come il rumore del cannone; ovvero è una miscela confusa di suoni discordanti, come il rombo del tuono, il rumore dell'onde. Ciononpertanto la differenza tra il suono e il rumore non è ben marcata; vi sono orecchi così bene organizzati che sanno determinare il valore musicale del rumore prodotto da una carrozza che ruota sul lastrico.

**184. Causa del suono.** - Il suono è sempre il risultato d'oscillazioni rapide impresse alle molecole dei corpi elastici, quando per l'influenza d'un urto o dello sfregamento venne turbato l'equilibrio di queste molecole. Esse tendono allora a riprendere la primitiva loro posizione, ma non vi ritornano che coll'eseguire al di qua e al di là di questa posizione dei movimenti vibratorii od *alternativi* rapidissimi, la cui ampiezza presto decresce.

Chiamasi *corpo sonoro* quello che produce un suono, e si appella *oscillazione* o *vibrazione semplice* il movimento che comprende solamente un'*andata* od un *ritorno* delle molecole vibranti; una *vibrazione doppia* o *completa* comprende l'*andata* ed il *ritorno*. Le vibrazioni si ponno facilmente constatare coll'esperienza; gettando della polvere leggera su di un corpo che produce un suono, vediamo questa polvere prendere un movimento rapido, rendendo così visibili le vibrazioni del corpo; parimenti pizzicando una corda tesa, le vibrazioni di questa sono apparenti all'occhio.

**185. Il suono non si propaga nel vuoto.** - Le vibrazioni dei corpi elastici non produrrebbero in noi la sensazione del suono quando mancasse un mezzo ponderabile interposto tra l'orecchio ed il corpo, e che vibra con esso. Questo mezzo è ordinariamente l'aria; ma i gas, i vapori, i liquidi, i solidi trasmettono essi pure il suono.

Per dimostrare che la presenza di un mezzo ponderabile è necessario alla propagazione del suono, si fa l'esperienza seguente: sotto la campana di una macchina pneumatica si colloca una soneria d'orologio (fig. 119).

Finchè la campana è piena d'aria alla pressione ordinaria, si sente distintamente il suono; ma di mano in mano che l'aria vien rarefatta, il suono perde d'intensità, e cessa d'essere percettibile quando il vuoto è fatto. Dunque il suono non si propaga nel vuoto.

Acciocchè l'esperienza riesca bene, bisogna disporre la soneria sur un po' di bambagia; poichè i pezzi metallici costituenti questa soneria ponno trasmettere le loro vibrazioni al piatto della macchina pneumatica, e questo all'aria.

Si può fare la stessa esperienza in un modo molto più semplice, mediante cioè un pallone di vetro munito d'un robinetto e contenente un campanello sospeso ad un filo. Agitando il pallone quand'è pieno d'aria s'ode distintamente il campanello; ma, rarefatta l'aria che vi è rinchiusa, mediante la macchina pneumatica, non si sente più nulla.

**186. Il suono si propaga in tutti i corpi elastici.** - Se nelle due esperienze precedenti, dopo aver fatto il vuoto si lascia rientrare nel recipiente o nel pallone un gas qualunque od un vapore, s'ode benissimo il suono e nell'uno e nell'altro caso; locchè dimostra che il suono si propaga nei gas e nei vapori, come nell'aria.

Il suono si propaga pure nei liquidi. Infatti quando due corpi si urtano sott'acqua, se ne sente l'urto in modo distinto. Un individuo che si trova in fondo all'acqua può intendere ciò che si dice sulle rive.

Relativamente ai solidi è tale la loro conducibilità che un rumore sommamente leggero, come lo strofinamento d'una piuma, prodotto all'estremità di un pezzo di legno, si sente all'altra estremità. Il suolo conduce così bene il suono, che di notte, applicando l'orecchio alla terra, si ponno sentire a grandi distanze i passi di un cavallo, o qualsivoglia altro rumore.

**187. Modo di propagazione del suono nell'aria.** - Per semplificare la teoria della propagazione del suono, consideriamo dapprima il caso in cui si propagasse in un tubo cilindrico indefinito. Rappresenti adunque MN (fig. 120) un tubo pieno d'aria a una pressione e ad una temperatura costanti, e P uno stantuffo che oscilla in questo tubo con somma velocità da a in A e reciprocamente. Questo stantuffo, quando passa da a in A, comprime l'aria che il tubo contiene.

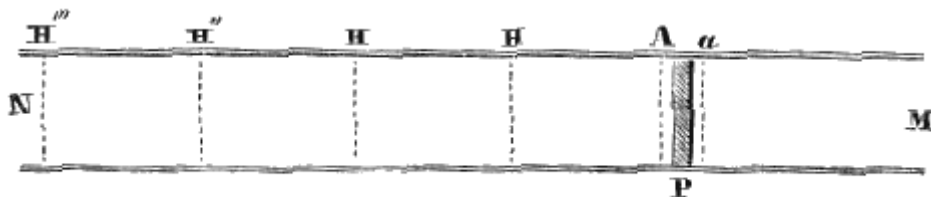


Fig. 120.

Ora, in virtù della grande compressibilità di questo fluido, la condensazione non avviene in tutta la lunghezza del tubo, ma solamente per una certa lunghezza AH, che chiamasi l'onda condensata.

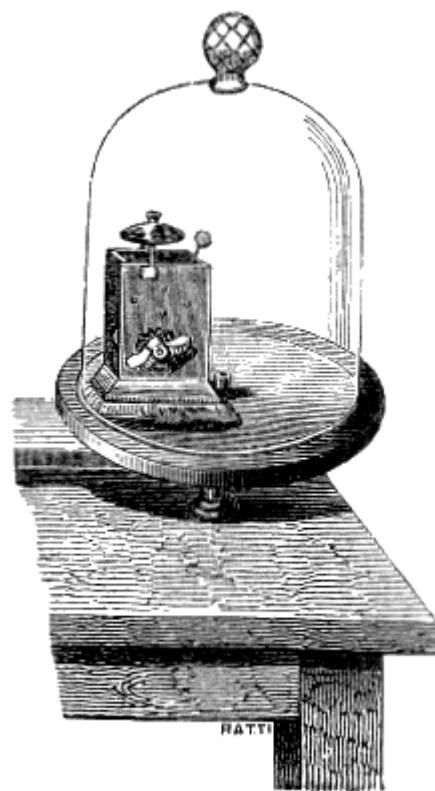


Fig. 119.

Tutte le parti di quest'onda non sono egualmente condensate, e la loro velocità non è la stessa; imperciocchè lo stantuffo, nel suo movimento alternativo, è animato da velocità variabili. La velocità, dapprima nulla in *a*, cresce progressivamente sino alla metà dell'onda, poi decresce fino in A, dov'essa ritorna nulla. Laonde risultano, nell'onda AH delle densità e delle velocità dell'aria variabili colla velocità dello stantuffo. In A, dove esso è allo stato di quiete, la velocità dell'aria è nulla, e questo fluido ha ripreso la sua densità primitiva. In H, dove termina l'onda, la velocità e la densità sono eguali a quelle in A; ma nei punti intermedi, queste quantità crescono dal punto A sino alla sezione media dell'onda per poi decrescere fino in H.

Immaginando il tubo MN diviso in lunghezze uguali ad AH, e ciascuna di queste lunghezze divisa in istrati paralleli allo stantuffo, si dimostra col calcolo che al momento in cui il primo strato dell'onda AH si mette in quiete, il primo strato della parte HH' comincia a partecipare al movimento; poscia, quando il secondo strato dell'onda AH passa allo stato di quiete, il movimento si comunica al secondo strato di HH, e così di seguito di strato in istrato nelle parti H'H", H"H"... L'onda condensata adunque si avvanza nel tubo, passando ciascuna delle sue parti successivamente per gli stessi gradi di velocità e di condensazione.

Lo stantuffo ritornando poscia su sè medesimo nella direzione Aa, produce dietro sè un vuoto nel quale si dilata lo strato d'aria in contatto colla sua faccia posteriore. Quindi, dilatandosi lo strato seguente, viene il primo ricondotto al suo stato primitivo di condensazione, e così di seguito di strato in istrato, dimodochè, quando lo stantuffo è ritornato in *a*, si è prodotta un'onda dilatata d'egual lunghezza dell'onda condensata, cui sussegue immediatamente nel tubo cilindrico, ove esse si propagano insieme, giacchè gli strati corrispondenti delle due onde posseggono velocità eguali e contrarie.

L'insieme dell'onda condensata e dell'onda dilatata forma un'ondulazione: epperò un'ondulazione comprende la parte della colonna d'aria modificata durante un'andata ed un ritorno di stantuffo; la lunghezza d'ondulazione è lo spazio che il suono percorre nel tempo che dura una vibrazione completa del corpo che lo produce. Questa lunghezza è tanto minore quanto più rapide sono le vibrazioni.

Si passa facilmente dalla teoria del movimento delle onde sonore in un cilindro a quella del loro movimento in un mezzo indefinito in tutti i sensi; basta per ciò applicare, in tutte le direzioni, ad ogni molecola dei corpi vibranti quanto si disse d'uno stantuffo mobile in un tubo.

Infatti, intorno ad ogni centro di scuotimento si produce una serie d'onde sferiche alternativamente condensate e dilatate. Essendo quest'onde comprese tra due superficie sferiche concentriche, i cui raggi crescono gradatamente, mentrecchè la lunghezza d'ondulazione rimane costante, la loro massa aumenta di mano in mano ch'esse si scostano dal centro di scuotimento; d'onde risulta che la velocità di vibrazione impressa alle molecole s'indebolisce gradatamente e che l'intensità del suono diminuisce.

Queste onde sferiche alternativamente condensate e dilatate, propagandosi nello spazio, vi trasmettono il suono. Se parecchi punti sono scossi nello stesso tempo, producesi intorno a ciascuno un sistema d'onde simile al precedente. Ora, tutte queste onde si trasmettono le une attraverso le altre, senza modificare nè la loro lunghezza nè la loro velocità. Le onde condensate o dilatate ora si sovrappongono ad onde di egual natura in modo da produrre un effetto eguale alla loro somma; ora si incontrano e producono un effetto eguale alla loro differenza. Basta scuotere in vari punti la superficie di un'acqua tranquilla per rendere sensibile all'occhio la *coesistenza delle onde*.

**188. Cause che fanno variare l'intensità del suono.** - Parecchie cause modificano la forza o l'intensità del suono, cioè: la distanza del corpo sonoro, l'ampiezza delle vibrazioni, la densità dell'aria nel luogo in cui si produce il suono, la direzione delle correnti d'aria, e finalmente la vicinanza d'altri corpi sonori.

1.° *L'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato della distanza del corpo sonoro dall'organo auditivo.* Questa legge alla quale si è condotti dal calcolo può essere dimostrata anche sperimentalmente. Infatti, si immaginino parecchi suoni esattamente di eguale intensità, per es., campanelli identici percossi da martelli ugualmente pesanti cadenti da altezze uguali. Se si

collocano quattro di questi campanelli alla distanza di 20 metri dall'orecchio ed un solo alla distanza di 10 metri, si osserva che quest'ultimo percosso da solo manda un suono di intensità uguale ai quattro primi percossi simultaneamente; d'onde si deduce che per una distanza doppia l'intensità è quattro volte minore.

2.° *L'intensità del suono aumenta coll'ampiezza delle vibrazioni del corpo sonoro.* Il legame che sussiste fra l'intensità del suono e l'ampiezza delle vibrazioni si constata facilmente mediante corde vibranti; infatti, se le corde sono alquanto lunghe, le oscillazioni sono visibili, e si verifica che, decrescendo l'ampiezza delle oscillazioni, il suono s'indebolisce.

3.° *L'intensità del suono dipende dalla densità dell'aria in cui viene prodotto.* Se noi collochiamo sotto il recipiente della macchina pneumatica una soneria mossa da un movimento d'orologio, sentiamo che l'intensità del suono diminuisce di mano in mano che l'aria viene rarefatta.

Nell'idrogeno, che è circa 14 volte meno denso dell'aria, i suoni hanno un'intensità molto più debole, sebbene la pressione sia la stessa. Nell'acido carbonico, al contrario, la cui densità relativamente all'aria è 1,529, i suoni riescono più intensi. Sulle alte montagne, ove l'aria è assai rarefatta, bisogna parlar forte per farsi intendere, e l'esplosione d'un'arma da fuoco vi produce un debil suono.

4.° *L'intensità del suono è modificata dall'agitazione dell'aria e dalla direzione dei venti.* Si constata che con un tempo calmo, il suono si propaga meglio di quando fa vento, e che in questo caso il suono è più intenso, a distanza eguale, nella direzione del vento che nella direzione contraria.

5.° *Finalmente, il suono è rinforzato dalla vicinanza di un corpo sonoro.* Una corda di stromento, tesa all'aria libera non produce che un debole suono, facendola vibrare lungi da qualsivoglia corpo sonoro; se noi la tendiamo invece sopra una cassa sonora, come nella chitarra, nel violino e nel contrabbasso, essa produce un suono pieno ed intenso.

Locchè è dovuto a ciò che la cassa e l'aria ch'essa contiene vibrano all'unisono colla corda.

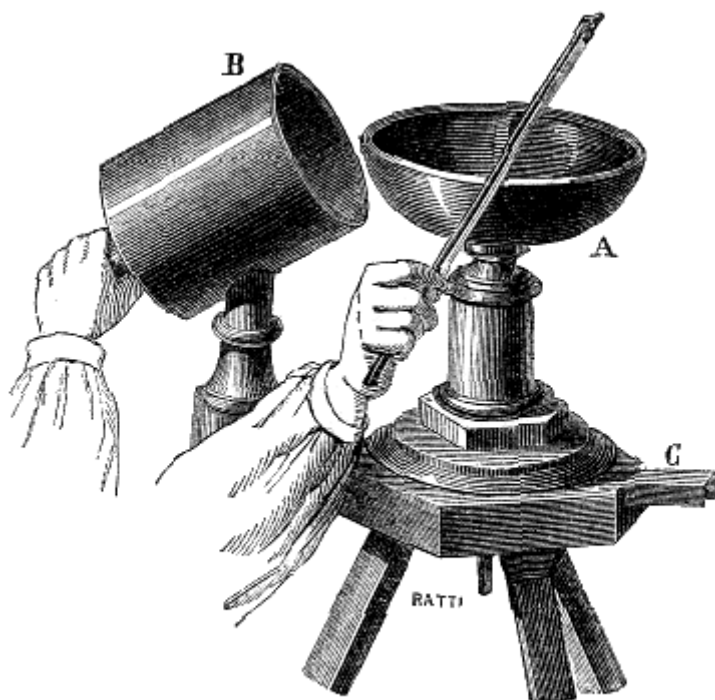


Fig. 121.

**189. Apparato per rinforzare il suono.** - Per dimostrare l'influenza delle casse piene d'aria sul rinforzo del suono, Savart costruì l'apparato rappresentato dalla figura 121. Esso è un vaso emisferico A, di bronzo, che si fa vibrare mediante un robusto archetto; vicino evvi un cilindro cavo B, di cartone, aperto all'estremità anteriore e chiuso all'altra. Mercè un'impugnatura si fa girare, come più piace questo cilindro sul suo sostegno, che è fissato ad un pezzo C, liberamente scorrevole

entro il piede dell'apparato; dimodochè si può allontanare quando si vuole il cilindro B dal vaso A. Fatto vibrar l'apparato, quand'è disposto come mostra la figura, i suoni che produce pigliano una forza ed una pienezza, di cui non si può formarsi un'idea senza sentirli. Ma il suono perde quasi tutta la sua intensità girando il cilindro e s'indebolisce gradatamente quando lo si allontana. Resta con ciò dimostrato che il rinforzo del suono è dovuto alle vibrazioni dell'aria contenuta nel cilindro. In questo apparato il cilindro B deve avere una determinata profondità perchè l'aria, ch'esso contiene, vibri all'unisono col vaso di bronzo, altrimenti questo vibrerebbe solo.

Narra Vitruvio che appo gli antichi collocavansi sui teatri dei vasi risonanti di bronzo per rinforzare la voce degli attori.

**190. Influenza dei tubi sull'intensità del suono.** - La legge pur mo' enunciata, che l'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato di distanza, non può essere applicata ai suoni trasmessi mediante tubi, specialmente se questi sono cilindrici e dritti. Le onde sonore allora non si propagano più sotto la forma di sfere concentriche crescenti, ed il suono può essere portato ad una distanza considerevole senza alterazione molto sensibile. Biot constatò che in un tubo di condotta delle acque di Parigi, lungo 951 metri, la voce perde così poco d'intensità, che da un'estremità all'altra di questo tubo si può conversare a voce sommessa. Ciononpertanto l'indebolimento del suono divien sensibile nei tubi di un grande diametro, o le cui pareti presentano delle tortuosità. Tanto si osserva nei sotterranei e nelle lunghe gallerie.

Questa proprietà, che hanno i tubi di portar lontano i suoni, è stata utilizzata dapprima in Inghilterra, servendosi di *speaking tubes* (tubi parlanti) per trasmettere gli ordini negli alberghi e nei grandi stabilimenti. Essi consistono in tubi di gomma elastica, di piccol diametro che attraversando le muraglie vanno da una stanza all'altra. Se si parla alzando un po' la voce ad un'estremità, si è distintissimamente sentiti all'altra.

Dietro le esperienze già citate di Biot, egli è cosa evidente che per tal modo si potrebbe, mediante tubi acustici, corrispondere a viva voce da una città all'altra. Siccome il suono percorre, termine medio, 337 metri per secondo, una distanza di 20 leghe di 4000 metri ciascuna sarebbe percorsa in 4 minuti.

**191. Velocità del suono nei gas.** - Attesochè la propagazione delle onde sonore è successiva, il suono non deve trasmettersi da un luogo all'altro se non in un intervallo di tempo più o meno lungo. Con ciò si dimostra un gran numero di fenomeni. Per es., il rumore del fulmine s'ode soltanto un certo tempo dopo il balenar del lampo, quantunque il rumore e il lampo si producano simultaneamente nella nube.

Numerosi tentativi si fecero per determinare la velocità del suono nell'aria, vale a dire lo spazio che percorre in un minuto secondo. L'ultimo fu fatto nella state del 1822, durante la notte, dai membri dell'Ufficio delle longitudini. Le due alture, situate l'una a Villejuif, l'altra a Montlhéry presso Parigi, furono le stazioni che si scelsero. Ad ognuna di esse si tirava, di 10 in 10 minuti, un colpo di cannone. Gli osservatori di Villejuif intesero assai distintamente i 12 colpi tirati a Montlhéry; ma quelli di questa stazione, dei 12 tirati a Villejuif non ne intesero che 7, e ciò perchè era contraria la direzione del vento.

Ad ogni stazione, gli osservatori notavano mediante cronometri il tempo che scorreva tra l'apparizione della luce al momento dell'esplosione, e la percezione del suono. Questo tempo poteva esser preso per quello che il suono impiegava a propagarsi da una stazione all'altra, perchè l'intervallo fra le due stazioni, non era che di 18612<sup>m</sup>,52, e vedremo in ottica che la luce percorre questa distanza in un tempo sì breve che non si può valutare. In tal modo si riconobbe che la durata media della propagazione del suono da una stazione all'altra era 54<sup>"</sup>,6.

Dividendo per questo numero la distanza delle due stazioni, si trova che la velocità del suono, in un minuto secondo, alla temperatura di 16 gradi, che era quella dell'atmosfera durante l'esperimento, è di 340<sup>m</sup>,89.

La velocità del suono nell'aria decresce colla temperatura: a 10 gradi essa non è che 337 metri; a zero è 333 metri. Ma a parità di temperatura è indipendente dalla densità dell'aria, e per conseguenza dalla pressione. A pari temperatura la velocità è eguale per tutti i suoni intensi o



deboli, gravi od acuti. Infatti, Biot, nelle esperienze sopra citate sulla conducibilità dei tubi, constatò, che quando si suonava il flauto all'estremità di un tubo di ghisa della lunghezza di 951 metri, i suoni conservavano il loro ritmo all'altra estremità; lo che dimostra che i diversi suoni si propagano con velocità uguali.

La velocità del suono varia da un gas all'altro anche a temperatura uguale. Facendo risuonare un medesimo tubo d'organo con differenti gas, Dulong trovò col calcolo che alla temperatura zero la velocità del suono nei gas sotto indicati è

Acido carbonico	116 <sup>m</sup>
Ossigeno	317 <sup>m</sup>
Aria	333 <sup>m</sup>
Ossido di carbonio	337 <sup>m</sup>
Idrogeno	1269 <sup>m</sup>

**192. Formole per calcolare la velocità del suono nei gas.** – Newton pel primo, per calcolare la velocità del suono nei gas alla temperatura zero diede la formola

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}};$$

nella quale  $v$  rappresenta la velocità del suono, cioè lo spazio che esso percorre in un secondo,  $e$  l'elasticità del gas a zero, e  $d$  la sua densità pure a zero.

Da questa formola si conchiude che la velocità di propagazione del suono nei gas è *direttamente proporzionale alla radice quadrata dell'elasticità del gas che si considera, ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità*. Si scorge in pari tempo che questa velocità rimane costante qualunque sia la pressione, perché, secondo la legge di Mariotte, aumentando l'elasticità aumenta anche la densità nello stesso rapporto.

Rappresentando con  $g$  l'intensità della gravità, con  $h$  l'altezza del barometro ridotto a zero, con  $d$  la densità del mercurio pure a zero, è evidente che siccome per un gas soggetto alla pressione atmosferica l'elasticità  $e$  cresce come ciascuna di queste quantità, si può porre  $e = gh\delta$ . Adunque la formola di Newton per la temperatura zero diventa

$$v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}}.$$

Ora, quando la temperatura di un gas aumenta da 0 a  $t$  gradi, la sua densità varia in ragione inversa del volume; quindi se si rappresenta con 1 il volume del gas a zero, il suo volume a  $t$  gradi sarà  $1+\alpha t$ , essendo  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione del gas (calorico, cap. IV); e la sua densità che è  $d$  a zero, a  $t$  gradi sarà  $d/(1+\alpha t)$ . Adunque la formola di Newton per una temperatura  $t$  diventa:

$$v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}(1+\alpha t)}$$

I valori di  $v$  ottenuti da questa formola furono sempre più piccoli di quelli forniti dall'esperienza. Laplace ritenne che causa di questa differenza fosse il calorico che si sviluppa per l'effetto della pressione nelle onde condensate. Basandosi sulle idee di Laplace, Poisson e Biot trovarono che la formola di Newton deve essere ridotta alla forma:

$$v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}(1+\alpha t)\frac{c}{c'}};$$

$c$  rappresentando il calorico specifico, a pressione costante, del gas nel quale il suono si propaga (calorico, cap. VIII), e  $c'$  il suo calorico specifico a volume costante.

Così modificata questa formola fornisce i valori di  $c$  corrispondenti a quelli che si ottengono per mezzo dell'esperienza.

**193. Velocità del suono nei solidi e nei liquidi.** - La velocità del suono, nei liquidi, è molto maggiore che nell'aria. Colladon e Sturm hanno trovato, col mezzo di esperienze fatte nel 1827 sul lago di Ginevra, che la velocità del suono, nell'acqua, è di 1435 metri, vale a dire più del quadruplo di quella del suono nell'aria.

Nei solidi la velocità del suono è ancora maggiore. Esperimentando sui tubi di ghisa degli acquedotti, Biot ha trovato direttamente che, nella ghisa, il suono si propaga 10,5 volte più velocemente che nell'aria. La velocità del suono negli altri solidi venne determinata teoricamente da Chladni, Savart, Masson e Wertheim, desumendola dal numero delle vibrazioni longitudinali o trasversali dei corpi, o dal loro coefficiente d'elasticità. Chladni ha trovato, col mezzo delle vibrazioni longitudinali, che nei legni la velocità del suono è da 10 a 12 volte maggiore che

nell'aria. Nei metalli questa velocità è più variabile, ed è da 4 a 16 volte quella che si verifica nell'aria.

**194. Riflessione del suono.** - Fintanto che le onde sonore non vengono impedito nel loro sviluppo, si propagano sotto la forma di sfere concentriche; ma, allorquando incontrano un ostacolo, seguono la legge generale dei corpi elastici, ritornano cioè sopra sè stesse, formando delle nuove onde concentriche, che sembrano emanare da un secondo centro situato al di là dell'ostacolo; lo che si esprime dicendo che le onde sono *riflesse*.

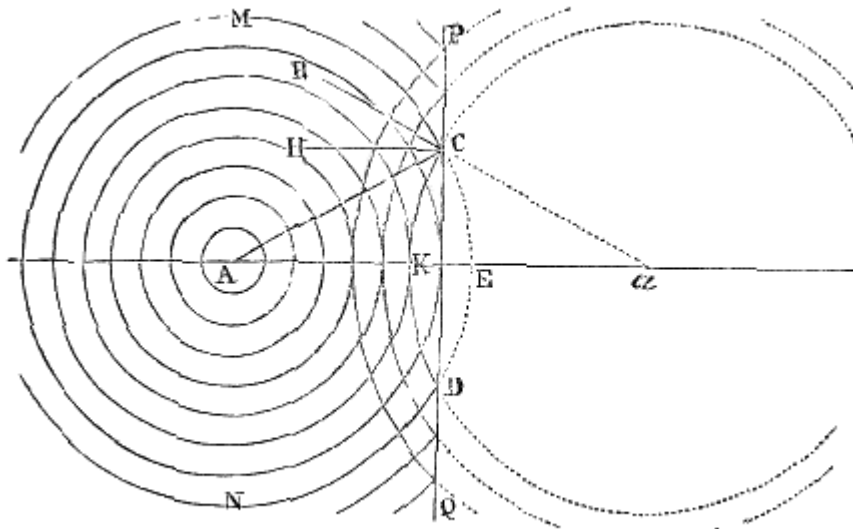


Fig. 122.

La figura 122 rappresenta una serie di onde incidenti, riflesse sopra un ostacolo PQ. Se si considera, per es., l'onda incidente MCDN, emessa dal centro A, l'onda riflessa corrispondente è rappresentata dall'arco CKD, di cui il punto *a* è il *centro virtuale*.

Se si congiunge un punto qualunque C del corpo riflettente col centro sonoro A, e si conduce la perpendicolare CH alla superficie di questo corpo, l'angolo ACH si chiama *angolo d'incidenza*, e l'angolo BCH, formato dal prolungamento di *a*C, si chiama *angolo di riflessione*.

Ciò posto, la riflessione del suono è soggetta alle due leggi seguenti, che valgono anche pel calore e per la luce:

1.° *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza.*

2.° *L'angolo di riflessione e l'angolo d'incidenza sono situati in un medesimo piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Dietro queste leggi, l'onda che, nella figura, si propaga secondo AC prende, dopo la riflessione, la direzione CB, di modo che un osservatore situato in B intende, oltre il suono partito dal punto A, un secondo suono che sembra emesso nella direzione CB.

**195. Eco e risuonanze.** - Dicesi *eco* la ripetizione d'un suono nell'aria, avvenuta per la riflessione del medesimo contro qualche ostacolo.

Perchè siavi eco, si richiede che il suono venga riflesso nella direzione dell'osservatore, e che l'ostacolo, contro cui esso si riflette, sia ad una distanza non minore di 17 metri. In fatti non è possibile distinguere un suono dall'altro, se non trascorre almeno un decimo di minuto secondo fra la percezione dei due suoni. Ora, essendo la velocità del suono di circa 310 metri per minuto secondo, ne segue che in un decimo di minuto secondo il suono percorre 34 metri. Per il che, se l'ostacolo riflettente trovasi ad una distanza di 17 metri almeno, il suono fra l'andata ed il ritorno dovrà percorrere almeno 34 metri. Il tempo trascorso fra il suono diretto ed il suono riflesso sarà quindi almeno un decimo di secondo; i due suoni allora non si confonderanno punto; ed il suono riflesso sarà distintamente inteso. Ne segue da ciò che, parlando ad alta voce dinanzi ad un ostacolo distante 17 metri, la sola ultima sillaba riflessa riesce distinta; l'eco è dunque *monosillaba*. Se

l'ostacolo trovasi ad una distanza di due volte, tre volte 17 metri, l'eco sarà *bisillaba*, *trisillaba*, e così via.

Allorchè la distanza della superficie riflettente è minore di 17 metri, il suono diretto ed il riflesso tendono a confondersi. Non è dunque possibile udirli separatamente; ma il suono trovasi rafforzato, lo che si esprime dicendo che vi è *risonanza*. Ciò appunto si osserva nei grandi appartamenti. Le sale a pareti nude sono assai risuonanti; gli arazzi invece e le drapperie, che mal riflettono il suono, rendono poco *risuonanti* gli appartamenti.

Dicesi *eco multipla* quella che ripete più volte il medesimo suono: ciò accade quando due ostacoli collocati l'uno di fronte all'altro, come sarebbero due muri paralleli, si rimandano successivamente il suono. Evvi qualche eco che ripete fino a 20 o 30 volte il medesimo suono. Merita speciale menzione quella della Simonetta.

Siccome le leggi della riflessione della luce e del calore si verificano anche per la riflessione del suono, le superficie curve danno origine a *fuochi acustici* analoghi ai fuochi luminosi e calorifici, che si producono davanti agli specchi concavi (341). Se, per es., si parla sotto l'arco di un ponte di pietra, avendo la faccia rivolta ad una delle pile, la voce può riprodursi presso l'altra pila con abbastanza di intensità per sostenere una conversazione a bassa voce, senza che essa venga intesa da persone che trovinsi nello spazio intermedio.

Esiste al piano terreno del Conservatorio delle arti e mestieri in Parigi, una sala quadrata a volta ellittica che presenta in modo rimarchevole questo fenomeno, collocandosi ai due fuochi della ellissi.

Devesi del resto rimarcare che il suono non vien riflesso solamente dalla superficie dei corpi solidi, come sarebbero i muri d'un edificio, i legni, le roccie; e vien riflesso altresì dalle nubi, allorchè incontra uno strato in densità diverso da quello che ha già attraversato; infine vien riflesso anche dalle vescichette delle nebbie. Si osserva infatti che, quando evvi nebbia, i suoni subiscono numerose riflessioni parziali, e rapidamente s'affievoliscono. Di notte, essendo l'aria pura, calma ed uniforme densità, i suoni si estendono più lontani.

**196. Rifrazione del suono.** - Vedremo in seguito che per *rifrazione* si intende un cangiamento di direzione che soffrono la luce ed il calorico passando da un mezzo in un altro. Ora, Sondhauss, in Germania, constatò recentemente che le onde sonore si rifrangono come il calore e la luce.

A questo scopo egli ha costruite delle lenti gasose, riempiendo d'acido carbonico degli involucri membranosi di forma sferica o lenticolare.

Mediante involucri di carta o di finissima cartapeccora, la rifrazione del suono non è sensibile, ma l'esperienza riuscì assai bene con un involuppo di collodio.

Sondhauss taglia, sopra un ampio pallone di collodio, due segmenti uguali, e li adatta alle due faccie d'un anello di latta, avente un diametro di centimetri 31, in modo da formare una lente biconvessa, cava, il di cui spessore al centro è all'incirca di 12 centimetri. Quindi, riempiendo d'acido carbonico la lente così formata, ci colloca un orologio ordinario sulla direzione dell'asse, e cerca in seguito, dall'altro lato della lente, i punti in cui il suono vien inteso con maggior intensità.

Si osserva così che fino a che l'orecchio è lontano dall'asse, il suono riesce appena percettibile, ma che esso riesce assai distinto quando l'orecchio trovasi sull'asse ad una opportuna distanza dalla lente; dunque le onde sonore, sortendo dalla lente, concorrono verso l'asse, il che mostra aver esse cambiata direzione ed esser quindi rifratte.



Fig. 123.

**197. Porta-voce, corno acustico.** - Il *porta-voce* ed il *corno acustico* sono due strumenti fondati e sulla riflessione del suono e sulla conducibilità dei tubi cilindrici (190).

Il porta-voce, come lo indica il suo nome, è destinato a trasmettere la voce a grandi distanze. Consiste in un tubo di latta o di ottone (fig. 123), leggermente conico ed assai svasato ad una delle sue aperture detta *padiglione*. Questo strumento, di cui l'altra estremità s'applica alla bocca, porta la voce tanto più lungi quanto maggiori sono le sue dimensioni. Si spiega l'effetto del porta-voce colle riflessioni successive delle onde sulle pareti del tubo; riflessioni per le quali le onde tendono a diminuire sempre più la loro divergenza. Il calcolo fa vedere che nella teoria di questo strumento si deve inoltre tener conto dell'accrescimento che prende l'ampiezza d'oscillazione delle molecole dell'aria vicino al padiglione.

Il corno acustico serve alle persone che sono *dure d'orecchio*. Esso consta di un tubo conico di metallo, di cui una delle estremità, terminata a padiglione, è destinata a ricevere il suono, intanto che l'altra è introdotta nell'orecchio. Il padiglione serve a ricevere i suoni provenienti dalla bocca della persona che parla. Questi suoni si trasmettono per un seguito di riflessioni nell'interno del corno, di modo che quelle onde che avrebbero preso un grande sviluppo, si trovano concentrate nell'apparecchio auditorio, e vi producono un effetto assai più sensibile di quello che avrebbero fatto le onde divergenti.

## CAPITOLO II

# VIBRAZIONI DELLE CORDE, NUMERO DELLE VIBRAZIONI CORRISPONDENTI AD UN DATO SUONO

**198. Vibrazioni delle corde.** - Diconsi *corde*, in acustica, dei corpi filiformi elastici per tensione.

Si distinguono, nelle corde, due sorta di vibrazioni, le une *trasversali*, ossia in direzione perpendicolare alle corde; le altre *longitudinali*, ossia nel senso della lunghezza. Si producono le prime con un archetto, come sul violino, oppure pizzicando le corde, come si fa sull'arpa e la chitarra.

Le vibrazioni longitudinali poi si producono collo strofinare le corde nel senso della lunghezza con un pezzo di stoffa cosparsa di colofonia in polvere.

Noi ci occuperemo soltanto delle vibrazioni trasversali, siccome le sole necessarie per la teoria fisica della musica.

**199. Sonometro.** Il *sonometro* è un apparecchio che serve a studiare le vibrazioni trasversali delle corde. Lo si indica pure col nome di *monocordo*, poiché spesso ha una sola corda. Questo apparecchio consiste in una cassa di legno sottile, destinata a rinforzare il suono; sopra di essa sono fissati due cavalletti A e D (fig. 124) sui quali passa una corda metallica fissa ad un estremo e tesa all'altro mediante dei pesi P aumentabili a piacere. Un terzo cavalletto B vien disposto sulla cassa in modo da far variare ad arbitrio la lunghezza della porzione di corda che si vuol mettere in vibrazione.

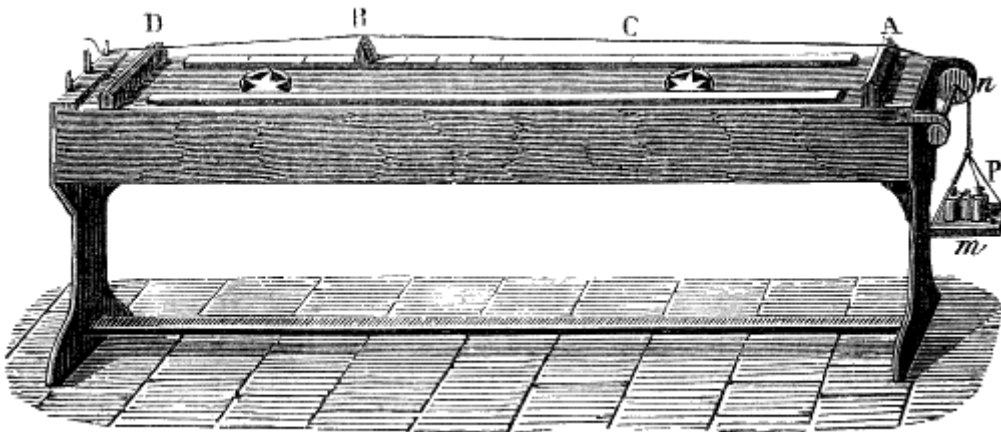


Fig. 124 ( $l = 1\text{m}34$ ).

**200. Leggi delle vibrazioni delle corde.** - Rappresentando con  $l$  la *lunghezza* d'una corda, cioè la porzione vibrante compresa fra i due cavalletti A e B (fig. 124), con  $r$  il raggio della sua sezione, con  $d$  la sua densità, con  $P$  il peso serviente a tenderla, e con  $n$  il numero delle vibrazioni per ogni secondo, si trova, mediante il calcolo,  $n = 1/rl \sqrt{\frac{P}{\pi d}}$ ; ove  $\pi$

esprime il rapporto fra la circonferenza ed il diametro.

Da questa formola derivano le quattro leggi seguenti:

1.° Il numero delle vibrazioni di una corda in tempi eguali, rimanendo costante la tensione, è inversamente proporzionale alla lunghezza.

2.° A parità di circostanze, il numero delle vibrazioni è in ragione inversa del raggio della corda.

3.° Il numero delle vibrazioni di una corda è direttamente proporzionale alla radice quadrata del peso che la tende.

4.° A parità di circostanze, il numero delle vibrazioni di una corda è inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità.

In musica, queste leggi trovano un'applicazione negli strumenti da corda, nei quali si fa variare la lunghezza, il diametro e la tensione delle corde, in modo da ottenere tale o tal'altra nota.

**201. Nodi e linee nodali.** - Quando un corpo vibra, non vibra solamente nel suo assieme, ma si divide generalmente in un certo numero di parti aliquote, ciascuna delle quali è animata da speciali vibrazioni.

Fra queste diverse parti, sonvi dei punti o delle linee che vibrano meno delle altre, e che si ponno ritenere come sensibilmente fisse. Questi punti e queste linee ricevono il nome di *nodi* e *linee nodali*. Le parti vibranti comprese fra due nodi o fra due linee nodali diconsi *concamerazioni*. Il punto di mezzo d'una concamerazione, ove è massima l'ampiezza delle vibrazioni, dicesi *ventre*.

Le corde vibranti presentano esempi curiosi di nodi e ventri, quando si faccia vibrare una sola porzione aliquota della loro lunghezza, come sarebbe un terzo, un quarto, un quinto. Per ciò fare, fissata la corda ai suoi due estremi, le si fa scorrere al disotto un piccolo cavalletto, fermandolo successivamente ad un terzo, ad un quarto, ad un quinto della corda. Se il cavalletto è ad un terzo come lo rappresenta la figura 125, facendo vibrare con un archetto la porzione BD, l'altra porzione si suddivide in due parti AC e CB che vibrano separatamente, rimanendo immobile il punto C. Questo fatto vien constatato ponendo dei piccoli pezzetti di carta, uno in C, un altro fra B e C, ed un terzo fra C ed A. Quello in C non soffre che una leggera scossa, mentre gli altri due vengono di molto spostati. Ciò prova esservi un nodo nel primo punto e dei ventri negli altri due. Se il cavalletto B trovasi ad un quarto della corda, si producono fra A e B due nodi e tre ventri (fig. 126): se egli trovasi ad un quinto, si producono fra i medesimi punti tre nodi e quattro ventri, e così di seguito.

Fig. 125.

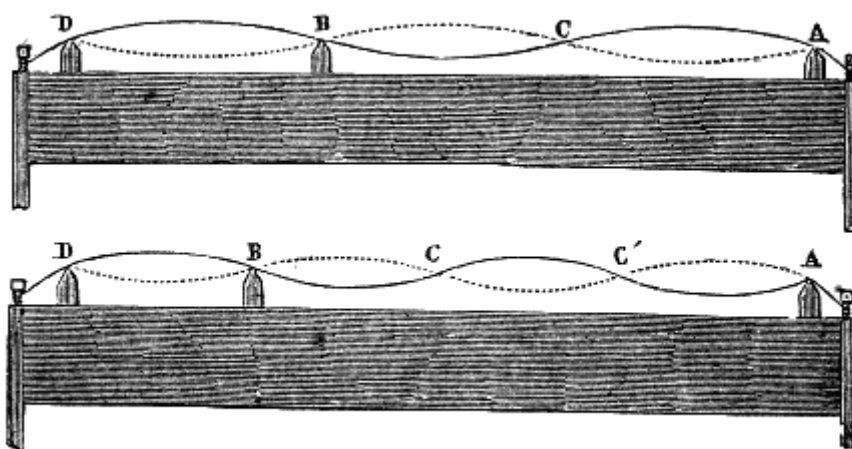


Fig. 126.

Vedremo fra poco (221) come si possa constatare l'esistenza o la forma delle linee nodali nelle lamine e nelle membrane vibranti.

**202. Ruota dentata di Savart.** - La *ruota dentata di Savart*, così chiamata dal nome del suo inventore, è un apparato destinato a far conoscere il numero assoluto delle vibrazioni corrispondenti ad un determinato suono. Essa è formata da una panca di rovere, fissa solidamente e perforata in tutta la sua lunghezza. Nell'apertura son collocate due ruote A e B (fig. 127): la prima serve a comunicare una grande velocità alla più piccola, e quest'ultima, munita di denti, serve a mettere in vibrazione una carta E fissa alla panca. Questa carta, essendo urtata al passaggio di ciascun dente, fa ad ogni rivoluzione della piccola ruota, altrettante vibrazioni complete quanti sono i denti. Per ultimo sovra un piccolo quadrante H avvi un indice che vien messo in moto dall'asse della ruota dentata, e che indica il numero dei giri e, per conseguenza, il numero delle vibrazioni, in un determinato tempo.

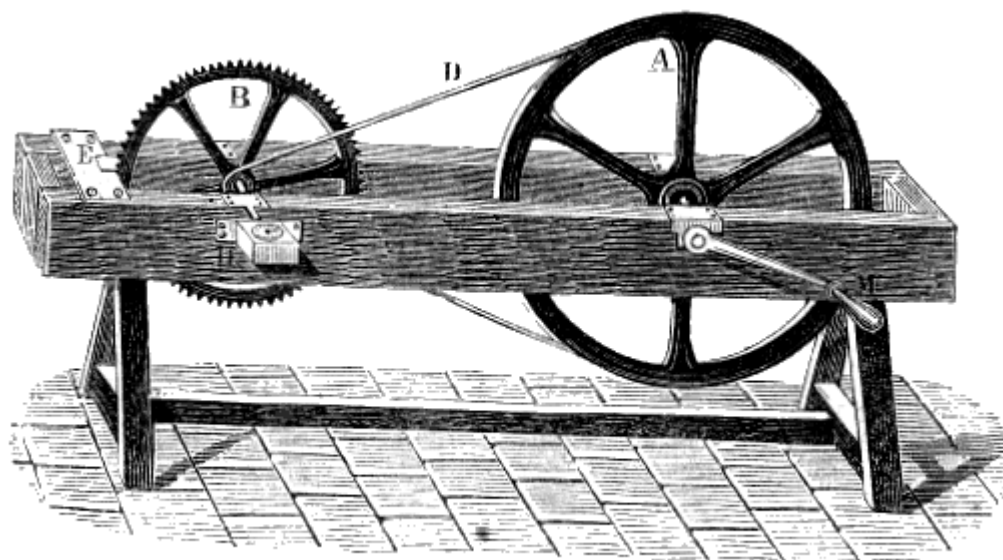


Fig. 127 ( $\alpha = 1m03$ ).

Imprimendo da prima un moto lento alla ruota dentata, si intendono distintamente gli urti successivi dei denti contro la carta; ma aumentando gradatamente la velocità, si ottiene un suono ognor più acuto. Quando per tal modo si giunge a riprodurre il suono di cui vuolsi conoscere il numero delle vibrazioni, si mantiene la medesima velocità per un certo determinato numero di secondi; leggendo in seguito, sull'apparato misuratore, il numero dei giri compiuti dalla ruota dentata B, e moltiplicando questo numero pel numero dei denti, si ottiene il numero totale delle vibrazioni. Dividendo infine questo prodotto pel corrispondente numero di secondi, avremo nel quoto rappresentato il numero delle vibrazioni per ogni secondo.

**203. Sirena.** - La *sirena* è un piccolo apparato che serve come la ruota di Savart, a misurare il numero preciso delle vibrazioni di un corpo sonoro in un dato tempo. Cagniard-Latour, che è l'inventore di questo stromento, lo chiamò sirena, perchè gli si possono far dare dei suoni sott'acqua.

La sirena è tutta in ottone. La figura 128 la rappresenta montata, sulla cassa di un mantice, qui in seguito descritto (fig. 131), la di cui funzione si è quella d'inviare una corrente d'aria continua nella sirena.

Le figure 129 e 130 mostrano i dettagli interni della sirena. La parte inferiore consiste in una scatola cilindrica O coperta da un disco fisso B. Su questo disco si appoggia un'asta verticale T, alla quale è fisso un disco A che può girare liberamente insieme coll'asta; nel piatto B sono praticati dei fori circolari equidistanti, e nel disco A si trova un egual numero di fori, della stessa grandezza ed alla stessa distanza dal centro di quelli del piatto. Questi fori non sono perpendicolari al piano del piatto e del disco; ma, tutti inclinati di una ugual quantità nel piatto, sono inclinati in senso contrario nel disco, di modo che, quando i fori del piatto e quelli del disco si trovano dirimpetto, sono disposti come si vede in *mn* (fig. 130). Da questa disposizione ne risulta che allorquando una rapida corrente d'aria arriva dal mantice nella cassa cilindrica e nel foro *m*, batte obliquamente le pareti del foro *n*, ed imprime al disco A un movimento di rotazione nel senso *nA*.

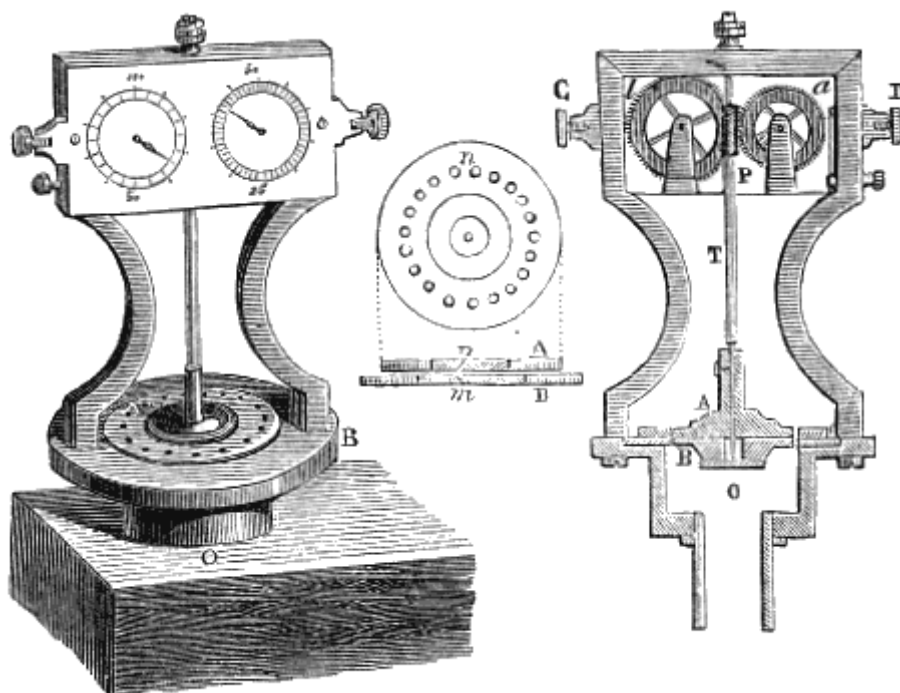


Fig. 128 (a. = 17).

Fig. 130.

Fig. 129.

Per semplificare la spiegazione del suono della sirena, supponiamo da prima che il disco mobile A abbia 18 fori, ed il piatto B non ne abbia che un solo, e consideriamo il caso in cui questo coincida con uno dei fori superiori. L'aria del mantice, venendo a battere obliquamente la parete di quest'ultimo, il disco mobile si pone in movimento, e la parte piena che si trova fra due fori consecutivi viene a chiudere il foro del disco inferiore. Ma il disco continuando a girare in virtù della velocità da esso acquistata, ne viene che due fori si trovano ancora dirimpetto, dal che ne risulta un nuovo impulso, e così di seguito. Di tal maniera, durante una rivoluzione completa del disco l'orifizio inferiore è 18 volte aperto e 18 volte chiuso. Da ciò ne risulta una serie di efflussi e di fermate che fanno entrare l'aria in vibrazione, e, quando gli impulsi successivi sono abbastanza rapidi, finiscono col produrre un suono. Ora, se si suppone che il piatto fisso B abbia 18 fori, come il disco girante, ciascun foro produrrà simultaneamente lo stesso effetto che un solo; il suono per conseguenza sarà più intenso, ma il numero delle vibrazioni non sarà aumentato.

Per conoscere il numero delle vibrazioni corrispondente al suono che dà l'apparato durante il suo movimento di rotazione, resta a sapere quante rivoluzioni faccia il disco A in un minuto secondo. Per ciò, l'asta T porta una vite perpetua che trasmette il movimento ad una ruota a di 100 denti. Questa ruota, che si avvanza di un dente a ciascuna rivoluzione del disco, porta un'appendice P che, a ciascun giro, fa progredire di un dente una seconda ruota b, che si vede a sinistra nella figura 129. Gli assi di queste ruote fan girare due aghi che si muovono su dei quadranti rappresentati nella figura 128. Questi aghi indicano, l'uno il numero dei giri del disco A, l'altro i centesimi di giro. Due bottoni D e C servono ad ingranare la piccola ruota a colla vite perpetua, od a liberarnela a volontà.

Siccome il suono diviene ognor più acuto aumentando la velocità del disco A, così basta rinforzare il soffio fino a tanto che l'apparato produca un determinato suono. Si mantiene allora costante la corrente d'aria per un certo tempo, per es. due minuti, poi si legge, sul quadrante, il numero dei giri percorsi del disco. Moltiplicando questo numero per 18 e dividendo il prodotto per 120, numero dei secondi, avremo espresso nel quoto il numero delle vibrazioni corrispondente a ciascun secondo.

La sirena, a pari velocità, produce il medesimo suono sia nell'acqua sia nell'aria; ciò si verifica pure in qualunque gas, il che dimostra che un determinato suono dipende, non dalla natura del corpo sonoro, ma dal numero delle vibrazioni.

**204. Mantice.** - Si dà il nome di *mantice*, in acustica, ad un soffiutto a serbatoio d'aria che serve a far funzionare gli strumenti a vento, come la sirena e le canne d'organo. Fra i quattro piedi d'un



tavolo di legno evvi un soffietto S (fig. 131), che vien messo in azione da un pedale P. Un serbatoio D, alquanto flessibile, serve a raccogliere l'aria che vi è spinta dal soffietto. Comprimeo questo serbatoio mediante pesi posti al disopra, o mediante un'asta T che si fa muovere a mano, l'aria viene spinta per un condotto E in una cassa fissa alla tavola.

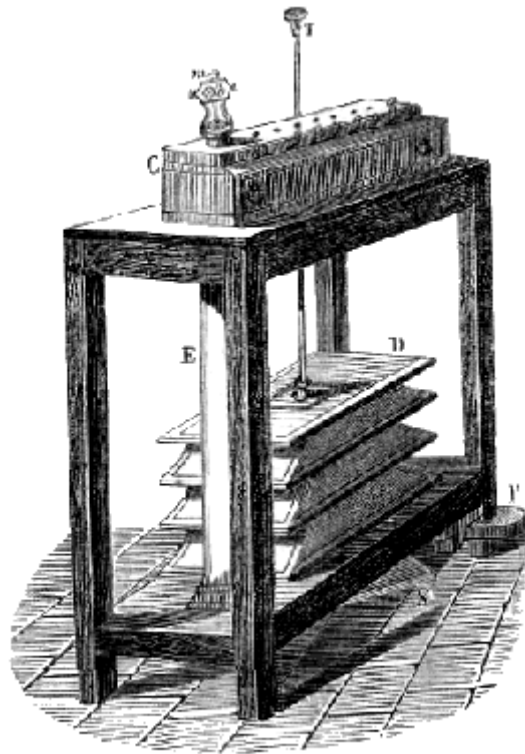


Fig. 131 (a. — 1m,30).

Questa cassa ha dei fori chiusi da piccole valvole di cuoio, che si ponno aprire a piacere, premendo dei tasti disposti sul davanti della cassa. In questi fori si colloca una sirena *m* o dei tubi a linguetta.

**205. Limite dei suoni percettibili.** - Prima che Savart se ne occupasse, i fisici ammettevano che l'udito cessava di percepire il suono allorché il numero delle vibrazioni semplici, per ciascun secondo, era al di sotto di 32 pei suoni gravi, e superiore a 18000 pei suoni acuti. Ma questo fisico dimostrò che questi limiti erano troppo ristretti, e che la facoltà di percepire più o meno dei suoni assai gravi e assai acuti dipende piuttosto dall'intensità che dall'altezza; di modo che quando i suoni estremi riescono impercettibili, ciò significa che questi suoni non furono prodotti con intensità sufficiente a far impressione sull'organo dell'udito.

Coll'aumentare il diametro della sua ruota dentata (fig. 202), e, per conseguenza, l'ampiezza e l'intensità delle vibrazioni, Savart portò il limite dei suoni acuti fino a 48000 vibrazioni semplici per secondo.

Poi suoni gravi, egli sostituì alla sua ruota dentata una spranga di ferro della lunghezza di 65 centimetri, che ruota fra due sottili lamine di legno, discoste dalla spranga di soli 2 centimetri. A ciascun passaggio si produce un suono secco, a cagione dello spostamento dell'aria. Accelerandosi il movimento, il suono divien continuo, assai pieno ed assordante.

Savart si assicurò, per mezzo di quest'apparecchio, che producendosi da 14 a 16 vibrazioni semplici per secondo, l'orecchio percepisce ancora un suono ben distinto, ma assai grave.

Despretz, che ha fatte delle ricerche sullo stesso argomento, trova 32 vibrazioni semplici per limite de' suoni gravi, e 73700 per limite de' suoni acuti.

## CAPITOLO III

# TEORIA FISICA DELLA MUSICA

**206. Qualità del suono musicale.** - Il *suono musicale* è il risultato di vibrazioni continue, rapide ed isocrone, che producono una sensazione prolungata sull'organo dell'udito. È sempre possibile paragonare questo suono ad altri suoni, e trovarne l'unisono, il che non si può fare poi rumori (183).

L'orecchio distingue nel suono musicale tre qualità particolari: l'altezza, l'intensità ed il metallo (*timbre*).

L'*altezza* è l'impressione che risulta, per l'organo dell'udito, dal numero più o meno grande di vibrazioni in un dato tempo.

Diconsi *gravi* quei suoni che son prodotti da un piccol numero di vibrazioni, e diconsi *acuti* quelli che risultano da un gran numero di vibrazioni. Non sarebbero dunque suoni assolutamente gravi od acuti se non quelli che si trovano all'estremità della scala dei suoni percettibili.

Tutti i suoni intermedi non sono nè gravi nè acuti se non relativamente. Tuttavia, si dice un suono grave od un suono acuto, come si dice una bassa temperatura ad una temperatura elevata, paragonando il suono a quelli che s'odono più comunemente.

Il rapporto di gravità o d'acutezza di due suoni dicesi *tono*. Questa parola quindi esprime il grado di altezza del suono; in senso musicale esso esprime il grado di altezza della gamma stabilita.

Abbiamo già visto (188) che l'*intensità* o la forza del suono dipende dall'ampiezza delle oscillazioni e non dal loro numero. Il medesimo suono può conservare il medesimo grado di gravità e d'acutezza, ed acquistare un'intensità più o meno grande qualora si faccia variare l'ampiezza delle oscillazioni che lo producono. Ciò è quanto si verifica per una corda tesa, secondo che la si scosta più o meno dalla sua posizione d'equilibrio.

Il *metallo* fa sì che due suoni d'eguale altezza ed intensità, prodotti da due diversi strumenti, possano essere perfettamente distinti. Il suono dell'oboè, per es., è ben distinto da quello del flauto; il suono del corno da quello del bassone. La voce umana, del pari, presenta un metallo ben differente secondo gli individui, l'età ed il sesso.

La causa del metallo del suono non è ben conosciuta. Questa qualità sembra dipendere non solo dalla materia degli strumenti, ma ben anche dalla loro forma e dal modo con cui vibrano: si cangia completamente il suono di una tromba d'ottone incrudito facendola ricuocere in un forno. Si osserva inoltre che la tromba dritta dà un suono più fragoroso della ricurva.

**207. Unisono.** - Due suoni prodotti da un egual numero di vibrazioni per secondo si dicono *all'unisono*: essi sono allora ugualmente gravi od acuti. Per es., la ruota di Savart e la sirena sono all'unisono quando i loro apparecchi misuratori indicano un egual numero di vibrazioni in un medesimo tempo.

Si può sempre prendere l'unisono d'un suono musicale; ma non si può prendere quello di un rumore. Ponendo la sirena all'unisono con un corpo sonoro si constata il numero delle vibrazioni di quest'ultimo.

**208. Scala musicale, gamma o solfa.** - Dicesi *scala musicale* una serie di suoni separati gli uni dagli altri mediante intervalli che sembrano aver la loro origine nella natura della nostra organizzazione.

In questa serie, i suoni si riproducono, periodicamente nello stesso ordine, di sette in sette; ciascun periodo chiamasi *gamma* o *solfa*, ed i sette suoni o note di ciascuna solfa si denominano *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*.

Le note della solfa si ponno rappresentare anche mediante numeri.

Per ciò, si prende per *do* il *suono fondamentale* del sonometro (199), vale a dire quello che dà quando la corda vibra in tutta la sua lunghezza. Facendo variare in seguito la posizione del cavaletto mobile B (fig. 124), un osservatore, d'orecchio esercitato, trova facilmente la lunghezza che bisogna dare successivamente alla parte vibrante AB, per ottenere le sei altre note. Ora, rappresentando con 1 la lunghezza della corda che dà il *do*, si trova che la lunghezza delle corde che danno le altre note sono rappresentate dalle frazioni seguenti:

(A) {	Note	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>
	Lunghezze relative alle corde	1	8/9	4/5	3/4	2/3	3/5	8/15

La corda che dà il *re* non è adunque che 8/9 di quella che dà il *do*; quella che dà il *mi* non è che 4/5 della stessa corda, e così di seguito.

Tali sono i numeri che servono a rappresentare le note dell'ottava dietro la lunghezza relativa delle corde che le danno.

Continuando a far progredire il cavaletto sul sonometro, si trova che l'ottavo suono è prodotto dalla metà della corda che dava il suono fondamentale. La serie degli stessi rapporti suaccennati incomincia di nuovo partendo da questo suono, e si ottiene una nuova ottava interamente paragonabile alla prima, poichè la lunghezza della corda corrispondente a ciascuna nota di questa seconda ottava è la metà della corda che corrisponde alla nota dello stesso nome nell'ottava precedente, e così di seguito per una terza e per una quarta ottava.

Per avere il numero relativo di vibrazioni corrispondente a ciascuna nota, nello stesso tempo, basta invertire le frazioni della tabella precedente; perchè dietro la prima legge delle vibrazioni delle corde (200), il numero delle vibrazioni di una corda è in ragione inversa della sua lunghezza. Rappresentando adunque con 1 il numero delle vibrazioni che dà il suono fondamentale preso per *do*, si forma la tavola seguente:

(B) {	Note	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>
	Lunghezze relative alle corde	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8

La solfa di cui ora abbiamo indicati i rapporti di vibrazione si chiama solfa *diatonica*; e si dice solfa *cromatica* una solfa che procede per semi-tuoni, e che si compone di 13 suoni.

**209. Numero assoluto delle vibrazioni per ciascuna nota.** - La sirena fornisce un mezzo semplice onde dedurre dalla tavola precedente il numero reale di vibrazioni che produce ciascuna delle note della scala musicale. Infatti, se la si pone all'unisono del *do* fondamentale, essa ne fa conoscere il numero preciso di vibrazioni. Altro non rimane adunque che moltiplicare questo numero pei rapporti della tavola precedente, per avere il numero delle vibrazioni delle altre note.

Ora siccome il suono fondamentale che si prese per *do* varia col variare della lunghezza della corda del sonometro, colla sua tensione e colla sua natura, lo stesso accade del numero delle vibrazioni corrispondenti al *do*. I numeri reali delle vibrazioni, calcolati come abbiamo detto, potrebbero adunque essere rappresentati da numeri, ai quali corrisponderebbero altrettante solfe differenti.

Fra tutte le solfe che si ponno così rappresentare, venne scelta quella in cui il *do* corrisponde al suono più grave del violoncello, e fu convenuto, in fisica, di distinguere le note di questa solfa apponendo loro l'indice: mentre che alle note delle solfe più alte si danno gli indici 2, 3, ... ed alle note delle solfe più basse, gli indici -1, -2, ... si scrivono cioè le prime coi simboli *do*<sub>2</sub>, *re*<sub>2</sub>, *do*<sub>3</sub>, *re*<sub>3</sub>,... e le seconde coi simboli *do*<sub>-1</sub>, *re*<sub>-1</sub>, *do*<sub>-2</sub>, *re*<sub>-2</sub>,...

Ciò posto, siccome l'esperienza ha dimostrato che il numero delle vibrazioni corrispondenti al suono più grave del violoncello è 128, basta moltiplicare questo numero assoluto delle vibrazioni pei rapporti marcati nella tabella B (208), per ottenere il numero assoluto delle vibrazioni di ciascuna nota, dal che si ha la seguente tabella:

(C)	{	Note	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>
		Lunghezze relative alle corde	128	144	160	170	192	214	240

I numeri assoluti delle vibrazioni, per le solfe superiori, si ottengono moltiplicando successivamente per 2, per 4, per 8... i numeri della tabella C; e per le solfe inferiori, si dividono questi medesimi numeri per 2, per 4... Per es., il numero delle vibrazioni semplici del *sol*<sub>3</sub> è eguale a  $192 \times 4$ , ossia 768 per secondo.

**210. Lunghezza delle onde.** - Conoscendosi il numero delle vibrazioni semplici di un corpo sonoro per ogni secondo, è facile di dedurre la lunghezza, delle onde. In fatti, si sa che il suono percorre 337 metri o 1024 piedi all'incirca per secondo. Quindi, se un corpo facesse una sola vibrazione semplice per secondo, la lunghezza dell'onda sarebbe di 1024 piedi; s'ei ne facesse due, la lunghezza dell'onda sarebbe data dalla metà di 1024, e così via. Ora, abbiamo visto che al *do*, corrispondono 128 vibrazioni semplici per secondo; la lunghezza delle onde sarà quindi espressa dal quoto di 1024 piedi diviso per 128, sarà cioè di 8 piedi.

La tabella seguente indica la lunghezza dell'onda corrispondente alla prima nota delle successive solfe:

	Lunghezza dell'onda in piedi	Numero delle vibrazioni
<i>do</i> <sub>3</sub>	64	16
<i>do</i> <sub>2</sub>	32	32
<i>do</i> <sub>1</sub>	16	64
<i>do</i> <sub>1</sub>	8	128
<i>do</i> <sub>2</sub>	4	256
<i>do</i> <sub>3</sub>	2	512
<i>do</i> <sub>4</sub>	1	1024

**211. Intervalli, diesis e bemolli.** - Si dà il nonne di intervallo, in musica, al rapporto che passa fra un suono ed un altro, cioè al numero esprimente di quanto un suono è più acuto di un altro. L'intervallo da *do* a *re* dicesi una *seconda*; da *do* a *mi* una *terza*; da *do* a *fa* una *quarta*; da *do* a *sol* una *quinta*; da *do* a *la* una *sesta*; da *do* a *si* una *settima*; e da *do* a *do* un'ottava. La tabella seguente segna gli intervalli delle note consecutive, ottenuti dividendo il numero delle vibrazioni d'una nota qualunque pel numero delle vibrazioni della nota immediatamente inferiore:

(D)	{	Note	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>
		Numeri relativi alle vibrazioni	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8
		Intervalli	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15

Si vede che gl'intervalli differenti si riducono a tre, che sono 9/8, 10/9 e 16/15.

Il primo, che è il più grande, dicesi *tono maggiore*; il secondo, *tono minore*, ed il terzo, che è il più piccolo, dicesi *semitono maggiore*:

L'intervallo fra il tono maggiore ed il tono minore è 80/81. Questo è il più piccolo intervallo che si considera; solo un orecchio esercitato può apprezzarlo. Lo si distingue col nome di *comma*.

I musicisti furono indotti ad intercalare fra le note della solfa altre note intermediarie indicate col nome di *diesis* e di *bemolli*. Perchè una nota *passi a diesis*, bisogna aumentare il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; perchè sia *ridotta a bemolle*, bisogna diminuire questo medesimo numero nel rapporto di 25 a 24. In musica, il diesis è indicato dal segno #, ed il bemolle dal segno *b*.

**212. Accordo perfetto, dissonanze.** - Chiamasi *accordo*, in generale, la coesistenza di più suoni, producenti sull'orecchio una sensazione agreevole. Non avvi accordo se non quando i numeri delle vibrazioni dei suoni simultanei si trovano in un rapporto semplice; se il rapporto è complicato, l'orecchio è percosso disagievolmente, ed allora si dice che vi è *dissonanza*. Il più semplice degli accordi è l'unisone; in seguito vengono l'ottava, la quinta, la terza, la quarta e la sesta.

Si dà il nome di *accordo perfetto* a tre suoni simultanei, tali che il primo ed il secondo formano una terza maggiore, il secondo ed il terzo una terza minore, il primo ed il terzo una quinta; vale a

dire tre suoni tali che i numeri delle vibrazioni che loro corrispondono stiano fra loro come i numeri 4, 5, 6. Esempio: *do, mi, sol*; *sol, si, re*, formano due accordi perfetti. Questi accordi sono quelli che producono sull'orecchio la sensazione musicale la più aggradevole.

**213. Battimenti.** - Quando si producono simultaneamente due suoni, che non sono all'unisono, si ode, ad intervalli uguali, un rinforzo del suono che si chiama *battimento*. Per es., se il numero delle vibrazioni di questi due suoni è 30 e 31, dopo 30 vibrazioni del primo o 31 del secondo, avrà luogo una coincidenza, e per conseguenza un battimento.

Se i battimenti sono abbastanza rapidi per produrre un suono continuo, evidentemente questo suono sarà più grave di quelli da cui è prodotto, poichè non gli corrisponde che una sola vibrazione, mentre agli altri suoni ne corrispondono 30 e 31.

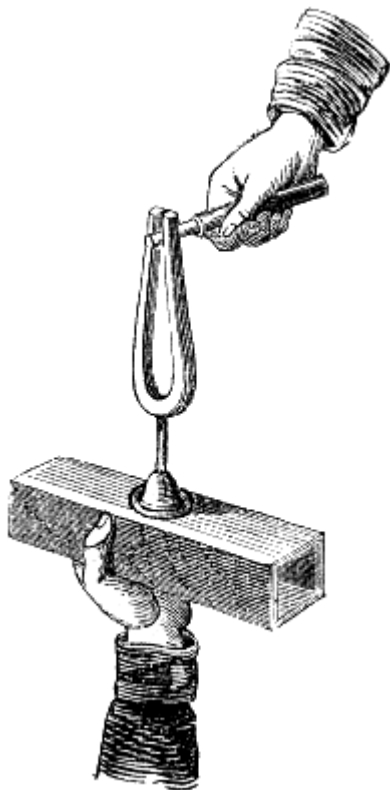


Fig. 132.

**214. Corista.** - Il *corista* o *diapason* è un piccolo strumento mediante il quale si riproduce, a volontà, una nota invariabile; ciò che lo rende atto ad accordare gli strumenti musicali. Esso consiste in una verga d'acciaio ricurva sopra sè stessa in forma di pinzetta (fig. 132). Lo si fa vibrare tanto passando sopra i suoi lembi con un archetto, quanto allontanando bruscamente i suoi due rami mediante un cilindro di ferro, che si introduce a forza fra i medesimi, come lo mostra la figura. I due rami, così allontanati dalla loro posizione d'equilibrio, vi ritornano vibrando, e producono un suono costante per ciascun corista. Si rinforza il suono di questo apparato fissandolo sopra una cassa di legno tenero, aperta all'una delle estremità.

Già da parecchi anni si osserva che sui grandi teatri d'Europa il diapason va facendosi sempre più alto non solo ma che non è neanche lo stesso per Parigi, Vienna, Berlino, Milano, ecc. Siccome da ciò risultano evidentemente dei gravi inconvenienti per l'arte musicale, pei compositori e per gli artisti, si istituì recentemente una commissione per istabilire, almeno in Francia, un diapason musicale uniforme, e fissarne uno che potesse servire di tipo invariabile. Ora, a partire dal 1.º dicembre 1859, questa commissione ha adottato un *diapason normale*, obbligatorio per tutti gli stabilimenti musicali di Francia. Questo diapason, un modello del quale è deposto al Conservatorio di musica di Parigi, dà 870 vibrazioni per secondo; vale a dire il *la*<sub>3</sub>, che è il suono reso dalla terza corda del violino.

## CAPITOLO IV

### VIBRAZIONE DELL'ARIA NEI TUBI SONORI

**215. Tubi sonori.** - Chiamansi *tubi sonori* dei tubi vuoti coi quali si producono dei suoni facendo vibrare la colonna d'aria in essi rinchiusa.

Questi tubi si designano anche col nome di *strumenti a vento*. Nei diversi apparati fin qui descritti, il suono risulta dalle vibrazioni di corpi solidi, e l'aria non è che il veicolo. Negli strumenti a vento, quando i tubi hanno le pareti sufficientemente resistenti, il solo corpo sonoro è la colonna d'aria in essi rinchiusa. In fatti, si verifica che la materia dei tubi è senza influenza sul suono; esso è sempre uguale, a parità di dimensioni, tanto nei tubi di legno, che di metallo o di cristallo. Il solo timbro ne è modificato.

Riguardo al modo di mettere l'aria in vibrazione nei tubi, si ponno dividere gli istrumenti in istrumenti a *bocca* ed istrumenti a *linguetta*.

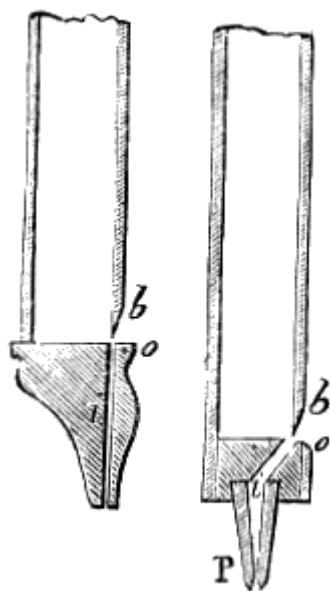


Fig. 133.

Fig. 134.

**216. Strumenti a bocca.** - Negli strumenti a bocca tutte le parti dell'imboccatura sono fisse. La figura 134 rappresenta, l'imboccatura d'una canna d'organo; la figura 133 rappresenta quella dello zuffolo o del piffero. Nelle due figure, l'apertura *i* si chiama la *luce*; è di là che l'aria s'introduce nel tubo; *bo* ne è la *bocca*, il di cui labbro superiore *b* è tagliato ad ugnatura. Nella parte superiore delle due figure avvi il tubo, che può essere aperto o chiuso. Nella figura 134 il *piede* P serve a fissare il tubo sopra un mantice (fig. 131).

Allorchè una rapida corrente d'aria passa per la luce, s'infrange contro il labbro superiore e ne risulta un urto pel quale l'aria non sorte dalla bocca *bo* in modo continuo ma per intermittenza.

Ne derivano da ciò delle pulsazioni che, trasmettendosi all'aria contenuta nel tubo, la mettono in vibrazione e lo fanno rendere un suono. Perchè il suono sia puro, bisogna stabilire un certo rapporto fra le dimensioni delle labbra, l'apertura della bocca e la grandezza della luce. Il tubo, infine, deve avere una lunghezza considerevole in confronto al suo diametro. Il numero delle vibrazioni dipende, in generale, dalle dimensioni del tubo e dalla velocità della corrente d'aria.

Nel flauto, l'imboccatura consiste in una semplice apertura laterale e circolare. L'aria viene ad infrangersi contro i bordi di quest'apertura per la disposizione data alle labbra. Lo stesso avviene nella zampogna ed in una chiave femmina adoperata per fischiare.

**217. Strumenti a linguetta.** - Negli strumenti a linguetta l'aria vien messa in vibrazione da una semplice linguetta elastica; questa linguetta, che è di metallo o di legno, è messa in movimento da una corrente di aria. Tal sorta di linguette si trovano nell'oboè, nel bassone, nel clarinetto, nelle trombette dei fanciulli e nella ribebba, che è il più semplice fra gli strumenti di questa specie. Alcune canne d'organo sono a bocca, come quella descritta superiormente (fig. 134); altre sono a linguetta.

La figura 135 rappresenta una di queste colla disposizione che loro si suol dare nelle scuole per la dimostrazione. È montata sulla cassa Q di un mantice, ed un vetro E, incastrato nelle pareti del tubo, lascia scorgere le vibrazioni della linguetta. Un corno di legno H serve a rinforzare il suono.

La fig. 136 rappresenta la linguetta fuori del tubo. Essa si compone di quattro pezzi:

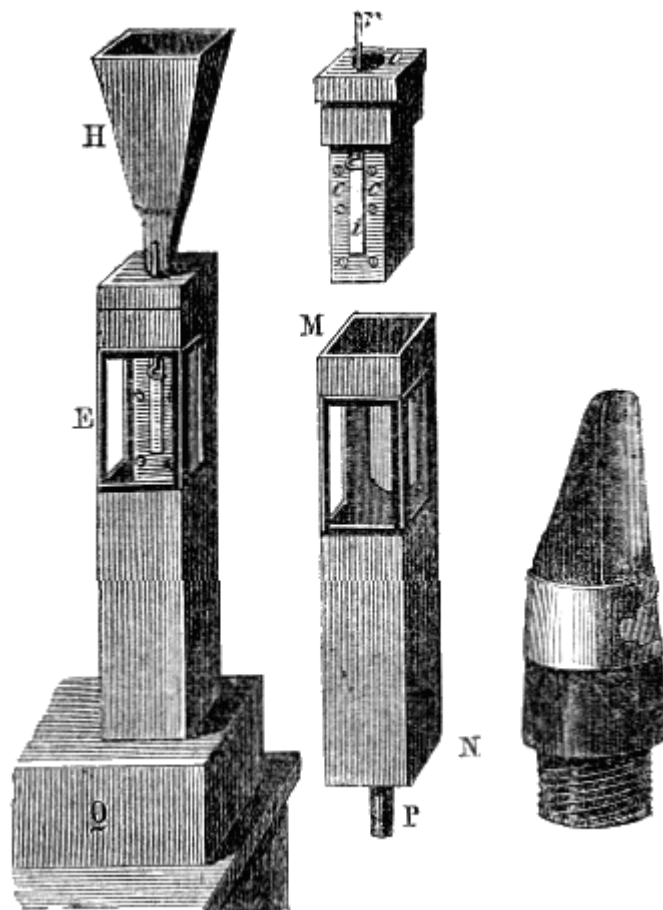


Fig. 135.

Fig. 136.

Fig. 137.

1.° un tubo rettangolare, di legno, chiuso alla sua parte inferiore ed aperto alla parte superiore in *o*; 2.° una piastra di ottone *cc*, in cui è praticata un'apertura longitudinale, detta il *canaletto*, e che è destinata a dar passaggio all'aria nel tubo MN fino all'orifizio *o*;

3.° una lamina elastica *i*, che dicesi *linguetta*, e che, quando è ferma, rade i lembi del canaletto e quasi lo chiude: questa linguetta è fissa soltanto alla sua parte superiore;

4.° un filo di ferro *r*, la parte inferiore del quale è ricurva e preme la linguetta. Questo filo di ferro, che chiamasi la *molla*, può essere abbassato più o meno onde regolare tutti i movimenti della linguetta e determinare l'altezza del suono che le si vuol far rendere. La molla serve ad accordare perfettamente i tubi a linguetta. Riposta la linguetta nel tubo MN, se una corrente d'aria giunge in esso dal piede P, la linguetta si trova compressa, s'incurva dall'esterno all'interno, e lascia libero passaggio all'aria, la quale sfugge per l'orifizio *o*. Ma la linguetta, tornando indietro per la sua elasticità, forma una serie di oscillazioni, le quali fanno sì che il canaletto si trovi successivamente aperto e chiuso, e che la corrente d'aria passi e si fermi per intermittenza; da ciò ne risultano delle onde sonore, le quali producono un suono la di cui altezza cresce colla velocità della corrente.

La linguetta da noi ora descritta oscilla alternativamente avanti ed indietro del canaletto senza battere i suoi lembi; questa linguetta chiamasi *linguetta libera*. Ma si costruiscono anche delle *linguette battenti*, nelle quali, a ciascuna oscillazione, la linguetta, che è più larga del canaletto, batte sui suoi lembi, non potendo così oscillare che da una parte. Questa linguetta è rappresentata dalla figura 137, la quale mostra una linguetta di clarinetto; qui non avvi molla, ma la pressione delle labbra ne fa le veci. Lo stesso avviene per le linguette di bassone e di oboè.

**218. Leggi delle vibrazioni dell'aria nei tubi chiusi da una parte.** - Il più semplice caso dei tubi sonori si è quello dei tubi chiusi da una parte; per es., la zampogna, o quando si soffia in una chiave forata. In tal caso, la colonna d'aria può vibrare intera, o dividersi spontaneamente in parti eguali che vibrano separatamente ed all'unisono. Le superficie di separazione degli strati così formati non soffrono che dei cambiamenti di compressione, e sono sensibilmente immobili; per

questo appunto si chiamano *nodi di vibrazione*. Al contrario, i centri delle colonne d'aria compressi fra due nodi consecutivi, sono sempre compressi ugualmente, ma provano le maggiori oscillazioni; si dicono *ventri di vibrazione*.

Daniele Bernoulli, celebre geometra, morto nel 1782, pel primo fece conoscere le seguenti leggi sui suoni resi dai tubi sonori:

1.° *Un tubo chiuso da un lato, e munito di una linguetta all'altro, fissato sulla tavola di un mantice, dà dei suoni di mano in mano più elevati a misura che si rinforza il soffio, e se si rappresenta con 1 il suono il più grave, ed il suono fondamentale, si trova che il tubo dà successivamente i suoni 1, 3, 5, 7, 9... rappresentati dalla serie dei numeri dispari.*

2.° *Per dei tubi ineguali, i suoni dello stesso ordine corrispondono a dei numeri di vibrazioni che stanno in ragione inversa delle lunghezze dei tubi.*

3.° *Le vibrazioni dell'aria, nei tubi, sono longitudinali, e la colonna d'aria vibrante è divisa in parti uguali per mezzo di nodi e di ventri, essendo il fondo dei tubi sempre un nodo, e l'imboccatura sempre un ventre.*

4.° *I nodi, o le superficie di separazione delle parti vibranti, sono immobili, e non provano che cambiamenti di densità, mentre che i ventri o i centri delle parti vibranti conservano la stessa densità, ma sono costantemente in vibrazione.*

5.° *Nel caso di un sol nodo, il tubo dà il suono fondamentale, e la lunghezza dell'onda è uguale a due volte quella del tubo.*

Fig. 138.

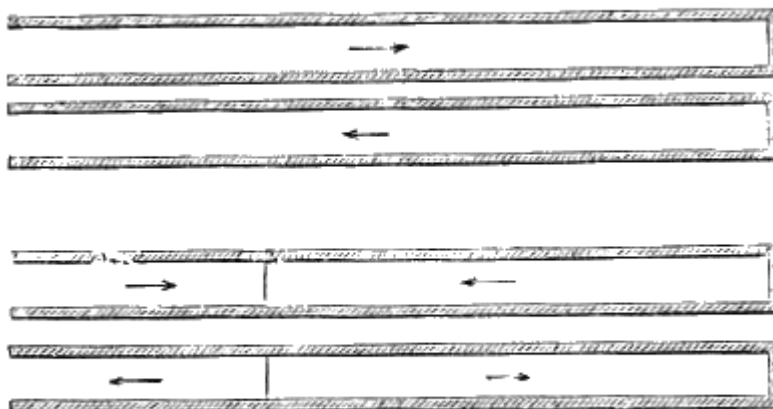


Fig. 139.

Nel caso che siavi un solo nodo, esso si trova sempre al fondo del tubo, ed allora alla bocca avvi un ventre. La figura 138 mostra, mediante la direzione delle frecce, in qual senso si propagano successivamente le ondulazioni dell'aria nel tubo, quando non avvi che un nodo.

Del pari, la figura 139, mostra secondo qual direzione l'aria si porta alternativamente a ciascuna vibrazione, quando vi sono due nodi. In tal caso uno dei nodi trovasi al fondo del tubo, e l'altro ad un terzo partendo dall'estremità aperta. La distanza dei due nodi, vale a dire la lunghezza dell'onda, è adunque due terzi della lunghezza del tubo.

Essa è quindi tre volte più piccola dell'onda che si produce nel caso di un sol nodo. Ora, in questo caso, il suono era 1, dunque quando vi sono due nodi è 3. Si vedrà del pari che se il numero dei nodi è 3, 4, 5, il suono è 5, 7, 9: risultato conforme a ciò che sopra si disse.

**219. Leggi della vibrazione dell'aria nei tubi aperti alle due estremità.** - Le leggi relative ai tubi aperti alle due estremità, non differiscono dalle leggi precedenti se non in questo che *i suoni resi da un medesimo tubo sono successivamente rappresentati dalla serie naturale dei numeri 1, 2, 3, 4, 5, 6,..., e che alle estremità dei tubi vi sono sempre dei ventri.*

Di più, *il suono fondamentale di un tubo aperto alle due estremità è sempre l'ottava acuta del medesimo suono in un tubo aperto ad una sola.*



Se non vi ha che un nodo, esso trovasi al mezzo, e ciascuna metà del tubo comprende una semionda sonora. Se vi sono due nodi, essi trovansi ad un quarto partendo da ciascuna estremità. Se vi sono tre nodi, sono situati al primo, al terzo ed al quinto sesto; ma in tutti i casi avvi sempre un ventre all'imboccatura ed un altro all'estremità opposta. L'uso dei buchi che si praticano nelle pareti degli strumenti ad aria, come il flauto, il clarinetto, è appunto fondato su questa distribuzione dei ventri. Il foro, dirimpetto ad un ventre, è senza effetto e non modifica punto il suono, mentre invece, in faccia ad un nodo, lo cangia tosto trasformando il nodo in ventre, e facendo così variare la lunghezza della colonna d'aria vibrante.

Per constatare l'esistenza dei nodi nei tubi sonori, vi si introduce uno stantuffo mobile, e si osserva, spingendolo a varie profondità, che il suono non soffre alterazione ogni qualvolta lo stantuffo corrisponde ad una superficie nodale.

L'esistenza dei nodi e dei ventri si può anche verificare facendo risuonare un tubo rettangolare orizzontale a pareti sottili. Queste pareti entrano allora in vibrazione colla colonna d'aria interna, e se si ricoprono di sabbia, essa abbandona le parti ove vi sono i ventri e si porta verso i nodi.

Le diverse leggi che abbiamo fatte conoscere sulle vibrazioni dell'aria nei tubi sonori sono conosciute sotto il nome di *leggi di Bernoulli*; esse non si verificano esattamente coll'esperienza, poichè, tanto nei tubi a bocca che in quelli a linguetta, si ottengono dei suoni più gravi di quelli che indica la teoria. Affinchè queste leggi si accordassero coll'esperienza bisognerebbe che i tubi avessero una sezione infinitamente piccola rispetto alla loro lunghezza, e l'aria dovrebbe essere messa in vibrazioni direttamente su tutto il contorno del tubo, e non ad un sol lato come si fa comunemente.

## CAPITOLO V

### VIBRAZIONI DELLE VERGHE, DELLE LAMINE, DELLE PIASTRE E DELLE MEMBRANE

**220. Vibrazioni delle verghe e delle lamine.** - Le verghe e le lamine sottili di legno, di vetro, di metallo, e principalmente d'acciaio temperato, vibrano a cagione della loro forza elastica, e presentano, come le corde, due sorta di vibrazioni, le une trasversali, le altre longitudinali. Le prime si producono fissando le verghe o le lamine per una estremità, e passando un archetto sulla parte libera. Le vibrazioni longitudinali, in una verga, si producono fissandola in uno de' suoi punti e sfregandola, nel senso della sua lunghezza, con un pezzo di stoffa bagnata o cosparsa di colofonia.

Si dimostra col calcolo, che *il numero delle vibrazioni trasversali, delle verghe e delle lamine di egual natura, è in ragione diretta del loro spessore ed in ragione inversa del quadrato della loro lunghezza*. La larghezza delle lamine non ha influenza sul numero delle vibrazioni che ponno dare, e solo fa variare la forza necessaria per farle vibrare.

Nelle verghe elastiche di egual natura, *il numero delle vibrazioni longitudinali è in ragione inversa della loro lunghezza, qualunque sia il loro diametro e la forma della loro sezione trasversale*.

La figura 140 rappresenta uno strumento fondato sulle vibrazioni longitudinali delle verghe. Questo strumento, costruito da Marloye, consiste in uno zoccolo massiccio di legno sul quale sono fissate venti verghe cilindriche di abete, le une colorate, le altre bianche. Le loro lunghezze sono stabilite in modo che le verghe bianche danno la solfa diatonica, mentre i semitoni che completano questa solfa e la rendono cromatica, sono dati dalle verghe colorate. Per suonare un'aria su questo strumento, si strofinano le verghe, nel senso della loro lunghezza, tra il pollice e l'indice, avendo cura di cospergerli dapprima con resina in polvere. I suoni che così si ottengono assomigliano moltissimo a quelli della fistola.

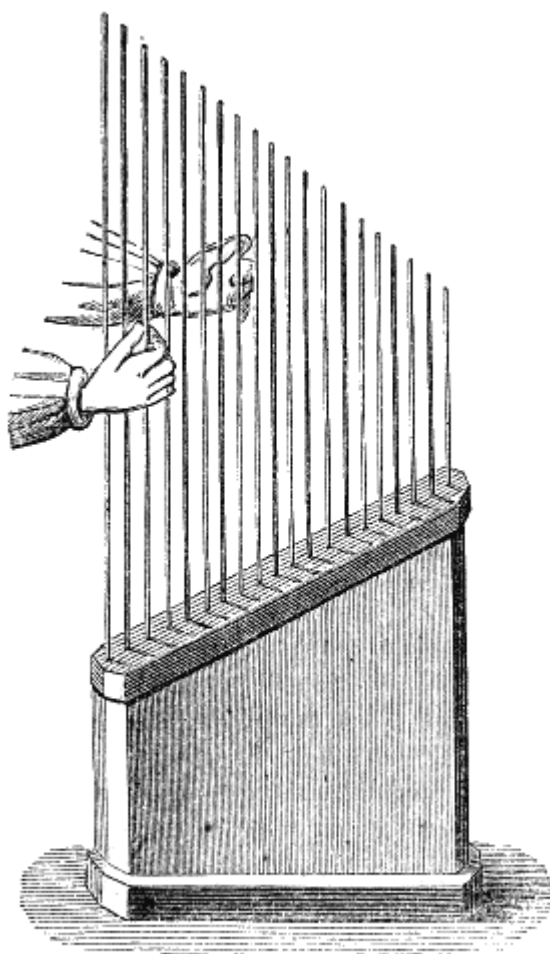


Fig. 140 ( $a = 1m80$ ).

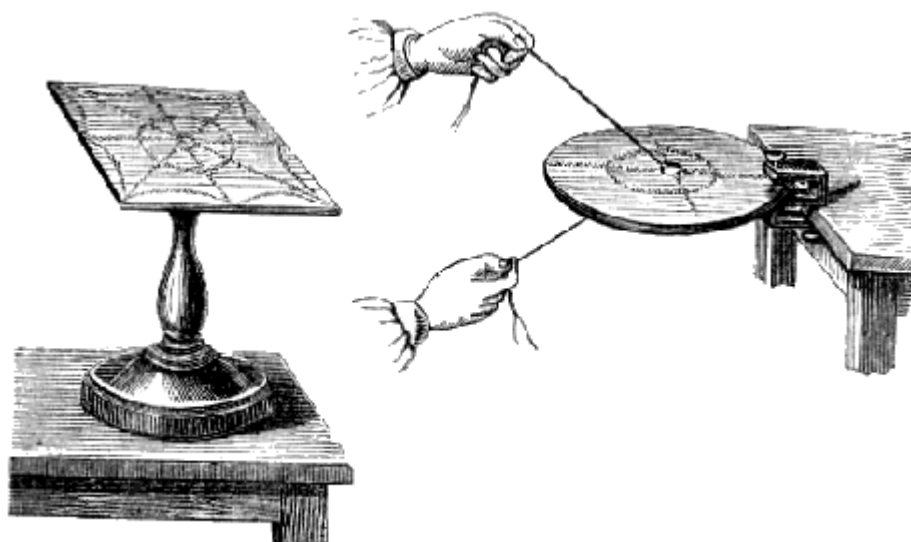


Fig. 141.

Fig. 142.

**221. Vibrazioni delle piastre.** - Allorché si vuol far vibrare una piastra, la si fissa pel suo centro, come lo rappresenta la figura 141, e se ne sfregano i lembi con un archetto; oppure, la si fissa per qualche punto della sua superficie, e la si scuote presso al suo centro, avente per ciò, un'apertura nella quale si determina uno strofinamento mediante crini cospersi di colofonia (fig. 142).

Le piastre che si fanno vibrare presentano delle linee nodali (201), il di cui numero e posizione varia, secondo la forma delle piastre, e la loro elasticità, il modo di sfregamento ed il numero delle vibrazioni.

Queste linee nodali si rendono apparenti ricoprendo la piastra di un leggero strato di sabbia prima di farla vibrare. Appena che le vibrazioni incominciano, la sabbia abbandona le parti vibranti, e si dispone sulle linee nodali, come lo mostra la figura 141.

La posizione delle linee nodali si determina, a piacere, toccando le parti ove si desidera che si producano.

Il numero di queste linee, in generale, è tanto più considerevole quanto maggiore è il numero delle vibrazioni, vale a dire, quanto più acuto è il suono dato dalla piastra. Le linee nodali presentano sempre una grande simmetria di forme, e per una medesima piastra, fatta vibrare nelle stesse condizioni, si riproducono sempre identicamente. Chladni fu il primo che fece conoscere il fenomeno delle linee nodali nelle piastre.

Le vibrazioni delle piastre sono sottoposte alla seguente legge: *per le piastre di egual natura, di egual forma, e che danno le stesse figure, il numero delle vibrazioni è in ragione diretta dei loro spessori, ed in ragione inversa della loro superficie.*

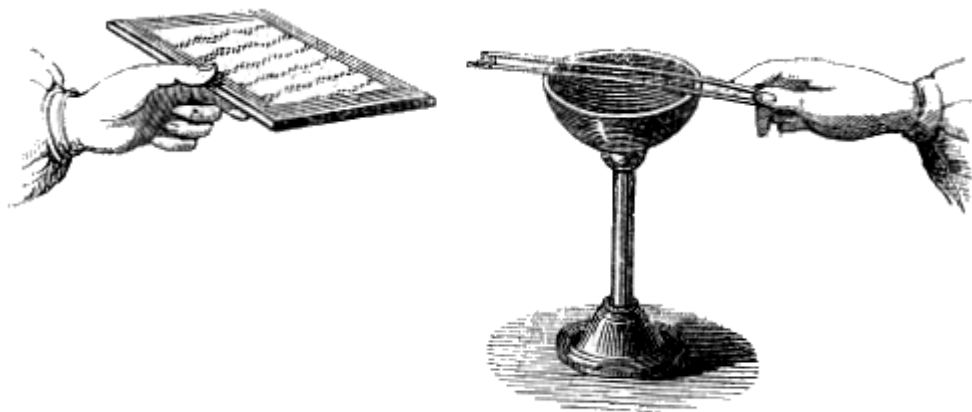


Fig. 143.

**222. Vibrazioni delle membrane.** - La flessibilità delle membrane non permette loro di vibrare, se non sono tese, come la pelle di un tamburro. Esse allora danno un suono tanto più acuto, quanto più piccola è la loro dimensione, e quanto più sono tese. Per ottenere delle membrane vibranti, Savart incollò, sopra telai di legno, una finissima cartapeccora assai flessibile.

Le membrane possono vibrare per percussione, come nel tamburro, oppure per influenza. Infatti, Savart osservò che una membrana può vibrare per influenza delle vibrazioni dell'aria, qualunque sia il numero di queste vibrazioni, purchè siano abbastanza intense. La figura 143 rappresenta una membrana vibrante sotto l'influenza che imprime all'aria una campana. Della sabbia finissima, sparsa sulla membrana, mostra la formazione dei ventri e dei nodi, come sulle piastre.

## CAPITOLO VI

# METODI GRAFICI PER LO STUDIO DEI MOVIMENTI VIBRATORI

**223. Metodo del sig. Lissajous per rendere le vibrazioni apparenti.** - Abbiamo veduto più sopra studiando le vibrazioni delle lamine e membrane come si renda apparente il loro movimento vibratorio cospergendole di leggera sabbia. Il signor Lissajous ha recentemente adottato un metodo che, non solo rende visibile il movimento vibratorio dei corpi sonori sia direttamente, sia mediante la proiezione su di un piano, ma permette di paragonare senza il soccorso dell'orecchio i movimenti vibratorii de' due corpi sonori, in modo di poter conoscere il rapporto esatto delle vibrazioni che essi eseguono nello stesso tempo.

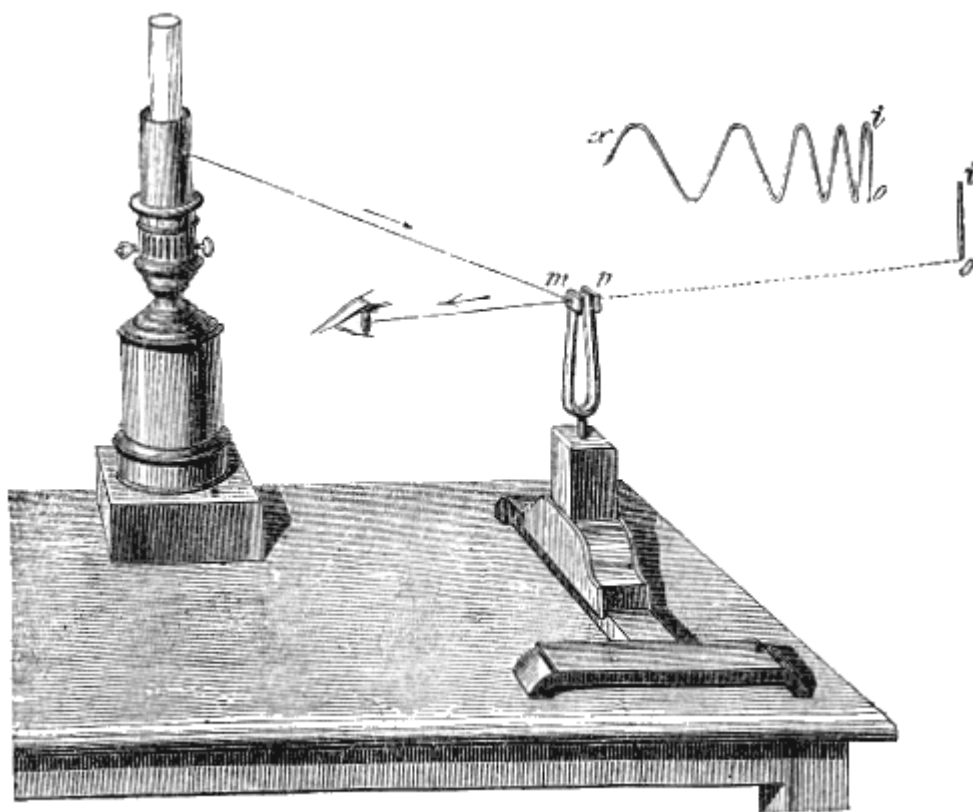


Fig. 144.

Questo metodo, fondato sulla persistenza delle sensazioni visuali sulla retina, consiste nel fissare sul corpo vibrante un piccolo specchio metallico che vibra con lui e imprime a un fascetto luminoso un movimento simile a quello di cui è animato esso stesso.

Il signor Lissajous opera con dei diapason, e per rendere visibile il movimento di questi apparecchi applica ad una delle branche, un piccolo specchio di metallo *m* (fig. 144), e all'altra branca un contrappeso *n*, ciò che è necessario onde il diapason vibri lungamente e regolarmente.

A qualche metro dallo specchio avvi una lampada circondata da un tubo opaco nel quale si è praticato un piccolo foro che appare come un semplice punto luminoso. Ciò posto, ed essendo il diapason nello stato di riposo, si colloca l'occhio in modo da vedere l'immagine del punto luminoso in *o*. Facendo quindi vibrare il diapason, vedesi tosto l'immagine allungarsi nel senso della lunghezza delle branche e dare una immagine persistente *oi*, che diminuisce di grandezza a norma che diminuisce l'ampiezza delle oscillazioni. Se al movimento oscillatorio dello specchio si aggiunge un movimento di rotazione, facendo girare il diapason attorno del suo asse, allora, invece

di un'immagine rettilinea *io*, si ha un'immagine sinuosa *oix*. Questi diversi effetti si spiegano co' successivi spostamenti che imprime al fascetto luminoso riflesso le vibrazioni dello specchio, e colla durata, nell'occhio, della sensazione luminosa dopo cessata la causa di essa, fenomeno sul quale ritorneremo trattando della visione.

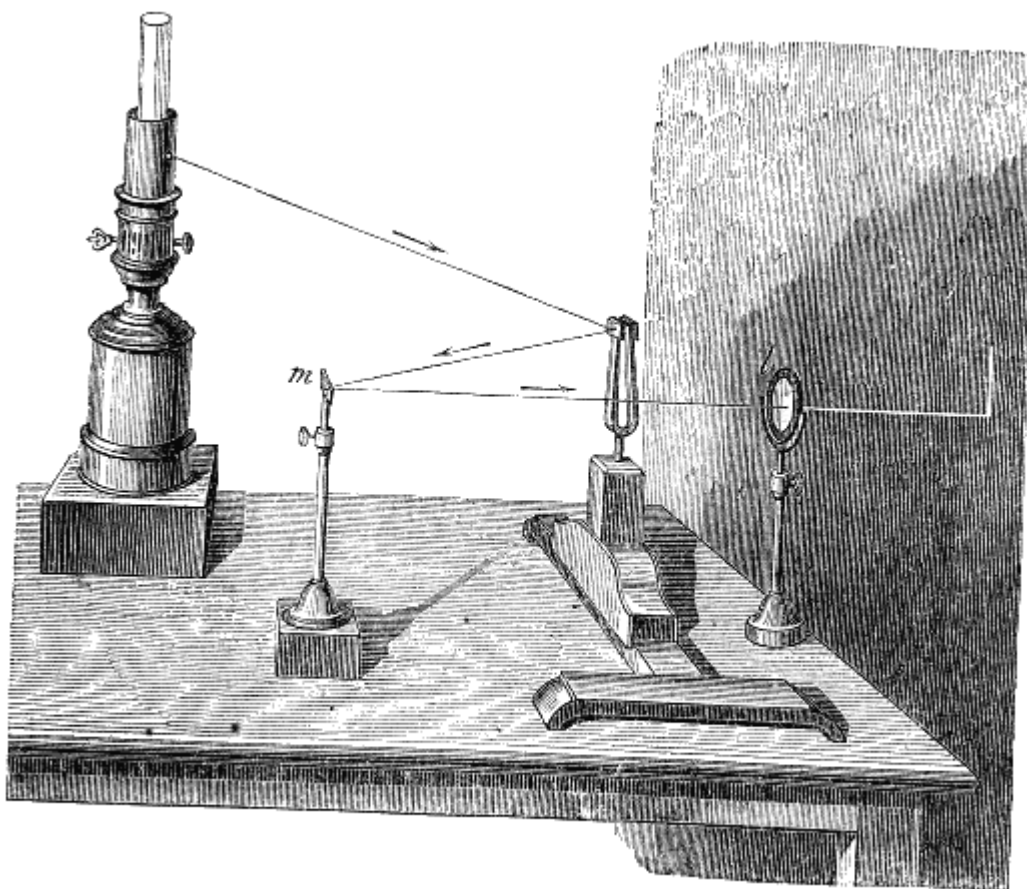


Fig. 143.

Se invece di vedere direttamente gli effetti descritti, vogliasi renderli visibili per proiezione su di un tramezzo, disponesi l'apparecchio come vedesi nella figura 145. Il fascetto riflesso sullo specchio vibrante riflettesi una seconda volta su di uno specchio fisso *m*, che lo rinvia verso una lente acromatica *l*, collocata in modo da formare nettamente su di un piano o tramezzo le stesse immagini che scorgonsi direttamente nell'esperienza della figura 144.

**224. Composizione ottica di due movimenti vibratorii della stessa direzione.** - Dopo essere arrivato a rendere visibili le vibrazioni dei corpi sonori dando un vivo splendore ad uno dei punti del corpo vibrante, il signor Lissajous ha risolto inoltre il problema della composizione ottica di due movimenti vibratorii della stessa direzione dapprima, e, in seguito, anche di direzione rettangolare, e qui l'abile fisico giunse a fare coll'occhio studi acustici i più completi e scientifici.

Per comporre due movimenti vibratorii paralleli, l'apparecchio è disposto come vedesi nella figura 146. Essendovi due diapason muniti di specchi e disposti l'uno rimpetto all'altro, la luce riflessa su uno degli specchi rimbalza sull'altro, che è sensibilmente parallelo al primo, e da quello è rimandata verso un piano, dopo avere attraversato una lente convergente.

Ciò posto, non facendo vibrare dapprima che il primo diapason, l'immagine si allunga, come si è di già veduto nell'esperienza della fig. 144; ma facendoli vibrare tutti e due, supponendoli perfettamente all'unisono, l'allungamento cresce o diminuisce, secondo che avvi concordanza o discordanza fra i movimenti simultanei impressi all'immagine dalle vibrazioni degli specchi.

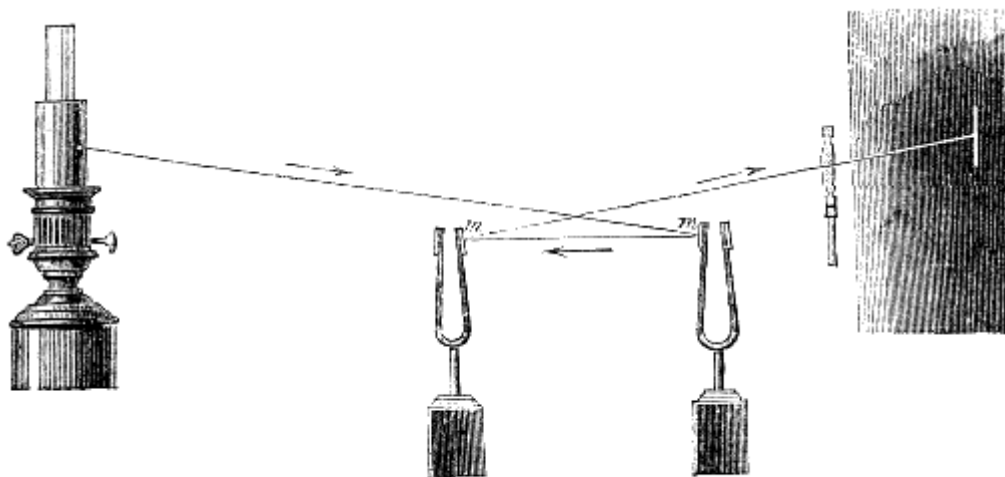


Fig. 146.

Se i due diapason passano contemporaneamente e nello stesso senso per la loro forma d'equilibrio, l'immagine raggiunge il suo maximum di grandezza. Per lo contrario se essi vi passano nello stesso tempo ma in senso contrario, vi ha il minimum. Fra questi due limiti l'ampiezza dell'immagine varia col tempo più o meno lungo che passa fra i momenti precisi in cui i due diapason passano per la loro forma d'equilibrio. Il rapporto fra questo tempo e la durata di una vibrazione doppia fu indicato dal signor Lissajous colla denominazione di  *differenza di fase*.

Quando i diapason sono rigorosamente d'accordo, la traccia luminosa sul tramezzo non subisce che una diminuzione progressiva in lunghezza, a misura che l'ampiezza delle vibrazioni diminuisce; ma per poco che l'accordo sia alterato, la grandezza dell'immagine varia periodicamente, e mentre che l'orecchio sente i battimenti (213) che risultano dal difetto di accordo, l'occhio vede nettamente le pulsazioni concomitanti dell'immagine.

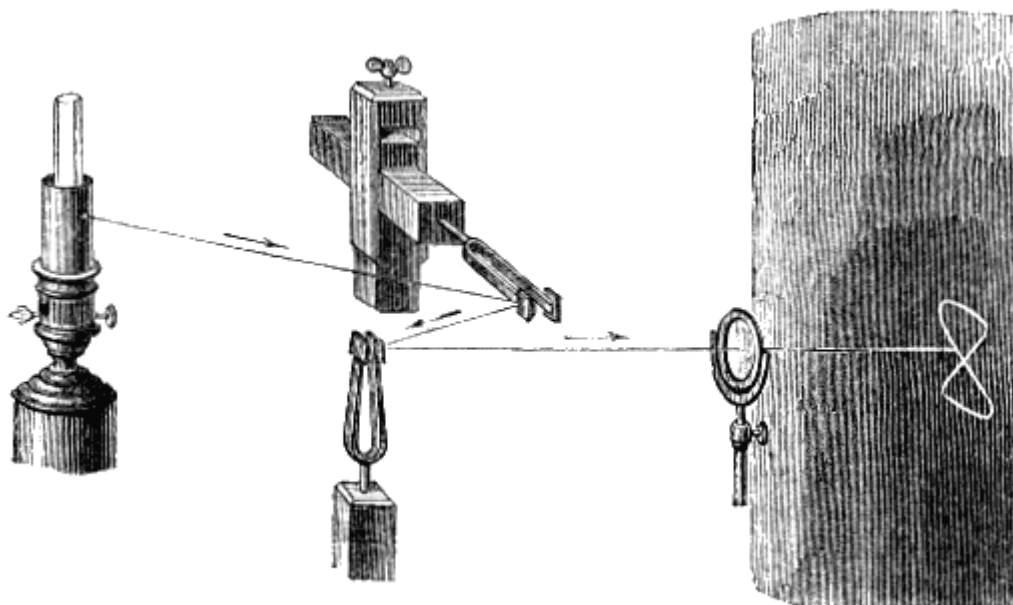
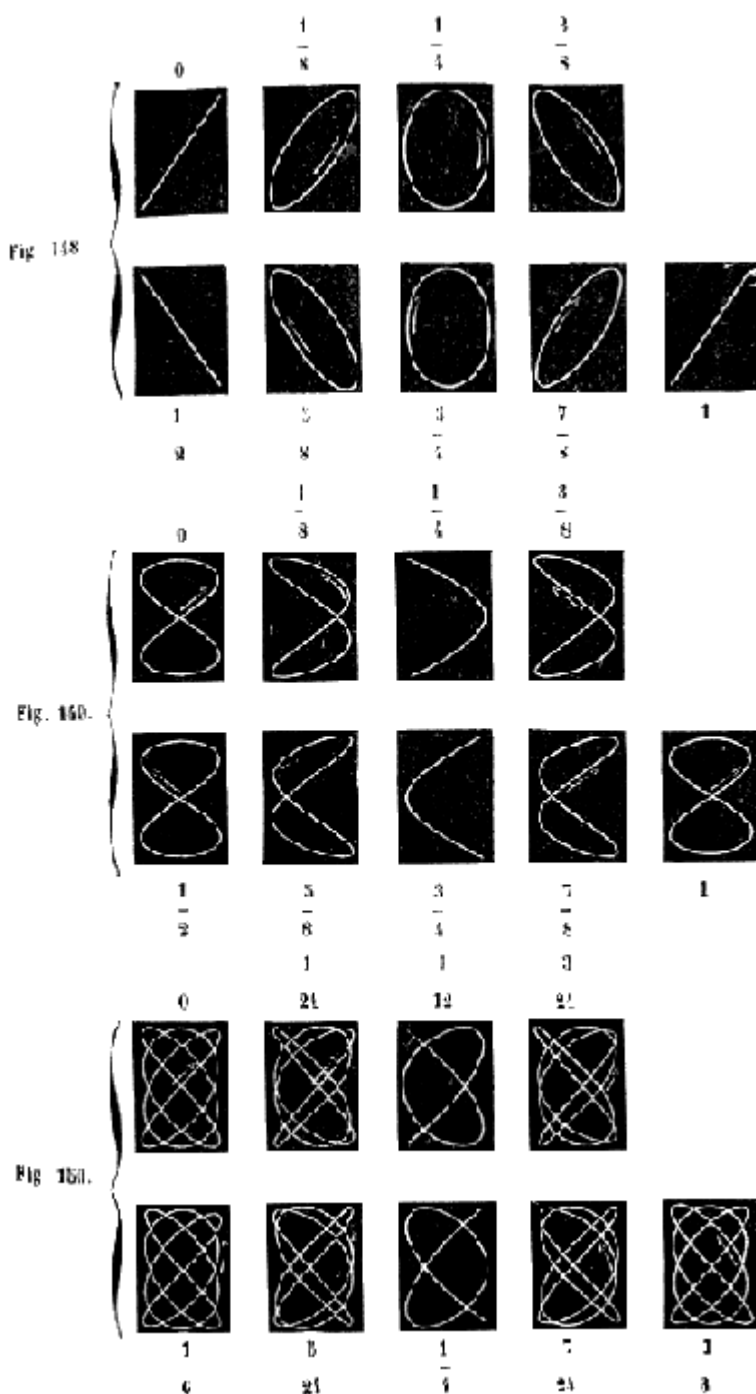


Fig. 147.

**225. Composizione ottica di due movimenti vibratorii rettangolari.** - La composizione ottica di due movimenti vibratorii rettangolari si opera come vedesi nella figura 147, vale a dire coll'aiuto di due diapason, l'uno orizzontale, l'altro verticale, e armati tutti e due di specchi come nelle esperienze precedenti. Se non si fa vibrare dapprima che il diapason orizzontale, si vede formarsi sul tramezzo una traccia luminosa orizzontale; se vibra solo il secondo diapason, l'immagine è verticale. Ma se si fanno vibrare assieme i due diapason, i due movimenti si combinano, e il fascetto riflesso descrive sul tramezzo una curva più o meno complicata, la forma della quale dipende dal

rapporto fra i numeri di vibrazioni eseguite nello stesso tempo dai due diapason; ed è qui che si ottengono delle preziose indicazioni per confrontare i numeri di vibrazioni di due corpi sonori.



La figura 148 offre le diverse forme della proiezione luminosa sul tramezzo quando i due diapason sono all'unisono, vale a dire quando i numeri delle loro vibrazioni stanno fra loro come 1 ad 1.

Le frazioni collocate sotto a ciascuna curva indicano le differenze di fasi corrispondenti ad ognuna di esse. Egli è la differenza di fasi che determina la forma iniziale della curva; ma questa conserva esattamente la stessa forma quando i diapason sono d'accordo, alla condizione però che le ampiezze delle due vibrazioni rettangolari decrescano nello stesso rapporto.

Se i diapason non sono perfettamente d'accordo, la differenza iniziale di fase non si mantiene, e la curva passa per tutte le sue varietà; e sembra oscillare con tanta maggior rapidità quanto minore è l'accordo dei due diapason.



La figura 149 rappresenta i diversi aspetti offerti dall'immagine luminosa quando i diapason sono all'ottava, vale a dire quando i numeri delle loro vibrazioni stanno fra loro come 1 a 2; e la figura 150 dà la serie di curve che si ottengono quando i numeri di vibrazioni stanno fra loro come 3 a 4.

Rilevasi che le curve sono sempre più complicate a misura che i due termini del rapporto dei numeri di vibrazioni assumono un valore più elevato. Quanto all'esame teorico di queste curve e dei fenomeni che esse rappresentano, noi rimandiamo il lettore alla dotta memoria del signor Lissajous (*Annales de physique et de chimie*, 1857), dove troverà la traccia geometrica delle curve di vibrazioni e il calcolo della loro equazione generale.

Nelle diverse esperienze più sopra descritte, noi abbiamo supposto di prendere semplicemente per fonte di luce una lampada ordinaria; adoperando la luce elettrica, quella per es. dell'apparecchio foto-elettrico di Duboseq, questi fenomeni prendono una chiarezza rimarchevole, e questo concorso prestato dalla luce ai fenomeni acustici, per disegnare in tratti di fuoco delle curve che caratterizzano sì bene le vibrazioni trasversali, longitudinali o giratorie, l'accordo, l'ottava, la terza, la quinta, le dissonanze, i battimenti, i suoni risultanti, ecc., costituisce certamente una delle belle esperienze di fisica.

**226. Fonautografo di Leone Scott.** - I signori Duhamel e Wertheim avevano di già impiegato un metodo grafico per misurare il numero delle vibrazioni dei corpi sonori, fissando su di questi un filo metallico leggerissimo che, vibrando con essi, tracciava su di un cilindro girante, ricoperto di nero di fumo, le vibrazioni stesse dei corpi, e ne faceva conoscere il numero durante una rotazione del cilindro. Ma questo metodo non poteva dare le vibrazioni dei tubi sonori, del canto, o di un rumore qualunque, per es., quello del tuono o del cannone.

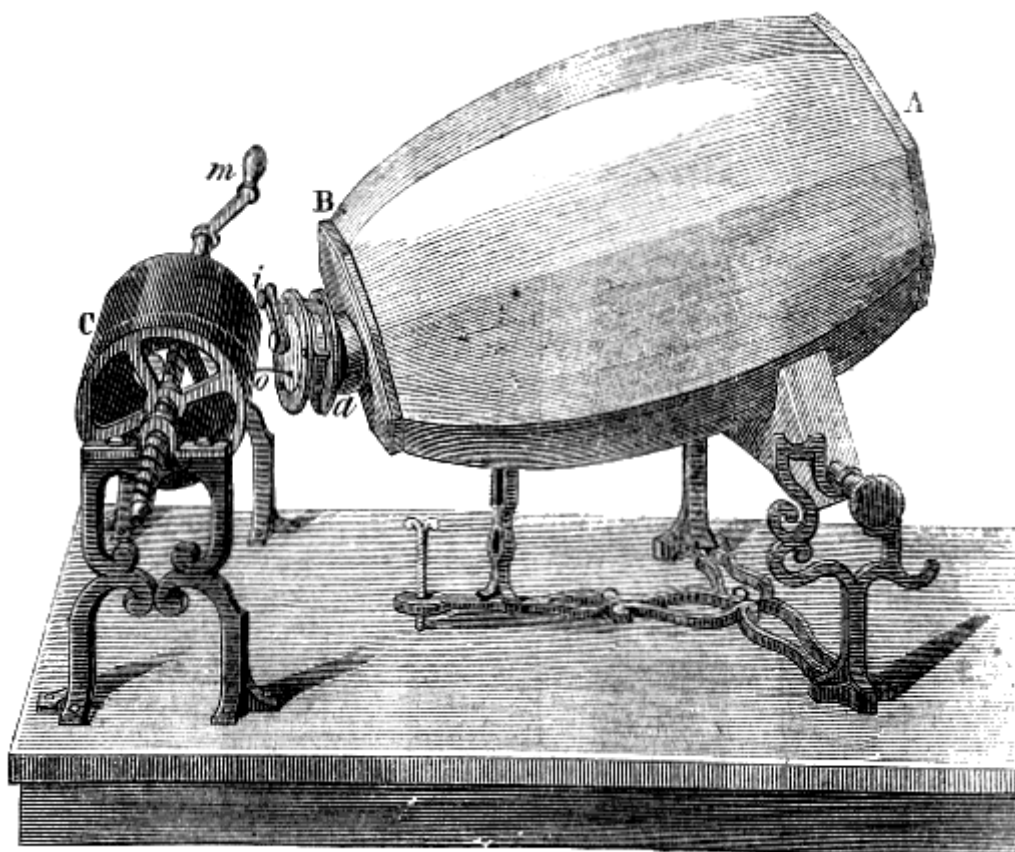


Fig. 151.

Il signor Leone Scott ha felicemente generalizzato e perfezionato il metodo grafico nell'apparecchio al quale ha dato il nome di *Fonautografo*, per esprimere che i suoni s'imprimono da sè stessi. Quest'apparecchio costruito da Rodolfo Koenig, fabbricatore di istrumenti acustici a Parigi, componesi di un'elissoide cava AB (fig. 151), avente presso a poco 50 centimetri di lunghezza e 30 nel suo maggior diametro. Destinata a condurre e a concentrare le onde sonore, questa elissoide deve essere costrutta di una sostanza poco vibrante, perchè altrimenti

ammorzerebbe di troppo il suono; egli è perciò che Koenig la costrusse d'argilla. L'estremità A è aperta, ma l'altra estremità è chiusa da un fondo solido, al centro del quale è adattato un tubo di rame *a*, fatto a gomito e terminato da un anello, sul quale è fissata una membrana flessibile d'intestino di bue o di caoutchouc sottilissimo. Un secondo anello che si adatta più o meno al primo con vite, serve a stendere a volontà la membrana che, del resto, non vibra bene all'unisono che quando è semitesa. Si può girare il tubo *a* sopra sè stesso, in modo da far prendere alla membrana qualunque inclinazione. Su questa membrana, presso il centro trovasi applicato con cera lacca uno stilo *o* leggerissimo che partecipa a tutti i movimenti della membrana. Affinchè lo stilo non corrisponda a un nodo di vibrazione, il signor Scott adatta, sull'anello tensore della membrana, un pezzo mobile *i* ch'egli chiama il *suddivisore*, e che toccandolo in tale o tal altro punto, a volontà dell'esperimentatore, modifica la posizione dei nodi, di modo che lo stilo corrisponde a un ventre, e per conseguenza vibra colla membrana. Così costruito il fonautografo presenta una grande analogia coll'organo dell'udito. L'elissoide corrisponderebbe al meato uditorio, la membrana al timpano, e il suddivisore agli ossicini.

Ciò posto, ogni qual volta producesi un suono in vicinanza all'apparecchio, vibrando all'unisono l'aria contenuta nell'elissoide, la membrana e lo stilo, rimane a tracciare su di una superficie sensibile le vibrazioni dello stilo e a fissarle. Per ciò, davanti alla membrana si colloca un cilindro di rame C, girante attorno di un asse orizzontale mediante la manovella *m*; di più, durante la sua rotazione, il cilindro avanza nel senso del suo asse, essendo questo munito di una spirale che gira in una madrevite. La superficie del cilindro è ricoperta di carta, sulla quale si fa deporre un leggier strato di nero di fumo, movendovi sotto, mentre esso gira, una lampada nella quale abbruci un liquido fuliginoso.

Disposto così l'apparecchio mettesi la superficie preparata col nero di fumo in contatto collo stilo, e quindi si dà al cilindro un movimento di rotazione più o meno rapido. Finchè nessun suono si fa intendere, lo stilo resta in riposo, e col suo sfregamento non fa che levare il nero di fumo e mettere a nudo la carta, tracciando un elice regolare; ma appena producesi un suono qualunque, la membrana e lo stilo, vibrando all'unisono, la traccia segnata sul foglio di carta non è più rettilinea, ma ondulata, ed ogni ondulazione corrisponde ad una vibrazione doppia dello stilo, dimodochè le figure così ottenute marcano fedelmente il numero, l'ampiezza e l'isocronismo delle vibrazioni. Queste figure sono ampie quando il suono è intenso, microscopiche se è debolissimo, discoste quando è grave, avvicinate quando è acuto, di un disegno regolare e franco se il timbro è puro, ineguali e per così dire serpentine se esso è cattivo o velato. Ma queste curve sono desse la traccia semplice delle vibrazioni della membrana? O non danno esse piuttosto il movimento che risulta da quello della membrana e da quello che prende lo stilo nel senso laterale?



Fig. 152.

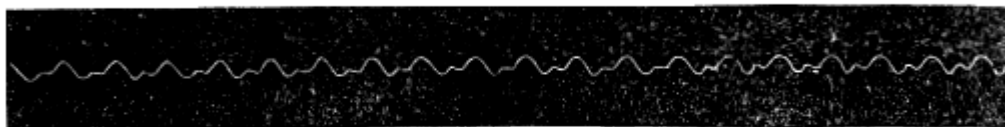


Fig. 153.

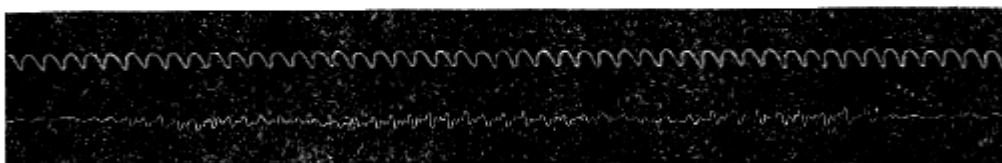


Fig. 154.



Fig. 155.

La figura 152 mostra la traccia d'un tono semplice cantato, rinforzato dalla sua ottava superiore, che è rappresentata dalla curva minore.

La figura 153 offre il suono di due tubi sonori all'ottava.

La figura 154, nella sua linea inferiore, rappresenta il suono della lettera R, scilinguata; e la figura 155 pure nella sua linea inferiore, corrisponde al rumore che si produce picchiando col dito su di una lastra di latta.

In quanto poi alle linee superiori delle figure 151 e 155, esse sono identiche, e rappresentano le vibrazioni perfettamente isocrone tracciate da un diapason collocato vicino all'elissoide. Questo diapason, una branca del quale porta uno stilo leggerissimo, fa 500 vibrazioni doppie per secondo; di modo che ogni ondulazione della linea sinuosa superiore corrisponde a  $1/500$  di secondo. D'onde rilevasi che la curva sinuosa tracciata dal diapason diventa un cronometro che misura, con una grande precisione, degli intervalli di tempo estremamente piccoli. Nella fig. 154, per esempio, ognuno dei momenti sonori isolati producenti colla loro unione il suono della lettera R scilinguata, corrisponde a 18 vibrazioni doppie del diapason, ed ha per conseguenza una durata di  $18/500$  o di secondo o di  $1/28$  circa.

Tracciate che sieno le diverse curve, rimane a fissarle sulla carta preparata col nero-fumo. Per far ciò il signor Scott immerge dapprima le sue prove in un bagno di alcool puro; poi, dopo averle fatte seccare, in un secondo bagno d'alcool tenente in soluzione una resina, per es., della sandracca. Il nero di fumo allora si fissa perfettamente.

# LIBRO VI

## DEL CALORICO

### CAPITOLO I

#### NOZIONI PRELIMINARI; TERMOMETRI

**227. Calorico; ipotesi sulla sua natura.** - Si dà il nome di *calorico* all'agente che fa nascere in noi la sensazione del calore. Ma questo agente opera anche sui corpi inerti; esso fa fondere il ghiaccio, bollire l'acqua, arroventare il ferro.

Numerose ipotesi furono emesse sulla causa del calorico. Solo due però sussistono ancora nella scienza: il *sistema dell'emissione* e quello delle *ondulazioni*.

Nel primo si ammette che la causa del calorico sia un fluido materiale, imponderabile, che può passare da un corpo all'altro, e le di cui molecole sono in uno stato continuo di ripulsione. Questo fluido esisterebbe in tutti i corpi combinato colle loro molecole, opponendosi al loro contatto.

Nel sistema delle ondulazioni si ammette che il calorico sia dovuto ad un movimento vibratorio delle molecole dei corpi caldi, il qual movimento si trasmette alle molecole degli altri corpi per mezzo di un fluido eminentemente sottile ed elastico, chiamato *etere*, nel quale si propaga come le onde sonore nell'aria. I corpi più caldi allora sono quelli le cui vibrazioni hanno maggiore ampiezza e maggior rapidità, e l'intensità del calorico altro non sarebbe che la risultante delle vibrazioni delle molecole. Nella prima ipotesi i corpi che si raffreddano perdono di calorico, nella seconda, non perdono che di moto.

Dietro i progressi della moderna fisica, la sola teoria delle ondulazioni sembra ammissibile. Tuttavia, siccome quella dell'emissione semplifica le dimostrazioni, in generale la si preferisce per spiegare i fenomeni del calorico.

**228. Effetti generali del calorico.** - L'azione generale del calorico sopra i corpi è quella di sviluppare fra le loro molecole una forza ripulsiva che contrasta continuamente coll'azione molecolare; ne risulta che, sotto l'influenza di questo agente, i corpi tendono dapprima a *dilatarsi*, vale a dire a prendere un volume maggiore, poi a *cambiar stato*, a passare cioè dallo stato solido allo stato liquido, o dallo stato liquido a quello di fluido aeriforme.

Tutti i corpi per effetto del calorico si dilatano. I più dilatabili sono i gas, poi i liquidi, e quindi i solidi. In questi ultimi si distingue la dilatazione *lineare*, ossia secondo una sola dimensione, e la dilatazione *cubica*, ossia in volume. Tuttavia queste dilatazioni non vanno mai disgiunte l'una dall'altra. Nei liquidi e nei gas non si considerano che le dilatazioni in volume.

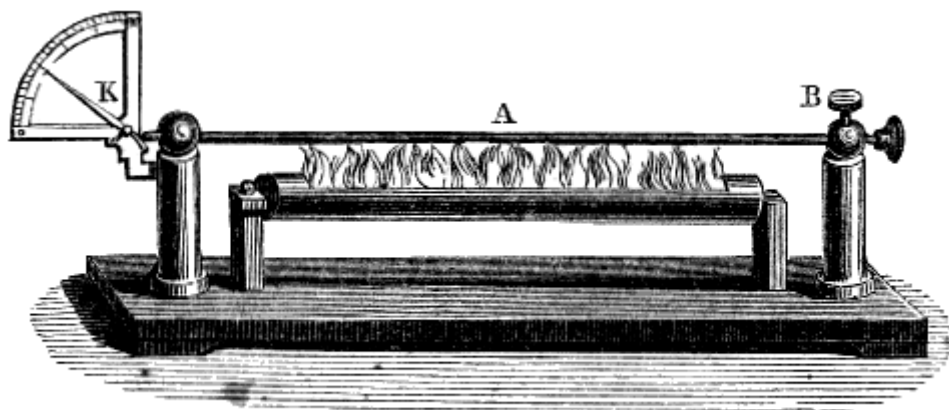


Fig. 156 (l. = 50).

Per dimostrare la dilatazione lineare dei metalli, si fa uso dell'apparato rappresentato dalla figura 156. Un'asta metallica A è tenuta ferma all'una delle sue estremità mediante una vite di pressione B, mentre l'altra è libera ed in contatto col braccio più piccolo di un indice K, mobile su di un quadrante. Sottoposto all'asta evvi un serbatoio cilindrico, nel quale si abbrucia dell'alcool. L'indice K dapprima trovasi situato sullo zero del quadrante, ma a misura che l'asta A si riscalda, si vede l'indice ascendere, ciò che rende sensibile l'allungamento dell'asta.

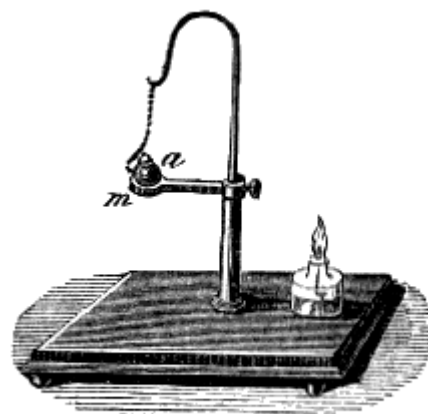


Fig. 157 (a. = 26).

La dilatazione cubica dei solidi si dimostra mediante l'*anello di S'Gravesande*. Chiamasi così un piccolo anello metallico *m* (fig. 157), entro il quale, alla temperatura ordinaria passa liberamente una piccola sfera di ottone *a*, di un diametro uguale, presso a poco a quello dell'anello. Ma allorquando questa sfera vien riscaldata alla fiamma di una lampada a spirito, non può più passare attraverso all'anello, il che dimostra l'aumento di volume.

Per constatare la dilatazione dei liquidi, si salda ad un piccolo globo di vetro un tubo capillare. Riempito il globo ed una parte del tubo di un liquido qualunque, si osserva che appena venga riscaldato l'apparato, il liquido si eleva nel tubo, e la dilatazione così osservata è sempre maggiore di quella che si riscontra nei solidi.

Lo stesso apparato può servire a dimostrare la dilatazione dei gas. A tal uopo, si riempie il globo d'aria o di un altro gas qualunque, e si introduce nel tubo un indice di mercurio di due o tre centimetri di lunghezza. Allorchè si riscalda il pallone, anche solo avvicinandovi la mano, l'indice vien spinto verso l'estremità del tubo, e finisce coll'esserne scacciato; da ciò si conchiude che i gas sono assai dilatabili, anche per un debole aumento di calorico.

In queste diverse esperienze, i corpi col raffreddarsi si restringono, e riprendono esattamente il loro volume primitivo, quando il calorico è ritornato allo stesso grado.

## MISURA DELLE TEMPERATURE

**229. Temperatura.** - La *temperatura* di un corpo è lo stato attuale di calorico sensibile in questo corpo, senza aumento nè diminuzione. Se la quantità di calorico sensibile aumenta o diminuisce, si dice che la temperatura si eleva o si abbassa.

**230. Termometri.** - Chiamansi *termometri* certi strumenti che servono a misurare le temperature ed a valutarne le variazioni.

Siccome l'imperfezione dei nostri sensi non ci permette di misurare la temperatura dei corpi dietro le sensazioni più o meno vive di caldo o di freddo che eccitano in noi, si dovette ricorrere agli effetti fisici che il calorico produce sui corpi. Questi effetti sono di varie sorta, ma si adottarono le dilatazioni e le contrazioni perchè più facili ad essere osservate. Il calore dà però origine nei corpi anche a fenomeni elettrici, mediante i quali si ponno misurare le temperature. Noi descriveremo in seguito un termometro assai sensibile fondato su questo principio.

Fra tutti i corpi, quelli che meritano la preferenza nella costruzione dei termometri, sono i liquidi, perchè i solidi non sono abbastanza dilatabili, ed i gas lo sono di troppo. I liquidi esclusivamente adottati sono il mercurio e l'alcool; il primo perchè non entra in ebollizione che ad una temperatura assai elevata, ed il secondo, perchè non si solidifica nemmeno sotto l'azione delle più basse temperature conosciute.

L'invenzione dei termometri data dalla fine del sedicesimo secolo.

Essa viene attribuita da alcuni a Galileo, da altri a Drebbel, medico olandese, od a Sartorio, medico veneziano.

Il termometro a mercurio è quello usato più comunemente. Esso si compone di un tubo capillare di vetro o di cristallo, saldato ad un serbatoio cilindrico o sferico della stessa materia. Il serbatoio ed una parte del tubo sono riempiti di mercurio, ed una scala graduata sul tubo stesso, o sopra un regolo a lui parallelo, fa conoscere la dilatazione del liquido (fig. 162).

Oltre la saldatura del tubo al serbatoio, la quale si fa mediante una lampada da smaltatore, la costruzione di un termometro comprende tre operazioni; la divisione del tubo in parti di ugual capacità, l'introduzione del mercurio nel serbatoio e la graduazione.

**231. Divisione del tubo in parti di ugual capacità.** - Siccome le indicazioni del termometro non sono esatte se non quando le divisioni della scala situata sul tubo corrispondono a dilatazioni uguali del mercurio che trovasi nel serbatoio, bisogna che la scala sia graduata in modo da indicare capacità uguali nell'interno del tubo. Se quest'ultimo fosse perfettamente cilindrico e di un diametro costante, basterebbe, per ottenere queste capacità uguali, dividere la lunghezza del tubo in parti uguali. Ma siccome il diametro dei tubi di vetro, in generale, è più grande ad una estremità che all'altra, ne risulta che uguali capacità del tubo sono rappresentate, sulla scala, da lunghezze disuguali. Sono queste che si tratta di determinare.

Per ciò, prima che il tubo sia saldato al serbatoio, vi si introduce una colonna di mercurio di 2 o 3 centimetri, che si ha cura di mantenere alla stessa temperatura, e che si fa scorrere nel tubo in modo che a ciascun spostamento la colonna si avanzi di una quantità uguale alla sua lunghezza, cioè, che l'una delle estremità della colonna venga a prendere successivamente il posto dell'altra. Un regolo diviso in millimetri, sul quale, a ciascun spostamento si applica il tubo, permette di valutare, a circa un decimo di millimetro, la lunghezza occupata dalla colonna di mercurio. Se questa lunghezza rimane invariabile, è segno che la capacità del tubo è dovunque la stessa; ma se varia, e va, per esempio, decrescendo, è segno che il diametro interno del tubo aumenta.

Se in tal modo si scorge che la colonna di mercurio prova delle variazioni di lunghezza di più millimetri, si rigetta il tubo e se ne cerca uno più regolare. Ma se queste variazioni sono poco considerevoli, si fissa lungo il tubo una lista di carta, e si segna un tratto, colla matita, ed ogni punto successivamente occupato dalle estremità della colonna di mercurio.

Le divisioni, in tal modo formate, indicano necessariamente dei tratti di ugual capacità, perchè corrispondono ad un ugual volume di mercurio. Ora gli intervalli fra queste divisioni, essendo abbastanza vicini perchè si possa riguardare il diametro del tubo come costante in ciascuna di esse, si passa a divisioni più piccole, ripartendo le prime in un certo numero di parti uguali; il che si ottiene, come già si disse, mediante la macchina di divisione (13).

Vedremo tosto come, mediante queste divisioni, si ottiene una esatta graduazione della scala (236).



Fig. 158.

**232. Riempimento del termometro.** - Per introdurre il mercurio nel termometro, si salda all'estremità superiore del tubo un imbuto C (fig. 158) che si riempie di mercurio; poi, inclinato un poco il tubo, si fa dilatare l'aria che trovasi nel serbatoio riscaldando quest'ultimo con una lampada ad alcool o collocandolo sopra una grata inclinata e circondandolo di carboni ardenti. L'aria dilatata sorte dall'imbuto C. Se allora si lascia raffreddare il tubo e lo si tiene in una posizione verticale, l'aria che rimane si contrae, e la pressione atmosferica costringe il mercurio a passare nel serbatoio D, quantunque il tubo sia capillare, ma il mercurio cessa ben tosto di penetrare nel serbatoio, il che avviene quando l'aria che ancora si trova, per la diminuzione di volume, ha presa una tensione capace di far equilibrio al peso dell'atmosfera, ed a quello della colonna di mercurio che trovasi nel tubo. Riscaldando allora di nuovo il serbatoio D e lasciandolo raffreddare, vi entra una nuova quantità di mercurio, e così di seguito fintanto che più non vi si trovi che un volume d'aria piccolissimo. Per discacciarvela si riscalda allora il serbatoio fino a che il mercurio che vi è penetrato entra in ebollizione. I vapori di mercurio, sprigionandosi, trascinano seco l'aria e l'umidità che ancor si trova nel tubo e nel serbatoio.

Allorchè lo strumento trovasi così riempito di mercurio secco e puro, si toglie l'imbuto C, quindi si chiude il tubo saldandone l'estremità alla lampada. Bisogna però aver cura di riscaldare dapprima il serbatoio D in modo da scacciare la metà o due terzi del mercurio che trovasi nel tubo, altrimenti non potrebbe dilatarsi senza spezzare il termometro. La quantità di mercurio che bisogna scacciare dal tubo è di tanto più grande quanto più elevate sono le

temperature che lo strumento deve misurare. Bisogna aver cura inoltre di riscaldare il serbatoio D in modo che il liquido dilatato ascenda fino all'estremità del tubo al momento in cui lo si chiude. In tal modo, non rimane aria nel termometro, il che è necessario, altrimenti, l'aria compressa, quando il mercurio si innalza, potrebbe frangere il tubo.

**233. Graduazione del termometro.** - Dopo aver riempito il termometro, nel modo che si disse, rimane a graduarlo, ossia a tracciare sul cannello una scala che permetta di valutare le variazioni di temperatura. Per far questo, si dovettero assumere sull'asta due punti fissi, che corrispondessero a temperature facili a riprodursi e sempre identiche.

Ora, l'esperienza ha fatto conoscere che la temperatura della fusione del ghiaccio è sempre la stessa, qualunque sia la sorgente di calore, e che l'acqua distillata, sotto una stessa pressione ed in un vaso di una stessa materia, entra sempre in ebollizione alla stessa temperatura. Per conseguenza si prese per primo punto fisso, cioè per lo zero della scala, la temperatura della fusione del ghiaccio, e per secondo punto fisso, che si rappresenta con 100, la temperatura d'ebollizione dell'acqua distillata, in un vaso di metallo, alla pressione atmosferica di  $0^m,76$ .

La graduazione del termometro comprende adunque tre operazioni: la determinazione dello zero, quella del punto 100, e la divisione della scala.

**234. Determinazione dello zero.** - Per trovare lo zero, si riempie di ghiaccio frantumato, o di neve, un vaso, nel di cui fondo è praticato un foro onde lasciar diluire l'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio (159). Si immerge il serbatoio del termometro e parte del cannello in questo ghiaccio, per circa un quarto d'ora. La colonna di mercurio si abbassa dapprima rapidamente, poi rimane stazionaria. Allora al punto che corrisponde col livello del mercurio si traccia un segno, colla matita, sopra una piccola lista di carta previamente fissata al tubo; questa è la posizione dello zero.

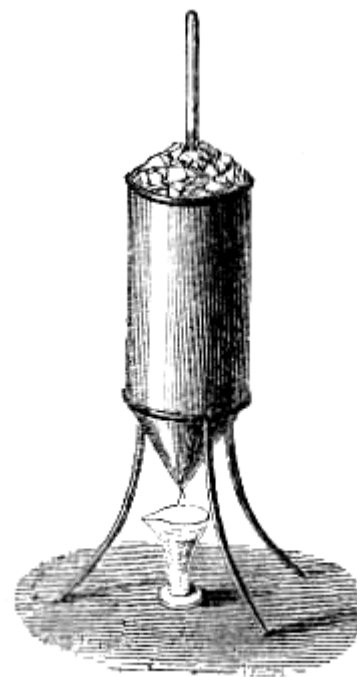


Fig. 159 (n. = 32).

**235. Determinazione del punto 100.** - Il secondo punto fisso si determina mediante l'apparato rappresentato dalle figure 160 e 161, di cui la seconda ne rappresenta una sezione verticale, e la prima ne mostra l'insieme mentre funziona. In ambedue le stesse lettere indicano gli stessi pezzi. Tutto l'apparato è in ottone. Una tubulatura centrale A, aperta alle sue due estremità, è fissa su di un vaso cilindrico M contenente acqua; una seconda tubulatura B concentrica alla prima e che la circonda interamente è fissata sullo stesso vaso M. Questo secondo involuppo, chiuso alle due estremità, è munito di tre tubulature a, E, D; nella prima avvi un turacciolo attraverso al quale passa il tubo *t* del termometro di cui si vuol determinare il punto 100; alla seconda è adattato un piccolo tubo di vetro *m* contenente del mercurio, e destinato a servire di manometro per misurare la tensione del vapore nell'interno dell'apparato, finalmente, la terza tubulatura D serve a lasciar sfuggire il vapore e l'acqua risultante dalla condensazione.



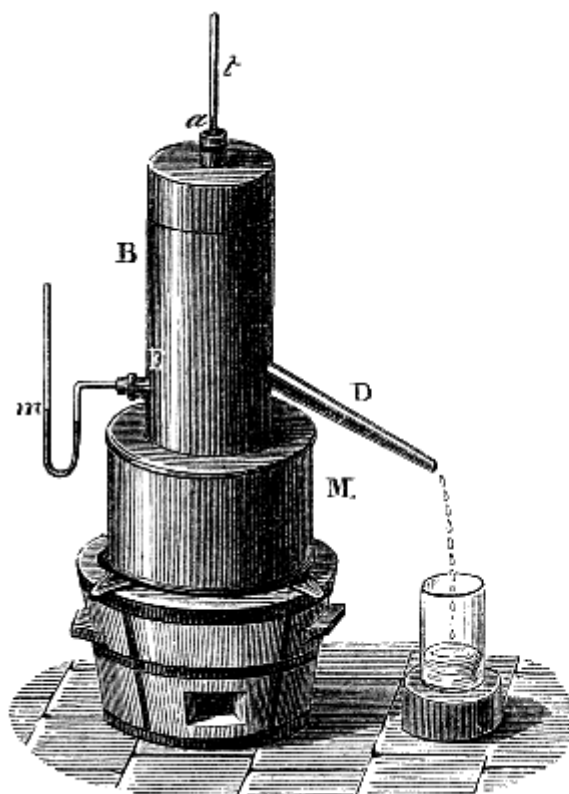


Fig. 160.

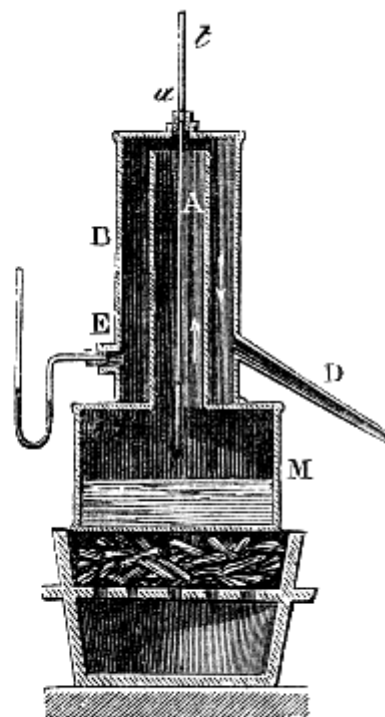


Fig. 161.

Ciò posto, collocato l'apparato su di un fornello, e riscaldatolo fino all'ebollizione, il vapore prodotto nel vaso M si innalza nel tubo A, e si porta fra i due involucri, come lo mostrano le frecce, fino alla tubulatura D, da cui sfugge nell'atmosfera. In tal modo, trovandosi il termometro  $t$  interamente circondato dal vapore, il mercurio in esso contenuto si dilata, e finisce col divenir stazionario; allora si marca al punto  $a$ , ove ci si arresta, un segno che è il punto 100 cercato.

Il secondo involuppo B venne aggiunto, all'apparato da noi descritto, da Regnault, onde evitare il raffreddamento della tubulatura centrale pel suo contatto coll'aria.

La determinazione del punto 100 della scala termometrica sembra richieda che l'altezza del barometro durante l'esperienza sia  $0^m,76$ , perchè, vedremo in seguito, che se questa altezza è maggiore o minore di  $0^m,76$ , l'acqua entra in ebollizione ad una temperatura al di sopra o al di sotto dei 100 gradi. Tuttavia, si può ottenere esattamente il punto 100, qualunque sia la pressione atmosferica, facendo la correzione indicata da Biot. Questo scienziato constatò che quando nel barometro il mercurio si innalza o si abbassa di 27 millimetri, la temperatura di ebollizione ascende o discende di un grado; per conseguenza, se l'altezza del barometro è, per es., 778 millimetri, vale a dire 18 millimetri o due terzi di 27 al di sotto di 760, l'acqua bolle a 100 gradi più due terzi. Al punto ove si arresta il mercurio bisognerà quindi segnare 100 e  $\frac{2}{3}$ .

Siccome Gay-Lussac aveva osservato che l'acqua entra in ebollizione ad una temperatura un po' più alta in un vaso di vetro che in un vaso di metallo, e di più che la temperatura d'ebollizione dell'acqua viene innalzata pei sali in essa disciolti, si era ammesso fino a questi ultimi tempi, che, per determinare il punto 100 dei termometri, bisognava far uso di un vaso di metallo e di acqua distillata. Ma dopo la scoperta di Rudberg, fisico svedese, si resero inutili queste due ultime condizioni.

Questo scienziato riconobbe infatti che la natura del vaso ed i sali disciolti influiscono bensì sulla temperatura d'ebollizione dell'acqua, ma *non sulla temperatura del vapore che si produce*. Vale a dire che, sebbene l'acqua sia al disopra di 100 gradi, per una delle due cause sovraccennate, ciò nullostante il vapore che se ne sviluppa è a 100 gradi, se la pressione è di  $0^m,76$ .

Per conseguenza, per determinare il secondo punto fisso del termometro, non è necessario far uso di acqua distillata nè d'un vaso di metallo. Basta che, alla pressione di  $0^m,76$  o facendo la correzione suindicata, il termometro sia interamente immerso nel vapore e non nell'acqua calda.

Del resto, anche facendo uso dell'acqua distillata, il serbatoio del termometro non deve essere immerso nell'acqua bollente, perchè non vi è che la sua superficie che sia realmente a 100 gradi; la temperatura cresce di strato in strato verso il fondo a motivo dell'aumento di pressione.

**236. Costruzione della scala.** - Si divide l'intervallo che separa i due punti fissi ottenuti in 100 parti eguali, che si dicono *gradi*, e si prolungano queste divisioni su tutta la lunghezza della scala, come lo mostra la figura 162.

Basterà, per tracciare i gradi, dividere l'intervallo fra zero e 100 in cento parti eguali, se il tubo del termometro aveva dovunque lo stesso diametro; ma siccome questa condizione non è mai rigorosamente soddisfatta, è necessario far uso delle divisioni in parti di egual capacità, già prima tracciate sul tubo (231). Perciò, si conta il numero di queste divisioni comprese fra i due punti fissi, e dividendo questo numero per 100 si ha il numero delle divisioni o la frazione di divisioni che equivale ad un grado; in seguito se ne deduce, partendo dallo zero, la posizione di ciascuno. Il termometro così graduato è il *termometro centigrado*.

I gradi si indicano con un piccolo zero posto alla destra ed un po' al disopra del numero che indica la temperatura. Finalmente, per distinguere le temperature al disotto dello zero da quelle al disopra, si fanno precedere dal segno - (*meno*); 15 gradi sotto lo zero si indicano adunque con  $-15^\circ$ .

Poi termometri di precisione, la scala è graduata sul vetro stesso del tubo. Per tal modo non può spostarsi, e la sua lunghezza resta sensibilmente costante, perchè il vetro è assai poco dilatabile.

Per ottenere sul vetro dei segni permanenti, si ricopre, a caldo, il tubo del termometro con un leggero strato di vernice, poi con una punta d'acciaio si marciano sulla vernice i segni della scala, come pure le cifre corrispondenti: si espone finalmente il tubo, per dieci minuti circa, ai vapori dell'acido fluoridrico, che ha la proprietà di intaccare il vetro, e pel cui mezzo restano praticate le incisioni ovunque venne levata la vernice.

**237. Differenti scale termometriche.** - Nella graduazione dei termometri si distinguono tre scale, cioè: la scala centigrada, la scala di Réaumur e la scala di Fahrenheit.

La scala centigrada è quella testè costrutta, e dalla quale si fa generalmente uso in Francia. Essa è dovuta a Celsio fisico svedese, morto nel 1744.

Nella seconda scala, adottata nel 1731 da Réaumur, fisico francese, i due punti fissi corrispondono ancora alla temperatura del ghiaccio fondentesi ed a quella dell'acqua bollente: ma l'intervallo fra questi due punti è diviso in 80 gradi. Il perchè 80 gradi di Réaumur equivalgono a 100 gradi centesimali; un grado R. eguaglia dunque  $100/80$  ossia  $5/4$  di grado c.; e reciprocamente 1 grado c. equivale a  $80/100$  ossia  $4/5$  di grado R.

Per conseguenza per ridurre un numero di gradi R. in gradi c., 20 gradi, per es., bisogna moltiplicare questo numero per  $5/4$  poichè, siccome un grado R. equivale a  $5/4$  di grado c., 20 gradi R. valgono in gradi c. 20 volte  $5/4$  ossia 25. Similmente ragionando si vede, che per convertire i gradi c., in gradi R., bisogna moltiplicarli per  $4/5$ .

Fahrenheit, a Danzica, adottò nel 1714 una scala termometrica, l'uso della quale poscia si diffuse in Olanda, in Inghilterra e nell'America settentrionale. Il punto fisso superiore di questa scala corrisponde ancora alla temperatura dell'acqua bollente, ma lo zero corrisponde al grado di freddo, che si ottiene mescolando dei pesi eguali di sale ammoniaco triturato, e di neve, e l'intervallo fra questi due punti fissi è diviso in 212 gradi. Il termometro di Fahrenheit, collocato nel ghiaccio fondentesi segna 32 gradi; perciò 100 gradi centesimali equivalgono in gradi F. a 212 meno 32,

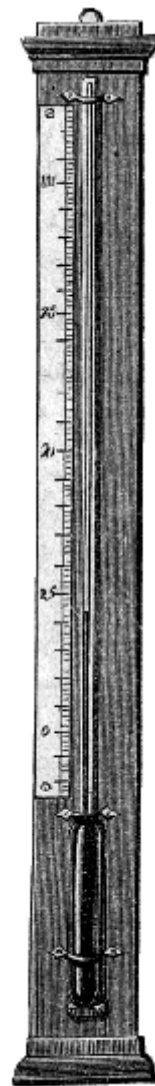


Fig. 162.

ossia a 180; dunque un grado c. vale 180/100 ossia a 9/5 di grado F., e reciprocamente un grado F. eguaglia 100/180 ossia 5/9 di grado c.

Ciò posto, debbasi ridurre in gradi c. un certo numero di gradi F., per es., 95. A tal uopo bisogna dapprima sottrarre 32 dal numero dato, onde contare le due specie di gradi partendo da uno stesso punto del tubo. Eseguendo la sottrazione indicata, si ha pel nostro caso 63; ora siccome un grado F. vale 5/9 di grado c., 63 gradi F. valgono  $5/9 \cdot 63$ , ossia 35 gradi c.

Rappresentando con  $t_f$  la temperatura data in gradi Fahrenheit, e con  $t_c$  la temperatura corrispondente in gradi centigradi, si ha la formola

$$t_c = (t_f - 32) \cdot 5/9 \quad [1],$$

che indica i calcoli da effettuarsi per operare la conversione; e siccome da questa proporzione si ricava

$$t_f = t_c \cdot 9/5 + 32 \quad [2]$$

si ha una seconda formola che serve a convertire i gradi centigradi in gradi Fahrenheit.

Queste formole sono generali e si applicano a tutte le temperature al di sopra o al di sotto degli zeri delle scale da paragonarsi; ma bisogna tener conto dei segni di  $t_f$  e  $t_c$ , debbasi, p. es., trovar la temperatura in gradi centigradi quando il termometro Fahrenheit segna 5°; si ha, per la formola [1]:

$$t_c = (5 - 32) \cdot 5/9 = -(27 \cdot 5)/9 = -15.$$

Così pure, se il termometro centigrado marca -15, la formola [2] dà

$$t_f = -15 \cdot 9/5 + 32 = -27 + 32 = 5°.$$

**238. Spostamento dello zero.** - Anche i termometri costrutti con somma cura, vanno soggetti ad una causa d'errore, di cui importa si tenga conto; ed è che col tempo lo zero tende ad innalzarsi, giungendo tal fiata lo spostamento fino ai due gradi; vale a dire che se s'immerge il termometro nel ghiaccio fondentesi, il mercurio non discende più allo zero della scala.

Varie spiegazioni si diedero di questo fenomeno, nessuna però del tutto soddisfacente. Lo si attribuì ad una diminuzione di volume del serbatoio, che risulterebbe dalla pressione esterna, essendosi praticato il vuoto nel termometro; ma si è osservato che dei termometri contenenti aria s'alterano come quelli che sono vuoti.

Si disse pure che il vetro, dopo soffiata la bolla, non ritornava che lentamente al suo stato d'aggregazione primitiva, fondandosi su quanto si era creduto d'osservare, che cioè dopo due o tre anni, lo zero più non si spostava. Ora, dietro le esperienze di Despretz, pare che questo spostamento continui per un tempo forse indefinito.

Oltre lo spostamento lento, di cui dicemmo, si osservano delle variazioni rapide nella posizione dello zero, ogniquale volta il termometro è stato portato ad una temperatura elevata. Infatti se lo si immerge allora nel ghiaccio fondentesi, il mercurio più non discende allo zero della scala, e non vi ritorna che dopo un certo tempo.

Adunque, quando si tratta di misurare con precisione una temperatura, è d'importanza verificare dapprima la posizione dello zero nel termometro di cui si vuol far uso.

Osserviamo anche aver Regnault trovato, che alcuni termometri a mercurio, che sono d'accordo a zero ed a 100 gradi, non lo sono tra questi due punti, e che le loro indicazioni variano qualche volta di parecchi gradi. Regnault opina che questa differenza bisogna attribuirle all'ineguale dilatazione dei vetri, di cui sono formati i termometri.

Queste varie osservazioni mostrano quante probabilità d'errore presenti la determinazione delle temperature e le cure ch'essa richiede.

**239. Limiti dell'uso dei termometro a mercurio.** - Fra tutti i termometri, fondati sulla dilatazione dei liquidi, si deve dare la preferenza al termometro a mercurio, giacchè questo liquido è quello che, si dilata più regolarmente; inoltre si è osservato che il suo aumento di volume tra -36 e 100 gradi è proporzionale all'intensità del calore. Tuttavia per temperature inferiori a -36, è d'uopo ricorrere al termometro ad alcool, poichè il mercurio si congela a - 40, e avvicinandosi a questo punto la sua dilatazione è *irregolare*, vale a dire non è proporzionale all'intensità del calore.

Per le temperature elevate, le indicazioni del termometro a mercurio non ponno oltrepassare i 350 gradi, temperatura che è quella del punto d'ebollizione del mercurio.

**240. Termometro ad alcool.** - Il *termometro ad alcool* differisce dal termometro a mercurio solamente perché è pieno di alcool colorato in rosso con oricello. Ma siccome la dilatazione dei

liquidi è tanto meno regolare quanto più vicini essi sono al loro punto d'ebollizione, l'alcool che bolle a 78 gradi, si dilata assai irregolarmente tra zero e 100 gradi. Dimodochè, se dopo di aver preso i due punti fissi come pel termometro a mercurio, si dividesse il loro intervallo in 100 gradi, si avrebbe un termometro che sarebbe d'accordo col termometro a mercurio soltanto a zero ed a 100 gradi; tra questi due punti sarebbe indietro di parecchi gradi; anzi si trova che esso segna appena 44 gradi, quando il termometro a mercurio ne segna 50.

Egli è per questo che la graduazione del termometro ad alcool deve essere fatta comparativamente a quella di un termometro campione a mercurio, riscaldandoli insieme gradatamente in un bagno, e segnando successivamente, sul termometro ad alcool, le temperature indicate dal termometro a mercurio. Il termometro ad alcool, così graduato, è *comparabile* al termometro a mercurio, vale a dire segna le stesse temperature, quando è collocato nelle stesse condizioni. Il termometro ad alcool è specialmente adoperato per misurare le temperature molto basse, poichè questo liquido non si congela pei freddi più intensi che si conoscano.

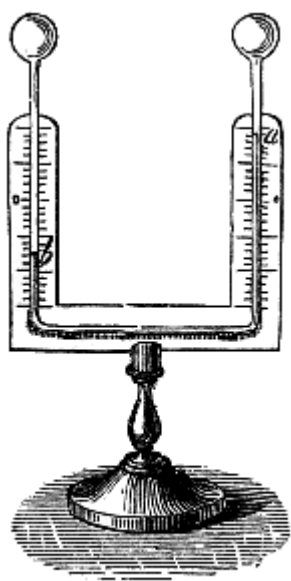


Fig. 163.

**241. Termometro differenziale di Leslie.** - Leslie, fisico scozzese, morto nel 1832, costruì un termometro ad aria destinato a far conoscere la differenza di temperatura di due luoghi vicini; da ciò deriva il nome di *termometro differenziale*. Questo termometro si compone di due bolle di vetro piene d'aria, ed unite da un tubo incurvato, di piccolo diametro, fissato ad una tavoletta (fig. 163). Prima di chiudere l'apparato, vi si introduce un liquido colorato in quantità sufficiente per riempire il ramo orizzontale del tubo, e la metà circa dei rami verticali. Convien scegliere un liquido che non dà vapori alle temperature ordinarie; perciò si fa uso in generale dell'acido solforico colorato in rosso. Chiuso poscia l'apparato, si fa passare dell'aria da una bolla nell'altra, riscaldandole inegualmente, finchè dopo alcuni tentativi, ritornate le due bolle alla stessa temperatura, sia eguale il livello nel due rami verticali. Si segna allora uno zero a ciascuna estremità della colonna liquida.

Per compiere la graduazione, si fa in modo che la temperatura di una bolla superi di 10 gradi quella dell'altra. L'aria della prima si dilata e spinge la colonna liquida, che si innalza nell'altro ramo. Quando

questa colonna si rese di nuovo stazionaria, si segna 10, d'ambidue le parti al punto in cui si ferma il livello del liquido; poscia si dividono gli intervalli da 0 a 10 in 10 parti eguali, e si continuano le divisioni al disopra, ed al disotto dello zero lunghesso ciascun ramo.

**242. Termoscopio di Rumford.** -

Contemporaneamente all'invenzione del termometro differenziale di Leslie, il conte di Rumford, americano, morto ad Auteuil, vicino a Parigi nel 1814, adottava un termometro analogo, che ha ricevuto il nome di *termoscopio di Rumford*. Questo istromento differisce poco dal precedente; solamente le bolle sono più grosse, il ramo orizzontale è più grande, e la graduazione è lungo questo ramo. L'indice E (fig. 164) ha soltanto due centimetri di lunghezza, e si segna ancora uno zero a ciascuna estremità, allorchè, essendo le due bolle alla stessa temperatura, l'indice occupa il mezzo del ramo orizzontale. Il resto della graduazione si eseguisce poscia interamente come pel termometro di Leslie. L'appendice D è destinata a regolare l'apparato;

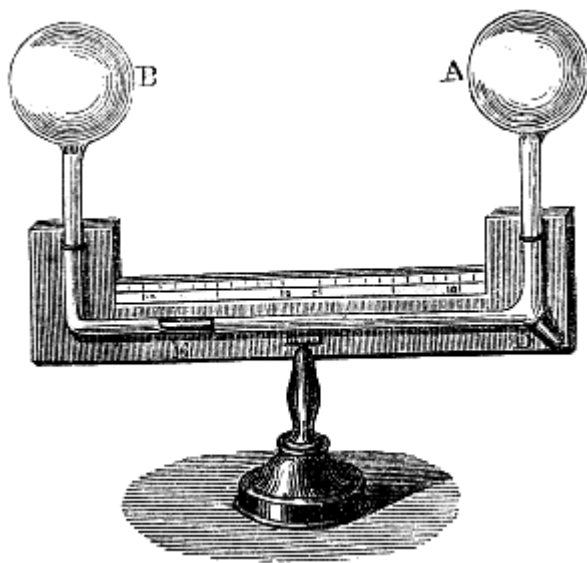


Fig. 164 (a. = 43).

quando vi è tropp'aria in una delle bolle, si fa passare l'indice nell'appendice, e questo permette all'aria di recarsi nell'altra bolla. Quindi basta inclinare il termometro per far sortire l'indice e fargli prendere la posizione che deve occupare; locchè talvolta si ottiene soltanto dopo alcuni tentativi. Avvi un'altra specie di termometro ad aria, che noi faremo conoscere parlando della dilatazione dei gas.

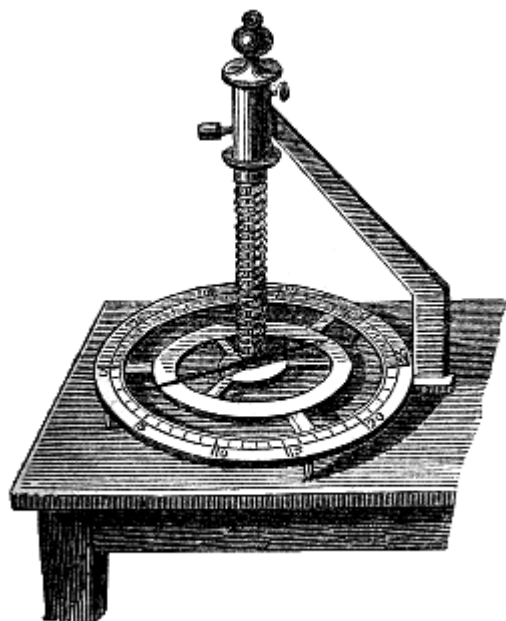


Fig. 165 (a. = 9 .

**243. Termometro metallico di Brèguet.**- Abramo Brèguet, oriuolaio di Parigi, morto nel 1823, immaginò un termometro fondato sull'ineguale dilatabilità dei metalli, e degno di rimarco per la sua estrema sensibilità. Questo strumento è formato di tre lamine sovrapposte di platino, d'oro e d'argento. Saldate insieme in tutta la loro lunghezza, vengono dopo passate al laminatoio in modo da formare un nastro metallico oltremodo sottile. Si avvolge questo nastro a spira, come mostra la figura 165; avendo quindi fissata l'estremità superiore ad un sostegno, si sospende all'altra estremità un leggier indice, che può liberamente muoversi sur un quadrante orizzontale, che porta una scala centigrada.

L'argento, che fra i tre metalli è il più dilatabile, costituisce la faccia interna della spira; il platino, che è il meno dilatabile, è all'esterno, e l'oro framezzo. Quando la temperatura si eleva, siccome l'argento si dilata più del platino e dell'oro, la spira si svolge nella suaccennata figura da sinistra a destra. L'effetto contrario ha luogo quando la temperatura si abbassa. L'oro vien collocato

tra gli altri due metalli, perchè ha una dilatazione intermedia a quelle dell'argento e del platino. Qualora si adoperassero solamente questi due ultimi metalli, la loro differenza di dilatazione potrebbe cagionare una rottura. Il termometro di Brèguet vien graduato confrontandolo con un termometro campione a mercurio.

**244. Termometro a massimo e a minimo di Rutherford.** - Nelle osservazioni meteorologiche è necessario conoscere la più alta temperatura del giorno e la più bassa temperatura della notte. I termometri ordinari potrebbero farci conoscere queste temperature solamente mediante un'osservazione continua, locchè sarebbe affatto impraticabile. Perciò si immaginarono molti strumenti, che raggiungessero lo scopo. Il più semplice è quello di Rutherford. Sovra una lastra rettangolare (fig. 166) sono fissati due termometri, i tubi dei quali sono orizzontalmente incurvati. Il primo A è a mercurio; il secondo B è ad alcool. Nel termometro a mercurio avvi un piccolo cilindro di ferro A, che può scorrere liberamente nel tubo. Questo piccolo cilindro che serve d'indice, messo a contatto coll'estremità della colonna di mercurio, e disposto l'istrumento orizzontalmente, quando la temperatura si eleva, vien spinto innanzi dal mercurio che si dilata. Appenachè il mercurio cessa di dilatarsi, esso si arresta, ed al medesimo punto del tubo rimane, quando il mercurio si restringe, giacchè non v'è aderenza tra questo liquido ed il ferro.

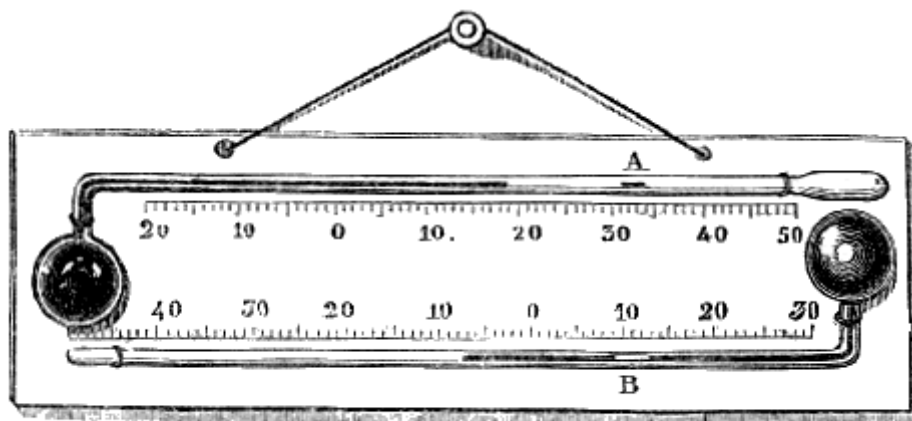


Fig. 166 (l. = 39).

Adunque il punto in cui si ferma l'indice, segna la più alta temperatura che ebbe luogo. Nel nostro disegno l'indice segna quasi 31 gradi.

Il termometro inferiore è a minimo; il liquido, ch'esso contiene, è alcol, in cui è totalmente immerso un cilindretto di smalto B, che serve d'indice. Se la temperatura si abbassa mentre il cilindro si trova all'estremità della colonna liquida, questa, restringendosi, lo strascina seco per un effetto d'adesione, e l'indice così si avvanza fino al punto in cui avviene la massima contrazione del liquido. Quando la temperatura si eleva, l'alcool si dilata, passa tra la parete del tubo e l'indice senza che questo si sposti. Per conseguenza, l'estremità dell'indice opposta al serbatoio indica la più bassa temperatura a cui giunse l'istrumento.

**245. Termometro a massimo di Walferdin.** - Il termometro a massimo di Walferdin è un termometro a ribocco. Esso ha la forma d'un termometro a mercurio ordinario. Soltanto alla parte superiore è terminato da un piccolo serbatoio o ventre, nel quale penetra il tubo, che finisce in punta affilata ed aperta (fig. 167). In questo ventre trovasi del mercurio destinato a caricare l'istrumento, vale a dire a riempire completamente il tubo ad ogni osservazione. A tale intento, si riscalda il serbatoio fintantochè il mercurio dilatandosi incominci a sortire per la punta affilata che termina il tubo. Capovolgendo allora l'istrumento, il mercurio che è nel ventre discende verso la punta, e questa vi si trova interamente immersa: Si lascia quindi lentamente raffreddare il termometro, avendo cura di tenerlo sempre capovolto. Pel raffreddamento il mercurio del serbatoio si contrae, una certa quantità passa per un effetto di coesione dal ventre nel tubo, e questo si trova completamente riempito.

Quando si deve adoperare questo istrumento, dapprima lo si carica ad una temperatura inferiore a quella che si tratta d'osservare, poi lo si colloca nel luogo del quale si vuol conoscere la massima temperatura.

Se il termometro prima si raffredda, non avvi inconveniente alcuno, poichè non entra nè sorte mercurio. Ma se la temperatura si eleva, il mercurio si dilata, una parte trabocca nel ventre senza poter rientrarvi, poichè allora il termometro è nella posizione rappresentata dalla figura 167. Per determinare poscia la più alta temperatura alla quale è giunto l'istrumento, basta confrontarlo con un termometro campione, riscaldandoli ambedue gradatamente in un bagno, finchè il mercurio, nel termometro a ribocco, risale alla sommità del tubo ed è sul punto di sortire. Consultando allora il termometro campione, la temperatura da esso indicata è quella più alta, a cui giunse il termometro a massimo.

Walferdin ha pure costruito un termometro a minimo: anch'esso è a ribocco, ma è a due liquidi e d'un uso più difficile del precedente. Questi termometri sono specialmente adoperati per la determinazione delle più alte o delle più basse temperature del fondo dei laghi, dei mari o dei pozzi. Tuttavia, bisogna allora rinchiuderli in un tubo di vetro, che si salda dopo alla lampada, onde sottrarli alla pressione esterna che diminuirebbe il volume del serbatoio, e ne farebbe sortire una quantità di mercurio maggiore di quella dovuta all'innalzamento di temperatura.

**245<sup>bis</sup> - Termometro a massimo di Negretti e Zambra.** - Il termometro a massimo di Rutherford, venne ultimamente modificato con prospero successo dai signori Negretti e Zambra. Questo termometro infatti presenta l'inconveniente di non essere portatile, e l'uso del medesimo richiede molta precauzione, imperciocchè se lo si capovolge troppo repentinamente il piccolo indice di ferro s'impegna nel mercurio, e questo liquido, quando si dilata, più non ispinge innanzi l'indice, ma passa nell'intervallo esistente tra questo e il vetro. L'indice resta dunque completamente immobile, e il termometro cessa di funzionare.

Per ovviare a questo inconveniente i signori Negretti e Zambra hanno modificato questo strumento, come mostra la fig. 167<sup>bis</sup>. Avendo introdotto nel tubo del termometro un piccolo indice di vetro *ad*, essi riscaldano alla lampada ed incurvano il tubo anche dove trovasi l'indice, in modo che questo sia fisso, ma non ostruisca però il tubo e non si opponga alla dilatazione del mercurio che è nel serbatoio.

Posto ciò, collocato il termometro orizzontalmente, come mostra la figura, quando la temperatura si eleva, il mercurio del serbatoio si dilata e passa tra l'indice e le pareti del tubo e si avvanza, per es., fino in *c*; ma quando in seguito succede abbassamento di temperatura e contrazione del mercurio, siccome la resistenza che questo prova per passare di nuovo tra l'indice ed il tubo supera la coesione delle molecole di mercurio tra loro, la colonna *dc* non si sposta ed il vuoto si produce da *b* in *a*. Dunque in *c* si ha la massima temperatura a cui è giunto l'istrumento. Per dopo ricondurre il mercurio al disotto dell'indice, basta tenere un istante il tubo in posizione verticale, ed il mercurio passa in virtù del proprio peso.

Questo piccolo istrumento, che venne costruito dai signori Lerebours e Secretan, è assai portatile e d'un uso molto più facile di quello di Rutherford. L'errore poi, che può risultare dal raffreddamento della colonna di mercurio *cd* nel momento in cui si consulta il termometro, è affatto trascurabile, imperciocchè applicando le formole, che più tardi daremo sulle dilatazioni (253 e 258), si vedrà che per un raffreddamento di 25 gradi, quest'errore non può oltrepassare un decimo di grado.

**246. Pirometro di Wedgwood.** - Chiamansi *pirometri* alcuni istrumenti destinati a misurare le alte temperature, per le quali il termometro a mercurio non potrebbe essere adoperato, perchè questo liquido vaporizzerebbe ed il vetro si fonderebbe. Buoni pirometri non si hanno; tutti quelli che si costrussero finora non forniscono la misura esatta delle temperature



Fig. 167  
(n. = 26.)

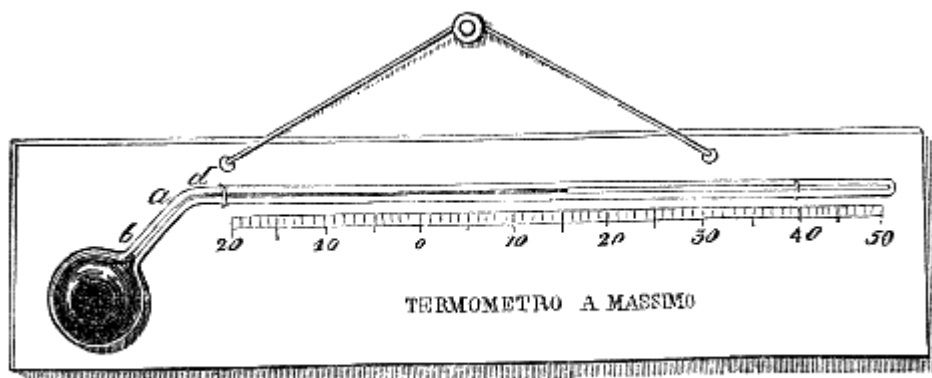


Fig. 167 bis.

Wedgwood fabbricatore di stoviglie in Inghilterra, adottò un pirometro fondato sul restringimento che prova l'argilla esposta all'azione del calore. Questo istrumento è formato d'una piastra di ottone sulla quale sono fissate tre spranghe dello stesso metallo (fig. 163), ciascuna delle quali è lunga un mezzo piede inglese. Le prime due, distanti in principio l'una dall'altra 6 linee inglesi, convergono d'una linea da una estremità all'altra. La seconda e la terza, la distanza delle

quali fa seguito a quella delle due prime, convergono pure d'una linea. Cosicchè la lunghezza totale del *canale misuratore* è di un piede, e la convergenza da un capo all'altro di due linee.

Ciascun pollice del canale è diviso in 20 gradi, per cui la lunghezza totale in 240 gradi. Per usare di questo strumento si pigliano dei piccoli cilindri d'argilla essiccati in una stufa a 100 gradi, e d'un tale diametro, che all'ordinaria temperatura entrino nel canale precisamente sino allo zero della scala. I cilindri, portati ad una temperatura elevata in un forno, subiscono un restringimento, che proviene da un principio di vetrificazione; raffreddati e messi nel canale, passano in causa del restringimento al di là dello zero, ed il punto in cui si arrestano indica, in gradi di pirometro, la temperatura del forno, nel quale essi furono collocati. Nella figura 163 il cilindro segna 32 gradi.

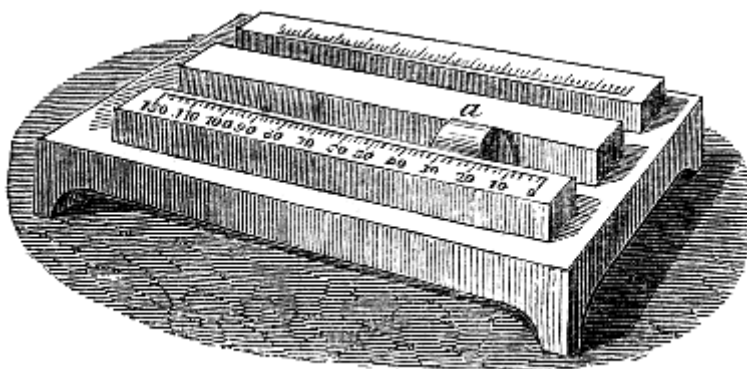


Fig. 163 (l. = 21).

Wedgwood ha approssimativamente calcolato, ammettendo che lo zero del suo pirometro corrisponda già a 500 gradi centesimali, che ciascun grado di questo strumento ne vale 72. Dunque per convertire in gradi centesimali una temperatura data in gradi di pirometro, bisogna moltiplicare questi per 72 ed al prodotto aggiungere 500. Ma, oltrechè queste valutazioni non sono precise, non potendo i cilindri essere tutti della stessa argilla, il loro restringimento non è costante, e le loro indicazioni non sono comparabili.

**247. Pirometro di Brongniard.** - Brongniard aveva fatto costruire pei forni della fabbrica di Sèvres un pirometro che ha molto rapporto coll'apparato rappresentato dalla figura 156. Esso consiste in una barra di ferro o di platino collocata in una scanalatura praticata in una piastra di porcellana. Da un capo la sbarra poggia sul fondo della scanalatura; dall'altro essa è in contatto con un'asta di porcellana che esce dal forno, in cui è collocato l'apparato: Finalmente, quest'asta si appoggia al braccio minore di un indice, il braccio maggiore del quale si muove sur un arco di cerchio graduato; di mano in mano che la sbarra metallica posta nel forno si allunga per l'innalzamento di temperatura, essa spinge l'asta di porcellana, e questa fa muovere l'indice. Questo pirometro, che anche vivo l'autore giaceva abbandonato a Sèvres, non può servire per la precisa determinazione delle temperature; tuttavia esso è più esatto di quello di Wedgwood.

**248. Termometrografo.** - I termometri fanno ad ogni osservazione conoscere soltanto le temperature estreme, senza lasciar traccia delle temperature intermedie. Il termometro a spira di Bréguet (fig. 165) è stato modificato da Bréguet nipote in modo da indicare le temperature di ora in ora. Per ciò l'indice porta un piccolo stilo pieno d'inchiostro, e superiormente avvi una piastra mobile, sulla quale sono tracciati 24 archi eguali ed equidistanti, muniti tutti d'una graduazione centigrada eguale a quella del quadrante del termometro. Ad ogni ora un movimento d'orologio fa avanzare la piastra d'una quantità eguale all'intervallo esistente fra i due archi, e nello stesso tempo dà un piccolo colpo sullo stilo dell'indice, che segna un punto nero sull'arco. Il numero dell'arco indica l'ora, e la posizione del punto nero fornisce la temperatura corrispondente.



## CAPITOLO II

### DILATAZIONE DEI SOLIDI

**249. Dilatazione lineare e dilatazione cubica; coefficienti di dilatazione.** - Si è già veduto (228) distinguersi nei corpi solidi due sorta di dilatazioni, cioè: la dilatazione lineare, quella che avviene secondo una sola dimensione, e la dilatazione cubica, quella che ha luogo in volume.

Chiamasi *coefficiente di dilatazione lineare* l'allungamento che subisce l'unità di lunghezza di un corpo, quando la sua temperatura s'innalza da zero ad 1 grado, e *coefficiente di dilatazione cubica* l'aumento che subisce nello stesso caso l'unità di volume.

Questi coefficienti variano da un corpo all'altro; ma per un medesimo corpo esiste tra loro questa relazione semplice; che *il coefficiente di dilatazione cubica è triplo del coefficiente di dilatazione lineare*. Si può dunque, moltiplicando o dividendo per tre, trovare l'uno di questi coefficienti quando si conosca l'altro.

Per dimostrare che il coefficiente di dilatazione cubica è triplo del coefficiente di dilatazione lineare, abbiasi un cubo, il lato del quale a zero sia eguale ad 1. Se si rappresenta con  $k$  l'allungamento che subisce questo lato passando da zero ad 1 grado, la sua lunghezza ad 1 grado sarà  $1+k$ , ed il volume del cubo, che a zero era 1, sarà attualmente  $(1+k)^3$ , cioè  $1 + 3k + 3k^2 + k^3$ . ora essendo sempre l'allungamento  $k$  una frazione piccolissima (pag 176, tavola), il suo quadrato  $k^2$  ed il suo cubo  $k^3$ , sono frazioni abbastanza piccole per non aver influenza nell'ultima cifra decimale dei numeri che rappresentano i coefficienti di dilatazione cubica. Si ponno dunque trascurare le quantità  $k^2$ ,  $k^3$ , ed il volume ad 1 grado diventa assai approssimativamente  $1 + 3k$ . L'aumento di volume è adunque  $3k$ , cioè triplo del coefficiente di dilatazione lineare.

Si potrebbe egualmente dimostrare che il coefficiente di dilatazione superficiale è doppio del coefficiente di dilatazione lineare.

**250. Misura del coefficiente di dilatazione lineare, metodo di Lavoisier e Laplace.** - Molti sperimentatori si sono occupati di misurare i coefficienti di dilatazione lineare, e a tal uopo immaginarono diversi apparecchi. Noi descriveremo dapprima quello di cui si servirono Lavoisier e Laplace nel 1782.

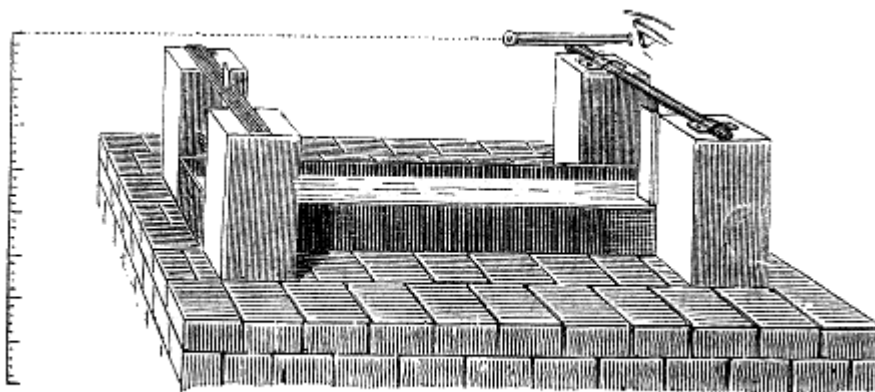


Fig. 169.

L'apparecchio di questi due fisici, rappresentato nella figura 169, si compone di una vasca di rame, collocata sopra un fornello tra quattro pilastri di pietra. I due, che nella figura sono alla destra, sostengono un asse orizzontale alla cui estremità trovasi un cannocchiale; nel mezzo di quest'asse è fissato un regolo di vetro, che gira con esso come pure il cannocchiale. Negli altri due pilastri sono assicurate due traverse di ferro, che trattengono un secondo regolo di vetro. Finalmente nella vasca evvi un bagno d'acqua o d'olio, nel quale si colloca la sbarra, di cui si vuol misurare il coefficiente di dilatazione.

La figura 170 rappresenta una sezione dell'apparato, G è il cannocchiale, KH la sbarra, le cui estremità si appoggiano ai due regoli di vetro F e D. Siccome il regolo F è fisso, la sbarra non può allungarsi che nella direzione KH, e affinché il suo movimento si eseguisca più liberamente, essa riposa su due cilindri di vetro. Nel cannocchiale finalmente avvi un filo micrometrico orizzontale che, girando il cannocchiale sotto un dato angolo, percorre un numero di divisioni corrispondente sopra una scala verticale AB collocata a 200 metri di distanza.

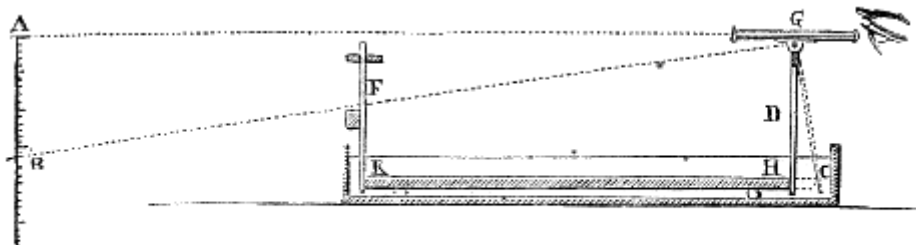


Fig. 170.

Ciò posto, mettevasi dapprima del ghiaccio nella vasca, e trovandosi la sbarra alla temperatura di zero, si osservava a qual divisione corrispondeva il filo del cannocchiale sulla scala AB; si ritirava quindi il ghiaccio e si riempiva la vasca d'acqua o di olio, potendo quest'ultimo liquido essere portato ad una temperatura più elevata, e si riscaldava.

La sbarra allora si dilatava, e quando la temperatura era diventata stazionaria, da una parte notavasi la temperatura del bagno mediante termometri che eranvi immersi, e dall'altra a qual divisione della scala corrispondeva il filo micrometrico del cannocchiale.

Da questi dati deducesi in seguito l'allungamento della sbarra. Diffatti, essendosi questa allungata di una quantità CH, e l'asse ottico del cannocchiale essendosi inclinato nella direzione GB, i due triangoli GHC e ABG sono simili siccome aventi i lati rispettivamente perpendicolari, ciò che dà  $HC/AB = GH/AG$ . Così pure rappresentando con HC' un altro allungamento, e AB' la deviazione corrispondente, si avrà ancora  $HC'/AB' = GH/AG$ , ciò che dimostra che il rapporto dell'allungamento della sbarra colla deviazione del cannocchiale è costante, essendo il medesimo sempre eguale a  $GH/AG$ . Ora con un'esperienza preliminare erasi constatato essere questo rapporto  $1/744$ . Ottenevasi dunque  $HC/AB = 1/744$ , da cui  $HC = AB/744$ ; vale a dire che l'allungamento totale della sbarra si otteneva dividendo per 744 la distanza percorsa sulla scala dal filo micrometrico del cannocchiale. Una volta conosciuto questo allungamento, dividendolo per la lunghezza della sbarra a zero e per la temperatura del bagno, avevasi la dilatazione per una sola unità di lunghezza e per un sol grado, vale a dire il coefficiente di dilatazione lineare.

**251. Metodo di Roy e Ramsden**, - Il maggiore Roy, nel 1787, fece uso dell'apparecchio rappresentato nella figura 171, per misurare i coefficienti di dilatazione lineare. Questo apparecchio, costruito da Ramsden, componesi di tre vasche metalliche parallele, di due metri circa di lunghezza. In quella di mezzo trovasi, in forma di sbarra prismatica, il corpo di cui si cerca il coefficiente di dilatazione; nelle altre due sonvi delle sbarre di ghisa esattamente della stessa lunghezza della prima.

Queste tre sbarre sono munite alle loro estremità di aste verticali. Nelle vasche A e B, queste aste portano dei piccoli dischi forate da buchi circolari sui quali sono tesi in croce dei fili micrometrici, ad uso le reticelle da microscopio (468); ma, nella vasca C, le aste portano dei tubi racchiudenti un obiettivo e un oculare da microscopio, munito esso pure di reticolo.

Ciò posto, riempite tutte le vasche di ghiaccio, e le tre sbarre essendo a zero, i punti d'incrociamiento dei fili sui dischi e nei tubi sono esattamente in linea retta ad ogni estremità. Ritirasi allora il ghiaccio soltanto dalla vasca centrale, e vi si versa dell'acqua che portasi a 100 gradi, mediante lampade ad alcool, collocate sotto alla vasca; la sbarra che trovasi in essa allora si dilata, ma siccome si ha cura di metterle a contatto coll'estremità di una vite a fissata alla parete, tutto l'allungamento producesi nel senso nm, e la reticella  $n$  restando in linea, la sola reticella  $m$  è deviata verso B di una quantità precisamente eguale all'allungamento. Ora, la vite  $a$  è unita alla

sbarra, e, girandola lentamente da diritta a sinistra, riconducesi la sbarra nel senso mN, e la reticella *m* finisce a trovarsi in linea.

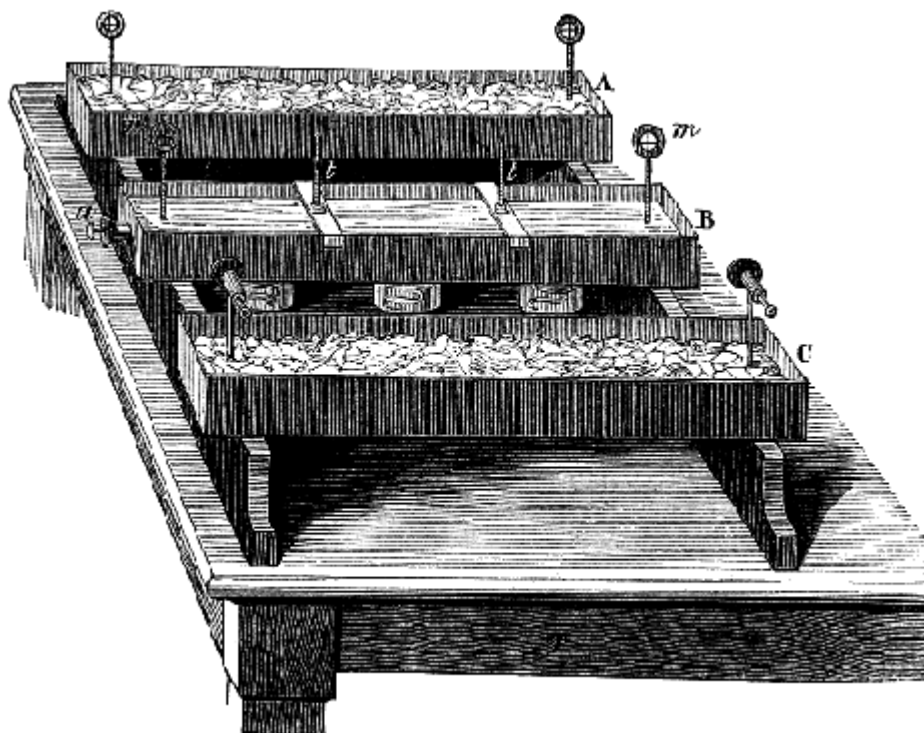


Fig. 171.

A questo istante la vite procedette di una lunghezza precisamente eguale all'allungamento della sbarra, e siccome la lunghezza di cui si è avanzata la vite deducesi con una grande precisione dal numero dei giri che essa ha fatti, si ha così la dilatazione totale della sbarra, da cui in seguito deducesi il suo coefficiente di dilatazione dividendo per la temperatura del bagno e per la lunghezza della sbarra a zero.

*Coefficienti di dilatazione lineare tra zero e 100 gradi dei corpi  
maggiormente adoperati nelle arti*

Vetro	0,000008613	Rame	0,000017182
Platino	0,000008842	Bronzo	0,000018167
Acciaio non temprato	0,000010788	Ottone	0,000018782
Ghisa	0,000011250	Argento di copella	0,000019097
Ferro dolce lavorato al martello	0,000012204	Stagno	0,000021730
Acciaio temperato	0,000012395	Piombo	0,000028575
Oro di spartimento	0,000014660	Zinco	0,000029417

**252. I coefficienti di dilatazione aumentano colla temperatura.** - La esperienza dimostra che i coefficienti di dilatazione lineare dei metalli sono sensibilmente costanti fra zero e 100 gradi, vale a dire che, per uno stesso numero di gradi, si può ammettere senza errore sensibile che la lunghezza aumenti costantemente della stessa frazione di ciò che essa era a zero. Ma secondo le ricerche di Dulong e Petit, il coefficiente diventa più grande fra 100 e 200 gradi, e cresce ancora fra 200 gradi e 300, e così di seguito fino al punto di fusione. L'acciaio temprato fa eccezione; il suo coefficiente diminuisce quando la temperatura oltrepassa un certo limite.

Quanto alla determinazione dei coefficienti di dilatazione cubica, secondo il rapporto che videsi esistere tra questi e i coefficienti di dilatazione lineare (249), essi deduconsi immediatamente dai numeri suesposti moltiplicandoli per 3. Trattando però, in seguito, del *termometro a pesi*, noi faremo conoscere un metodo seguito da Dulong e Petit, per determinare direttamente i coefficienti di dilatazione cubica.

**253. Formale relative alle dilatazioni dei solidi.** - Siano *l* la lunghezza di un corpo a zero, *l'* la sua lunghezza alla temperatura *t*, e *k* il suo coefficiente di dilatazione lineare.

La relazione esistente fra queste diverse quantità viene espressa dalle seguenti formole.

L'allungamento corrispondente a  $t$  gradi è  $t$  volte  $k$  ossia  $kt$  per una sola unità di lunghezza; laonde è  $l$  volte  $kt$  per  $l$  unità. La lunghezza della sbarra, che era  $l$  a zero, è dunque  $l+ktl$  a  $t$  gradi, d'onde:

$$l' = l + kt l \quad [1].$$

Raccogliendo il fattore comune  $l$  nel secondo membro, si ha

$$l' = l(1 + kt) \quad [2]$$

La formola [2] serve a trovare la lunghezza  $l'$  a  $t$  gradi, quando si conosce la lunghezza  $l$  a zero. Dividendo i due membri per  $(1+kt)$ , si ottiene:

$$l = l' / (1 + kt) \quad [3]$$

Quest'ultima formola serve a trovare la lunghezza a zero, quando si conosce la lunghezza  $l$  a  $t$ .

Finalmente, se nell'equazione [1] si trasporta  $l$  nel primo membro, e si dividono amendue i membri per  $tl$ , si ha:

$$k = (l' - l) / tl \quad [4]$$

Quest'ultima equazione serve a calcolare il coefficiente di dilatazione  $k$ .

Se invece di considerare le dilatazioni lineari, si considerano le dilatazioni cubiche, si trovano delle formole analoghe a quelle teste esposte. A tale intento, sieno  $V$  il volume d'un corpo a  $0^\circ$ ,  $V'$  il suo volume a  $t$  gradi, e  $k$  il suo coefficiente di dilatazione cubica, che, come si sa (249), è triplo di  $k$ ; ragionando come poc'anzi si trova:

$$V' = V(1 + kt) \quad [5]$$

$$V = V' / (1 + kt) \quad [6]$$

formole, che servono a passare dal volume a zero al volume a  $t$  gradi, e reciprocamente.

Il binomio  $1 + Dt$  chiamasi talvolta *binomio di dilatazione*. Adottando questa espressione, le formole [5] e [6] dimostrano che, quando un corpo si riscalda o si raffredda, il suo volume varia, nel primo caso, in ragione diretta del binomio di dilatazione, e nel secondo in ragione inversa dello stesso binomio.

**254. Problemi sulle dilatazioni.** – I. Quale sarà la lunghezza a 80 gradi di una sbarra lunga metri 2,6, essendo il coefficiente di dilatazione del ferro 0,0000122?

Questo problema si risolve colla formola superiore [2], facendovi:

$$l = 2^m,6, t = 80, k = 0,0000122.$$

Pel che abbiamo:

$$l' = 2^m,6(1 + 0,0000122 \cdot 80) = 2^m,6 \cdot 1,000976 = 2^m,6025$$

Laonde la lunghezza cercata è  $2^m,6025$ ; epperò l'allungamento avvenuto di 2 millimetri e mezzo.

II. A 90 gradi una sbarra di rame è lunga  $3^m,4$ , quale sarà la sua lunghezza a zero, essendo 0,0000172 il coefficiente di dilatazione del rame?

In questo caso bisogna far uso della formola [3] del paragrafo precedente, ponendo in essa:

$$l' = 3^m,4, t = 90, k = 0,0000173;$$

onde abbiamo

$$l = 3,4 / (1 + 0,0000172 \cdot 90) = 3,4 / 1,001548 = 3^m,395.$$

III. Una sbarra metallica ha una lunghezza  $l$  a  $t$  gradi, quale sarà la sua lunghezza  $l'$  a  $t'$  gradi?

Questo problema si risolve cercando la lunghezza della sbarra a zero, che giusta la formola [3] è  $l = l' / (1 + kt)$ ; poi dalla lunghezza a zero si passa alla lunghezza a  $t'$  mediante la formola [2], vale a dire moltiplicando per  $1 + kt'$ , locchè dà finalmente la lunghezza cercata:

$$l' = l' (1 + kt') / (1 + kt).$$

IV. Quale sarà la densità  $d'$  a  $t$  gradi di un corpo, che a zero ha la densità  $d$ ?

Rappresentando con 1 il volume del corpo a zero e con  $D$  il suo coefficiente di dilatazione cubica, il volume a  $t$  sarà  $1 + Dt$ ; e siccome la densità di un corpo è evidentemente in ragione inversa del volume che piglia il corpo dilatandosi, si ha la proporzione inversa:

$$d' / d = (1 + Dt'), \text{ da cui } d' = d / (1 + Dt')$$

D'onde si conchiude che quando un corpo si riscalda da 0 a  $t$  gradi la sua densità e per conseguenza il suo peso, a volume uguale, variano in ragione inversa del binomio di dilatazione  $1 + Dt$ .

**255. Applicazioni della dilatazione dei solidi.** - La dilatazione dei solidi offre numerose applicazioni nelle arti. Le grate dei fornelli, per esempio, non devono essere troppo esattamente incastrate alle loro estremità, ma libere almeno ad una, altrimenti dilatandosi staccano le pietre del fornello. Se le rotaie di una ferrovia si toccassero, la forza di dilatazione le incurverebbe di distanza in distanza, o spezzerebbe i loro guancialini. Quando si riscalda o si raffredda troppo repentinamente un vaso di vetro, esso si spezza; perchè, essendo il vetro un cattivo conduttore del calorico, le pareti inegualmente si riscaldano e si dilatano, il che produce la rottura.

**256. Pendolo a compensazione.** - L'ineguale dilatazione dei diversi metalli ha ricevuto un'importante applicazione nel *pendolo a compensazione*. Si dà un tal nome ad un pendolo, nel quale l'allungamento dell'asta, quando aumenta la temperatura, è compensato in modo che la distanza tra il centro di sospensione ed il centro di oscillazione rimanga costante (60), condizione che, giusta le leggi del pendolo ( $59, 3^\circ$ ), è necessaria perchè l'isocronismo duri, ed il pendolo possa

servire di regolatore agli orologi (62). Numerosi sistemi si proposero per compensare i pendoli. Quello che rappresenta la fig. 172 è generalmente adottato.

In questo sistema la lente *L*, invece di essere sostenuta da una sola asta, è sostenuta da una serie di telai, le cui aste verticali sono alternativamente d'acciaio e d'ottone. Nell'accennata figura le aste d'acciaio sono quelle segnate in nero; esse sono 6, compresa una lamina d'acciaio *b*, che porta tutto il pendolo, e si incurva ad ogni oscillazione; le altre in numero di 4 sono d'ottone. L'asta *i*, che porta la lente *L*, è fissa all'estremità superiore ad una traversa orizzontale; ma all'estremità inferiore è libera, passando in due fori cilindrici praticati nelle traverse orizzontali inferiori.

Posto ciò, dal modo con cui le aste verticali sono collegate tra loro dalle traverse orizzontali, si può facilmente vedere che l'allungamento delle aste d'acciaio può soltanto effettuarsi dall'alto al basso. Per conseguenza, affinché la lunghezza del pendolo rimanga costante, basta che l'allungamento delle aste d'ottone sia tale da sollevare costantemente la lente di una quantità eguale a quella di cui l'allungamento delle aste d'acciaio tendono ad abbassarla. Questo risultato si ottiene dando alle aste d'acciaio e d'ottone lunghezze tali che sieno in ragione inversa dei coefficienti di dilatazione di questi metalli.

Mediante il calcolo di leggeri si determina la lunghezza che si deve dare a ciascun sistema di aste d'acciaio e d'ottone, perchè vi sia compensazione. Infatti sieno *a*, *a'*, *a''*, *a'''* le rispettive lunghezze delle aste d'acciaio *b*, *d*, *e*, *i*, le sole che evidentemente dobbiamo considerare; sieno pure *c*, *c'* le lunghezze delle aste d'ottone *c*, *n*; ed *L* la lunghezza del pendolo, cioè la distanza CO del punto di sospensione dal centro di oscillazione; si ha:

$$L = (a + a' + a'' + a''') - (c + c') \quad [1].$$

Ha se con *K* e *K'* si rappresentano i coefficienti di dilatazione dell'acciaio e dell'ottone, si deve avere:

$$(a + a' + a'' + a''') K = (c + c') K' \quad [2].$$

Sostituendo in quest'ultima eguaglianza alla quantità  $(a + a' + a'' + a''')$  il suo valore dedotto dall'eguaglianza [1], si ottiene:

$$(L + c + c') K = (c + c') K'$$

da cui si ha:

$$c + c' = L / (K/K' - 1)$$

Ora per l'ottone e l'acciaio il rapporto  $K'/K$  è sensibilmente eguale a  $7/4$ , dunque:

$$c + c' = 4/3 L, \text{ e } a + a' + a'' + a''' = 7/3 L$$

Dovendo ordinariamente i pendoli degli orologi battere i secondi a Parigi (60) si ha,  $L = 0^m,993866$ : epperò  $c + c' = 1^m,325155$  ed  $a + a' + a'' + a''' = 2^m,319021$ .

Adoperando un numero di aste d'acciaio e d'ottone minore dell'indicato, il calcolo dimostra che la compensazione sarebbe impossibile.

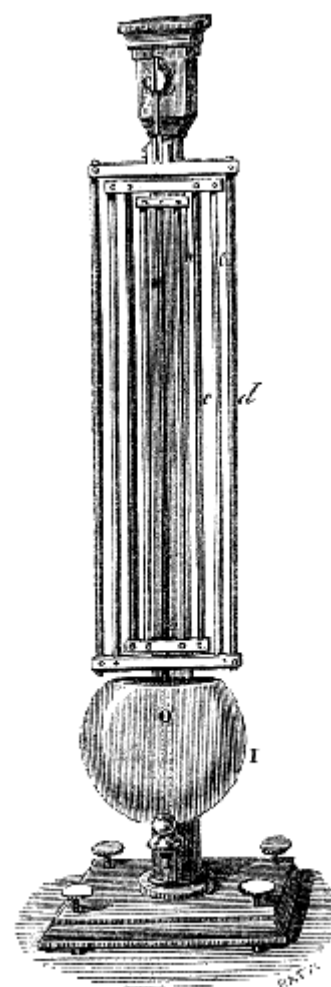


Fig. 172.

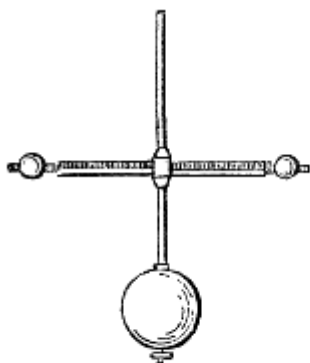


Fig. 173.

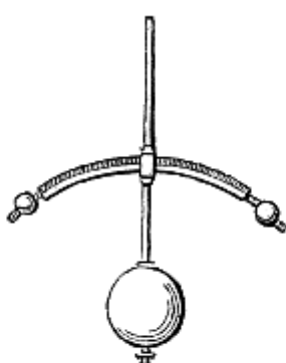


Fig. 174.

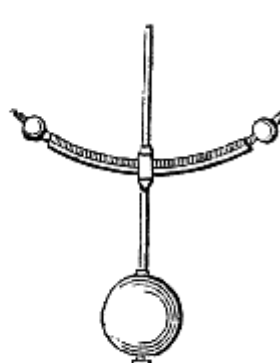


Fig. 175.

Anche mediante *lamine compensatrici* si giunge a compensare l'allungamento dell'asta dei pendoli. Vengono così chiamate due lamine di ottone e di ferro saldate insieme e fissate all'asta del pendolo, come mostra la figura 173. La lamina di ottone, che è la più dilatabile, è al disopra della lamina di ferro. Ciò posto, quando la temperatura si abbassa, l'asta del pendolo si accorcia, e la lente si solleva, ma allora le lamine compensatrici si incurvano, come mostra la figura 174, perchè l'ottone si contrae più del ferro. In tal modo si abbassano due palle metalliche collocate all'estremità delle lamine, e se esse hanno una massa conveniente, si stabilisce una compensazione tra i punti che si avvicinano al centro di sospensione e quelli che se ne allontanano, e così il centro di oscillazione non viene spostato. Se la temperatura si innalza, la lente discende, ma le palle salgono, come indica la figura 169, ed evvi ancora compensazione.

# CAPITOLO III

## DILATAZIONE DEI LIQUIDI

**257. Dilatazione apparente e dilatazione assoluta.** - Nei liquidi possiamo considerare solamente la dilatazione cubica, che si distingue in dilatazione assoluta ed in dilatazione apparente. La *dilatazione apparente* è l'aumento di volume, che subisce un liquido chiuso in un recipiente che si dilata meno di esso. È tale nei termometri di dilatazione del mercurio e dell'alcool. La *dilatazione assoluta* è l'aumento reale che avviene nel volume di un liquido, astrazione fatta da qualsivoglia dilatazione del recipiente.

La dilatazione apparente è minore della dilatazione assoluta di una quantità eguale alla dilatazione del recipiente. Si rende sensibile l'influenza della dilatazione del recipiente, immergendo nell'acqua bollente un termometro avente un serbatoio grande e riempito d'alcool colorato sino alla metà del tubo. Al momento in cui il serbatoio entra nell'acqua calda, l'alcool si abbassa nel tubo, il che proviene evidentemente dalla dilatazione delle pareti del recipiente; ma se si continua a tener immerso il serbatoio, l'alcool si riscalda e sale nel tubo di una quantità eguale alla sua dilatazione assoluta diminuita di quella del recipiente.

Come pei solidi chiamasi coefficiente di dilatazione d'un liquido l'aumento che subisce l'unità di volume, quando la temperatura si innalza da zero ad 1 grado; ma nei liquidi bisogna distinguere il coefficiente di dilatazione apparente ed il coefficiente di dilatazione assoluta. Molti processi si impiegarono per determinare questi due coefficienti di dilatazione. Noi daremo solamente quelli usati da Dulong e Petit.

**258. Coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio.** - Per determinare il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio bisognava evitare l'influenza della dilatazione del recipiente. Dulong e Petit raggiunsero lo scopo, appoggiandosi al principio d'idrostatica, che, in due vasi comunicanti, le altezze dei due liquidi sono in ragione inversa delle loro densità (89), principio che è indipendente dal diametro dei vasi, e per conseguenza dalla loro dilatazione.

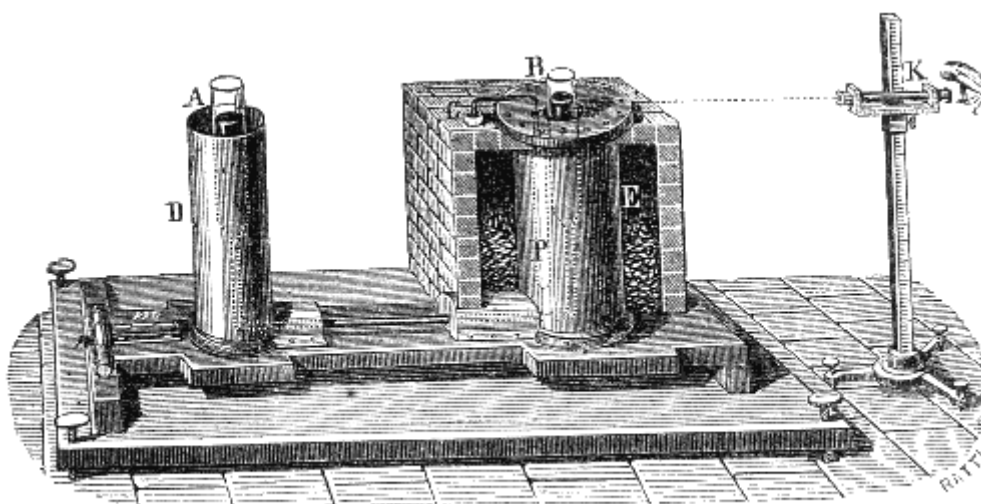


Fig. 176.

L'apparato dei due fisici si componeva di due tubi di vetro A e B (fig. 170) mantenuti in posizione verticale da un sostegno di ferro, e messi in comunicazione da un tubo capillare. Un cilindro di metallo cingeva ciascuno di questi due tubi, il più piccolo dei quali, D, era pieno di ghiaccio frantumato, e l'altro, E, d'olio che si riscaldava gradatamente mediante un piccolo fornello, che nella figura è rappresentato aperto, onde si veggia il cilindro. Finalmente i due tubi A e B erano pieni di mercurio che si disponeva allo stesso livello quando i tubi erano alla stessa temperatura, ma che si elevava nel tubo B di mano in mano che avveniva il riscaldamento.

Ciò posto sieno  $h$  e  $d$  l'altezza e la densità del mercurio nel ramo A alla temperatura zero, ed  $h'$  e  $d'$  la medesima quantità pei ramo B alla temperatura  $t$ ; giusta il principio d'idrostatica pur mo' rammentato, si ha  $h'd' = hd$ . Ora

$d' = d/(1+Dt)$  (254, prob. 4), essendo  $D$  il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio; sostituendo a  $d'$  il suo valore nell'eguaglianza superiore si ottiene:

$$h'd/(1+Dt) = hd.$$

dalla quale si deduce:

$$D = (h' - h)/ht.$$

Questa formula serve a trovare il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio, quando si sieno misurate le altezze  $h$  ed  $h'$  di questo liquido nei due tubi non che la temperatura  $t$  del bagno in cui è immerso il tubo B. Nell'esperienza di Dulong e Petit questa temperatura era misurata da un termometro a peso P (260), il mercurio del quale riboccava in una capsula C. Le altezze  $h'$  ed  $h$  si misuravano mediante un catetometro K (69).

Con siffatto processo Dulong e Petit hanno trovato che il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio tra zero e 100 gradi è  $1/5550$ . Ma essi hanno osservato che questo coefficiente cresce colla temperatura. Tra 100 e 200 gradi il coefficiente medio è  $1/5425$ ; tra 200 e 300 gradi è  $1/5300$ .

Lo stesso fenomeno si osserva per gli altri liquidi; e pertanto noi siamo avvertiti che questi corpi non si dilatano regolarmente. Si constatò che la loro dilatazione è tanto più irregolare quanto più vicini sono alla loro temperatura di congelazione o d'ebollizione. Relativamente al mercurio, Dulong e Petit hanno constatato che da -30 a 100 gradi la sua dilatazione è assai sensibilmente regolare.

**259. Coefficiente di dilatazione apparente del mercurio.** - Il coefficiente di dilatazione apparente di un liquido varia colla natura del recipiente. Quello del mercurio nel vetro è stato determinato da Dulong e Petit mediante l'apparecchio rappresentato dalla figura 177. Esso si compone di un serbatoio cilindrico di vetro al quale è saldato un tubo capillare incurvato ad angolo retto ed aperto alla sua estremità.

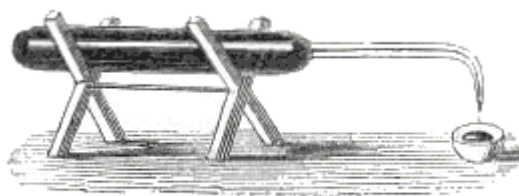


Fig. 177 (l. = 20).

Per fare l'esperienza si pesa l'istrumento vuoto, poi pieno di mercurio a zero; la differenza fra i due pesi dà il peso  $P$  del mercurio contenuto nell'apparecchio. Portandolo dopo ad una temperatura conosciuta  $t$ , il mercurio si dilata, e ne esce una certa quantità, che si raccoglie in una piccola capsula, e che si pesa. Se si rappresenta con  $p$  il peso del mercurio che è uscito, quel del mercurio rimasto nell'apparato vien rappresentato da  $P-p$ .

Posto ciò, sieno  $v'$  il volume a zero del mercurio il cui peso è  $P$ , e  $v$  il volume pure a zero del mercurio che resta nell'apparato, e il peso del quale è  $P-p$ . Questi due pesi, essendo presi alla stessa temperatura, sono proporzionali ai loro volumi, vale a dire che sussiste l'eguaglianza  $(P-p)/P = v/v'$ . Ora  $v'$  è precisamente il volume, che assumerebbe nel vetro il volume di mercurio  $v$ , che resta nell'apparato, se lo si riscaldasse da zero a  $t$  gradi. Dunque rappresentando con  $d$  il coefficiente di dilatazione *apparente* del mercurio, si può porre  $v/v' = 1/(1+dt)$ , essendo  $dt$  l'incremento apparente che assumerebbe l'unità di volume di mercurio passando da zero a  $t$  gradi. Siccome le due precedenti eguaglianze hanno due membri identici, così gli altri due sono tra loro eguali, epperò si ha:

$$(P-p)/P = 1/(1+dt)$$

Dalla quale si deduce

$$d = p/(P-p)t.$$

Dulong e Petit hanno in tal guisa trovato che il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro è  $1/6480$ .

**260. Termometro a peso.** - L'apparecchio rappresentato dalla figura 177 ha ricevuto il nome di *termometro a peso*, perchè dal peso del mercurio uscito si può dedurre la temperatura alla quale venne portato l'istrumento. Infatti, avendo l'esperienza precedente condotto alla formola  $p/(P-p)t = 1/6480$ , facendo scomparire i denominatori si trova  $p \cdot 6480 = (P-p)t$ , da cui si deduce:

$$t = p \cdot 6480 / (P-p)$$

formola che serve a dar  $t$ , quando si conoscono  $P$  e  $p$ .

**261. Coefficiente di dilatazione del vetro.** - Essendo la dilatazione assoluta di un liquido eguale alla sua dilatazione apparente aumentata della dilatazione del recipiente, si è ottenuto il coefficiente di dilatazione cubica del vetro prendendo la differenza fra il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio e quello della sua dilatazione apparente.

Quindi il coefficiente di dilatazione cubica del vetro eguaglia

$$1/5550 - 1/6480 = 1/38700 = 0,00002584.$$

Regnault ha constatato che il coefficiente di dilatazione varia colle differenti specie di vetro non solo ma anche colla forma dei recipienti. Pel vetro ordinario dei tubi che si adoperano in chimica, questo scienziato trovò che il coefficiente è  $0,0000254$ .

**262. Coefficienti di dilatazione dei diversi liquidi.** - Il coefficiente di dilatazione apparente di tutti i liquidi può determinarsi col processo del termometro a peso (259). Se in seguito si vuol determinare il coefficiente di dilatazione



assoluta, si aumenta il coefficiente di dilatazione apparente del coefficiente di dilatazione del vetro; e questo per la relazione esistente fra questi tre coefficienti (261).

*Dilatazione apparente di alcuni liquidi da zero a 100*

Mercurio	0,01543	Olio essenziale di trementina	0,07
Acqua distillata	0,0466	Etere solforico	0,07
Acqua satura di sal marino	0,05	Olii fissi	0,08
Acido solforico	0,06	Alcool	0,11
Acido cloridrico	0,06	Acido azotico	0,11

Siccome questi numeri rappresentano la dilatazione totale da 0 a 100 gradi, bisognerebbe dividerli per 100 onde ottenere la dilatazione per un sol grado, ossia il coefficiente di dilatazione; però i risultati così ottenuti non rappresenterebbero il coefficiente di dilatazione medio dei liquidi, perchè siccome questi corpi si dilatano assai irregolarmente, il loro coefficiente va sempre crescendo a partir dallo zero; avvi eccezione pel mercurio, la cui dilatazione è assai sensibilmente regolare da 0 a 100 gradi, e per l'acqua che si restringe dapprima e si dilata in seguito, come vedremo più innanzi (265).

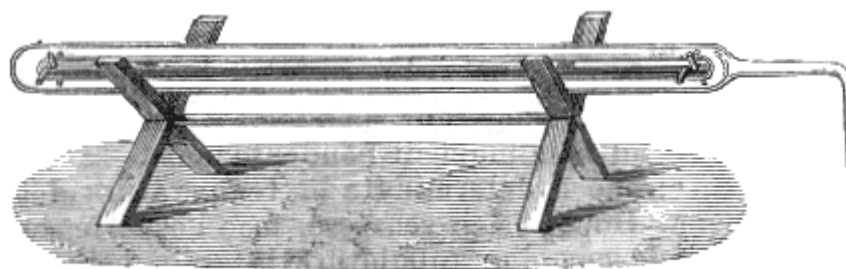


Fig. 178.

**263. Applicazione del termometro a pesi alla misura delle dilatazioni cubiche.** - Dulong e Petit applicarono il metodo del termometro a pesi alla ricerca dei coefficienti di dilatazione cubica. Perciò essi prendevano un tubo di vetro piuttosto grosso e vi introducevano in forma di prisma allungato, la sostanza di cui essi cercavano il coefficiente di dilatazione, dopo averne determinato il peso e la densità e per conseguenza il volume.

Essi facevano in seguito allungare col mezzo della lampada l'estremità del tubo e la curvavano in modo da darle la forma d'un termometro a pesi (fig. 178). Riempivano poscia di mercurio lo spazio rimasto vuoto nel tubo e determinavano il peso  $P$  di questo liquido che trovavasi in esso a  $0^\circ$ .

Ciò posto, sperimentando assolutamente come col termometro a pesi, portavasi l'apparecchio ad una temperatura conosciuta  $t$ ; il mercurio ed il corpo contenuti nel tubo dilatandosi in allora più del vetro, usciva un peso  $p$  di mercurio che pesavasi e non rimaneva che ad esprimere con una equazione facile a trovare che il volume del mercurio uscito eguagliava la dilatazione del corpo, più quella del mercurio, meno quella del vetro. Ora, siccome le dilatazioni del mercurio e del vetro erano conosciute, se ne deduceva quella del corpo contenuto nel tubo.

**264. Correzione dell'altezza barometrica.** - Abbiamo già indicato all'articolo *Barometro* (143) che, affinchè le indicazioni di questo istrumento sieno tra loro comparabili in luoghi diversi e in diverse stagioni, è necessario di ridurre sempre la colonna di mercurio ad una temperatura costante, che è quella del ghiaccio che si fonde. Questa correzione si fa mediante il calcolo seguente:

Sia  $H$  l'altezza del barometro a  $t$  gradi, sia  $h$  la sua altezza a zero. Se si rappresenta con  $d$  la densità del mercurio a zero, e con  $d^{(6)}$  la sua densità a  $t$  gradi, si sa (135) che le altezze  $H$  e  $h$  sono in ragione inversa delle densità  $d$  e  $d'$ , si ha cioè:  $h/H = d'/d$  [1].

Ma se si rappresenta con  $1$  il volume del mercurio a zero, il suo volume a  $t$  gradi sarà rappresentato da  $1+Dt$ , essendo  $D$  il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio.

Ora abbiamo visto (254. pr. IV) che il rapporto dei volumi  $1+Dt$  e  $1$  è eguale al rapporto inverso della densità  $d$  e  $d'$ , si ha cioè:  $d'/d = 1/(1+Dt)$  [2]. Ciò posto, dalle proporzioni [1] e [2] si ha  $h/H = 1/(1+Dt)$ .

Sostituendo a  $D$  il suo valore  $1/5550$  si ha  $h=H/(1+t/5550)=(H+5550)/(5550+t)$ .

In questo calcolo devesi prendere il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio e non il coefficiente di dilatazione apparente, perchè il valore di  $H$  è lo stesso come se il vetro non si dilatasse, essendo l'altezza del barometro indipendente dal diametro del tubo (82) e, per conseguenza, dalla sua dilatazione.

Come applicazione della formola suesposta, propongasì, essendo la temperatura a 25 gradi e l'altezza del barometro  $0^m,75$ , di calcolare l'altezza a zero.

$$\text{Si ha: } h = 5550 \cdot 0^m,75 / (5550 + 25) = 4162,1 / 5775 = 0^m,746$$

Nella formola qui sopra si è trascurata la dilatazione della scala del barometro. Per tenerne conto, sia  $k$  il coefficiente di dilatazione di questa scala. Quando la temperatura si abbassa da  $t$  gradi a zero, la scala si raccorcia nel rapporto di  $1+kt$  ad  $1$ , e per conseguenza il numero dello sue divisioni corrispondente all'altezza  $h$  del mercurio a

zero aumenta nel rapporto di  $1$  ad  $1+kt$ . Il valore di  $k$  ottenuto qui sopra deve dunque essere moltiplicato per  $1+kt$ , ciò che dà per valore esatto:

<sup>(6)(6)</sup> Nel testo " $d$ " [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

$$h=H(1+kt)/(1+Dt), \text{ oppure } h= H \cdot 5550(1+kt)/(5550+t).$$

**265. Maximum di densità dell'acqua.** - L'acqua offre questo fenomeno rimarchevole che quando la sua temperatura si abbassa, non si condensa che fino a 4 gradi; al di sotto di questo punto, sebbene il raffreddamento continui, non solo cessa la condensazione, ma il liquido si dilata sino al punto della congelazione, che ha luogo a zero, dimodo che a 4 gradi l'acqua subisce un maximum di condensazione.

Molti processi servirono a determinare la temperatura del maximum di densità dell'acqua. Hope, fisico scozzese, fece l'esperienza seguente: prese un vaso profondo con due tubulature laterali, nelle quali eransi fissati due termometri, l'uno alla parte superiore, l'altro alla parte inferiore (fig. 179), e, avendo riempito questo vaso di acqua a zero, lo collocò in un'atmosfera a 15°. Ora, riscaldandosi tutta la massa dell'acqua, il termometro inferiore marcò pel primo 4°, rimanendo tuttavia il superiore a 0°. Poscia Hope invertì l'esperienza, avendo ciò riempito lo stesso vaso d'acqua a 15, lo mise in un'atmosfera a 0°. Il termometro inferiore discese allora a 4°, vi restò stazionario per parecchie ore, mentre il termometro superiore si raffreddava sino a 0°. Queste due esperienze provano bene che a 4° l'acqua è più densa che non a 0°, poiché, in tutte e due, l'acqua a 4° occupa la parte inferiore del vaso.

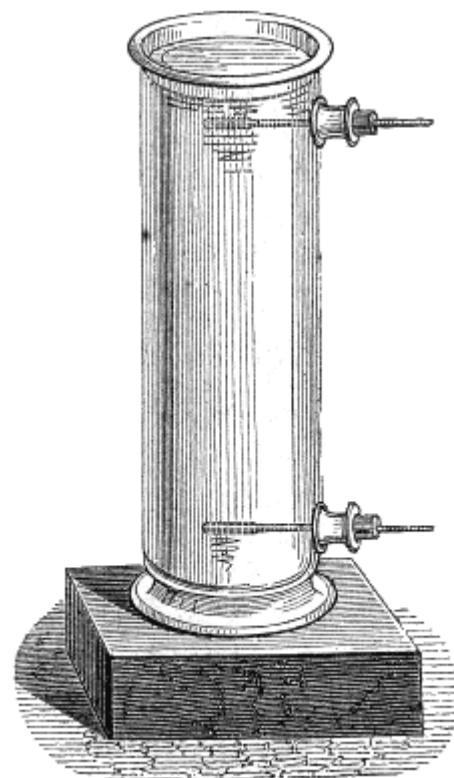


Fig. 179.

Più tardi, Hallstrom pesò successivamente, in acqua a diverse temperature, un globo di vetro zavorrato con sabbia, e, tenendo conto della dilatazione del vetro, trovò essere nell'acqua a 4°,1 che il globo perdeva maggiormente del suo peso; da ciò trasse la conseguenza che egli era a queste temperature che avveniva il maximum di condensazione dell'acqua.

Ma il signor Despretz, con un altro metodo, si assicurò che egli è esattamente a 4° che avviene tal fenomeno. Questo scienziato fece uso di un termometro ad acqua, contenente cioè dell'acqua invece del mercurio.

Raffreddandolo gradatamente in un bagno, la temperatura del quale era data da un termometro a mercurio, trovò che egli è a 4 gradi, che ha luogo, nel termometro ad acqua, il maximum di condensazione, e per conseguenza il maximum di densità dell'acqua.

## CAPITOLO IV

### DILATAZIONE E DENSITÀ DEI GAS

**266. Metodo di Gay-Lussac; sue leggi.** - I gas sono i corpi più dilatabili, e nello stesso tempo quelli, la dilatazione dei quali presenta maggior regolarità. Inoltre, prendendo per coefficiente di dilatazione dei gas, come pei solidi e pei liquidi, l'incremento dell'unità di volume da 0 ad un grado, si trova che i coefficienti di dilatazione dei differenti gas, tra loro differiscono solo di quantità piccolissime. Finalmente in questi corpi si considera solamente la dilatazione cubica.

Gay-Lussac pel primo misurò il coefficiente di dilatazione dei gas mediante l'apparecchio rappresentato dalla figura 180. Questo consiste in una cassa rettangolare di latta, lunga 40 centimetri circa, e piena di acqua, la cui temperatura si può più o meno elevare. In mezzo all'acqua è un termometro ad aria, formato d'un serbatoio sferico A e d'un tubo capillare AB. Il tubo è previamente diviso in parti d'egual capacità (231), e si determina quanto ne contenga il serbatoio A. Per ottener questo si pesa l'apparato pieno di mercurio a zero, poi lo si riscalda leggermente per far uscire un po' di mercurio. Pesando di nuovo si ha il peso del mercurio uscito. Raffreddando a zero quello che rimane, si produce nel tubo un vuoto, che fa conoscere il volume corrispondente al peso del mercurio effluito. Se ne deduce quindi il volume del mercurio rimasto nell'apparato, e per conseguenza il volume del serbatoio mediante lo stesso calcolo, che si è già fatto per determinare il volume del piezometro, pag. 49.

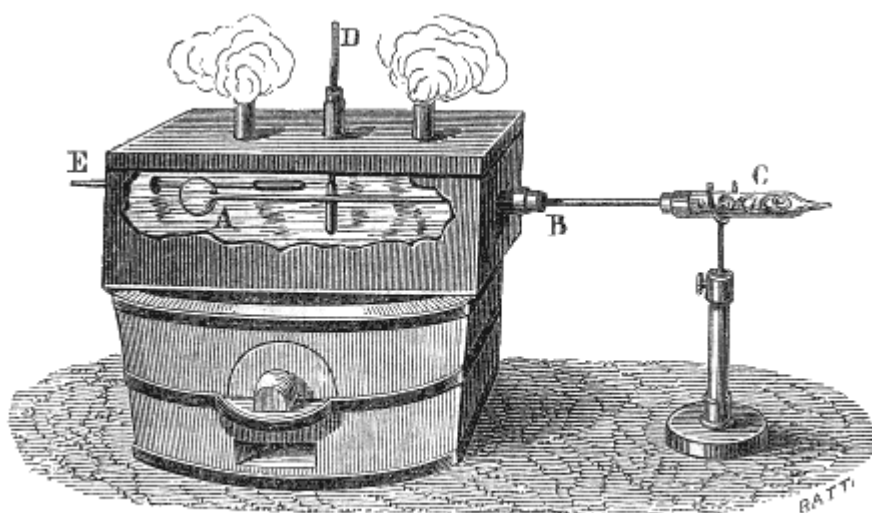


Fig. 180 (l. = 40).

Restava ad empire il serbatoio ed il tubo d'aria secca. A tal uopo si riempivano dapprima di mercurio (232), che si faceva bollire nel serbatoio stesso per disseccarlo; poscia si fissava all'estremità del tubo per mezzo d'un turacciolo un tubo C pieno di sostanze disseccanti, per es., di cloruro di calcio. S'introduceva allora nel tubo AB, attraverso il tubo C, un sottil filo di platino, che si agitava nel tubo, inclinando nel tempo istesso quest'ultimo in modo da far effluire il mercurio a goccia a goccia, dando leggiere scosse all'apparato. L'aria rientrava allora a bolla a bolla nel serbatoio, ma dopo d'essersi essicata pel cloruro di calcio. Finalmente si aveva cura di conservare nel tubo AB un piccol indice di mercurio.

Posto ciò, si collocava il termometro ad aria nella vasca rettangolare di latta. Essendo questa dapprima riempita di ghiaccio fondentesi, l'aria si contraeva e l'indice B scorreva verso il serbatoio A. Si notava il punto in cui esso diventava stazionario, e per tal modo veniva determinato il volume dell'aria a zero, poichè conoscevasi la capacità dal serbatoio. Ritirato allora il ghiaccio, vi si sostituiva dell'acqua o dell'olio, e si riscaldava la vasca sur un fornello. L'aria del serbatoio si dilatava, e l'indice si avanzava da A verso B. Notando finalmente il punto in cui si arrestava e in

pari tempo la temperatura indicata dai due termometri D ed E, si conosceva il volume dell'aria e la sua temperatura.

Se si suppone dapprima che la pressione atmosferica non abbia variato durante l'esperienza, e se si trascura la dilatazione del vetro, che è piccolissima, si ha la dilatazione totale dell'aria nell'apparato sottraendo dal volume, che ha preso alla fine dell'esperienza quello che aveva a zero. Dividendo allora per la temperatura finale 'si ha la dilatazione corrispondente ad un grado, e dividendo finalmente pel numero d'unità contenute nel volume a zero, si ha la dilatazione corrispondente ad un

sol grado e ad una sola unità di volume, vale a dire il coefficiente di dilatazione.

Si vedrà nei problemi seguenti (267) come debbansi fare le correzioni di pressione e di temperatura, se si vuol avere riguardo alle variazioni di pressione atmosferica ed alla dilatazione del vetro durante l'esperienza. Coll'apparato che abbiamo descritto, Gay-Lussac aveva trovato che il coefficiente di dilatazione dell'aria era 0,00375, ma con metodi più precisi si è constatato in seguito che questo numero è troppo grande, e che il vero valore del coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00366.

Inoltre, Gay-Lussac aveva dato sulla dilatazione dei gas le due leggi seguenti, rimarchevoli per la loro semplicità:

1.° *Tutti i gas hanno lo stesso coefficiente di dilatazione dell'aria.*

2.° *Questo coefficiente conserva lo stesso valore, qualunque sia la pressione cui vengono assoggettati i gas.*

Ma vedremo quanto prima che queste leggi non si ponno rigorosamente ammettere, e che soltanto in modo approssimativo esprimono il fenomeno della dilatazione dei gas.

#### **267. Problemi sulla dilatazione dei gas.**

I. Il volume di un gas a zero è  $V$ ; quale sarà il suo volume a  $t$  gradi, essendo  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione, e rimanendo costante la pressione?

Sia  $V$  il volume cercato; ripetendo lo stesso ragionamento che abbiám fatto per la dilatazione lineare (253); di leggeri si trova:

$$V' = V + \alpha Vt, \text{ ossia } V' = V(1 + \alpha t) \quad [1].$$

II. Il volume di un gas a  $t$  gradi è  $V'$ ; quale sarà il suo volume  $V$  a zero, rimanendo costante la pressione, ed essendo  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione?

Questo problema si risolve mediante la formola superiore [1], dalla quale dividendo ambedue i membri per  $(1 + \alpha t)$ , si deduce:

$$V = V'/(1 + \alpha t) \quad [2].$$

III. Conoscendosi il volume  $V'$  d'un gas a  $t$  gradi, calcolare il suo volume  $V''$  a  $t'$  gradi, nell'ipotesi che la pressione rimanga costante.

Primieramente bisogna ridurre il volume a zero mediante la formola [2], per cui si ha  $V'/(1 + \alpha t)$ . Quindi si riduce quest'ultimo volume da zero a  $t'$  gradi per mezzo della formola [1], e finalmente si ha

$$V'' = V'(1 + \alpha t)/(1 + \alpha t') \quad [3].$$

IV. Il volume di un gas a  $t$  gradi e sotto la pressione  $H$  è  $V'$ ; quale sarà il volume  $V$  della stessa massa di gas a zero sotto la pressione  $0^m,76$ ?

Qui dobbiamo fare due correzioni, l'una relativa alla pressione, l'altra alla temperatura.

È indifferente far prima l'una o l'altra. Se si fa prima la correzione di temperatura, il volume a zero giusta la formola [2], sarà  $V'/(1 + \alpha t)$ , e questo alla pressione  $H$ . Da questa pressione lo si riduce alla pressione  $0^m,76$ , ponendo per la legge di Mariotte (150),

$$V \cdot 0,76 = V'/(1 + \alpha t) \cdot H \\ \text{ossia } V = V'H/0,76 (1 + \alpha t) \quad [4].$$

Come applicazione numerica, risolvasi il seguente problema: Dati 8 litri d'aria a 25 gradi ed alla pressione  $0^m,74$ , determinare il volume a zero e alla pressione  $0^m,76$ .

Se si fa prima la correzione di pressione si ha  $x/8 = 74/76$ ; da cui  $x = 74 \cdot 8/76 = 7^{lit},789$ .

Il volume così ottenuto è alla pressione  $0^m,76$ , ma ancora a 25 gradi; rimane a ridurlo a zero. Per ciò si fa uso della formola superiore [2], onde si ha per volume cercato

$$V = 7,789/(1 + 0,00366 \cdot 25) = 7,789/1,0915 = 7^{lit},136.$$

Si potrebbe anche direttamente far uso della formola [4], sostituendo ad  $H$ ,  $V'$ ,  $\alpha$  e  $t$  i loro valori.

V. Il volume di un pallone di vetro a  $t$ , gradi è  $V'$ ; quale sarà il suo volume  $V$  a zero?

Per risolvere questo problema si ammette, che un pallone di vetro si dilati per una determinata variazione di temperatura, come si dilaterrebbe, una sfera massiccia di vetro dello stesso volume. Rappresentando allora con  $\delta$  il coefficiente di dilatazione cubica del vetro, e con  $V$  il volume del pallone a zero, si avrà come nel precedente problema I,

$$V' = V + \delta V t = V(1 + \delta t)$$

da cui  $V = V'/(1 + \delta t)$ .

VI. Un certo volume di gas a  $t$  gradi pesa  $P'$ ; quale sarà il peso dello stesso volume di questo gas a zero?

Sia  $P$  il peso cercato,  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione del gas,  $d'$  la sua densità a  $t$  gradi, e  $d$  la sua densità a zero. Essendo i pesi proporzionali alle densità si ha la proporzione  $P'/P = d'/d$ .

Se si rappresenta con 1 un certo volume del dato gas a zero, il suo volume a  $t$  gradi sarà  $1 + \alpha t$ , ora, essendo le densità in ragione inversa del volume (41) si ha:

$$d'/d = 1/(1 + \alpha t).$$

Avendo queste due proporzioni un membro comune, si avrà

$$P'/P = 1/(1 + \alpha t).$$

$$\text{da cui } P = P' (1 + \alpha t).$$

Dall'ultima proporzione si deduce pure

$$P' = P/(1 + \alpha t).$$

formola che serve a trovare il peso a  $t$  gradi, quando si conosce il peso a zero.

VII. Calcolare il peso  $P$  d'azoto che sarebbe contenuto a  $32^\circ$  in un pallone di vetro, il cui volume a zero è  $12^{\text{lit}},4$ ; sapendosi che il coefficiente di dilatazione dell'azoto è 0,003668. il coefficiente di dilatazione lineare del vetro 0,00000861, il peso specifico dell'azoto 0,9714, e nell'ipotesi che la pressione atmosferica sia eguale a  $0^{\text{m}},76$ .

Sieno  $k$  il coefficiente di dilatazione lineare del vetro  $V$  il volume del pallone a zero, il suo volume a  $t$  gradi sarà  $V(1 + 3kt)$  (249 e 253). Per trovare il peso d'azoto contenuto in questo pallone, osserviamo che siccome un litro d'aria a 0 e alla pressione  $0^{\text{m}},76$  pesa  $1^{\text{gr}},3$ , un litro d'azoto alla stessa temperatura ed alla stessa pressione pesa  $1^{\text{gr}},3 \cdot 0,9714$  poichè il numero 0,9714 è il peso specifico dell'azoto rispetto all'aria; per conseguenza un litro d'azoto a  $t$  gradi pesa  $1^{\text{gr}},3 \cdot 0,9714/(1 + \delta t)$  (prob. IV), essendo  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione dell'azoto. Epperò finalmente il peso domandato è  $1^{\text{gr}},3 \cdot 0,9714/(1 + \delta t) \cdot V(1 + 3kt)$ . Sostituendo a  $V$ ,  $k$ ,  $t$  ed  $\alpha$  i loro valori, si trova  $P = 14^{\text{gr}},025$ .

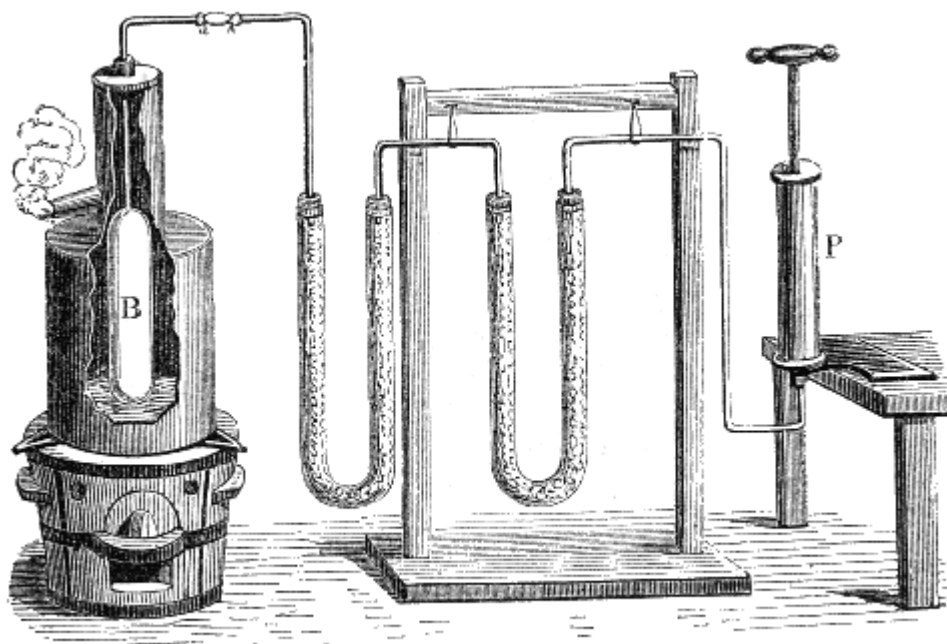


Fig. 181 (a.=67).

**268. Metodo di Regnault.** - Regnault ha successivamente fatto uso di quattro processi per determinare il coefficiente di dilatazione dei gas. In taluni la pressione era costante ed il volume del gas variabile, come nel processo, di Gay-Lussac; in tal altri invece era costante il volume, ma si poteva far variare ad arbitrio la pressione. Noi descriveremo solamente il primo processo impiegato da Regnault, lo stesso che avevano già usato Dulong e Rudberg, e nel quale la pressione è costante. Ma le esperienze di Regnault si distinguono per le cure avute onde evitare le cause d'errore. Il suo apparato si compone di un serbatoio cilindrico B (fig. 181) d'una certa qual capacità, al quale è saldato un tubo capillare ricurvo. Onde riempire questo serbatoio d'aria perfettamente secca, lo si dispone, come mostra la figura, in un vaso di latta simile a quello che serve a determinare il punto 100 dei termometri; poscia, mercè un tubo di gomma elastica; si congiunge il tubo capillare ad una serie di tubi foggianti ad C pieni di sostanze disseccanti.

Questi tubi metton capo ad una piccola tromba ad aria, mediante la quale si pratica il vuoto in questi tubi e nel serbatoio, mentre quest'ultimo è avvolto nel vapor d'acqua a 100 gradi. Si lascia dopo rientrare lentamente l'aria, quindi

si fa di nuovo il vuoto, e così di seguito un gran numero di volte. In tal modo si giunge a disseccar completamente l'aria, che si trova nel serbatoio, poichè l'umidità che era aderente alle pareti, si svolge in vapore alla temperatura di 100 gradi, e l'aria che penetra ogni qualvolta si fa il vuoto è disseccata passando pei tubi ricurvi ad U.

Fatto ciò, si cessa per una mezz'ora, onde l'aria pigli la temperatura del vapor acqueo, poi si tolgono i tubi disseccanti, e si chiude alla lampada l'estremità del tubo, avendo cura di notare in pari tempo l'altezza R del barometro. Raffreddato che sia il serbatoio B lo si colloca nell'apparecchio rappresentato dalla figura 182. Lo si circonda allora completamente di ghiaccio per ridurre a zero l'aria ch'esso contiene, e si immerge l'estremità del tubo capillare in una vaschetta C piena di mercurio. Quando il serbatoio B è a zero, si rompe con una piccola pinzetta la punta *b*; essendosi l'aria interna condensata, il mercurio della vaschetta vi penetra in forza della pressione atmosferica, e si innalza ad un'altezza CG, tale, che aggiunta alla forza elastica dell'aria, che rimane nell'apparato, faccia equilibrio alla pressione atmosferica. Onde misurare l'altezza della colonna GC che noi rappresenteremo con *h* si abbassa un'asta mobile *go* finchè la punta *o* affiori la superficie del mercurio nella vaschetta, poi si misura col catetometro la differenza d'altezza tra la punta *g* ed il livello del mercurio in G. Aggiungendo a questa differenza la lunghezza dell'asta *go*, che è conosciuta, si ha l'altezza *h* della colonna GC.

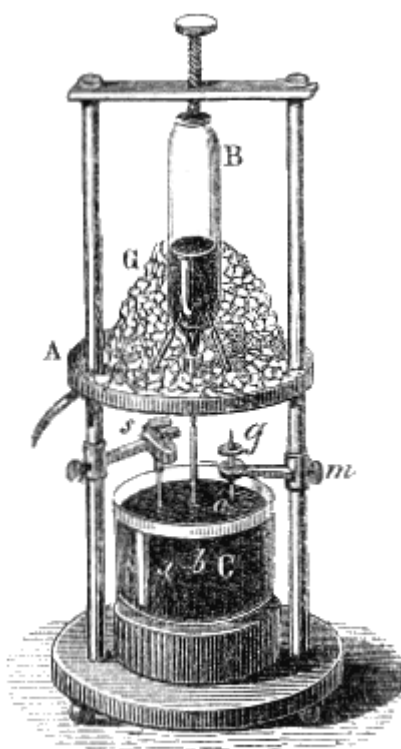


Fig. 182.

Si chiude finalmente con un pò di cera la punta *b*, mediante il pezzo *a*, e si nota la pressione indicata dal barometro. Rappresentandola con *H'*, la pressione nel serbatoio B è rappresentata da *H'-h*.

Prese queste misure, si leva il serbatoio dal ghiaccio, e lo si pesa per avere il peso *P* del mercurio, che vi si è introdotto. Si riempie in seguito questo serbatoio completamente di mercurio a zero, e si determina il peso *P'* del mercurio contenuto tanto nel serbatoio, quanto nel tubo.

Indicando allora con *k* il coefficiente di dilatazione del vetro, con *α* quello dell'aria, e con *D* la densità del mercurio a zero, si determina *α* col seguente calcolo, il volume del serbatoio e del tubo a zero è *P'/D*, giusta la formola  $P = VD$  (106); per conseguenza a *t* gradi questo volume è  $P'/D(1+kt)$  (267, prob. V), alla pressione *H* che aveva luogo, quando si è chiuso alla lampada. Dunque per la legge di Mariotte, alla pressione 76 esso è  $P'(1+kt)H/D76$  [1]. Ora, in forza della formola  $P = VD$ , il volume dell'aria, che rimane nel serbatoio è rappresentato  $(P'-P)/D$ , a zero ed alla pressione *H'-h*.

Sotto la stessa pressione, ma a *t* gradi, questo volume è dunque  $(P'-P)/D(1+αt)$ ; ed alla pressione 76, diventa  $(P'-P)(1+αt)(H'-h)/76D$  [2]. Ora i volumi rappresentati dalle formole [1] e [2] altro non sono che il volume del serbatoio e del tubo a *t* gradi ed alla pressione 76; dunque essi sono uguali. Per conseguenza togliendo il denominatore comune, si ha l'equazione:

$$P'(1+kt)H = (P'-P)(1+αt)(H'-h) [3].$$

dalla quale si deduce il valore di *α*.

Così operando, Regnault trovò, da zero a 100 gradi, e per pressioni comprese tra 0<sup>m</sup>,30 e 0<sup>m</sup>,50, i coefficienti seguenti:

Aria	0,003665
Idrogeno	0,0036678
Azoto	0,0036682
Acido solforoso	0,0036696
Acido cloridrico	0,0036812
Cianogeno	0,0036821
Acido carbonico	0,0036896

Vediamo da questi numeri, che i coefficienti dei gas differiscono tra loro soltanto di quantità piccolissime. Regnault ha inoltre constatato che ad una stessa temperatura la dilatazione di qualsivoglia gas è tanto maggiore quanto più forte è la pressione a cui viene assoggettato. Finalmente questo scienziato ha osservato che i coefficienti di dilatazione di due gas tanto più fra loro differiscono, quanto maggiori sono le pressioni cui si sottopongono.

**269. Termometro ad aria.** - Il *termometro ad aria*, come dallo stesso nome si rileva, è fondato sulla dilatazione dell'aria. Allorquando vien desso destinato a misurare delle piccole variazioni di temperatura, gli si dà la stessa forma del tubo di cui si servì Gay-Lussac per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas (fig. 180); si compone cioè d'un serbatoio di vetro, al quale è saldato un lungo tubo capillare. Riempito perfettamente d'aria disseccata il serbatoio, si fa passare nel tubo un indice d'acido solforico colorato in rosso; poi si gradua l'istrumento in gradi centesimali confrontando i movimenti dell'indice con quelli d'un termometro a mercurio. Ma, l'estremità del tubo di questo termometro deve rimanere aperta, altrimenti per simultaneo condensarsi o dilatarsi dell'aria, che si trova al disopra dell'indice, e di quella che è nel serbatoio, l'indice rimarrebbe stazionario. Onde

risulta che le indicazioni del termometro ad aria sono influenzate dalla pressione atmosferica, e che però è necessaria una correzione ad ogni osservazione.

Quando si tratta di misurare variazioni di temperatura alquanto considerevoli, siccome l'incremento di volume è allora grandissimo, si adotta per termometro ad aria un tubo simile a quello che servì per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas nell'apparato di Regnault (fig. 181 e 182).

Operando con questo tubo come nell'esperienza del paragrafo 268, si determinano le quantità  $P$ ,  $P'$ ,  $H$ ,  $H'$  ed  $h$ , che entrano nell'equazione [3], e siccome  $\alpha$  e  $k$  si conoscono, da quell'equazione si deduce la temperatura  $t$ , a cui è giunto il tubo.

Secondo le ricerche di Regnault, il termometro ad aria ed il termometro a mercurio sono sensibilmente d'accordo sino a 260 gradi; ma oltre un tal limite la dilatazione del mercurio è più rapida di quella dell'aria.

**270. Densità dei gas.** - La *densità* di un gas, ovverosia il suo *peso specifico*, è il rapporto d'un certo volume di questo gas a quello d'uno stesso volume d'aria, essendo, tanto il gas che l'aria a zero ed alla pressione  $0^m,76$ .

Ammessa questa definizione, per conoscere la densità di un gas bisogna cercare il peso di un certo volume di questo gas a zero ed alla pressione  $0^m,76$ , poi quello di uno stesso volume d'aria alla medesima temperatura ed alla stessa pressione, e dividere il primo peso pel secondo. A tale intento si fa uso di un pallone di vetro della capacità di 8 a 10 litri, il collo del quale è munito di robinetto, che può applicarsi a vite sulla macchina pneumatica. Si pesa questo pallone successivamente vuoto, pieno d'aria e pieno del gas, di cui si cerca la densità, essendo l'aria ed il gas disseccati col medesimo processo come nell'apparecchio rappresentato nella figura 181. Sottraendo dal peso ottenuto nelle ultime due pesate quello del pallone vuoto, si ha il peso dell'aria ed il peso del gas sotto lo stesso volume. Dato il caso che durante queste diverse pesate la temperatura fosse stata costantemente zero e la pressione  $0^m,76$ , allora non resterebbe che a dividere il peso del gas pel peso dell'aria, ed il quoziente sarebbe la densità cercata. Ma il processo, che noi abbiamo fatto conoscere, richiede in generale molte correzioni per ridurre i due gas a zero ed alla pressione  $0^m,76$ , non che per ridurre a zero la capacità del pallone.

Per fare queste correzioni devesi dapprima aver cura di operare sopra dei gas secchi, ciò che si ottiene facendosi passare su delle materie disseccanti prima d'introdurli nel pallone; e l'aria deve passare su della potassa caustica per perdere l'acido carbonico che essa contiene. Di più siccome le migliori macchine pneumatiche non fanno mai il vuoto perfetto, onde non tener conto, nelle pesate, del gas che resta nel pallone, si farà il vuoto ad ogni volta fino a che il provino marchi la stessa tensione e.

Ciò posto, si fa il vuoto nel pallone, poscia vi si lascia entrare dell'aria secca; e così di seguito per parecchie volte sino a che il pallone sia perfettamente secco. Facendo allora il vuoto un'ultima volta sino a che il provino segni la tensione  $e$ , si pesa e si ha il peso  $p$  del pallone, vuoto. Si lascia allora rientrare lentamente l'aria attraverso a tubi contenenti gli uni del cloruro di calcio, gli altri della potassa; si pesa di nuovo e trovasi che il peso del pallone pieno è  $P$ . Chiamando  $H$  l'altezza barometrica e  $t$  la temperatura al momento della pesata,  $P-p$  dunque è il peso dell'aria contenuta nel pallone alla temperatura  $t$  e alla pressione  $H-e$ .

Per ricondurre questo peso alla pressione 760 e alla temperatura 0, sieno  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione dell'aria e  $\delta$  il coefficiente di dilatazione cubica del vetro. Secondo la legge di Mariotte, il peso che è  $P-p$  alla pressione  $H-e$ , sarà, alla pressione 760,  $(P-p)/760/(H-e)$ , la temperatura essendo tuttavia  $t$ . Ora, se questa diventa 0, la capacità del pallone diminuisce nel rapporto  $(1+\delta t)$  ad 1, mentre che il peso del gas aumenta nel rapporto di 1 ad  $(1+at)$ , come dipende dai problemi V e VI (264). Il peso dell'aria contenuta nel pallone a 0 ed alla pressione 760, è dunque

$$(P-p)/760/(H-e) \cdot (1+at)/(1+\delta t) \quad (1)$$

Sieno egualmente  $a'$  il coefficiente di dilatazione del gas di cui si cerca la densità,  $P'$  il peso del pallone pieno di questo gas, alla temperatura  $t'$  ed alla pressione barometrica  $H'$ , e finalmente  $p'$  il peso del pallone vuoto quando se ne è ritirato il gas sino alla tensione  $e$ ; il peso del gas contenuto nel pallone, alla pressione 760 e alla temperatura 0, sarà rappresentato da

$$(P'-p')/760/(H'-e) \cdot (1+a't')/(1+\delta t') \quad (2).$$

Dividendo la formola (2) per la formola (1), si ha dunque per la densità cercata

$$D = (P'-p')/(H'-e) \cdot (1+a't')/(1+\delta t') \cdot (P-p)/(H-e) \cdot (1+at)/(1+\delta t).$$

Se durante l'esperienza la temperatura e la pressione non variano, si ha  $D = (P'-p')/(P-p) \cdot (1+at)/(1+at')$ ; e finalmente se si suppone  $a = a'$ , risulta  $D = (P'-p')/(P-p)$ .

**271. Metodo di Regnault per trovare la densità dei gas.** - Regnault modificò il processo in modo che siamo dispensati d'una parte delle correzioni. A tal uopo; si sospende il pallone, che serve a pesare i gas al piatto d'una bilancia, e lo si equilibra con un secondo pallone della stessa capacità ed ermeticamente chiuso, che si sospende all'altro piatto.

Questi due palloni, dilatandosi in pari tempo, spostano sempre la stessa quantità d'aria; quindi le variazioni di pressione e di temperatura dell'atmosfera non hanno influenza veruna sulle pesate. Finalmente, quando si empie il primo pallone d'aria e del gas, di cui si cerca la densità, lo si colloca in un vaso di zinco circondato di ghiaccio. Per tal modo esso si trova alla temperatura del ghiaccio fondentesi, ed avendo cura di chiudere il robinetto soltanto allora che il gas introdotto è esso pure a zero, si evitano le correzioni di temperatura. Non resta che a ridurre i pesi dei due gas alla stessa pressione 0<sup>m</sup>,76, locchè facilmente si ottiene sapendosi che questi pesi sono proporzionali alle pressioni.

**272. Densità dei gas che intaccano l'ottone.** - Pei gas che intaccano l'ottone, come, per es., il cloro, non possiamo far uso di un pallone a robinetto. Si adopera allora un vaso smerigliato, nel quale s'introduce il gas mediante un tubo ricurvo, che raggiunge il fondo del vaso, avendo cura di tener quest'ultimo ritto o capovolto, secondo che il gas che si introduce è più o meno pesante dell'aria. Quando si crede che tutta l'aria sia espulsa, si toglie il tubo e si chiude il vaso. Pesando allora quest'ultimo pieno di gas, il peso che si ottiene risulta dalla somma del peso del vaso e di quello del gas, diminuita del peso dell'aria spostata (159). Ora il peso del vaso vien di leggeri determinato, e se noi misuriamo la sua capacità, cercando il volume d'acqua ch'esso contiene, otteniamo il suo volume, e per conseguenza il peso dell'aria spostata.

Laonde, se dal peso ottenuto pesando il vaso pieno di gas si sottrae il peso del vaso e vi si aggiunge quello dell'aria spostata, si ha il peso cercato. Non resta quindi che a dividere il peso del gas per quello dell'aria, avendo cura però di fare le necessarie correzioni di temperatura e di pressione, onde ridurre i due pesi allo stesso volume, alla stessa temperatura ed alla stessa pressione.

*Densità dei gas a zero ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76, presa per unità quella dell'aria*

Aria	1,0000	Acido solfidrico	1,1912
Idrogeno	0,0692	Acido cloridrico	1,254
Idrogeno protocarbonato	0,559	Protossido d'azoto	1,527
Gas ammoniaco	0,5967	Acido carbonico	1,529
Ossido di carbonio	0,967	Cianogeno	1,86
Azoto	0,9714	Acido solforoso	2,2474
Biossido d'azoto	1,039	Cloro	3,44
Ossigeno	1,1056	Acido iodidrico	4,443



# CAPITOLO V

## CANGIAMENTI DI STATO, VAPORI

**273. Fusione, sue leggi.** - Finora dei diversi fenomeni presentati dai corpi sotto l'influenza del calorico non trattammo che della loro dilatazione. Ora, considerando dapprima solamente i solidi, è facile riconoscere che questa dilatazione ha un limite. Infatti, di mano in mano che un corpo assorbe una maggior quantità di calorico, la forza ripulsiva, che questo esercita fra le molecole, aumenta e giunge un istante in cui l'attrazione molecolare è insufficiente a trattenere il corpo allo stato solido. Un nuovo fenomeno allora si produce; avvi fusione, vale a dire passaggio dallo stato solido allo stato liquido per l'influenza del calorico.

Tuttavia, molte sostanze, come la carta, il legno, la lana, alcuni sali, non fondonsi sotto l'azione di una temperatura elevata, ma sono decomposte. Fra tutti i corpi semplici un solo finora non ha potuto essere fuso dall'azione delle più intense sorgenti di calore, ed è il carbonio.

Tuttavia, assoggettandolo all'azione d'una fortissima corrente elettrica, Despretz arrivò ad ammolire questo corpo fino a renderlo flessibile, il che indica uno stato vicino della fusione.

L'esperienza dimostra che la fusione dei corpi è costantemente soggetta alle due leggi seguenti:

1.° *Ogni corpo entra in fusione ad una temperatura determinata, invariabile per ogni sostanza, se la pressione è costante.*

2.° *Qualunque sia l'intensità di una sorgente di calore dal momento che la fusione incomincia, la temperatura cessa d'innalzarsi, e rimane costante fintantochè la fusione sia completa.*

Temperatura di fusione di diverse sostanze			
Mercurio	-40°	Lega di d'Arcet (1 piombo, 1 stagno, 4 bismuto)	-94°
Ghiaccio	0	Solfo	111
Sego	33	Stagno	228
Fosforo	44	Bismuto	264
Spermaceti	49	Piombo	335
Potassio	55	Antimonio	450
Acido margarico	57	Zinco	500
Stearina	60	Argento	1000
Cera bianca	63	Oro	1250
Acido stearico	70	Ferro	1500
Sodio	90		

Hopkins, in Inghilterra, ha recentemente constatato mediante esperienza che la temperatura di fusione si innalza in modo sensibile di mano in mano che la pressione aumenta. I corpi sui quali ha egli sperimentato sono il solfo, la cera, la stearina e lo spermaceti. M. W. Thomson ha osservato il contrario pel ghiaccio; vale a dire che il suo punto di fusione si abbassa quando la pressione cresce. Da ciò rilevasi che la temperatura di fusione, per uno stesso corpo, non è fissa, come si è creduto fin'ora, ma varia colla pressione.

**274. Calorico latente.** - Se nel passaggio d'un corpo dallo stato solido allo stato liquido la temperatura rimane costante per tutta la durata della fusione (273, 2°), qualunque sia l'intensità della sorgente di calore, bisogna conchiudere che i corpi per cangiare di stato assorbono una quantità di calorico considerevole, il cui unico effetto è quello di mantenerli allo stato liquido. Questa quantità di calorico, che non agisce sul termometro, e che in certo modo si combina colle molecole dei corpi, chiamasi *calorico latente* o *calorico di fusione*.

L'esperienza seguente serve a dare un'idea esatta di ciò che bisogna intendere per calorico latente. Se si mescola dapprima 1 chilogrammo d'acqua a zero collo stesso peso d'acqua a 79 gradi, si hanno immediatamente 2 chilogrammi d'acqua 39  $\frac{1}{2}$ , vale a dire a una temperatura media tra quelle dei due liquidi mescolati, che è quanto facilmente potevasi prevedere, poichè amendue erano della stessa natura ed in quantità eguale. Ma se si mescola 1 chilogrammo di ghiaccio triturato con

un egual peso d'acqua a 79 gradi, il ghiaccio tosto si fonde, e si ottengono 2 chilogrammi d'acqua a zero. Pertanto si vede, che senza cangiar temperatura ed unicamente per fondersi, 1 chilogrammo di ghiaccio assorbe la quantità di calorico necessaria ad elevare la temperatura di 1 chilogrammo d'acqua da zero a 79 gradi. Questa quantità di calorico rappresenta dunque il calorico di fusione od il calorico latente del ghiaccio.

Ogni corpo ha un calorico latente particolare; quanto prima vedremo come lo si determini mediante il calcolo.

**275. Soluzione.** Un corpo si *scioglie* quando si liquefa per l'effetto dell'affinità che si esercita tra le sue molecole e quelle d'un liquido. La gomma arabica, lo zucchero, la maggior parte dei sali, si sciolgono nell'acqua.

Durante la soluzione, come durante la fusione, evvi assorbimento di una quantità maggiore o minore di calorico latente. Questo avviene perchè la soluzione di un sale determina in generale un abbassamento di temperatura. Tuttavia si dà il caso che per certe soluzioni la temperatura non si abbassi, anzi si elevi. Questo si spiega osservando che in questo caso si producono due effetti simultanei e contrari. Il primo è il passaggio dallo stato solido allo stato liquido, effetto che dà origine ad un abbassamento di temperatura; il secondo è la combinazione del corpo disciolto col liquido. Ora ogni combinazione chimica sviluppa calore. Per conseguenza, secondo che l'uno dei due effetti predomini, o secondo che sieno eguali, evvi produzione di freddo o caldo, oppure la temperatura rimane costante.

**276. Solidificazione, sue leggi.** - La *solidificazione* o *congelazione* è il passaggio dallo stato liquido allo stato solido. Questo fenomeno è sempre soggetto alle due leggi seguenti, che sono le reciproche di quelle della fusione e che si constata coll'esperienza.

1.<sup>a</sup> *La solidificazione si produce per ogni corpo ad una temperatura fissa, che è precisamente quella della sua fusione;*

2.<sup>a</sup> *Dal momento in cui comincia la solidificazione, sino a quello in cui si compie, la temperatura rimane costante.*

Questa seconda legge dipende dal rendersi libero al momento della solidificazione il calorico latente assorbito durante la fusione.

Parecchi liquidi, come l'alcool, l'etere, non si solidificarono nemmeno sotto l'azione dei freddi più intensi ai quali si poterono sottomettere.

Però, mediante un freddo prodotto da una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto, d'acido carbonico solido e di etere, Despretz giunse a dare all'alcool una consistenza tale che il vaso in cui era contenuto poté essere capovolto senza che il liquido ne uscisse.

**277. Cristallizzazione.** Generalmente i corpi, che lentamente passano dallo stato solido allo stato liquido, prendono forme geometriche determinate, che si chiamano *cristalli*, come sarebbero quelle di tetraedri, di cubi, di prismi, di romboedri. Se il corpo, che si solidifica, è in fusione, come il solfo, il bismuto, dicesi che la cristallizzazione si fa per *via secca*; ma se il corpo è in soluzione in un liquido, si dice che la cristallizzazione si fa per *via umida*. Lasciando lentamente evaporare i liquidi, che tengono in soluzione dei sali, questi si cristallizzano. La neve, il ghiaccio che si forma, i sali ci offrono esempi di cristallizzazione.

**278. Formazione del ghiaccio.** - L'acqua distillata si solidifica a zero, e prende allora il nome di *ghiaccio*; ma la congelazione avviene solo lentamente, perchè la parte che si solidifica cede il suo calorico latente alla rimanente massa liquida.

Il ghiaccio offre il fenomeno rimarchevole d'essere men denso dell'acqua. Abbiám già visto infatti, che pel raffreddamento l'acqua si contrae soltanto fino a 4 gradi (265); partendo da questo punto sino a zero essa si dilata. Ora questo incremento di volume dura e cresce ancora all'istante della congelazione; e si trova che il volume del ghiaccio a zero è 1,075 volte quello dell'acqua a 4 gradi. Pel fatto di questa dilatazione, la densità del ghiaccio è solamente 0,930 di quella dell'acqua; e questa è la causa per cui galleggia alla superficie di questo liquido.

L'incremento di volume che piglia il ghiaccio formandosi è accompagnato da una considerevole forza espansiva, che fa scoppiare i vasi che lo contengono. Le pietre gelive che screpolano dopo il gelo ripetono questo effetto dall'acqua, che è penetrata nei loro fori, e vi si è congelata.

Williams in Inghilterra, per dimostrare la forza espansiva del ghiaccio, collocò in un'atmosfera inferiore di parecchi gradi a zero una bomba piena d'acqua, dopo di averne saldamente turato l'orifizio a mezzo di un turacciolo di legno. Al momento della congelazione, questo turacciolo venne lanciato con forza ad una gran distanza, e si accumulò un cerchio di ghiaccio sugli orli dell'orifizio.

L'acqua non è la sola sostanza che subisce un aumento di volume solidificandosi, e che quindi sia più densa allo stato liquido che allo stato solido. La ghisa, il bismuto, l'antimonio presentano gli stessi fenomeni. Molte sostanze invece, come il mercurio, il fosforo, lo zolfo, la stearina, al momento della solidificazione si contraggono.

**279. Ritardo della congelazione dell'acqua.** - La temperatura della congelazione dell'acqua è ritardata dai sali o dalle altre sostanze, che essa tiene in soluzione. L'acqua del mare, per es., si solidifica soltanto a  $-2^{\circ},5$ .

Il punto di solidificazione dell'acqua pura può essere abbassato di parecchi gradi, quando essa sia privata dell'aria, che tiene ordinariamente in soluzione, e che la si preservi da qualsivoglia agitazione. Infatti, in un vaso circondato d'una mescolanza frigorifera, e collocato sotto il recipiente d'una macchina pneumatica, per isvolgerne l'aria, l'acqua può giungere alla temperatura di  $-12$  gradi ed anche ad una inferiore senza solidificarsi. Ma se allora si imprime alla sua massa una leggera scossa, una parte del liquido subito si congela, si osserva il notevole fenomeno che la massa rimasta liquida ascende tostamente a zero. Quest'elevazione di temperatura è dovuta al calorico latente, che è divenuto libero per la formazione del ghiaccio.

Anche un'agitazione troppo rapida può opporsi alla congelazione dei liquidi. Lo stesso dicasi di tutto le azioni che impedendo il movimento delle molecole impediscono loro di raggrupparsi nelle condizioni necessarie allo stato solido. In tal modo Despretz poté raffreddare dell'acqua collocata entro tubi assai capillari fino a  $-20$  gradi senza che si congelasse. Questa esperienza può servire a spiegare come le piante, entro certi limiti, resistono al gelo, giacchè i vasi che contengono l'umore sono assai capillari. Finalmente, il signor Mousson, in Germania, ha trovato che una potente compressione non solo può ritardare la congelazione dell'acqua, ma impedire che sia completa.

**280. Mescolanze frigorifere.** - L'assorbimento del calorico allo stato latente dei corpi che passano dallo stato solido allo stato liquido (274), è stato utilizzato per produrre freddi artificiali più o meno intensi. Questo risultato si ottiene mescolando sostanze che hanno affinità le une colle altre, o delle quali una almeno è solida, come sarebbe acqua e un sale, ghiaccio e un sale, un acido ed un sale. Allora essendo la fusione accelerata dall'affinità chimica, la porzione che si fonde toglie alla residua mescolanza una gran quantità di calorico, che diventa latente; onde risulta un abbassamento di temperatura qualche volta assai considerevole.

La tavola seguente indica le proporzioni e la natura delle sostanze da adoperarsi per ottenere un determinato abbassamento di temperatura.

SOSTANZE	PARTI IN PESO	RAFFREDDAMENTO
Solfato di soda	8	$+10^{\circ}$ a $-17^{\circ}$
Acido cloridrico	5	
Ghiaccio frantumato o neve	2	$+10^{\circ}$ a $-18^{\circ}$
Sal marino	1	
Solfato di soda	3	$+10^{\circ}$ a $-19^{\circ}$
Acido azotico allungato	2	
Solfato di soda	6	$+10^{\circ}$ a $-26^{\circ}$
Azotato d'ammoniaca	5	

Acido azotico allungato	4	
Fosfato di soda	9	+10° a -29°
Acido azotico allungato	4	

Le mescolanze frigorifere sono frequentemente utilizzate in chimica, in fisica, nell'industria e nell'economia domestica. Da alcuni anni si fabbrica sotto il nome di ghiacciaia delle famiglie, un piccolo apparato per ottenere del ghiaccio in tutte le stagioni, mediante una soluzione di solfato di soda nell'acido cloridrico; 6 chilogrammi di questo sale e 5 d'acido bastano per dare 5 o 6 chilogrammi di ghiaccio in un'ora. l'apparato consiste in un cilindro metallico diviso in quattro scompartimenti concentrici. Nel centro evvi l'acqua che si vuol congelare; nello scompartimento successivo la mescolanza frigorifera; nel terzo ancor dell'acqua; e finalmente nell'ultimo un corpo poco conduttore, quale il cotone, destinato ad opporsi all'assorbimento del calorico esterno. Onde meglio utilizzare una sostanza frigorifera conviene formarla soltanto successivamente.

### VAPORI; MISURA DELLA LORO TENSIONE

**281. Vapori.** - Abbiamo già visto (125) chiamarsi *vapori* i fluidi aeriformi, in cui si trasformano per l'assorbimento del calorico molti liquidi, quali sono l'etere, l'alcool, l'acqua, il mercurio. Diconsi liquidi *volatili* quelli che possiedono la proprietà di poter passare allo stato aeriforme, e liquidi *fissi* quelli che non danno vapore a nessuna temperatura, tali sono gli olii grassi. Vi sono corpi solidi, come il ghiaccio, l'arsenico, la canfora, ed in generale le materie odorifere, che danno immediatamente vapori senza passare allo stato liquido.

I vapori sono trasparenti come i gas, e generalmente incolori; si danno solamente pochi liquidi colorati, i cui vapori sono pure colorati.

**282. Vaporizzazione.** - Il passaggio d'un corpo dallo stato liquido allo stato di vapore si indica col nome generale di *vaporizzazione*; ma s'intende specialmente per *evaporazione* ogni produzione lenta di vapore alla superficie di un liquido, e per *ebollizione* una produzione rapida di vapore nella stessa sua massa. Si vedrà quanto prima che alla pressione ordinaria dell'atmosfera, l'ebollizione si produce, come la fusione, soltanto a una determinata temperatura. Lo stesso non avviene dell'evaporazione, che ha luogo per uno stesso liquido a temperature assai diverse; tuttavia pare che al di là d'un certo raffreddamento cessi ogni evaporazione. Il mercurio, per es., non dà più vapori al disotto di -10 gradi; l'acido solforico al disotto di 30 gradi.

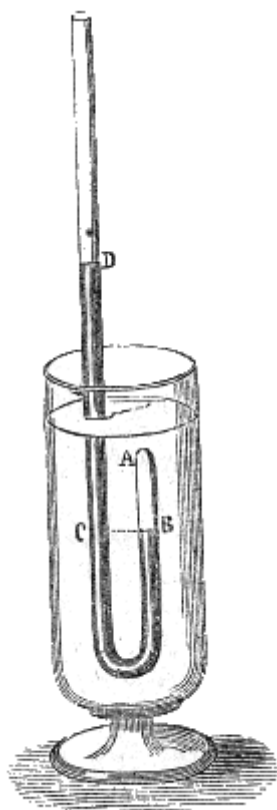


Fig. 183.

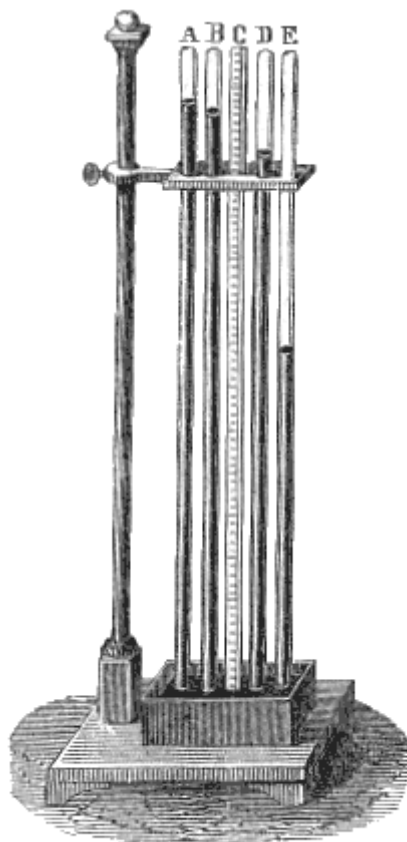


Fig. 184 (a.-88).

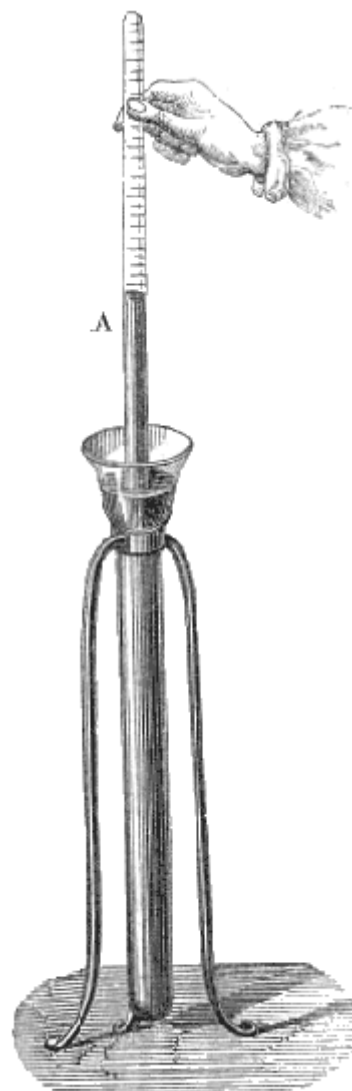


Fig. 184 bis.

**283. Forza elastica dei vapori.** - I vapori, come i gas, hanno una forza elastica, in virtù della quale esercitano sulle pareti dei vasi che li contengono una pressione, più o meno considerevole. Per dimostrare la tensione dei vapori e nello stesso tempo renderla sensibile all'occhio, si empie per metà di mercurio un tubo di vetro ricurvo a sifone (fig. 183); quindi, introdotta una goccia di etere nel ramo più corto, che è chiuso, si immerge il tubo in un bagno d'acqua a 45 gradi circa. Allora, abbassandosi il mercurio lentamente nel ramo più corto, lo spazio AB si riempie d'un gas, che ha tutta l'apparenza dell'aria, e la forza elastica del quale fa evidentemente equilibrio alla colonna di mercurio CD, come pure alla pressione atmosferica che si esercita in D. Ora questo gas altro non è che vapore di etere. Se si raffredda l'acqua del vaso, o se si estrae il tubo dal bagno, locchè produce lo stesso effetto, si vede sparir rapidamente il vapore che empie lo spazio AB, e di nuovo formarsi la goccia di etere. Se al contrario vieppiù si riscalda l'acqua del bagno, il livello del mercurio si abbassa al disotto del punto B, il che indica un aumento di tensione.

**284. Formazione dei vapori nel vuoto.** - Nell'esperienza precedente il passaggio allo stato di vapore è lento. Lo stesso accade quando un liquido volatile è esposto liberamente all'aria. In ambedue i casi la pressione atmosferica è un ostacolo alla evaporazione; ma così non succede quando i liquidi sono situati nel vuoto. Non incontrando allora la forza elastica dei vapori veruna resistenza, la loro formazione è istantanea.

Per dimostrarlo si immergono parecchi tubi barometrici in una medesima vaschetta (fig. 184). Empiti questi tubi di mercurio, se ne fissa uno, per es. il tubo A, acciocchè serva di barometro, quindi si introducono alcune gocce d'acqua d'alcool e di etere, rispettivamente nei B, D, E. Si

osserva che all'istante in cui in ciascuno di questi tubi il liquido penetra nel vuoto barometrico, il livello del mercurio si abbassa come mostra la figura. Ora, non è il peso del liquido introdotto, che deprime il mercurio, poichè questo peso è una piccolissima frazione di quello del mercurio spostato. Fuvvi adunque per ogni liquido una produzione istantanea di vapore, la forza elastica del quale abbassò la colonna di mercurio.

L'esperienza precedente mostra pure che la depressione del mercurio non è eguale in tutti e tre i tubi; essa è maggiore nel tubo in cui è l'alcool che in quello in cui è l'acqua, e ancor maggior che negli altri due nel tubo in cui trovasi l'etere. Noi possiamo quindi fin d'ora ammettere le due leggi seguenti sulla formazione dei vapori:

1.<sup>a</sup> *Nel vuoto tutti i liquidi volatili vaporizzano istantaneamente.*

2.<sup>a</sup> *A pari temperatura i vapori di diversi liquidi non possiedono la stessa forza elastica.*

Per es., a 20 gradi la tensione del vapore di etere è approssimativamente 25 volte maggiore di quella del vapore d'acqua.

**285. Spazio saturo, tensione massima.** - Introducendo in quantità piccolissima nel tubo di un barometro un liquido volatile, come l'etere, esso vaporizza istantaneamente e completamente, e la colonna di mercurio non raggiunge tutta quella depressione che può pigliare; poichè, se si introduce di nuovo una piccolissima quantità d'etere, si vede aumentare la depressione. Ora così continuando giunge un istante in cui l'etere, che penetra nel tubo, cessa di vaporizzare e rimane allo stato liquido. Adunque v'è per una determinata temperatura un limite alla quantità di vapore che può formarsi in un dato spazio. Per indicarlo si dice che questo spazio è saturo (fig. 184<sup>bis</sup>).

Osserviamo inoltre che dal momento in cui la vaporizzazione dell'etere cessa, cessa pure la depressione del mercurio. Vi è dunque un limite anche per la tensione del vapore, limite che, come dimostreremo quanto prima (288), varia colla temperatura, ma che per una determinata temperatura è indipendente dalla pressione.

Onde far vedere che in uno spazio chiuso, saturo di vapore e che contiene del liquido *in eccesso*, rimanendo costante la temperatura, evvi una *tensione massima*, che il vapore non può oltrepassare, qualunque sia la pressione, si fa uso di un tubo barometrico immerso in una vaschetta profonda (fig. 184<sup>bis</sup>). Introdotta in questo tubo, dapprima riempito di mercurio, una quantità d'etere sufficiente onde dopochè la camera barometrica è satura, rimanga ancora del liquido in eccesso, si nota l'altezza del mercurio nel tubo mediante una scala fissata alla vaschetta. Ora sia che s'immerga di più il tubo, il che tende a comprimere il vapore, sia che lo si sollevi, il che tende a dilatarlo, l'altezza della colonna di mercurio rimane costante. La tensione del vapore rimane adunque la stessa in ambedue i casi, poichè la depressione non aumenta nè diminuisce. Da ciò si conchiude che quando il vapore contenuto in uno spazio saturo è compresso, una parte torna allo stato liquido; e che se al contrario la pressione diminuisce, una parte del liquido rimasto in eccesso vaporizza, e lo spazio occupato dal vapore di nuovo si satura; ma sì nell'uno che nell'altro caso la tensione e la densità del vapore rimangono costanti.

**286. Spazio non saturo.** - Secondo ciò che precede, i vapori presentansi sotto due stati ben distinti secondo che uno spazio ne è o non ne è saturo. Nel primo stato, quello di saturazione, quello in cui sono a contatto col loro liquido, essi diferiscono completamente e dai gas, poichè, per una data temperatura, essi non possono essere compressi, nè dilatati, la loro forza elastica e la loro densità rimanendo costante.

Nel secondo stato, al contrario, quello di non saturazione, in cui essi non sono a contatto col loro liquido, sono perfettamente paragonabili ai gas, di cui possiedono tutte le proprietà. Infatti se ripetesi l'esperienza qui sopra (fig. 184<sup>bis</sup>), non introducendo nel tubo che una piccolissima quantità di etere, in modo che il vapore che si forma non raggiunga lo stato di saturazione e sollevasi allora leggermente il tubo, vedesi il livello del mercurio alzarsi, ciò che indica che la forza elastica del vapore è diminuita. Così pure immergendo il tubo d'avvantaggio, il livello del mercurio si abbassa. Il vapore dunque si comporta qui interamente come un gas, diminuendo la sua tensione quando il volume aumenta, e reciprocamente; e siccome, in ambedue i casi, si osserva che il volume che

prende il vapore è in ragione inversa della pressione, se ne conchiude che *i vapori in istato di non saturazione sono sottoposti alla legge di Mariotte.*

Riscaldando finalmente un vapore in istato di non saturazione, rimarcasi che il suo accrescimento di volume è dello stesso ordine di quello dei gas, e che il numero 0,00366 che rappresenta il coefficiente di dilatazione dell'aria, può esser preso sensibilmente per quello dei vapori.

Riassumendo ciò che precede, vedesi dunque che i vapori in istato di non saturazione sono perfettamente paragonabili ai gas, e che si possono applicar loro tutte le formule relative alla compressibilità e alla dilatabilità di questi ultimi (150 e 267). Ma non bisogna dimenticare che vi ha sempre un limite di pressione o di raffreddamento pel quale i vapori allo stato di non saturazione passano allo stato di saturazione, e che essi hanno allora un maximum di tensione e di densità che non può essere oltrepassato se non in quanto che i vapori, essendo a contatto col loro liquido, la loro temperatura s'innalza.

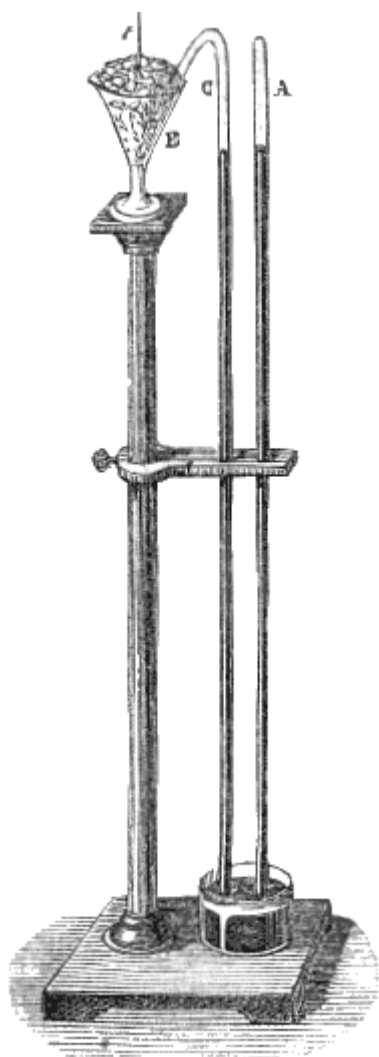


Fig. 185.

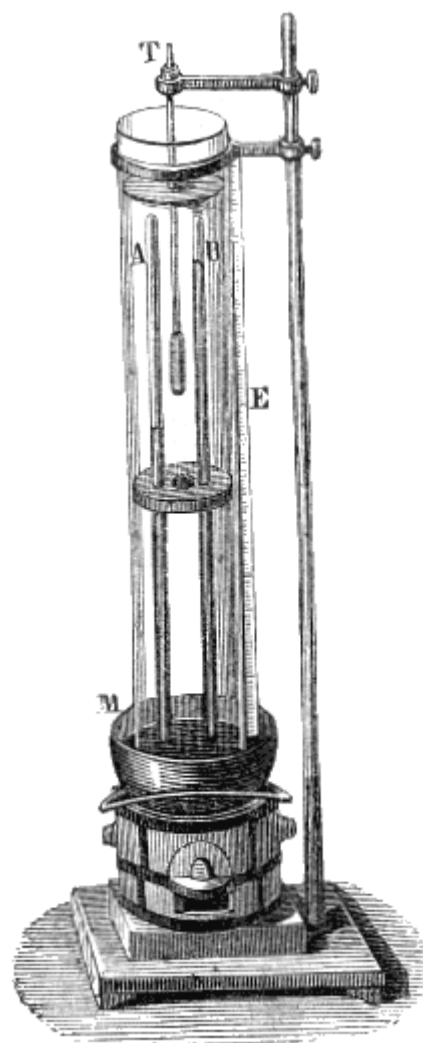


Fig. 186 (a.=1m,07).

**287. Tensione del vapore d'acqua al disotto di zero.** - Per misurare la forza elastica del vapore d'acqua al disotto di zero, Gay-Lussac fece uso di due tubi barometrici pieni di mercurio ed immersi in una medesima vaschetta (fig. 185). Uno di essi, dritto e perfettamente privo d'aria e d'umidità, serve a misurare la pressione atmosferica; l'altro è curvato in modo che una parte della camera barometrica pesca in una mescolanza frigorifera (280). Ciò posto, se si introduce un po' d'acqua nel tubo curvo, si osserva che il livello del mercurio in questo tubo è più basso che nel tubo A d'una quantità che varia, variando la temperatura della mescolanza frigorifera.

A 0° la depressione è in millimetri	4,06
-10	2,-
-20	0,84
-30	0,36

Queste depressioni, che necessariamente dipendono dalla tensione del vapore nella camera barometrica BC, mostrano che a temperature assai basse avvi ancora del vapor d'acqua nell'aria.

Nell'esperienza precedente la parte B e la parte C della camera barometrica in cui trovansi il vapore non partecipano ambedue alla temperatura della mescolanza frigorifera; questo è vero, ma si vedrà quanto prima (291), che quando due vasi, tra loro comunicanti, sono a diseguali temperature, la tensione del vapore è eguale in amendue e corrisponde sempre alla temperatura più bassa.

**288. Tensione del vapore d'acqua tra zero e 100 gradi.** - 1.° *Processo di Dalton.* - Dalton, fisico inglese, morto nel 1844, misurò la forza elastica del vapore da zero a 100 gradi, mediante l'apparato seguente. Due tubi barometri A e B (fig. 186) sono immersi in un catino di ghisa, pieno di mercurio, e collocato sur un fornello. Il barometro B è completamente privo d'aria e d'umidità, e nel barometro A si introduce una piccola quantità d'acqua. Questi due barometri sono tenuti in un vaso cilindrico di vetro pieno d'acqua, nel centro del quale pesca un termometro T, che dà la temperatura del liquido. Riscaldando gradatamente il catino, e per conseguenza l'acqua del vaso, quella che è nel tubo A si vaporizza, di mano in mano che la tensione del vapore aumenta, il mercurio si abbassa. Notando, di grado in grado, sopra una scala E, la depressione che ha luogo nel tubo A, al disotto del livello B, Dalton costruì pel primo una tavola delle forze elastiche del vapore d'acqua sino a 100 gradi.

2.° *Processo di Regnault.* - L'apparato di Dalton offre poca precisione, perchè non si può fare in modo che il liquido del vaso conservi esattamente la stessa temperatura in tutta la sua altezza, e quindi non si ha la temperatura precisa del vapore. Regnault ha modificato questo apparecchio, sostituendo al vaso di vetro una cassa di latta, il fondo della quale porta due tubulature, in cui s'impigliano le estremità superiori dei due tubi A e B, che vi sono trattenute mediante gomma elastica. Nella cassa si mette dell'acqua calda, che copra la sommità dei tubi, e la cui temperatura nell'esperienza di Regnault variò da zero a 50 gradi. Si mescolano continuamente i diversi strati del liquido, onde ottenere una temperatura uniforme in tutte le parti del bagno, nel quale sono collocati due tubi barometrici. Finalmente una lastra di cristallo incastrata nelle pareti della cassa permette di osservare la differenza di livello del mercurio nei due tubi. Mediante questo apparato si potè misurare con precisione la forza elastica del vapore d'acqua da zero a 50 gradi.

**289. Tensione del vapore d'acqua al disopra di 100 gradi.** Apparato di Dulong ed Arago. - Si adoperarono due processi per misurare la forza elastica del vapore d'acqua a temperature superiori a 100 gradi, l'uno da Dulong ed Arago nel 1830, l'altro da Regnault nel 1844.

La figura 187 rappresenta una sezione verticale dell'apparecchio, di cui fecero uso Dulong ed Arago nel 1830 per misurare la forza elastica del vapore d'acqua al disopra di 100 gradi. Quest'apparecchio consisteva in una caldaia *k* di rame, della capacità di 80 litri ed a pareti grossissime. Due canne da fucile *a*, delle quali una sola è visibile nel nostro disegno, pescavano nell'acqua della caldaia, alle pareti della quale erano desse saldamente fissate. Queste canne da fucile, chiuse alla loro parte inferiore, erano piene di mercurio, nel quale erano collocati dei termometri *t*, che facevano conoscere la temperatura dell'acqua e del vapore nella caldaia. La tensione del vapore si misurava per mezzo di un manometro ad aria compressa *m*, previamente graduato sperimentalmente, ed applicato ad una vaschetta di ghisa *d* piena di mercurio. Onde conoscere l'altezza del mercurio nella vaschetta era questa in comunicazione, superiormente ed inferiormente, con un tubo di cristallo *n*, nel quale il livello era sempre lo stesso di quello nella vaschetta. Finalmente un tubo di rame *i* faceva sì che la parte superiore della vaschetta *d* comunicasse con un tubo verticale *c*, che dipartivasi direttamente dalla caldaia e permetteva l'uscita al vapore. Il tubo *i* e la parte superiore della vaschetta *d* erano pieni d'acqua, che si manteneva



costantemente ad una bassa temperatura, facendo circolare intorno al tubo una corrente d'acqua fredda, che effluiva da un serbatoio rappresentato alla destra del disegno.

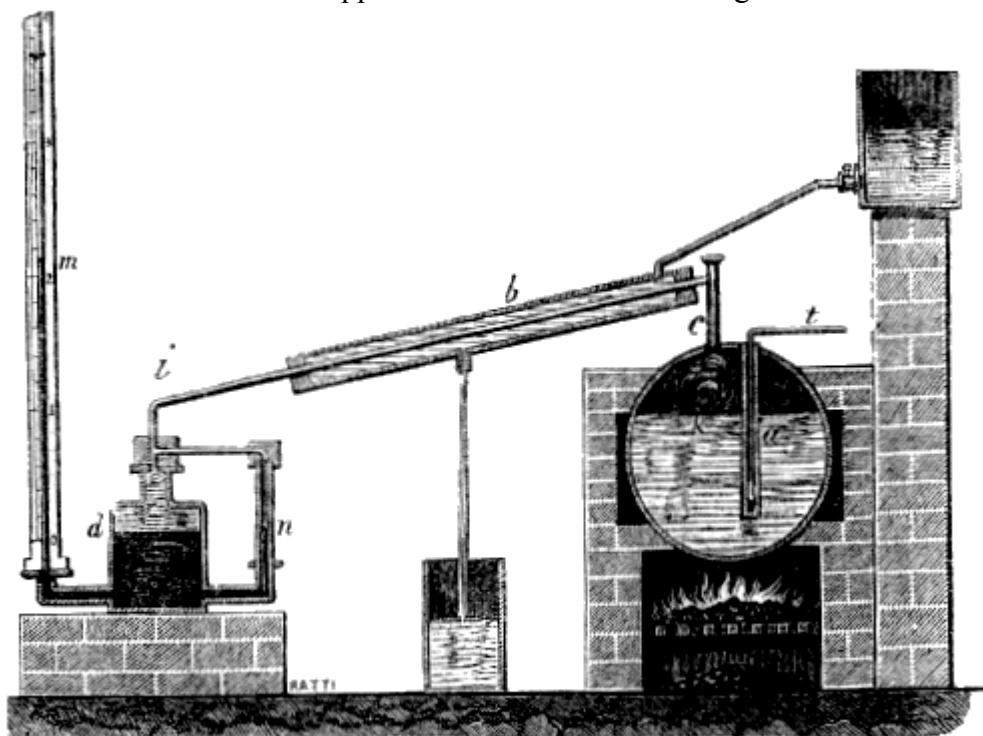


Fig. 187.

Posto ciò, siccome il vapore, che usciva dal tubo *c*, esercitava la sua pressione sull'acqua del tubo *i*, questa pressione si trasmetteva all'acqua ed al mercurio della vaschetta *d*, ed il mercurio saliva nel manometro. Prendendo di grado in grado le temperature segnate dai termometri ed osservando in pari tempo il manometro, Dulong ed Arago hanno così misurato direttamente la tensione del vapore d'acqua sino a 24 atmosfere. Mediante il calcolo la valutarono in seguito sino a 50.

**290. Tensione del vapore d'acqua al disopra e al disotto di 100 gradi. Apparato di Regnault.** - Il processo di Regnault permette di misurare la tensione del vapore, tanto al disotto che al disopra di 100 gradi. Questo processo consiste nel far bollire dell'acqua in un vaso, sotto una pressione conosciuta e nel misurare la temperatura alla quale si produce l'ebollizione. Appoggiandosi allora al principio, che al momento dell'ebollizione la forza elastica del vapore che si sviluppa è precisamente eguale alla pressione che il liquido sopporta (293), si conosce la tensione del vapore e la temperatura corrispondente, e quindi la quistione è risolta.

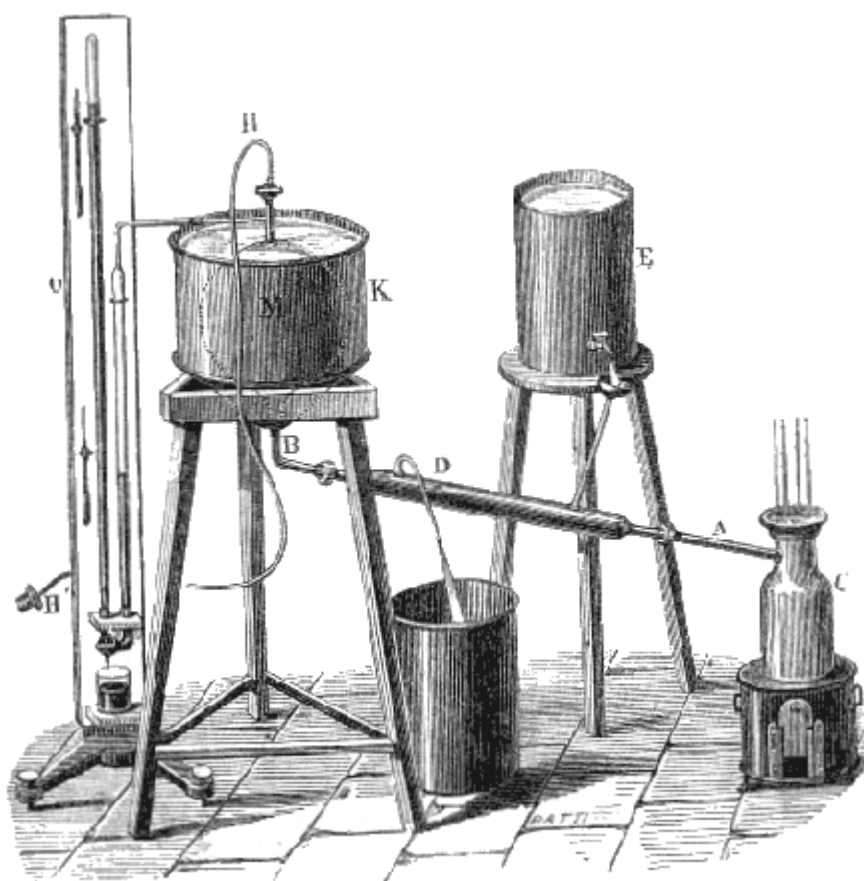


Fig. 188 ( $n=1,70$ ).

L'apparecchio si compone di un vaso di rame C (fig. 188) esattamente chiuso e riempito d'acqua fino ad un terzo circa. Quattro termometri attraversano il coperchio; due pescano nei primi strati del liquido e gli altri due negli strati inferiori. Dal serbatoio C parte un tubo AB, che si adatta all'apertura di un pallone di vetro M, della capacità di 24 litri e pieno d'aria.

Il tubo AB è circondato dal tubo D nel quale circola una corrente d'aria fredda, che effluisce da un serbatoio E. Dalla parte superiore del pallone M partono due tubi: l'uno comunica con un manometro ad aria libera O, vicino all'apparecchio: l'altro tubo HH', che è di piombo, comunica con una macchina pneumatica o con una tromba premente, secondo che si vuol rarefare o comprimere l'aria, che è nel pallone. Finalmente il serbatoio K, nel quale trovasi il pallone, è pieno d'acqua alla temperatura ambiente.

Posto ciò, supponiamo dapprima che si tratti di misurare la forza elastica del vapore d'acqua al disotto di 100 gradi. Si fissa l'estremità H' del tubo di piombo sul piatto di una macchina pneumatica, e mediante questa si rarefa l'aria nel pallone M, e per conseguenza nel vaso C. Riscaldando allora lentamente questo vaso, l'acqua ch'esso contiene entra in ebollizione ad una temperatura tanto più inferiore a 100 gradi quanto più venne rarefatta l'aria, cioè quanto più debole è la pressione che si esercita sul liquido. D'altronde, condensandosi i vapori nel tubo AB, che viene raffreddato in modo costante, la pressione primitivamente indicata dal manometro non aumenta, il che dimostra che la tensione del vapore durante l'ebollizione rimane eguale alla pressione che si esercita sul liquido.

Consultando allora da una parte il manometro e dall'altra i termometri, si determina la tensione del vapore ad una temperatura conosciuta. Lasciando poscia rientrare un po' d'aria nei tubi e nella caldaia onde aumentare la pressione, si fa una nuova osservazione, e si continua per tal modo sino a 100 gradi.

Se si tratta di misurare la forza elastica del vapore al disopra di 100 gradi, si mette l'orifizio H' in comunicazione con una tromba premente, mediante la quale si sottopone l'aria del pallone e della caldaia a pressioni successive superiori a quella dell'atmosfera. L'ebollizione si trova allora ritardata

(296), e basta osservare simultaneamente il manometro ed i termometri per conoscere la tensione del vapore ad una temperatura superiore a 100 gradi.

Le due tavole seguenti fanno conoscere la tensione del vapor d'acqua secondo Regnault da -30 a 100 gradi, e da 100 a 200 gradi. La prima tavola fu trovata per mezzo dall'apparato testè descritto.

La seconda tavola venne calcolata per mezzo della formola d'interpolazione  $\log F = a + b\alpha^t + c\delta$ , nella quale F rappresenta la forza elastica del vapore,  $t$  la sua temperatura, ed  $a, b, c, \alpha, \delta$ , delle quantità costanti che si calcolano incominciando per determinate cinque forze elastiche, cioè cinque valori di F corrispondenti a temperature conosciute, il che dà luogo a tante equazioni quante sono le incognite.

<i>Tensioni del vapore d'acqua da -30 a 100 gradi, secondo Regnault</i>							
Temperature	TENSIONI in mm di mercurio a zero	Temperature	TENSIONI in mm di mercurio a zero	Temperature	TENSIONI in mm di mercurio a zero	Temperature	TENSIONI in mm di mercurio a zero
-30	0,365	5	6,534	40	54,906	75	288,517
-25	0,553	10	9,165	45	71,391	80	354,643
-20	0,841	15	12,699	50	91,982	85	433,041
-15	1,284	20	17,391	55	117,478	90	525,450
-10	1,963	25	23,750	60	148,791	95	633,778
-5	3,004	30	31,548	65	186,945	100	760,000
0	4,600	35	41,827	70	233,093		

<i>Tensioni del vapore d'acqua da 100° a 230°, 9, secondo Regnault</i>							
Temperature	NUMERO d'atmosfera	Temperature	NUMERO d'atmosfera	Temperature	NUMERO d'atmosfera	Temperature	NUMERO d'atmosfera
100	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	185,8	9	201,9	16	220,3	23
133,9	3	180,3	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	226,8	26
159,2	6	192,1	13	213,0	20	228,9	27
165,3	7	195,5	14	215,5	21	230,0	28

Queste tavole fanno vedere che la forza elastica del vapore d'acqua cresce assai più rapidamente della temperatura; ma questa legge non è conosciuta.

L'acqua è il solo liquido il cui vapore, per l'importanza delle sue applicazioni, abbia fissato l'attenzione dei fisici. La forza elastica dei vapori degli altri liquidi, a differenti temperature, non venne determinata. Si sa solamente che le sostanze in soluzione, come i sali, gli acidi, diminuiscono, a parità di temperatura, la forza elastica dei vapori, e la diminuiscono tanto più quanto più concentrata è la soluzione, poiché l'ebollizione ha luogo soltanto ad una temperatura più elevata.

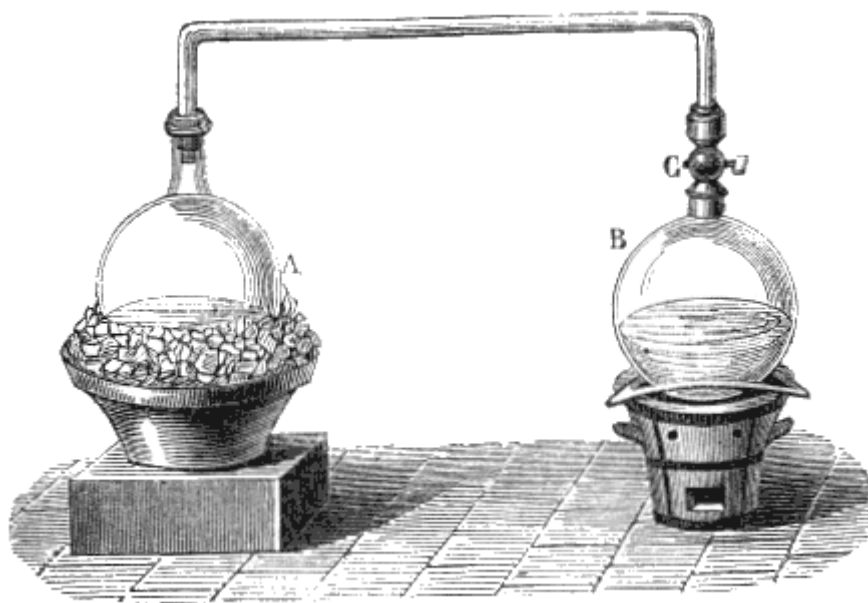


Fig. 189.

**291. Tensione in due vasi comunicanti a differenti temperature.** – Quando si mettono in comunicazione due vasi chiusi, contenenti uno stesso liquido, a diverse temperature, la tensione comune del vapore che si stabilisce in questi due vasi, non è, come si potrebbe credere, la tensione media tra quelle già esistenti in ciascun vaso. Abbiansi per es., due palloni, l'uno A (fig. 189), contenente dell'acqua mantenuta a zero nel ghiaccio che si fonde; l'altro B, contenente dell'acqua a 100 gradi. Finchè questi due palloni non comunicano, la tensione nel primo è in millimetri 4,6, nel secondo 760, secondo le tavole precedenti. Ma appena che si stabilisce la comunicazione, aprendo il robinetto C, il vapore del pallone B, in virtù del suo eccesso di tensione, si precipita nel pallone A, e siccome quest'ultimo è mantenuto a zero, vi si condensa immediatamente; da ciò risulta che il vapore non può acquistare, nel pallone B, una tensione superiore a quella del pallone A, vale a dire quella corrispondente a zero.

Si può dunque ammettere questo principio generale che *quando due vasi, contenenti uno stesso liquido in eccesso ed a temperature diseguali, comunicano tra loro, la tensione del vapore è la stessa in ambedue i vasi, ed è uguale alla tensione corrispondente alla più bassa delle due temperature.*

Quanto prima vedremo come Watt applicò questo principio al condensatore delle macchine a vapore.

**292. Evaporazione; cause che l'accelerano.** - Si vide già (282) che per *evaporazione* si intende una lenta produzione di vapore alla superficie di un liquido. Le stoffe bagnate essiccano all'aria per evaporazione spontanea; per lo stesso motivo un vaso aperto, pieno d'acqua, si vuota completamente alla fine d'un certo tempo. I vapori che si elevano nell'atmosfera, si condensano in nubi e si risolvono in pioggia hanno origine dall'evaporazione che si produce alla superficie dei mari, dei laghi, dei fiumi e del suolo.

Quattro cause influiscono sulla rapidità dell'evaporazione di un liquido.

- 1.° la temperatura;
- 2.° la quantità di vapore dello stesso liquido già sparso nell'atmosfera ambiente;
- 3.° il rinnovamento di quest'atmosfera;
- 4.° l'estensione della superficie di evaporazione.

L'incremento di temperatura accelera l'evaporazione per l'eccesso di forza elastica ch'esso determina nei vapori.

Per comprendere l'influenza della seconda causa, osserviamo che l'evaporazione di un liquido sarebbe nulla in uno spazio saturo del vapore dello stesso liquido, e ch'essa raggiungerebbe il suo massimo in un'aria completamente priva di questo vapore. Ne risulta che fra questi due casi estremi,

la rapidità della evaporazione varia, secondochè l'atmosfera ambiente è già più o meno carica degli stessi vapori.

Nel modo medesimo si spiega l'effetto del rinnovamento di atmosfera; perchè se l'aria o il gas che circonda il liquido non si rinnova, tostamente si satura, ed ogni evaporazione cessa.

L'influenza della quarta causa è evidente.

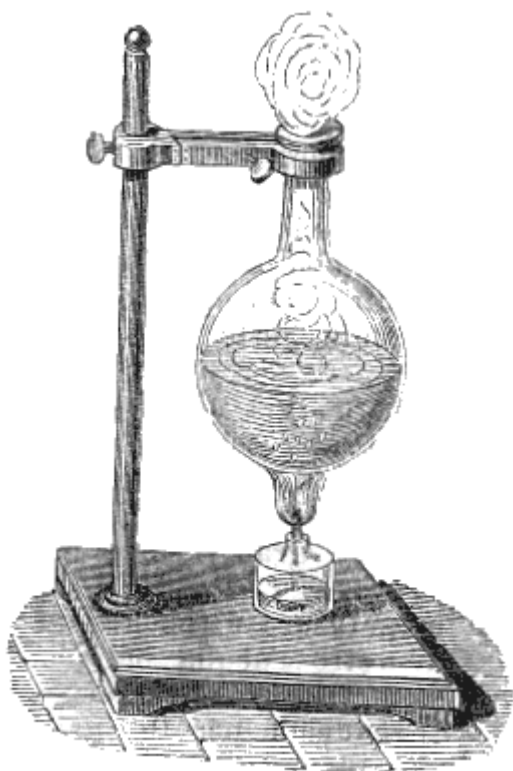


Fig. 190.

**293. Ebollizione; sue leggi.** - Chiamasi *ebollizione* una rapida produzione di vapore, in bolle più o meno grosse, nella massa di un liquido.

Quando si scalda un liquido alla sua parte inferiore, per es., dell'acqua, le prime bolle che appaiono non sono che aria in soluzione nell'acqua, che si svolge. Poi delle piccole bolle di vapore s'innalzano tosto da tutti i punti riscaldati delle pareti; ma, attraversando gli strati superiori, la cui temperatura è più bassa, vi si condensano prima di arrivare alla superficie. La formazione e la condensazione successiva di queste prime bolle di vapore cagionano il fremito che ordinariamente precede l'ebollizione. Finalmente grosse bolle si innalzano e scoppiano alla superficie, il che costituisce il fenomeno dell'ebollizione (figura 190).

Tutti i liquidi, che ponno entrare in ebollizione, presentano le tre leggi seguenti, che si constatano mediante l'esperienza

1.° *La temperatura di ebollizione cresce colla pressione;*

2.° *Per una data pressione, l'ebollizione non comincia che ad una determinata temperatura, che varia da un liquido all'altro, ma che a parità di pressione è sempre la stessa per un medesimo liquido;*

3.° *Qualunque sia la sorgente di calore, dal momento in cui comincia l'ebollizione, la temperatura rimane stazionaria.*

Temperatura dell'ebollizione alla pressione di 0 <sup>m</sup> ,76			
Acido solforoso	-10°	Essenza di trementina	150
Etere cloridrico	11	Fosforo	290
Etere solforico	37	Acido solforico concentrato	325
Alcool	79	Mercurio (al termometro ad aria)	350
Acqua distillata	100	Solfo	440

Parecchie cause ponno far variare la temperatura d'ebollizione di un liquido, cioè le sostanze in soluzione, la natura dei vasi e la pressione. Noi faremo successivamente conoscere gli effetti di queste differenti cause, particolarmente sull'acqua.

**294. Influenza delle sostanze in soluzione sulla temperatura di ebollizione.** - Una sostanza disciolta in un liquido, quando essa non è volatile, od è meno volatile del liquido, ritarda l'ebollizione tanto più quanto maggiore è la quantità della sostanza in soluzione. L'acqua, che bolle a 100 gradi, quand'è pura, bolle solamente alle seguenti temperature, quando è satura di diversi sali:

L'acqua satura di sal marino bolle a	109 gradi
“ di azotato di potassa	116
“ di carbonato di potassa	135
“ di cloruro di calcio	179

Le soluzioni presentano analoghi risultati; ma le sostanze che sono solamente in sospensione, come le materie terrose, la segatura di legno, non elevano la temperatura d'ebollizione.

L'aria in dissoluzione nell'acqua ha pure moltissima influenza sulla temperatura alla quale essa entra in ebollizione. Infatti, Deluc osservò per primo, che dell'acqua privata d'aria per mezzo dell'ebollizione e rinchiusa in un matraccio a collo lungo, poteva essere portata fino a 112 gradi senza entrare in ebollizione. Lo stesso fatto venne constatato da Donny e da Galy-Casalat. Quest'ultimo fisico avendo ricoperta con uno strato d'olio dell'acqua privata d'aria mediante l'ebollizione, la portò sino a 123 gradi senza che incominciasse a bollire; ben presto però avvenne una violenta esplosione di vapore, la quale gettò parte dell'acqua fuori del vaso che la conteneva.

Importa richiamare qui le esperienze di Rudberg, già citate a pagina 208; esperienze nelle quali questo scienziato ha constatato che quando la temperatura di ebollizione dell'acqua è al disopra di 109 gradi, per effetto delle sostanze ch'essa tiene in soluzione, la temperatura del vapore che si svolge è però sempre a 100 gradi, come coll'acqua pura, se la pressione è 0<sup>m</sup>,76.

**295. Influenza della natura dei vasi sulla temperatura di ebollizione.** - Gay-Lussac ha osservato che in un vaso di vetro l'acqua bolle ad una temperatura più elevata che in un vaso di metallo, fenomeno ch'egli attribuì all'affinità del vetro per l'acqua. Prendendo per 100 gradi la temperatura d'ebollizione dell'acqua distillata in un vaso di rame e alla pressione 0<sup>m</sup>,76, ha trovato che a parità di pressione, questo liquido in un pallone di vetro entra in ebollizione soltanto a 101 gradi: e quando il vaso di vetro è ben ripulito con acido solforico concentrato o con potassa, la temperatura dell'acqua, può anche innalzarsi a 105 e 106 gradi. Tuttavia un semplice frammento di metallo, collocato al fondo del pallone, è sufficiente per ridurre la temperatura di ebollizione a 100 gradi, e in pari tempo por far scomparire i sussulti violenti che accompagnano l'ebollizione delle soluzioni saline o degli acidi nei vasi di vetro.

Come per le sostanze in soluzione, la temperatura del vapore non è influenzata da quella che prende l'acqua nei vasi di vetro. Alla pressione 0<sup>m</sup>,76, essa è ancora 100 gradi, come nei vasi di rame.

**296. Influenza della pressione sulla temperatura di ebollizione.** - Dalle tavole delle forze elastiche date precedentemente (pag. 208), si riconosce che a 100 gradi, temperatura alla quale l'acqua distillata entra in ebollizione sotto la pressione 0<sup>m</sup>,76, il vapore di questo liquido ha una tensione precisamente uguale a questa pressione. Questo principio è generale e può enunciarsi così: *Ogni liquido entra in ebollizione solamente quando la tensione del suo vapore uguaglia la pressione che sopporta.*

Laonde di leggeri si comprende, che aumentando o diminuendo una tal pressione, la tensione del vapore, e, per conseguenza, la temperatura necessaria all'ebollizione, deve crescere o diminuire.

Per dimostrare che la temperatura di ebollizione si abbassa quando la pressione è più debole, si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica una capsula contenente dell'acqua a 30 gradi circa, poi si fa il vuoto. Tostamente si vede il liquido entrare in ebollizione con grande celerità quantunque in un vaso chiuso; e questo avviene perchè il vapore è aspirato dalla macchina di mano in mano che si produce.

Per effetto della diminuzione della pressione atmosferica l'acqua sulle alte montagne bolle al disotto di 100 gradi. Sul monte Bianco, per es. questo liquido entra in ebollizione a 84 gradi. Questa proprietà è stata recentemente applicata in un piccolo apparato, l'*isometro*, che fa conoscere l'altezza di un luogo dietro la temperatura alla quale l'acqua vi bolle.

Se pel contrario la pressione aumenta, l'ebollizione è ritardata. Quando la pressione, per es., è di due atmosfere, l'acqua entra in ebollizione solamente a 120,6 gradi.

**297. Misura dell'altezza delle montagne mediante il grado di temperatura dell'ebollizione.** - La dipendenza che esiste fra la temperatura d'ebollizione e la pressione dà il mezzo di misurare l'altezza delle montagne col termometro invece del barometro. Infatti, se si osserva, per esempio, che sulla sommità d'una montagna l'acqua bolle a 90 gradi, mentre alla sua base bolle a 98, e si cerchi nelle tabelle delle forze elastiche le tensioni corrispondenti, si trovano, in millimetri, dei numeri che rappresentano la forza elastica del vapore a al momento in cui esso si svolge, alla sommità e al piede della montagna, e, per conseguenza, la pressione atmosferica sopportata dall'acqua in ebollizione alle due stazioni. Conoscendo così l'altezza del barometro alla sommità

della montagna e alla sua base, si applicano senza difficoltà le formole di già esposte per misurare l'altezza delle montagne mediante il barometro (148).

Con questo metodo, non si fa uso che di termometri molto sensibili, graduati soltanto di 80 a 100 gradi circa, di modo che, ogni grado occupando sulla scala una grande estensione, si possano apprezzare i decimi ed anche i centesimi di grado,

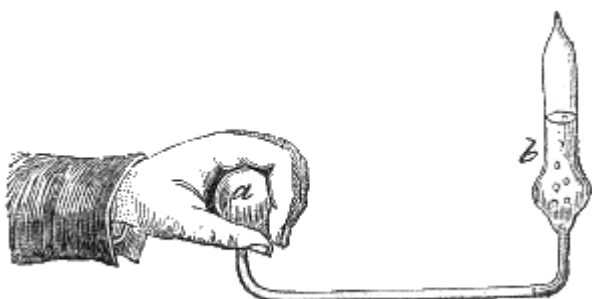


Fig. 191.

**298. Bollitore di Franklin.** - Si dimostra l'influenza della pressione sulla temperatura di ebollizione anche mediante il *bollitore di Franklin*. È un piccolo apparecchio, che si compone di una sfera cava *a* e di un tubo *b* di vetro, comunicanti tra loro mediante un tubo di piccol diametro (fig. 191). S'introduce dell'acqua nel tubo *b*, che termina superiormente in punta affilata, prima di chiuderlo; poscia facendo passare il liquido nella sfera *a*, lo si fa bollire riscaldando questa con una lampada ad

alcool. Quando si crede che i vapori prodotti dall'ebollizione abbiano trascinato, nello svolgersi, tutta l'aria che era nell'apparecchio, si chiude l'estremità del tubo *b*, fondendola alla lampada. Formandosi allora il vuoto nell'apparecchio, o almeno non contenendo più aria, l'acqua non sopporta altra pressione che la tensione del suo vapore, tensione che alla temperatura ordinaria è debolissima. Da ciò risulta che prendendo la sfera *a* nella mano, il solo calore di questa dà al vapore una tensione che spinge l'acqua nel tubo e vi determina una viva ebollizione, ma di breve durata.

**299. Produzione del vapore in un vaso chiuso.** - Fin ora abbiam supposto che i vapori si producessero in uno spazio indefinito, ove potevano liberamente diffondersi. Senza questa condizione l'ebollizione non può aver luogo; in un vaso chiuso, non trovando i vapori che si producono veruna uscita, la loro tensione e la loro densità cresce sempre più colla temperatura, ma lo svolgimento rapido che costituisce l'ebollizione è impossibile. Per conseguenza, mentre in un vaso aperto la temperatura di un liquido non può oltrepassare quella della sua ebollizione, in un vaso chiuso al contrario può innalzarsi molto di più. Lo stato liquido ha nondimeno allora un limite, poiché, dietro le esperienze dovute a Cagniard-Latour, se si introduce dell'acqua, dell'alcool o dell'etere in robusti tubi di vetro, e si chiudono alla lampada dopo espulsa fuori l'aria mediante l'ebollizione, si osserva che, sottoponendo questi tubi ad una sorgente di calore sufficiente, arriva un momento in cui tutto ad un tratto il liquido scompare, trasformandosi in vapori, il cui volume differisce poco da quello del liquido. Cagniard-Latour ha così trovato, che l'etere solforico si riduce totalmente in vapori a 200 gradi, in uno spazio minore del doppio del suo volume allo stato liquido, e che la tensione è allora di 38 atmosfere.

**300. Pentola di Papin.** - Papin, medico francese, morto nel 1710, sembra essere il primo fisico che abbia studiato gli effetti della produzione del vapore in un vaso chiuso. L'apparecchio che porta il suo nome è un vaso cilindrico di bronzo D (fig. 192), munito di un coperchio che può essere saldamente fissato per mezzo di una vite di pressione B, che lo mantiene compresso contro la pentola, malgrado la forza elastica del vapore che tende a sollevarlo. Onde chiudere esattamente l'apparecchio si ha cura, prima di mettere il coperchio, di frapporre delle foglie di piombo tra i suoi orli e quelli della pentola. Alla base di una cavità cilindrica che attraversa il cilindro S e la tubulatura o, è praticato nel coperchio un piccolo orifizio, coperto da un disco, sul quale si appoggia un'asta n. Quest'asta, la quale attraversa il cilindro e la tubulatura, viene premuta contro il disco otturatore da una leva A, mobile alla sua estremità a. Finalmente un peso p, che può scorrere lungo la leva Aa, permette di esercitare sull'asta n una pressione tanto maggiore quanto più vicino è questo peso all'estremità A, giusta una nota proprietà della leva (45). In tal modo si può variare la pressione sul disco, e viene regolata in modo, che quando il vapore nell'interno della pentola ha raggiunto una determinata tensione, per es., 6 atmosfere, il disco sia sollevato, e permetta al vapore di uscire. Per tal modo si può evitare la rottura dell'apparato; egli è per questo che il meccanismo che abbiamo descritto si chiama *valvola di sicurezza*.

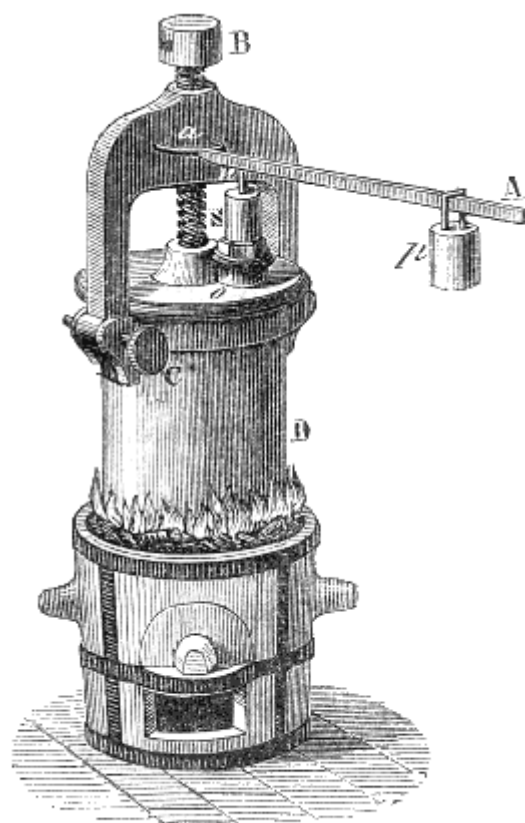


Fig. 192 (a. = 34).

La pentola di Papin, riempita d'acqua circa a due terzi, e chiusa, vien riscaldata sopra un fornello. Il liquido può così essere innalzato ad una temperatura molto superiore a 100 gradi, e la tensione del vapore può raggiungere un gran numero di atmosfere a seconda del carico dato alla valvola di sicurezza.

Se allora si apre la valvola, un getto di vapore sfugge fischiando e si eleva ad una grande altezza. L'acqua del vaso, che non aveva per anco bollito, entra attualmente in ebollizione, e la sua temperatura si abbassa sino a 100 gradi.

La pentola di Papin può essere utilizzata per aumentare l'azione solvente dei liquidi, fornendo i mezzi di elevarli ad una temperatura superiore a quella del loro punto di ebollizione; per questo le si diede anche il nome di *digestore*.

**301. Calorico latente dei vapori.** - Giusta la terza legge dell'ebollizione (293), rimanendo stazionaria la temperatura dei liquidi per tutto il tempo del fenomeno, bisogna concludere che nella vaporizzazione, come nella fusione, vi è assorbimento d'una considerevole quantità di calorico, l'unico effetto del quale è di far passare i corpi dallo stato liquido allo stato aeriforme; infatti questa quantità di calorico non agisce sul termometro, essendo il vapore, che si svolge, sempre alla stessa temperatura del liquido, o ad una temperatura poco inferiore. V'è dunque anche qui del calorico latente, come nella fusione (271), che vien pur detto calorico d'elasticità o calorico di vaporizzazione.

Qualunque sia la temperatura alla quale un vapore si produce, avvi sempre assorbimento di calorico latente. Versando sulla mano un liquido volatile, per es., dell'etere, si risente un vivo freddo che proviene dal calorico di elasticità assorbito dal liquido che si vaporizza. Southern, fisico inglese, ha stabilito la legge, che la quantità di calorico necessaria per vaporizzare un peso dato d'acqua è sempre lo stesso, qualunque sia la temperatura alla quale succede la vaporizzazione. Questa legge non venne dall'esperienza constatata, ma non si oppone alla teoria dei vapori.



Il calorico assorbito dai vapori può divenire una sorgente di freddo assai intenso, capace di solidificare il mercurio (302) ed anche i gas, come si dimostrerà mediante l'esperienza, parlando dell'apparecchio di Thilorier. (307).

Si vedrà quanto prima (342) come si determina il calorico latente assorbito dai diversi liquidi durante la vaporizzazione.

**302. Freddo dovuto alla vaporizzazione; congelazione del mercurio.** - Abbiamo veduto che quando un liquido si vaporizza, una quantità considerevole di calorico è assorbita allo stato latente dal vapore che si svolge (301). Ne risulta che se un liquido che si vaporizza non riceve una quantità di calorico equivalente a quella assorbita dal vapore, la sua temperatura si abbassa, ed il raffreddamento è tanto maggiore, quanto più rapida è la vaporizzazione.

Leslie giunse a congelare l'acqua pel solo effetto d'una celere vaporizzazione. Perciò si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica un vaso di terra contenente dell'acido solforico concentrato, sul quale si mette una piccola capsula metallica A (fig. 193), contenente alcuni grammi d'acqua.

Facendo il vuoto, l'acqua entra in ebollizione (296), ed essendo i vapori assorbiti dall'acido solforico di mano in mano che si svolgono, si produce una rapida vaporizzazione, che tostamente cagiona il congelamento dell'acqua che è nella capsula.

Adoperando altri liquidi più volatili dell'acqua, particolarmente l'acido solforoso, che bolle a -10 gradi, si produce un freddo intenso in modo da congelare il mercurio. Si fa tale esperienza avvolgendo di bambagia una sfera di vetro piena di mercurio, bagnatala quindi d'acido solforoso, la si colloca sotto la campana della macchina pneumatica, e si fa il vuoto; il mercurio è tosto solidificato.

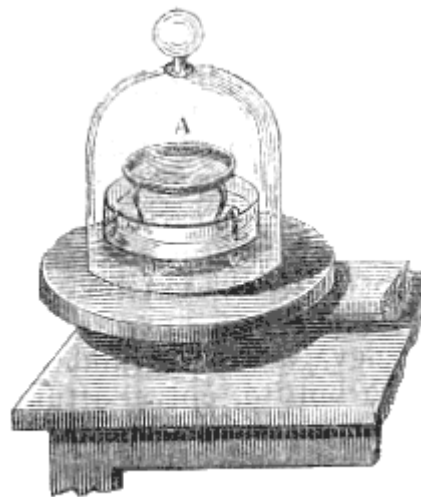


Fig. 193.

Thilorier, dirigendo un getto d'acido carbonico liquido sul serbatoio d'un termometro ad alcool, vide che questo discese sino a 100 gradi sotto zero senza congelarsi; ma con una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto d'acido carbonico solido e di etere, Despretz giunse a produrre un freddo così intenso da ridurre l'alcool spesso come il siroppo.

Il freddo prodotto dall'evaporazione è utilizzato nei paesi caldi per rinfrescar l'acqua mediante gli *alcarazas*. Con tal nome chiamansi alcuni vasi di terra sì porosi da permettere che l'acqua filtri lentamente attraverso le pareti, ed evapori alla superficie, specialmente quando si collocano in una corrente d'aria.

## LIQUEFAZIONE DEI VAPORI E DEI GAS

**303. Liquefazione dei vapori.** - La *liquefazione* o *condensazione* dei vapori è il loro passaggio dallo stato aeriforme allo stato liquido. Tre cause ponno effettuare la condensazione; il raffreddamento, la compressione e l'affinità chimica. Le prime due esigono che i vapori sieno allo stato di saturazione (285); ma l'ultima produce la liquefazione dei vapori anche i più rarefatti. Così molti sali assorbono, condensandolo, il vapore acqueo dell'atmosfera comunque piccola sia la quantità che questa ne contiene.

All'istante della condensazione dei vapori, il loro calorico latente ritorna libero, cioè sensibile al termometro. Questo si può constatare facendo passare una corrente di vapore a 100 gradi in un vaso d'acqua alla temperatura ordinaria. Il liquido si riscalda tostamente e giunge a 100 gradi. Si ammette che la quantità di calore così restituita dai vapori che si condensano è precisamente uguale a quella che essi hanno assorbita formandosi, ciò che sembra evidente.

**304. Distillazione e lambicchi.** - La distillazione è un'operazione che ha per oggetto di separare un liquido volatile dalle sostanze fisse che tiene in soluzione, oppure due liquidi disegualmente volatili. Quest'operazione è basata sulla trasformazione dei liquidi in vapore per l'azione del calorico, e sulla condensazione dei vapori pel raffreddamento.

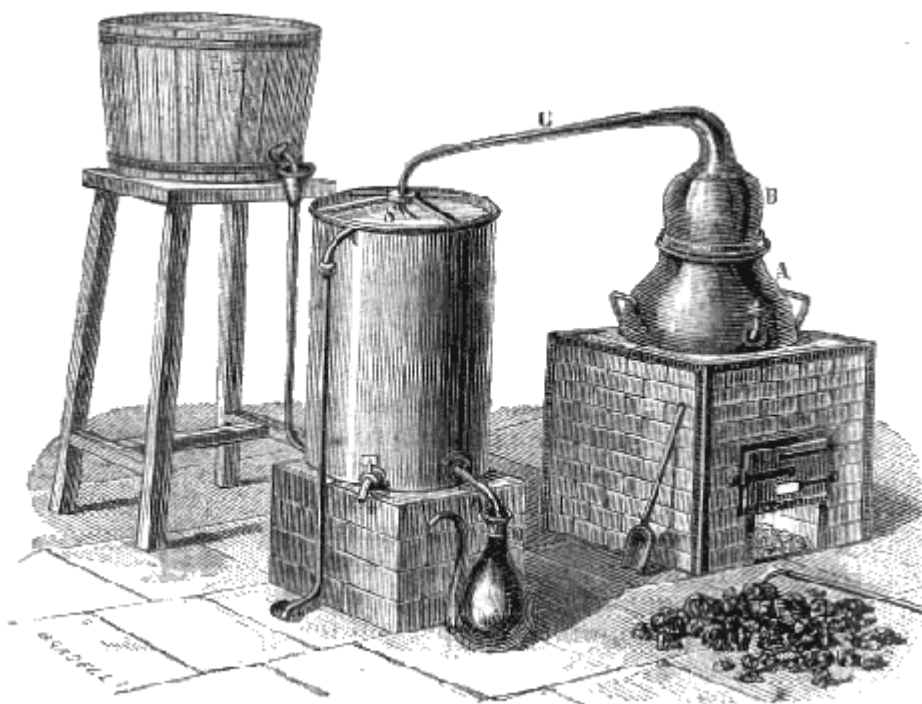


Fig. 194 (h. = 1m, 13).

Gli apparecchi adoperati per la distillazione si chiamano *lambicchi*. La loro forma può variare in parecchi modi, ma essi si compongono sempre di tre pezzi principali: 1.° la *cucurbita* A (fig. 194), vaso di rame stagnato, che contiene il liquido che si vuol distillare, e la cui parte inferiore è murata in un fornello; 2.° il *capitello* B che poggia sulla cucurbita, e permette il passaggio al vapore attraverso un collo laterale C; 3.° il *serpentino* S, che consiste in un lungo tubo di stagno o di rame, avvolto ad elice e collocato in una vasca piena d'acqua fredda; l'oggetto del serpentino è di condensare il vapore raffreddandolo.

Posto ciò, trattisi, per es., di distillare dell'acqua di pozzo o di fiume, per liberarla dai sali che tiene in soluzione e che sono specialmente il solfato di calce, il carbonato di calce e dei cloruri; se ne riempie la cucurbita a due terzi circa, e si riscalda; l'acqua entra in ebollizione, ed i vapori, che si svolgono, si condensano nel serpentino, e l'acqua proveniente dalla condensazione si porta in seguito nel recipiente D.

I vapori che si condensano riscaldano rapidamente l'acqua della vasca (303), per cui bisogna rinnovarla costantemente, altrimenti la condensazione non avrebbe più luogo. A quest'uopo, un tubo alimentato continuamente da una corrente d'acqua fredda, conduce quest'ultima alla parte inferiore della vasca, mentre l'acqua calda, che è meno densa, si porta alla parte superiore ed effluisce da un tubo posto all'alto della vasca.

La distillazione non deve essere protratta troppo a lungo, altrimenti le materie organiche che si potrebbero trovare nell'acqua sarebbero decomposte sulle pareti calde della cucurbita e darebbero origine a dei prodotti volatili.

L'acqua distillata è perfettamente limpida, e non lascia alcun residuo dopo la sua evaporazione; ma essa contiene sempre un po' d'acido carbonico, perchè questo gas, esistendo in tutte le acque naturali, non se ne separa che incompletamente mediante la distillazione. Si può evitare la presenza di questo gas ponendo nella cucurbita una certa quantità di calce che si combina con lui e lo trattiene.

È appunto colla distillazione, e mediante alambicchi analoghi a quello or ora descritto, che si estrae dal vino l'alcool in esso contenuto.

**305. Assorbimento, tubi di sicurezza.** - Chiamasi *assorbimento*, in chimica, un accidente che si produce negli apparati che servono alla preparazione dei gas. Esso consiste in ciò che, quando si raccolgono i gas sull'acqua o sul mercurio, questi liquidi penetrano negli apparecchi e mandano a vuoto l'operazione.

Quest'accidente è sempre causato dall'eccesso della pressione atmosferica sulla tensione del gas contenuto nell'apparato. Abbiassi infatti un gas, dell'acido solforoso, per es., che si sviluppa da un matraccio *m* (fig. 195) e si porta in una provetta *A* riempita d'acqua. Finchè il gas si sviluppa abbondantemente, la sua tensione la vince sulla pressione atmosferica e sul peso della colonna d'acqua *on*; l'acqua della provetta non può adunque innalzarsi nel tubo, e l'assorbimento è impossibile, ma se la tensione del gas diminuisce, sia perchè si sviluppi più lentamente, sia perchè si raffreddi il mercurio, la pressione esterna la vince, e quando l'eccesso di questa pressione sulla pressione interna sorpassa il peso della colonna *co*, l'acqua entra nel matraccio, e l'operazione va a male. Si previene questo accidente mediante i *tubi di sicurezza*.

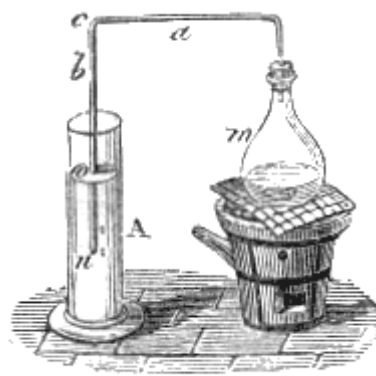


Fig. 195.

Vengono così chiamati quei tubi che sono destinati a prevenire l'assorbimento, lasciando entrare l'aria negli apparati a misura che la pressione diminuisce. Il tubo di sicurezza il più semplice consiste in un tubo diritto *Co* (fig. 196) che attraversa il turacciolo che chiude il matraccio *M*, nel quale si sviluppa il gas, e che, si immerge per qualche centimetro nel liquido contenuto in questo matraccio. Quando la tensione del gas diminuisce nel vaso *M*, la pressione atmosferica, che si esercita sull'acqua della vasca *E*, lo fa ascendere ad una certa altezza nel tubo *DA*; ma questa pressione, esercitandosi anche nel tubo *Co*, tende a deprimere di altrettanto il liquido che in esso si trova, ammettendo che questo liquido abbia sensibilmente la stessa densità dell'acqua della vasca *E*. Ora, siccome la distanza *or* è minore dell'altezza *DH*, l'aria penetra per l'orifizio *o* prima che l'acqua, della vasca si innalzi fino in *A*, e per tal modo non ha più luogo l'assorbimento.

Il tubo *Co* serve anche a prevenire le esplosioni. Allorchè la produzione del gas è troppo rapida, e che il tubo *AD* non può bastare al suo sviluppo, il liquido contenuto nel matraccio *M* viene spinto allo esterno e sfugge dal tubo *C*, che diviene ei pure una uscita pel gas appena che il livello si è abbassato al disotto dell'orifizio *o*.

La figura 197 rappresenta un'altra specie di tubo di sicurezza conosciuto sotto il nome di tubo ad *S*. Questo tubo è fornito di una bolla *a*, e tanto questa che il braccio *id* contengono una certa quantità di liquido. Allorchè la tensione del gas nella storta *M* supera la pressione atmosferica, il livello nel braccio *id* si eleva più che nella bolla *a*; se il gas ha una tensione di un'atmosfera, il livello nel tubo e nella bolla è uguale; in fine, se la tensione del gas è minore della pressione atmosferica, il livello si abbassa nel braccio *di*, e siccome si ha cura che l'altezza *ia* sia minore di *bh*, appena che l'aria entrata dalla bolla *c* è arrivata nella parte curva *i*, solleva la colonna *ia* e penetra nella storta prima che l'acqua della provetta si sia innalzata sino in *b*; per tal modo, la pressione interna uguaglia la pressione esterna, e l'assorbimento non può aver luogo.



Fig. 196.

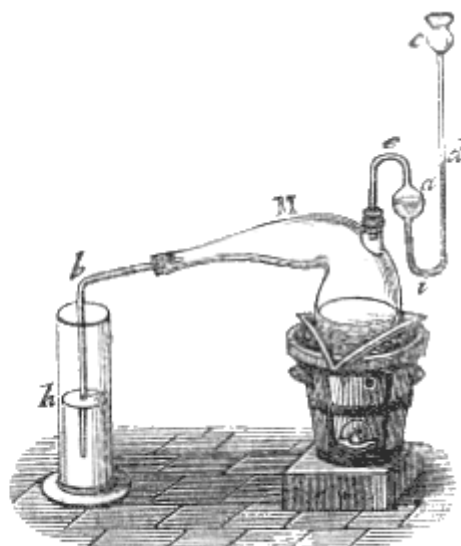


Fig. 197.

**306. Liquefazione dei gas.** - I gas, altro non essendo che vapori assai dilatati, sono, al par di quelli, suscettibili d'essere liquefatti. Ma essendo assai lontani dal loro punto di liquefazione, non ve li si ponno ridurre che mediante una pressione od un raffreddamento più o meno considerevoli. Per alcuni basta la sola pressione od il solo raffreddamento; però, per la maggior parte bisogna impiegare questi due processi di liquefazione simultaneamente. Pochi gas hanno resistito a queste due azioni combinate, e bisogna ammettere che quelli i quali, come l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, il biossido d'azoto e l'ossido di carbonio, non han potuto essere liquefatti, lo sarebbero se si potessero sottoporre ad un raffreddamento e ad una pressione sufficienti.

Abbiamo già detto (125) che Faraday ha liquefatto un gran numero di gas, ritenuti fino allora come permanenti. Il suo processo consiste nel rinchiudere in un tubo di vetro ricurvo a sifone delle sostanze, che per la loro reazione chimica danno origine al gas, che si tratta di comprimere; dimodochè, essendo queste sostanze contenute in uno dei rami del sifone, il gas, di mano in mano che si sviluppa, viene da sè a comprimersi nell'altro ramo ed a liquefarsi. Il gas può così essere sottoposto a pressioni di 40 a 50 atmosfere. Il tubo è inoltre raffreddato da mescolanze frigorifere. Un piccolo manometro ad aria compressa, rinchiuso nell'apparecchio, indica la pressione.

Mediante questo processo Faraday pel primo ha liquefatto l'acido carbonico a zero e sotto una pressione di 35 atmosfere.

**307. Apparecchio per liquefare e solidificare l'acido carbonico.** - L'acido carbonico può soltanto, mediante una pressione considerevole, essere ridotto allo stato liquido, epperò è necessario effettuare la sua liquefazione in apparati speciali, che presentano la massima solidità. Il primo apparecchio di simil genere venne costruito da Thilorier. La figura 198 rappresenta un apparato per liquefare l'acido carbonico, costruito recentemente dai signori Deleuil; esso è una modificazione di quello di Thilorier, ma una modificazione importante per la solidità.

Questo nuovo apparecchio si compone di due cilindri P e Q affatto simili, ambedue mobili, in un piano verticale, intorno a due perni sostenuti da robusti telai di ghisa VV. Questi cilindri, che sono di ghisa e della capacità di circa sei litri, hanno uno spessore di 3 centimetri; ma nel senso della loro lunghezza, portano quattro nervature aventi in un centimetro di sporgenza dal resto della parete ed una lunghezza di 8 centimetri. Per dare all'apparato tutta la resistenza necessaria, delle fasce di ferro dolce *m*, che si dipartono dalla sommità del cilindro, si adattano nella cavità formata da due serrature consecutive, si avvolgono alla parete inferiore dei cilindri, il fondo dei quali è emisferico, poi ritornano sull'altra faccia dei cilindri e vanno a terminare all'estremità d'onde si dipartirono. Finalmente queste fasce sono saldamente trattenute da quattro cerchi *n*, *o*, *p*, *q*, pure di ferro dolce. Prima di collocare questi cerchi, si fanno arroventare, dimodochè, raffreddandosi, esercitano per la loro contrazione una pressione considerevole sulle fasce longitudinali e sui cilindri.

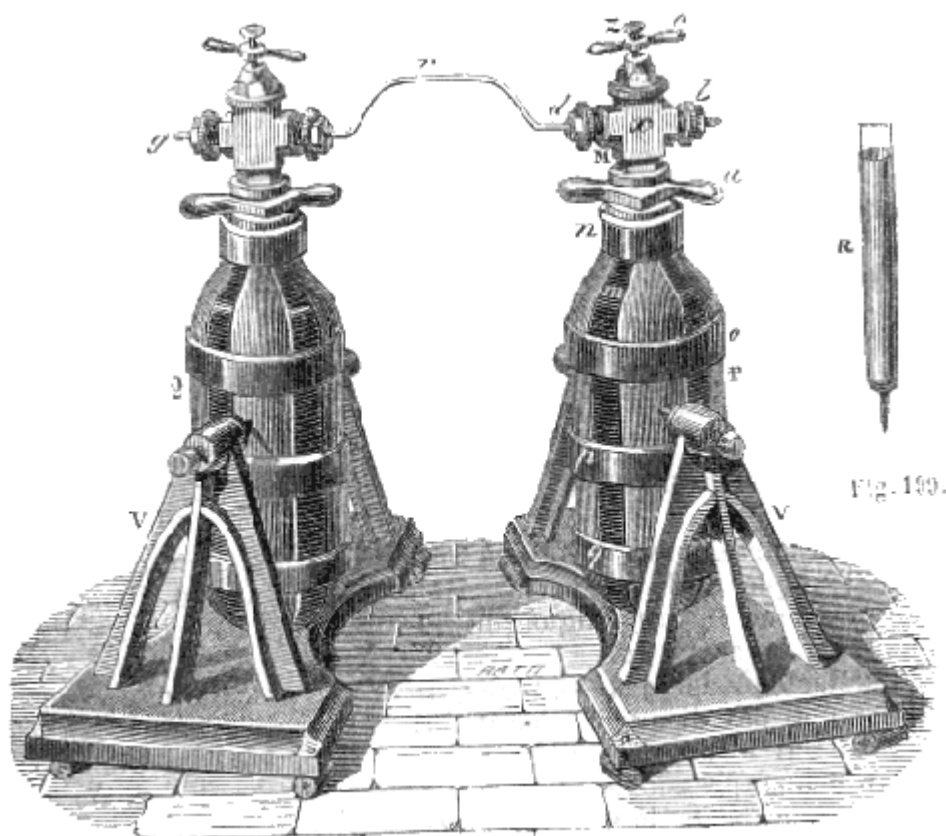


Fig. 198 (a. = 1m.03 .

Sulla testa di ciascun cilindro evvi un robinetto M, formato di parecchi pezzi. Una chiave a serve a stringerlo fortemente in una madrevite forata nella massa di ghisa. Nel robinetto evvi un condotto verticale, che si biforca in  $x$ , verso  $b$  e verso  $d$ , e mette così l'interno del cilindro in comunicazione con due orifizi praticati in  $b$  ed in  $d$ , dei quali si apre soltanto uno alla volta. Una vite  $z$ , che si serra mediante una chiave  $c$ , è destinata a chiudere il condotto interno prima della sua biforcazione in  $x$ .

Per ciò essa comprime una palla di piombo, che chiude esattamente l'orifizio del condotto. Allo stesso modo si chiudono gli orifizi  $d$  e  $b$  mediante madreviti di pressione.

Posto ciò, siccome i due cilindri sono identici, così si prende per generatore dell'acido carbonico quello che si vuole, l'altro serve di recipiente per la sua liquefazione. Supponiamo di aver scelto il cilindro P per generatore; tolto il robinetto M, si introducono nel cilindro 1800 grammi di bicarbonato di soda, tre litri d'acqua calda a  $39^{\circ}$  ed un chilogrammo d'acido solforico, onde quest'ultimo non decomponga subito il bicarbonato di soda, lo si versa in un lungo tubo R di rame, e si colloca questo tubo, che rimane aperto all'estremità superiore nel cilindro P.

Fatto ciò, si rimette il robinetto M, che si stringe fortemente; poi chiudendo la vite  $z$  ed il robinetto, si inclina leggermente il cilindro, facendolo oscillare sui due perni, in modo che una piccola quantità di acido solforico trabocchi dal vaso R e cada sul bicarbonato. Si inclina quindi successivamente il cilindro, ma a più riprese, finchè sia effluito tutto l'acido.

Il tempo necessario perchè la reazione chimica sia terminata è di circa 7 minuti. L'acido carbonico che si è prodotto nel generatore allora trovasi in parte liquefatto e mescolato all'acqua che servì a prepararlo. Ma se si fa comunicare il recipiente Q col generatore mediante un tubo di ottone  $r$ , di piccolo diametro, e si schiude la vite  $z$ , l'acido carbonico distilla nel recipiente, ove si liquefa di nuovo per la sua propria pressione. Thilorier giudicò che la pressione che ha luogo allora nel recipiente, alla temperatura di 15 gradi, è di 50 atmosfere.

Ricominciando cinque o sei volte la stessa operazione si condensano nel recipiente fino a due litri d'acido carbonico liquido.

Per ottenere lo stesso acido allo stato solido, il robinetto del recipiente porta, alla sua parte inferiore, una tubulatura che pesca nell'acido liquido. Per conseguenza, allorchè si apre un orifizio  $q$

situato sul lato del robinetto, l'acido carbonico liquido, per effetto della pressione che sopporta, zampilla con violenza, passando di nuovo allo stato aeriforme. Ma una parte sola del liquido si gasifica, perchè il calorico latente assorbito durante questo cambiamento di stato è sì considerevole (301) che l'altra parte del liquido, cedendo il suo calorico di liquefazione, si solidifica in fiocchi bianchi, cristallizzati sotto forma filamentosa.

L'acido carbonico solidificato vaporizza assai lentamente. Allora, mediante un termometro ad alcool, si può riconoscere che la sua temperatura è di circa - 90° gradi. Nulladimeno, collocato sulla mano, non vi produce una sensazione di freddo tanto viva quanto potrebbesi credere, il che proviene dal non esservi perfetto contatto; ma se lo si mescola con etere, il freddo è così intenso, che un fiocco d'acido carbonico solido posto sulle carni disorganizza i tessuti come lo farebbe una forte scottatura. Tale mescolanza solidifica, in pochi secondi, un peso di mercurio quadruplo del suo.

Immergendovi un tubo pieno d'acido carbonico liquido, Faraday ha potuto solidificare quest'ultimo in una massa compatta che presentava l'aspetto di un pezzo di ghiaccio trasparentissimo.

**308. Apparato per liquefare il protossido di azoto.** - Nell'apparato di Thilorier descritto nel precedente paragrafo, il gas acido carbonico si comprime da sè stesso producendosi in quantità abbastanza abbondante. Ora, non tutti i gas si ottengono in condizioni convenienti per potersi così liquefare per la loro stessa pressione. Allora bisogna ricorrere ad una pressione artificiale, come fece Natterer, il quale liquefece parecchi gas comprimendoli in una canna da fucile per mezzo di una tromba premente.

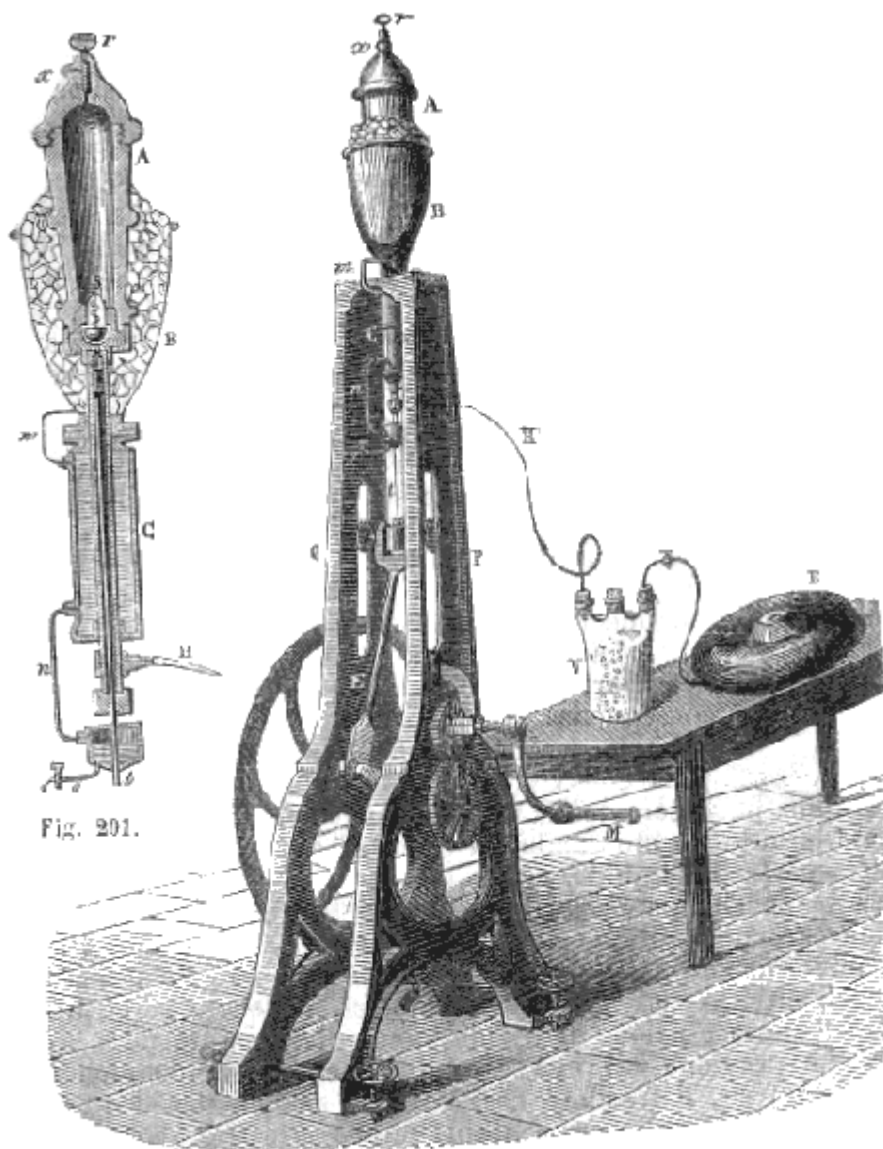


Fig. 201.

Fig. 200.

Bianchi, fabbricatore di istrumenti di fisica a Parigi, modificò l'apparato di Natterer e gli diede la forma rappresentata in prospettiva nella figura 200, ed in sezione, sopra una scala più ampia nella figura 201. Questo apparato si compone di un serbatoio A di ferro lavorato a martello della capacità di 7 ad 8 decilitri e resistente a pressioni di oltre 600 atmosfere. Alla parte inferiore di questo serbatoio è unita a vite una piccola tromba premente. L'asta *t* del suo stantuffo riceve il movimento da un'asta E articolata sopra una manovella a gomito, la quale è mossa da un sistema di due ruote dentate e da una manovella semplice M. Siccome la compressione dei gas e lo strofinamento dello stantuffo sviluppano molto calore, si circonda il serbatoio A di una vaschetta B, nella quale si pone del ghiaccio; inoltre, l'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio si porta per una tubulatura in un tubo di rame C, il quale, avvolge la tromba premente e di là effluisce per una seconda tubulatura *n* ed un robinetto o. Finalmente tutto il sistema è montato su di un telaio di ghisa PQ.

Ciò posto, il gas che si vuol liquefare è raccolto previamente in bisacce impermeabili B, d'onde si porta in un vaso V pieno di cloruro di calcio, o di qualsiasi altra materia disseccante; indi passa nella tromba premente per mezzo di un tubo di gomma elastico H. Dopo aver fatto agire l'apparato per un certo tempo si stacca il serbatoio dalla tromba, senza che il gas liquefatto possa sfuggire, giacchè il serbatoio A trovasi ermeticamente chiuso alla sua parte inferiore da una valvola S (fig. 201). Per raccogliere in seguito il liquido contenuto nel serbatoio lo si capovolge e si apre un bottone a vite *r*, che lascia uscire il liquido per una piccola tubulatura *n*.

La liquefazione più rimarchevole ottenuta con questo apparato è quella del protossido di azoto. Questo gas, una volta liquefatto sebbene in un vaso aperto, non vaporizza che lentamente e si mantiene ad una temperatura fissa di 88 gradi sotto zero: gettandovi del mercurio in piccola quantità si congela tosto. Lo stesso avviene dell'acqua, ma bisogna versarla goccia a goccia, altrimenti il calorico latente di questo liquido essendo molto maggiore di quello del mercurio (341), il calore ceduto dall'acqua, all'istante della sua congelazione, può bastare per far detuonare il protossido d'azoto.

Siccome il protossido d'azoto è facilmente decomposto dal calore, ha, come si sa dalla chimica, la proprietà di favorire la combustione quasi così vivamente che l'ossigeno. Ora, esso conserva questa proprietà anche allo stato liquido, malgrado la sua bassa temperatura. Infatti, se vi si getta un pezzetto di carbone incandescente, questo abbrucia con un vivo splendore.

## MESCOLANZE DEI GAS E DEI VAPORI

**309. Leggi delle mescolanze dei gas e dei vapori.** - Tutte le mescolanze di un gas e d'un vapore offrono le due leggi seguenti:

1.° *La tensione, e per conseguenza la quantità di vapore che satura uno spazio dato, rimangono le stesse, a pari temperatura, sia che questo spazio contenga un gas o che si trovi vuoto.*

2.° *La forza elastica della mescolanza eguaglia la somma delle forze elastiche del gas e del vapore mescolati, quando si riferisca il gas al suo volume primitivo.*

Queste leggi, chiamate *leggi di Dalton*, dal nome del fisico che pel primo le fece conoscere, si dimostrano mediante un apparato semplicissimo dovuto a Gay-Lussac e rappresentato dalla figura 202. Esso si compone di un tubo di vetro A, alle estremità del quale sono uniti a mastice due robinetti di ferro *b* e *d*. Il robinetto inferiore è munito di una tubulatura che mette in comunicazione il tubo A con un secondo tubo B di un diametro più piccolo. Una scala collocata fra questi due tubi è destinata a misurare l'altezza della colonna di mercurio contenute in ciascun di essi.

Ciò posto, riempito il tubo A. di mercurio, e chiusi i robinetti *b* e *d*, si avvita dapprima sulla chiave *b*, in luogo dell'imbuto C, un pallone di vetro M chiuso esso pure da un robinetto e pieno d'aria secca o di un altro gas qualsiasi. Poi, aprendo i tre robinetti, si lascia effluire dal tubo A una parte di mercurio che viene surrogato dall'aria secca del pallone. Si chiudono allora i robinetti, e siccome l'aria che trovasi nello spazio A si è dilatata uscendo dal pallone e trovasi ad una pressione minore dell'atmosferica, la si riduce a questa pressione versando del mercurio nel tubo B fino a che il livello sia eguale in ambedue i tubi. Finalmente si toglie il pallone ed il suo robinetto, e si pone al suo luogo un imbuto C munito esso pure di robinetto *a*, che differisce dai robinetti ordinari. Infatti, esso non è forato da

parte a parte, ma porta soltanto una piccola cavità, come si scorge in *n* alla sinistra della figura. Versato nell'imbuto C il liquido che si vuol far vaporizzare, notato il livello *k* del mercurio ed aperto il robinetto *b* si fa girare il robinetto *a* in modo che la sua cavità si empia di liquido. Poi lo si rivolge affinché il liquido penetri nello spazio A e vi si vaporizzi. Così si continua a far cadere il liquido

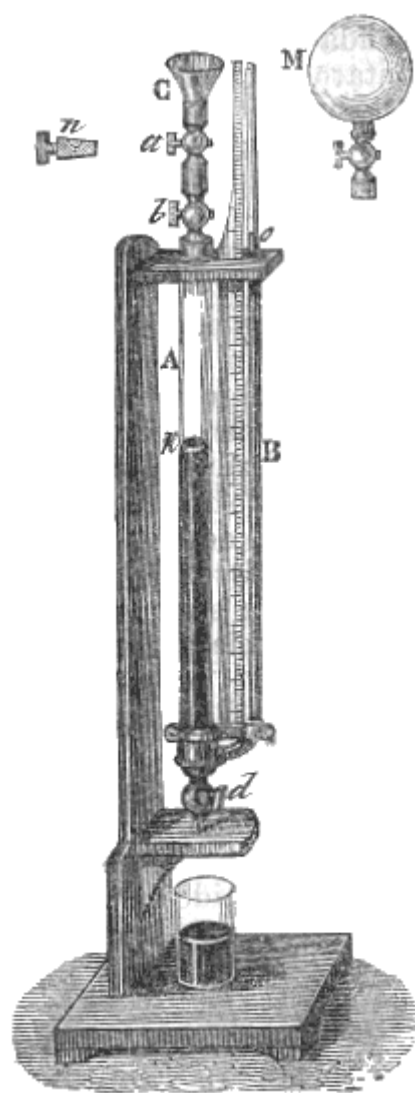


Fig. 202 (1.=1m,18).



goccia a goccia, finchè l'aria che trovasi nel tubo sia satura, il che si riconosce dal vedere il livello del mercurio cessare d'abbassarsi (285).

Siccome la tensione del vapore che si è formato nello spazio A si è aggiunta a quella dell'aria che già vi si trovava, il volume di gas è aumentato, ma lo si riconduce facilmente al volume primitivo versando di nuovo del mercurio nel tubo B. Quando il mercurio è per tal modo ritornato nel tubo più grosso al livello  $k$  che aveva dapprima, si osserva nei tubi B ed A una differenza di livello  $Bo$  che rappresenta evidentemente la tensione del vapore che si è prodotto, perchè l'aria, avendo ripreso il suo volume primitivo, non ha variato di tensione. Ora, se si fanno passare nel vuoto di un tubo barometrico alcune gocce di quello stesso liquido introdotto nello spazio A, si osserva una depressione precisamente eguale a  $Bo$ , il che appunto dimostra che a pari temperatura la tensione di un vapore è la stessa tanto nei gas che nel vuoto; dal che si conchiude che a temperatura uguale, la quantità di vapore è la stessa.

La seconda legge poi si trova dimostrata dall'esperienza precedente, poichè, quando il mercurio è ritornato al suo livello  $k$ , la mescolanza sopporta la pressione atmosferica che si esercita alla sommità del tubo B, più il peso della colonna di mercurio  $Bo$ . Ora, queste due pressioni rappresentano precisamente, l'una la tensione dell'aria secca, e l'altra la tensione del vapore. Del resto la seconda legge può riguardarsi come una conseguenza della prima.

L'apparato da noi ora descritto non permette d'esperimentare che alla temperatura ordinaria; ma Regnault, mediante un apparecchio che può essere portato a diverse temperature, ha paragonato successivamente, nell'aria e nel vuoto, le tensioni del vapor d'acqua, d'etere, di solfuro di carbonio e di benzoina; e costantemente ha osservato che la tensione nell'aria è più debole che nel vuoto. Tuttavia, le differenze sono così piccole che non infirmano la legge di Dalton e di Gay-Lussac; così Regnault ritenne che si debba continuare ad ammettere questa legge come rigorosa teoricamente, attribuendo le piccole differenze da constatate all'affinità igroscopica delle pareti dei tubi.

### 310. Problemi sulle mescolanze dei gas e dei vapori.

I. - Dato un volume di aria secca  $V$  alla pressione  $H$ , si domanda quale sarà il suo volume  $V'$  quando sarà satura, restando le stesse la temperatura e la pressione.

Se si rappresenta con  $F$  la forza elastica del vapore che satura l'aria, quest'ultima, nella mescolanza, è sottoposta soltanto alla pressione  $H-F$  (309,2°). Ora, giusta la legge di Mariotte, i volumi  $V$  e  $V'$  essendo in ragione inversa delle pressioni che sopportano, si ha:

$$V/V' = H/(H-F) \text{ d'onde } V' = VH/(H-F)..$$

II. - Dato un volume di aria satura  $V$ , alla pressione  $H$  ed alla temperatura  $t$ , quale sarà il volume  $V'$  di quest'aria ancor satura alla pressione  $h'$  ed alla temperatura  $t'$ ?

Se si rappresenta con  $f$  la tensione massima del vapore a  $t$  gradi, e con  $f'$  la sua tensione massima a  $t'$  gradi, l'aria sola in ciascuna delle mescolanze  $V$  e  $V'$ , sarà sottoposta rispettivamente alle pressioni  $H-f$  ed  $H'-f'$ . Adunque, supponendo dapprima la temperatura costante, si avrà, giusta la legge di Mariotte,

$$V/V' = (H-f)/(H'-f')$$

Per tener conto del cangiamento di temperatura, bisogna osservare che variando questa da  $t$  a  $t'$ , i volumi  $V'$  e  $V$  cresceranno nel rapporto di  $1+\alpha t'$  a  $1+\alpha t$ , essendo  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione dell'aria; adunque la formola cercata è finalmente

$$V/V' = (H'-f')/(H-f) (1+\alpha t)/(1+\alpha t').$$

III. - Si domanda il peso  $P$  di un volume d'aria  $V$ , satura di vapor d'acqua alla temperatura  $t$  ed alla pressione  $H$ .

Siccome il peso di un litro d'aria secca a zero ed alla pressione 0,76 è  $1^{\text{gr}},3$ , il suo peso, sempre a zero, ma alla pressione  $H$  sarà  $1^{\text{gr}},3 \cdot H/0,76$ , giacchè il peso di un gas è direttamente proporzionale alla pressione, e finalmente a  $t$  gradi questo peso diventa

$$1^{\text{gr}},3 \cdot 0,76/H \cdot (1+\alpha t)/1 \text{ (267 prob. VI)..}$$

Adunque il volume d'aria secca  $V$  a  $t$  gradi ed alla pressione  $H$  pesa

$$1^{\text{gr}},3 \cdot V \cdot H/0,76:1/(1+\alpha t) \text{ [1].}$$

Ora, quando l'aria è saturata, se si rappresenta con  $F$  la forza elastica massima del vapore, avviene che una parte di quest'aria, il cui peso sarebbe

$$1^{\text{gr}},3 \cdot V \cdot F/0,76:1/(1+\alpha t) \text{ [2].}$$

è sostituita dal vapor d'acqua, la cui densità è 0,6235, cioè assai approssimativamente  $5/8$  di quella dell'aria nelle stesse circostanze di pressione e di temperatura; quindi, il peso di questo vapore è soltanto  $5/8$  del peso dell'aria che sposta, cioè

$$1^{\text{gr}},3 \cdot V \cdot F/0,76:1/(1+\alpha t) \cdot 5/8 \text{ [3]}$$

Adunque, finalmente, il peso cercato è rappresentato dalla formola [1] diminuita della formola [2] ed aumentata della formola [3], il che dà

$$V=1^{gr},3 \cdot V \cdot (H-F+5/8F)/0,76 \cdot 1/(1+\alpha t) = 1^{gr},3 \cdot V \cdot (H-3/8F)/0,76 \cdot 1/(1+\alpha t).$$

## STATO SFEROIDALE

**311. Esperienze di Boutigny.** - I liquidi versati sopra superficie metalliche incandescenti presentano dei fenomeni rimarchevoli, osservati per la prima volta da Leidenfrost circa un secolo fa, e studiati in seguito da alcuni fisici; ma fu specialmente Boutigny che da qualche anno ha fatto conoscere le curiose esperienze, di cui noi esporremo le principali.

Se, mediante una pipetta, si versano in una capsula d'argento o di platino a grosse pareti e riscaldata fino al color rosso alcuni grammi di acqua, si osserva che il liquido non si estende nella capsula e non la bagna, come farebbe alla temperatura ordinaria, ma prende la forma di un globo appianato, ciò che Boutigny esprime dicendo che il liquido, passa allo *stato sferoidale*. In questo stato, l'acqua è animata da un moto giratorio rapido sul fondo della capsula, e non solo non entra in ebollizione, ma vaporizza 50 volte più lentamente che se bollisse. Infine, se la capsula si raffredda, giunge un momento in cui non è più calda abbastanza per mantenere l'acqua allo stato sferoidale. Le sue pareti allora sono bagnate dal liquido, ed improvvisamente si manifesta una violenta ebollizione.

Tutti i liquidi ponno assumere lo stato sferoidale, e la temperatura necessaria perchè il fenomeno si produca è di tanto più elevata quanto più elevato è il punto d'ebollizione del liquido. Per l'acqua la capsula deve essere riscaldata almeno a 200 gradi; per l'alcool a 134.

Boutigny osservò che la temperatura dei liquidi allo stato sferoidale è costantemente inferiore a quella della loro ebollizione. L'acqua, per esempio, resta a 95°,5; l'alcool, a 75°,5; l'etere, a 34 gradi; l'acido solforoso a -10°,5. Ma la temperatura del vapore che si sviluppa è uguale a quella della capsula, d'onde si deve conchiudere che questo vapore non si produce nella massa del liquido.

La proprietà dei liquidi, allo stato sferoidale, di mantenersi ad una temperatura inferiore a quella del loro punto d'ebollizione, condusse Boutigny ad una esperienza rimarchevole, quella cioè della congelazione dell'acqua in una capsula incandescente. Questo fisico scalda al rosso bianco una capsula di platino, e vi versa qualche grammo d'acido solforoso anidro.

Questo liquido, che bolle a -10°, si comporta nella capsula come or ora abbiám veduto, vale a dire che la sua temperatura si abbassa al disotto di -10 gradi. Se allora si aggiunge all'acido solforoso una piccola quantità d'acqua, questa, raffreddata dall'acido, si congela all'istante, e, mentre la capsula è ancor rossa, se ne estrae, non senza sorpresa, un pezzo di ghiaccio.

Allo stato sferoidale non avvi contatto fra il liquido ed il corpo caldo. Boutigny se ne assicurò facendo arroventare una piastra d'argento collocata in posizione esattamente orizzontale e versandovi sopra un grammo d'acqua colorata in nero. Questo liquido passa allo stato sferoidale; se allora si colloca la fiamma di una candela ad una certa distanza. sul prolungamento della piastra si distingue chiara e continua questa fiamma tra lo sferoide acqueo e la piastra. Da ciò si conchiude che il liquido si mantiene ad una piccola distanza da quest'ultima, o che fa delle vibrazioni abbastanza rapide perchè l'occhio non le possa distinguere.

Per ispiegare i fenomeni che presentano i liquidi allo stato sferoidale, si ammette che il globetto liquido è sostenuto a distanza dal vaso dalla tensione del vapore che si produce alla sua superficie, di modo che il liquido non essendo riscaldato per contatto ma solo per irradiazione, non vaporizza che lentamente; soprattutto, l'acqua essendo diatermana pei raggi emessi da una sorgente intensa (365), la maggior parte del calorico raggianti la attraversa senza riscaldarla. Boutigny ritiene che la causa che impedisce al liquido di bagnare il metallo è una forza ripulsiva che si produce fra il corpo caldo ed il liquido, ripulsione che sarebbe tanto più intensa quanto più elevata è la temperatura. Questa ipotesi si accorda coll'esperienza seguente di Perkins, in Inghilterra. Essendo stato applicato un robinetto ad un generatore di vapore, al disotto del livello dell'acqua, il liquido non effluiva dal rubinetto allorchè le pareti del generatore erano portate ad un'altissima temperatura, quantunque la

pressione interna fosse considerevole; ma ad una temperatura meno elevata, il liquido zampillava con forza.

## DENSITÀ DEI VAPORI

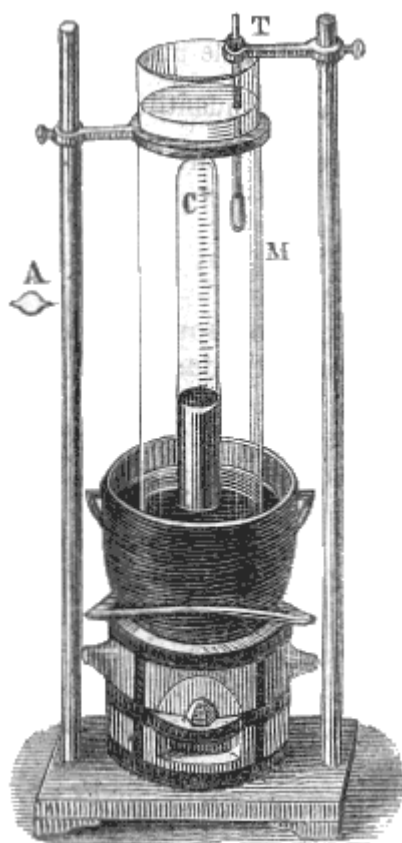


Fig. 203  $\alpha = 51$ .

**312. Metodo di Gay-Lussac.** - Chiamasi *densità di un vapore* il rapporto fra il peso di un certo volume di questo vapore e quello d'un ugual volume d'aria, alla stessa temperatura ed alla medesima pressione.

Per determinare la densità dei vapori furono seguiti due metodi; il primo, dovuto a Gay-Lussac, è applicabile ai liquidi che entrano in ebollizione ai disotto o poco al disopra dei 100 gradi; il secondo, dovuto a Dumas, permette di operare a temperature che ponno giungere fino a 360 gradi circa.

La figura 203 rappresenta l'apparecchio di Gay-Lussac. Esso si compone di una pentola di ghisa riempita di mercurio, nella quale si immerge un tubo di vetro M pieno d'acqua o d'olio, la di cui temperatura è indicata da un termometro T. Nell'interno del tubo avvi una campana graduata C, che da principio si riempie di mercurio.

Per sperimentare con questo apparecchio, si introduce il liquido da vaporizzare in una piccola ampolla di vetro come quella che è rappresentata in A alla sinistra della figura; chiudendo in seguito questa ampolla alla lampada, la si pesa, e sottraendo dal peso ottenuto, quello dell'ampolla quando era vuota, si ha il peso del liquido introdottovi. Allora si fa passare l'ampolla nella campana C, e si scalda gradatamente finchè l'acqua del tubo giunga ad una temperatura superiore di alcuni gradi a quella alla quale entra in ebollizione il liquido dell'ampolla. Questa allora scoppia per la dilatazione del liquido che contiene, e quest'ultimo, vaporizzandosi, deprime il mercurio

contenuto nella campana, come si vede nella figura. Bisogna che l'ampolla sia talmente piccola che tutto il liquido in essa introdotto riducasi in vapore. Se ciò avviene, quando il bagno raggiunge la temperatura d'ebollizione del liquido dell'ampolla, il livello del mercurio si conserva un po' più elevato all'interno della campana che all'esterno. Ciò indica infatti che tutto il liquido è vaporizzato, perchè, in caso contrario, il livello interno sarebbe sensibilmente uguale al livello esterno (288). Si ha dunque la certezza che il peso del liquido che trovavasi nell'ampolla, rappresenta esattamente il peso del vapore formatosi nella campana C. Il volume poi di questo vapore si conosce mediante la scala graduata che trovasi sulla campana. La sua temperatura è data dal termometro T, e la pressione eguaglia quella del barometro, meno quella del mercurio che rimane nella campana.

Rimane solo a calcolare il peso di un volume d'aria uguale a quello del vapore e nelle stesse condizioni di temperatura di pressione; poi dividere il peso del vapore per quello dell'aria: il quoziente è la densità o il peso specifico cercato.

Ecco la via da tenersi nel fare questi calcoli. Rappresentiamo con  $p$  il peso del vapore in grammi, con  $r$  il suo volume in litri, con  $t$  la sua temperatura, con  $H$  l'altezza del barometro, e con  $h$  l'altezza del mercurio nella campana, quindi la pressione del vapore è  $H-h$ . Trattasi di ottenere il peso di un volume d'aria  $v$  alla temperatura  $t$  e sotto la pressione  $H-h$ . Ora, siccome a zero e sotto la pressione  $0^m,76$  un litro d'aria pesa  $1gr,3$ , il peso del volume  $v$ , alla stessa pressione ed a zero sarebbe  $1^{gr},3 v$ .

Per calcolare il peso dello stesso volume d'aria a  $t$  gradi, sia  $\alpha$  il coefficiente di dilatazione dell'aria; il volume sarà aumentato da zero a  $t$  gradi nel rapporto di  $1$  a  $1+\alpha t$ ; al contrario il peso, a volume uguale, varia nel rapporto inverso di  $1+\alpha t$  a  $1$ . Adunque il peso del volume d'aria  $v$  a  $t$  gradi ed alla pressione  $0^m,76$ , è  $1^{gr},3 v / 1+\alpha t$ .

Finalmente, il peso di uno stesso volume d'aria essendo proporzionale alla pressione, si passa dalla pressione  $0^m,76$  alla pressione  $H-h$ , moltiplicando la quantità  $1^{gr},3 \text{ v.} / 1+\alpha t$  per  $(H-h)/0,76$ , ciò che dà  $1^{gr},3 \text{ v.} (H-h)/(1+\alpha t) 0,76$ , per il peso  $p'$  d'un volume d'aria  $v$ , alla pressione  $0,76$  ed a  $t$  gradi. Per conseguenza la densità cercata è:

$$D=p'/p=p(1+\alpha t) 0^m,76/1^{gr},3 \text{ v.} (H-h).$$

**313. Metodo di Dumas.** - Il processo or ora descritto non è applicabile che ai liquidi, il cui punto di ebollizione non oltrepassa i 150 o 160 gradi. Infatti, per portare a questa temperatura l'olio di cui in tal caso si empie il tubo, bisogna scaldare il mercurio che trovasi nella pentola ad un grado molto più elevato, per cui si sviluppano dei vapori di mercurio dannosi alla respirazione. Inoltre, la tensione dei vapori di mercurio, nella campana graduata, tende ad unirsi con quella del vapore su cui si esperimenta, il che sarebbe causa d'errore.

Il processo seguente, dovuto a Dumas, permette di operare fino alla temperatura alla quale sarebbe deformato il vetro, vale a dire a circa 360 gradi. L'apparato si compone di un pallone di vetro B a collo affilato (fig. 204), e della capacità di circa un mezzo litro. Dopo aver ben essiccato questo pallone all'interno ed all'esterno, lo si pesa pieno d'aria, ciò che dà il peso  $P$  del vetro. Vi si introduce in seguito, per la punta affilata, il liquido che si vuol far vaporizzare, poi si immerge il pallone in un bagno d'acqua satura di sale, od in un bagno d'olio di piedi di bue, o di lega d'Arcet, a seconda della temperatura d'ebollizione del liquido che trovasi nel pallone. Onde mantenere il pallone nel bagno si fissa, sopra uno dei manici della

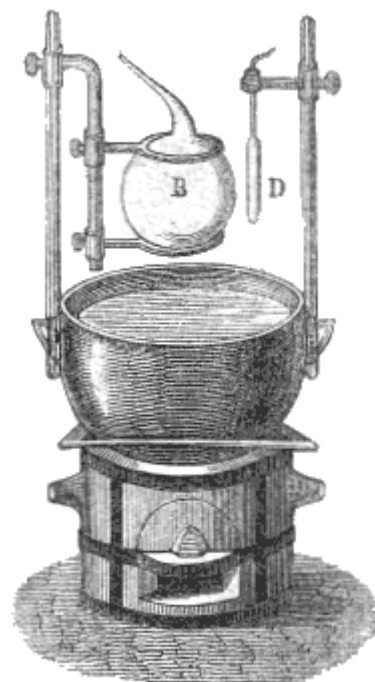


Fig. 204 ( $\alpha=18^{\circ}$ ).

pentola che lo contiene, un'asta di ferro, lungo la quale può scorrere un sostegno dello stesso metallo. Questo sostegno porta due anelli fra i quali è trattenuto il pallone come lo mostra la figura. Sull'altro manico, un'asta consimile alla precedente porta un termometro a peso D.

Immerso il pallone ed il termometro nel bagno, lo si riscalda un po' al di là della temperatura d'ebollizione del liquido che trovasi nel pallone. Il vapore svolgendosi per la punta affilata scaccia l'aria che trovasi nell'apparato. Al momento in cui cessa il getto del vapore, il che avviene quando tutto il liquido è vaporizzato, si chiude alla lampada con un cannello la punta affilata del pallone, avendo cura di notar tosto la temperatura del bagno e l'altezza del barometro. Finalmente, quando il pallone è raffreddato ed asciugato con cura, lo si pesa di nuovo, ed il peso  $P'$  che si ottiene rappresenta il peso del vapore in esso contenuto, più il peso del vetro, meno il peso dell'aria spostata (159), per avere adunque il peso del vapore, bisogna sottrarre da  $P'$  il peso del vetro, ed aggiungere al residuo il peso dell'aria, il che sarà facile dopo aver determinato il peso del pallone.

Per ciò, si immerge la punta affilata nel mercurio, e se ne rompe l'estremità con una pinzetta. Siccome il vapore si è condensato e nel pallone si è formato il vuoto, il mercurio, per effetto della pressione atmosferica, vi si precipita e, se ne fu espulsa tutta l'aria, lo riempie completamente. Versando in seguito in una campana graduata il mercurio che è penetrato nel pallone, si determina il volume di quest'ultimo alla temperatura ordinaria. Mediante il calcolo poi se ne deduce facilmente il volume del pallone alla temperatura del bagno (267, probl. V), e per conseguenza, il volume del vapore alla stessa temperatura. Essendo così arrivati, mediante questo processo, a conoscere il peso di un certo volume di vapore, ad una temperatura e ad una pressione determinata, il resto del calcolo si fa come nel processo di Gay-Lussac. Se rimanesse dell'aria nel pallone, esso non si riempirebbe completamente di mercurio, ma il volume del mercurio introdotto rappresenterebbe ancora il volume del vapore.

<i>Densità di alcuni vapori rispetto all'aria, a temperature alquanto superiori a quella d'ebollizione del liquido che li produce</i>			
Aria	1,0000	Vapore di solfuro di carbonio	2,6447
Vapore d'acqua	0,6235	“ di essenza di trementina	3,0130

“ d'alcool	1,6138	“ di mercurio	6,976
“ d'etere solforico	2,5860	“ d'iodio	8,716

**314. Rapporto tra il volume di un liquido e quello del suo vapore.** - Conoscendosi la densità di un vapore, se ne deduce facilmente il volume che deve occupare un determinato peso di questo vapore, allo stato di saturazione, ad una temperatura data. Sia proposto, per es., di calcolare il volume di un grammo di vapore d'acqua a 100 gradi ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76.

Siccome la densità del vapore d'acqua a 100 gradi è, rispetto a quella dell'aria, 0,6235, si avrà il peso di un litro di vapor d'acqua a 100 gradi ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76, cercando il peso di un litro d'aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione e moltiplicando questo peso per 0,6235. Ora abbiamo veduto (267, probl. VI), che rappresentando con P' il peso di un litro d'aria a t gradi, con P il peso dello stesso volume a zero, e con α il coefficiente di dilatazione dell'aria, si ha  $P = P'(1 + \alpha t)$ ; da cui  $P' = P/(1 + \alpha t)$ . Per conseguenza, nel caso che noi consideriamo, il peso di un litro d'aria secca, a 100 gradi, è:

$$1^{\text{gr}},3/(1+0,00366 \cdot 100) = 1^{\text{gr}},3/1,366 = 0^{\text{gr}},951.$$

Per conseguenza, un litro di vapore saturo, a 100 gradi, ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76, pesa

$$0^{\text{gr}},951 \cdot 0,6235 = 0^{\text{gr}},592.$$

Per avere, alla stessa temperatura ed alla stessa pressione, il volume V occupato da un grammo di vapore, non avvi che a dividere 1<sup>gr</sup> per 0<sup>gr</sup>,592, da cui  $V = 1^{\text{lit}},689 = 1689$  centimetri cubici.

Adunque l'acqua trasformandosi in vapore a 100 gradi ed alla pressione 0<sup>m</sup>,78, assume un volume circa 1300 volte maggiore di quello che aveva allo stato liquido.

## CAPITOLO VI

### IGROMETRIA

**315. Oggetto dell'igrometria.** - L'*igrometria* ha per oggetto di determinare la quantità di vapore d'acqua contenuto in un determinato volume d'aria. Questa quantità è assai variabile; ma l'aria non è mai satura di vapore d'acqua, almeno nei nostri climi. Essa non è nemmeno giammai completamente secca, perchè se si espongono all'aria delle sostanze *igrometriche*, cioè che hanno grande affinità per l'acqua, come il cloruro di calcio, l'acido solforico, in ogni tempo esse assorbono vapore acqueo.

**316. Stato igrometrico.** - Siccome l'aria in generale non è satura, si denomina *stato igrometrico* o *frazione di saturazione dell'aria*, il rapporto fra la quantità attuale di vapore acqueo che essa contiene e la quantità che ne conterrebbe se a parità di temperatura fosse satura. Il grado di umidità dell'aria non dipende dalla quantità assoluta di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera, ma dalla maggiore o minore distanza dallo stato di saturazione a cui si trova l'aria. Questa, quando fa freddo, può essere umidissima con poco vapore, e molto secca, al contrario, con una maggior quantità, quando fa caldo. Così, per esempio, l'aria, in generale, contiene maggior quantità d'acqua all'estate che non all'inverno, e tuttavia è meno umida, perchè la temperatura essendo più elevata, il vapore è più lontano dal suo punto di saturazione. Così pure quando riscalda un appartamento, non si diminuisce punto la quantità di vapore che è nell'aria, ma si diminuisce l'umidità di questa, perchè si allontana il suo punto di saturazione. L'aria può in allora diventare perfino tanto secca da nuocere all'economia animale; perciò egli è bene collocare sulla stufa dei vasi contenenti dell'acqua. Siccome la legge di Mariotte si applica tanto ai vapori non saturi quanto ai gas (286), ne risulta che a temperatura e volume uguali, il peso del vapore, in uno spazio non saturo, cresce come la pressione, e, per conseguenza, come la tensione di questo stesso vapore. Si può adunque sostituire al rapporto delle quantità di vapore quello delle forze elastiche corrispondenti, e dire che lo stato igrometrico dell'aria è *il rapporto fra la forza elastica del vapore d'acqua che essa contiene e la forza elastica del vapore acqueo che conterrebbe alla stessa temperatura se fosse satura*.

Vale a dire che rappresentando con  $f$  la tensione del vapore che è nell'aria, con  $F$  quella del vapore che è allo stato di saturazione alla stessa temperatura, e con  $E$  lo stato igrometrico, si ha  $E = f/F$ , da cui ricavasi  $f = FE$ .

Importa notare, come conseguenza di questa seconda definizione, che al variare della temperatura l'aria può contenere la stessa quantità di vapore e non essere allo stesso stato igrometrico. Per es., quando la temperatura si eleva, la forza elastica del vapore che l'aria conterrebbe allo stato di saturazione cresce più rapidamente che la forza elastica del vapore che si trova attualmente nell'aria, ed allora il rapporto di queste forze, cioè lo stato igrometrico, diventa minore.

Si vedrà quanto prima (324) come dallo stato igrometrico si deduca il peso del vapore contenuto in un dato volume di aria.

**317. Differenti specie di igrometri** - Chiamansi *igrometri* gli strumenti che servono a determinare lo stato igrometrico dell'aria. Ne furono immaginati moltissimi che ponno ridursi a quattro specie principali: gli igrometri chimici, gli igrometri ad assorbimento, gli igrometri a condensazione ed i psicometri.

Il metodo dello psicometro consiste nell'osservare simultaneamente due termometri, il serbatoio di uno dei quali si tiene costantemente bagnato e l'altro asciutto. Dalla differenza di temperatura che essi indicano, dalla temperatura assoluta di uno di essi, e finalmente dall'altezza del barometro al momento dell'osservazione, si ottiene, mediante il calcolo, la frazione di saturazione dell'aria. Noi non descriveremo lo psicometro non essendo d'accordo i fisici sulla formola matematica data, per l'uso di questo strumento, da August, suo inventore.

**318. Igrometri chimici.** - Ogni sostanza dotata di una grande affinità pel vapore acqueo è un *igrometro chimico*. Si introduce una di queste sostanze, per es., del cloruro di calcio, in un tubo ad U; poi si fa comunicare questo tubo colla parte superiore di un aspiratore pieno d'acqua, come quello che fa parte della figura 207. A misura che l'acqua dell'aspiratore effluisce, vi rientra l'aria. per mezzo del tubo che contiene la sostanza essiccante, e tutto il vapore che trovasi nell'aria vien assorbito da questa sostanza. Se adunque prima dell'esperienza si era pesato il tubo colle sostanze in esso contenute, e lo si pesa dopo, l'aumento di peso dà la quantità di vapore acqueo contenuto in un volume d'aria uguale a quello dell'aspiratore. Da questo peso si deduce in seguito, mediante il calcolo, lo stato igrometrico dell'aria. Questo processo è il più preciso, ma non offre il grado di semplicità necessario per le osservazioni meteorologiche.

**319. Igrometri ad assorbimento.** - Gli *igrometri ad assorbimento* sono fondati sulla proprietà che hanno le sostanze organiche di allungarsi per l'umidità e di accorciarsi per la secchezza.

Si immaginarono vari igrometri ad assorbimento. Il più in uso è l'*igrometro a capello* od *igrometro di Saussure*, dal nome del fisico al quale ne è dovuta l'invenzione. Questo strumento si compone di un telaio di ottone (fig. 205) sul quale è teso un capello *c* previamente liberato dalle sue sostanze grasse mediante l'immersione in acqua contenente un centesimo del suo peso di sottocarbonato di soda. Se il capello contenesse ancora le sostanze grasse, non assorbirebbe che poco vapore ed il suo allungamento sarebbe piccolissimo, mentre che, privo di tali materie si allunga rapidamente passando dalla secchezza all'umidità.

Il capello *c* è tenuto fermo, alla sua parte superiore da una pinzetta a chiusa da una vite di pressione *d*. Questa pinzetta si innalza o si abbassa, per tendere il capello, mediante una vite *b*, la cui madre vite è fissa. Se il capello fosse annodato, ne risulterebbe una torsione che renderebbe irregolare l'allungamento. Alla sua parte inferiore si avvolge sopra una carrucola o a due gole, alla quale è fissato. Sulla seconda gola si avvolge, in senso contrario a quello del capello, un filo di seta che sostiene un piccolo peso *p*. L'asse della carrucola porta un indice graduato. Quando il capello si accorcia, la trazione che esercita fa innalzare l'indice; quando si allunga, il peso *p* fa discendere l'indice. Per graduare il quadrante si segna zero al punto in cui, alla temperatura ordinaria, si arresta l'indice nell'aria completamente asciutta, e 100 al punto in cui si arresta nell'aria satura di vapore acqueo; poi si divide l'intervallo fra questi due punti in 100 parti uguali, che sono i gradi dell'igrometro.

Lo zero, o il punto di estrema secchezza, si determina collocando l'igrometro sotto una campana di vetro, di cui si essicca l'aria rinchiudendovi delle sostanze assai avide d'acqua, come del cloruro di calcio o del carbonato di potassa calcinato. L'aria della campana perde la sua umidità, e per conseguenza il capello si accorcia e fa girare la carrucola ed il suo indice, ma assai lentamente. Solo dopo quindici o venti giorni, l'indice diviene stazionario, il che indica che l'aria della campana è completamente disseccata. Allora, sul quadrante, al punto corrispondente all'indice, si segna zero.

Si ottiene la posizione del punto di estrema umidità, ritirando dalla campana le materie essiccanti, e bagnandone le pareti con acqua distillata. Questa vaporizzandosi, satura ben presto l'aria della campana, ed il capello si allunga rapidamente. Allora il piccolo peso *p* di cui il filo si avvolge sulla carrucola in senso contrario al capello, fa girare l'indice allontanandolo dallo zero. In meno di due ore esso ritorna stazionario, ed allora si segna 100 al punto in cui esso si ferma.

Secondo Saussure, un capello lungo circa 20 centimetri, quando il peso che lo tende sia di 3 decigrammi, si allunga da 0 a 100, di  $\frac{1}{40}$  della sua lunghezza. I capelli biondi sembrano quelli il cui allungamento è più regolare.

Non si ha riguardo alla dilatazione che subisce il capello per le variazioni di temperatura, perchè si è riconosciuto che per una differenza di 33 gradi nella temperatura dell'aria, l'allungamento del

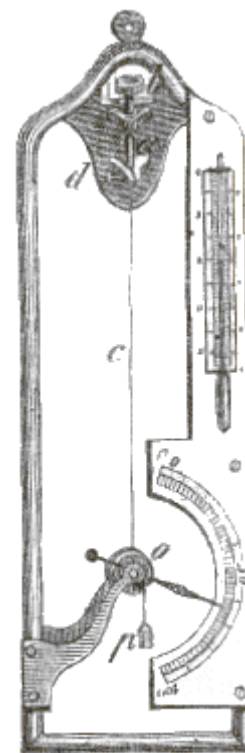


Fig. 205 (a.=27).

capello fa variare l'ago solo di  $\frac{3}{4}$  d'un grado dell'igrometro. Astrazione fatta da questa debole dilatazione, si osserva che, a qualunque temperatura, l'indice dell'igrometro ritorna sempre esattamente allo zero nell'aria perfettamente secca, ed a 100 nell'aria satura. La stabilità di quest'ultimo punto mostra che, nell'aria satura, il capello assorbe sempre la stessa quantità d'acqua, qualunque sia la temperatura, e, per conseguenza, la densità del vapore.

Gli igrometri a capello presentano molti inconvenienti. Costrutti con capelli di differenti specie, le loro indicazioni ponno variare di più gradi, sebbene si accordino ai due punti fissi. Inoltre uno stesso igrometro non resta comparabile a sè medesimo, perchè il capello si allunga per la continua tensione del peso che ei sostiene. Perciò il miglior sistema di graduazione è un quadrante intero, a zero arbitrario, sul quale si determina, di tempo in tempo, la posizione dei punti di estrema secchezza e d'estrema umidità. Soddisfacendo a queste condizioni, l'igrometro a capello presenta ancora, l'inconveniente di non dare immediatamente lo stato igrometrico dell'aria. Faremo qui conoscere una tavola costrutta da Gay-Lussac per dedurre lo stato igrometrico dell'aria dalle indicazioni dell'igrometro a capello.

**320. Tavola di correzione di Gay-Lussac.** - L'esperienza dimostra che le indicazioni dell'igrometro a capello non sono proporzionali allo stato igrometrico dell'aria. Per es., quando l'indice segna 59 gradi, l'aria è lungi dall'essere allo stato medio di saturazione. Fu dunque necessario trovare sperimentalmente lo stato igrometrico corrispondente a ciascun grado dello strumento. Gay-Lussac ha risolto questo problema, fondandosi sul principio, che i vapori forniti da una dissoluzione salina od acida hanno una tensione massima tanto più debole, a temperatura uguale, quanto più considerevole è la quantità d'acido o di sale disciolto (290).

Ciò posto, questo scienziato collocava l'igrometro a capello sotto una campana nella quale trovavasi una mescolanza di acqua e di acido solforico, e, quando l'aria della campana era saturata di vapore, notava il grado dell'igrometro. Per ottenere poi la tensione del vapore sotto la campana, faceva passare nel vuoto barometrico alcune gocce della stessa soluzione salina che trovavasi sotto la campana. Allora, la depressione del mercurio nel barometro gli forniva la tensione del vapore sotto la campana, poichè allo stato di saturazione ed a temperatura eguale, la forza elastica di un vapore è la stessa tanto nel vuoto che nell'aria (309, 10). Finalmente, cercando nelle tavole delle forze elastiche (pag. 237), la tensione del vapore saturo, alla temperatura dell'aria della campana egli aveva i due termini del rapporto che rappresenta lo stato igrometrico dell'aria (316) corrispondente al grado segnato dall'igrometro. Egli è ripetendo questa esperienza con dissoluzioni acide più o meno concentrate ed alla temperatura di 10 gradi, che Gay-Lussac trovò dieci termini della tavola seguente; gli altri termini vennero in seguito determinati da Biot, mediante formole d'interpolazione.

<i>Stati igrometrici corrispondenti ai gradi dell'igrometro a capello, alla temperatura di 10 gradi</i>			
GRADI Dell'igrometro	STATI igrometrici	GRADI Dell'igrometro	STATI igrometrici
0	0,000	55	0,318
5	0,022	60	0,363
10	0,046	65	0,414
15	0,070	70	0,472
20	0,094	72	0,500
25	0,120	75	0,538
30	0,148	80	0,612
35	0,177	85	0,696
40	0,208	90	0,791
45	0,241	95	0,891
50	0,278	100	1,000

Questa tavola fa vedere come soltanto a 72 gradi l'aria è al grado medio di saturazione. Siccome l'indice dell'igrometro, alla superficie del suolo, corrisponde generalmente a questo punto, così si conchiude che l'aria contiene, in media, la metà del vapore acqueo che conterrebbe se fosse satura.



Nei nostri climi, l'igrometro non discende giammai fino a 100 gradi, anche in seguito alle piogge le più abbondanti. Durante la massima secchezza ascende di rado oltre i 30 gradi. Elevandosi nell'atmosfera, ascende in generale verso zero.

L'esperienza insegnò che gli igrometri a capello non si accordano se non quando i capelli sono della stessa qualità e preparati nello stesso modo; di maniera che, per ottenere indicazioni precise, sarebbe necessaria una tavola particolare per ciascun igrometro.

**321. Igrometro a condensazione di Daniel.** - Gli igrometri a condensazione hanno per oggetto di far conoscere, mediante il raffreddamento dell'aria, a quale temperatura il vapore che essa contiene sarebbe sufficiente per saturarla; tali sono gli igrometri di Daniel e di Regnault.

L'*igrometro di Daniel* si compone di due sfere di vetro riunite da un tubo a due ripiegamenti (fig. 206). La sfera A è piena per due terzi di etere, nel quale è immerso un piccolo termometro rinchiuso nel tubo. Le due sfere ed il tubo sono completamente privi d'aria, il che si ottiene facendo bollire l'etere che trovasi nella sfera A, intanto che la bolla B è ancora aperta, e chiudendo quest'ultima alla lampada, allorchè si giudica che i vapori d'etere abbiano espulsa tutta l'aria; di modo che il tubo e la sfera B non contengono che del vapore d'etere.

Ciò posto, sulla sfera B avviluppata di mussolina, si versa goccia a goccia dell'etere. Questo liquido, evaporandosi, raffredda la sfera (301), e condensa i vapori che essa contiene. Siccome allora la tensione è diminuita, l'etere della sfera A fornisce tosto nuovi vapori, che vanno parimenti a condensarsi nell'altra sfera, e così di seguito. Ora, a misura che il liquido distilla dalla sfera inferiore alla sfera superiore, l'etere contenuto nella prima si raffredda, e giunge un momento in cui l'aria che trovasi a contatto colla bolla A, e che si raffredda con essa, arriva alla temperatura alla quale il vapor d'acqua che contiene è sufficiente per saturarla. Allora questo vapore si condensa, e si vede depositarsi, sulla bolla A, uno strato di rugiada, che, sotto la forma di un anello, circonda la superficie del liquido, dove, difatti, l'evaporazione produce specialmente il raffreddamento. Il termometro interno indica, in questo istante, la temperatura del *punto di rugiada*, cioè la temperatura di saturazione dell'aria ambiente.

Per ottenere questo punto con maggior approssimazione, si nota la temperatura al momento in cui il vapore precipitato si dissipa pel riscaldamento, e si prende la media fra questa temperatura e quella della precipitazione. Convien che, durante questa esperienza, l'igrometro sia esposto ad una corrente d'aria, per es., su di una finestra aperta, affinchè l'evaporazione dell'etere sulla mussolina sia più rapida. Finalmente, per rendere più visibile il deposito di rugiada, si costruisce ordinariamente la sfera A in vetro nero. La temperatura dell'aria è data da un termometro collocato sul piede stesso dell'apparecchio.

Quando l'igrometro di Daniel ha per tal modo fatta conoscere la temperatura alla quale l'aria sarebbe satura, bisogna dedurne lo stato igrometrico. Per ciò, bisogna notare che, allorchè, in uno spazio libero contenente una mescolanza d'aria e di vapore, alla pressione atmosferica, si abbassa la temperatura, la forza elastica del vapore rimane costante fino al punto di saturazione. Infatti, la forza elastica della mescolanza è eguale alla somma delle forze elastiche di ciascun fluido (309, 2°); ora, intanto che l'aria si raffredda, la sua tensione rimane invariabile, perchè aumenta di tanto per la diminuzione di volume di quanto decresce per l'abbassamento di temperatura. La tensione del vapore deve quindi rimanere invariabile, perchè la forza elastica della mescolanza rimane necessariamente uguale alla pressione dell'atmosfera tanto prima che dopo il raffreddamento. Per

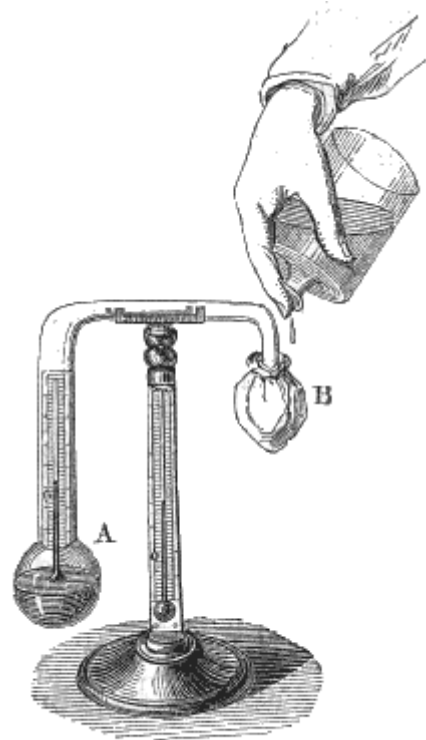


Fig. 206 (a = 18).

conseguenza, *quando l'aria si raffredda, la tensione del vapore in essa contenuto rimane costante fino al punto di saturazione, e, a questo punto, questa tensione è la stessa che prima del raffreddamento.*

Dietro questo principio, se si cerca, nelle tavole delle forze elastiche, la tensione  $f$  corrispondente al punto di rugiada, questa tensione sarà precisamente eguale a quella che possiede il vapore d'acqua che si trova nell'aria al momento dell'esperienza. Se, adunque si cerca, nelle stesse tavole, la tensione  $F$  del vapore saturo, alla temperatura dell'aria, il quoziente della tensione  $f$  diviso per la tensione  $F$  rappresenterà lo stato igrometrico dell'aria (316). Per es., essendo 15 gradi la temperatura dell'aria, supponiamo che il termometro della sfera A segni 5 gradi all'istante in cui si mostra la rugiada. Cercando nelle tavole delle forze elastiche le tensioni corrispondenti a 5 gradi ed a 15 gradi, si trova  $f$  uguale a  $6^{\text{mil}},534$ , ed  $F$  uguale a  $12^{\text{mil}},699$ ; quindi, il rapporto di  $f$  ad  $F$ , ossia lo stato igrometrico, è 0,514.

L'igrometro di Daniel presenta parecchie cause d'errore: 1.° siccome l'evaporazione nella sfera A non raffredda il liquido che alla sua superficie, il termometro che vi si immerge non può indicare con precisione la temperatura del punto di rugiada; 2.° l'osservatore, stando vicino all'apparato, modifica lo stato igrometrico dell'aria ambiente e la sua temperatura.

**322. Igrometro di Regnault.** - Regnault costruì un igrometro a condensazione, il quale non presenta le cause d'errore di quello di Daniel.

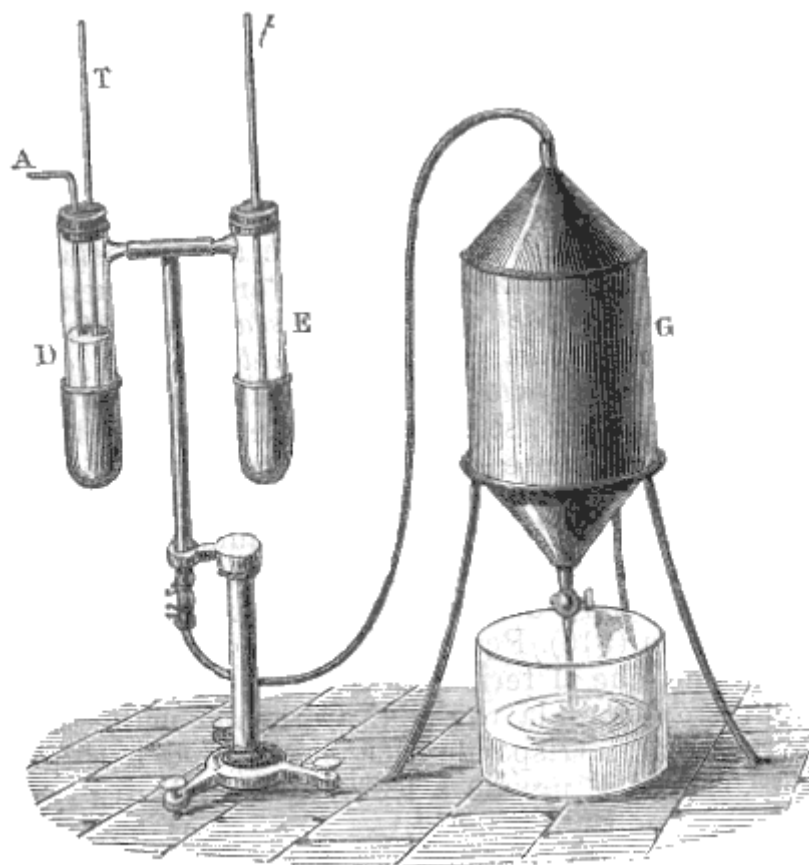


Fig. 207 (a.=50).

Quest'apparecchio si compone di due ditali d'argento, a pareti sottili e terse, dell'altezza di 45 millimetri e del diametro di 20 (fig. 207). In questi ditali penetrano due tubi di vetro D ed E. Ciascun d'essi contiene un termometro assai sensibile fissato mediante un turacciolo. Il turacciolo del tubo D è attraversato da un tubo A, il quale è aperto alle sue estremità ed arriva fino al fondo del ditale. Finalmente, il tubo D è posto in comunicazione, per mezzo del piede stesso del sostegno, con un aspiratore G pieno d'acqua. Il tubo E non comunica coll'aspiratore; esso contiene soltanto un termometro destinato a far conoscere la temperatura dell'aria.

Ciò posto, si versa dell'etere nel tubo D fino a metà circa, poi si apre il robinetto dell'aspiratore. L'acqua che lo riempie effluisce e l'aria si rarefa nel tubo D. Allora, per effetto della pressione atmosferica, entra dell'aria nel tubo A; ma siccome quest'aria non può penetrare nel tubo D e nell'aspiratore se non passando attraverso all'etere, riduce in vapore una parte di questo liquido, e lo raffredda tanto più sollecitamente, quanto più rapido è l'efflusso. Giunge un istante in cui il raffreddamento determina sul ditale un deposito di rugiada, come nell'igrometro di Daniel; siccome allora il termometro T dà la temperatura corrispondente, si hanno gli elementi necessari per calcolare lo stato igrometrico.

In questo strumento tutta la massa d'etere trovasi alla stessa temperatura, in causa dell'agitazione che le imprime la corrente d'aria; inoltre le osservazioni si fanno in distanza mediante un cannocchiale; in tal modo è allontanata ogni causa d'errore.

**323. Igroscopii.** - Chiamansi *igroscopii* alcuni apparati che indicano bensì se nell'aria siavi più o meno vapore d'acqua, ma non ne fanno conoscere la quantità. Se ne costruiscono di parecchie sorta: i più usati sono quelli ai quali si dà la forma di piccole figurine, la di cui testa si copre di un cappuccio o se ne scopre secondo che l'aria è più o meno umida. Questi strumenti sono fondati sulla proprietà che hanno le corde e le minugie attorcigliate di storcersi per l'azione dell'umidità, e di attorcigliarsi ulteriormente per la secchezza. Le loro indicazioni sono dovute ad un piccolo pezzo di minugia attorcigliata, fissata per uno de' suoi capi, ed attaccata coll'altro al pezzo mobile. Questi igroscopii sono pigri, vale a dire che, siccome si muovono assai lentamente, le loro indicazioni sulle variazioni igrometriche dell'aria sono sempre in ritardo; inoltre, sono pochissimo sensibili.

**324. Problemi sull'igrometria.** - I. Calcolare il peso del vapore acqueo contenuto in un volume d'aria V, alla temperatura  $t$ , l'igrometro a capelli segnando  $m$  gradi.

Colla tavola di Gay-Lussac trovasi lo stato igrometrico E corrispondente ad  $m$  gradi dell'igrometro, e nelle tabelle delle forze elastiche (290) si trova la tensione F del vapore saturo a  $t$  gradi; la proporzione  $f = FE$  (316) fa quindi conoscere la forza elastica  $f$  del vapore di cui si cerca il peso.

Ciò posto, 1 litro d'aria a 0 ed alla pressione 76, pesante  $1^{\text{gr}},293$ , il suo peso a  $t^{\circ}$  e alla pressione  $f$  è  $(1^{\text{gr}},293 \cdot f) / (1 + \alpha t) \cdot 76$  (probl. VI). Quindi 1 litro di vapore, della densità di  $5/8$  pesa, alla stessa temperatura e alla stessa pressione,  $(1^{\text{gr}},293 \cdot f) \cdot 5 / (1 + \alpha t) \cdot 76 \cdot 8$ . Infine il peso del vapore contenuto in V litri d'aria a  $t$  gradi, lo stato igrometrico essendo E, sarà dunque  $(1^{\text{gr}},293 \cdot V \cdot f \cdot 5) / (1 + \alpha t) \cdot 76 \cdot 8$ , valore che è indipendente dalla pressione atmosferica.

II. Calcolare il peso P d'un volume d'aria umida V, il cui stato igrometrico è E, la temperatura  $t$  e la pressione H, la densità del vapore essendo  $5/8$  di quella dell'aria.

Per risolvere questo problema, devesi osservare che il dato volume d'aria, a norma della seconda legge sulle mescolanze dei gas e dei vapori, non è altro che un miscuglio di V litri d'aria secca a  $t$  gradi e alla pressione H meno quella del vapore, e di V litri di vapore a  $t$  gradi e alla tensione data dallo stato igrometrico; trattasi dunque di trovare separatamente il peso dell'aria e quello del vapore.

Ora la formola conosciuta  $f = FE$  (316) serve a calcolare la tensione  $f$  del vapore che è nell'aria, poichè E è dato e F trovasi nelle tabelle delle forze elastiche. Conosciuta la tensione  $f$ , se chiamasi  $f'$  la tensione dell'aria, si ha  $f + f' = H$ , donde  $f' = H - f = H - FE$ . La questione riducesi dunque a calcolare il peso di V litri d'aria secca a  $t$  gradi e alla pressione H-FE, poi quelli di V litri di vapore pure a  $t$  gradi, ma alla pressione FE.

Ora si sa che V litri d'aria secca a  $t$  gradi e alla pressione H-FE pesano

$$[1^{\text{gr}},293 \cdot V(H - FE)] / (1 + \alpha t) \cdot 76$$

(267, probl. VI), e si vide nel problema precedente che V litri di vapore, a  $t$  gradi e alla pressione FE, pesano

$$(1^{\text{gr}},293 \cdot FE \cdot 5) / (1 + \alpha t) \cdot 76 \cdot 8$$

facendo dunque finalmente la somma dei due pesi ottenuti e riducendo si ha

$$P = [1^{\text{gr}},293 \cdot V(H - 3/8 \cdot FE)] / (1 + \alpha t) \cdot 76 \quad [A].$$

Se l'aria fosse satura, si avrebbe  $E = 1$ , e allora questa formola si cangerebbe in quella di già trovata per le mescolanze dei gas e dei vapori saturi (310, probl. III).

La formola [A] contenente, oltre il peso P, parecchie quantità variabili V, E, H,  $t$ , si può, prendendo successivamente ciascuna di queste quantità per incognite, proporsi altrettanti problemi di cui si otterrebbe la soluzione risolvendo l'equazione [A] per rapporto a V, a E, ad H o a  $t$ . Ne vedremo un esempio nel problema seguente.

III. Calcolare, a  $t$  gradi e alla pressione H, il volume d'un peso d'aria P il cui stato igrometrico è E, la densità del vapore essendo  $5/8$ , e la sua tensione F a  $t$  gradi essendo conosciuta col mezzo delle tabelle delle forze elastiche.

Risolvendo per rapporto a V l'equazione [A] del problema precedente si trova

$$V = (1 + \alpha t) \cdot 76 / [1^{\text{gr}},293 \cdot (H - 3/8 \cdot FE)].$$

Questo problema si può risolvere anche direttamente. Perciò, il peso P essendo un miscuglio d'aria secca a  $t$  gradi e alla pressione H-FE, e di vapore a  $t$  gradi e alla pressione FE, sieno  $x$  il peso dell'aria, e  $y$  il peso del vapore; secondo

l'enunciato, si ha  $x+y=P$  (1). Ma la densità del vapore essendo  $5/8$  di quella dell'aria,  $y$  deve eguagliare i  $5/8$  di  $x$  a pressione eguale. Ora, il volume d'aria cercato pesando  $x$  alla pressione H-FE, il suo peso alla pressione FE, che è quella del vapore, non è più che  $(x \cdot FE)/(H-FE)$ ; dunque  $y=(x \cdot FE \cdot 5/8)/(H-FE)$ .

Trasportando questo valore nell'equazione [1], si ha

$$x + (x \cdot FE \cdot 5/8)/(H-FE) = P, \text{ d'onde } x = P(H-FE)/(H - 3/8FE).$$

Conosciuto il peso dell'aria, si avrà il suo volume in litri cercando quante volte questo peso contiene quello di un litro d'aria a  $t$  gradi ed alla pressione H-FE. Ora 1 litro d'aria a 0 e alla pressione 76 pesando 1gr,293, il suo peso a  $t$  gradi e alla pressione H-FE è:

$$1^{gr},293 \cdot (H-FE)/(1+\alpha t) \cdot 76.$$

$$\text{Dunque } V = [P(H-FE)/H - 3/8FE] / 1^{gr},293 \cdot (H-FE)/(1+\alpha t) \cdot 76 = P \cdot (1+\alpha t) \cdot 76 / 1^{gr},293 \cdot (H - 3/8FE).$$

Formola che è la stessa della formola [B] ottenuta qui sopra.

IV. *Correzione della perdita di peso che subiscono i corpi pesati nell'aria.* – Abbiamo visto trattando della bilancia (51) che ogni peso determinato per mezzo di questo apparecchio, non è che un peso apparente, minore del peso reale. Quest'ultimo si deduce dal peso apparente fondandosi su ciò che ogni corpo pesato nell'aria perde del suo peso un peso eguale a quello dell'aria spostata (159); tuttavia la soluzione è complicata anzi che no, poichè non solamente varia colla pressione, colla temperatura e collo stato igrometrico il peso dell'aria spostata; ma variano colla temperatura eziandio il volume dei corpi che si vogliono pesare, e quello dei pesi metrici od altri di cui vogliasi far uso; così che si ha a fare una doppia correzione, l'una relativa ai pesi, l'altra ai corpi che si pesano.

1.° *Correzione relativa ai pesi.* – Per fare questa correzione, sia  $P$  il loro peso nell'aria, e  $\pi$  il loro peso reale nel vuoto, vale a dire quello esposto qui sopra; di più sia  $V$  il volume di questi pesi a 0,  $K$  il coefficiente di dilatazione lineare della sostanza di cui essi sono formati, e  $D$  la sua densità.

Il volume  $V$  divenendo a  $t$  gradi  $V(1+3Kt)$ , tale è pure il volume d'aria spostata dai pesi.

Rappresentando dunque con  $\mu$  il peso di un litro di aria a  $t$  gradi e alla pressione  $H$  al momento della pesata, si avrà

$$P = \mu \cdot V(1+3Kt).$$

Ma secondo la formola conosciuta  $P = VD$  (106), si può sostituire a  $V \cdot \mu/D$ , e allora la formola qui sopra prende la forma

$$P = \pi[1 - \mu(1+3Kt)/D] \quad [1].$$

la quale fa conoscere il valore nell'aria di un peso marcato  $\pi$ , quando si sostituisca ad  $\mu$  il suo valore.

Ora, essendo  $\mu$  il peso di un litro d'aria più o meno umida alla temperatura  $t$  e alla pressione  $H$ , il suo valore si calcola mediante l'equazione [A] trovata più sopra (probl. II).

2.° *Correzione relativa ai corpi che si pesano.* – Sia attualmente  $p$  il peso apparente dell'oggetto da pesarsi,  $\pi$  il suo peso reale nel vuoto,  $d$  la sua densità,  $K$  il suo coefficiente di dilatazione, e  $t$  la temperatura; trovasi pei ragionamenti suesposti

$$p = \pi[1 - \mu(1+3kt)/d] \quad [2].$$

Ciò posto, facendo uso del metodo delle doppie pesate e di una tara di cui il peso apparente sia  $p'$ , il peso reale  $\pi'$ , la densità  $d'$  e il coefficiente  $k'$ ; e ammettendo che la temperatura e la pressione non cangino punto, ciò che è il caso generale, si ha ancora

$$P' = \pi'[1 - \mu(1+3k't)/d'] \quad [3].$$

Se indicansi dunque con  $a$  e  $b$  i due bracci del giogo, si avrà, nella pesata (51),  $ap = bp'$ , e nella seconda  $aP = bp'$ ; da cui  $p = P$ . Sostituendo a  $P$  e  $p$  i loro valori tirati dalle equazioni [1] e [2] più sopra esposte, si ha

$$\pi[1 - \mu(1+3kt)/d] = \pi'[1 - \mu(1+3Kt)/D] \text{ d'onde } \pi = [1 - \mu(1+3Kt)/D] / [1 - \mu(1+3kt)/d] \quad [4]$$

formola che risolve il problema.

## CAPITOLO VII

# CONDUCIBILITÀ DEI SOLIDI, DEI LIQUIDI E DEI GAS

**325. Conducibilità dei solidi.** - La *conducibilità* è la proprietà che hanno i corpi di trasmettere il calorico più o meno facilmente nell'interno della loro massa. Si ammette che questo genere di propagazione si effettui per un irradimento interno da molecola a molecola. Siccome non tutti i corpi conducono egualmente il calorico, così si chiamano *buoni conduttori* quelli che lo trasmettono facilmente, come sarebbero specialmente i metalli; e si chiamano *cattivi conduttori* quelli che presentano una resistenza più o meno grande alla propagazione del calorico, come sono il vetro, le resine, i legni, e principalmente i liquidi ed i gas.

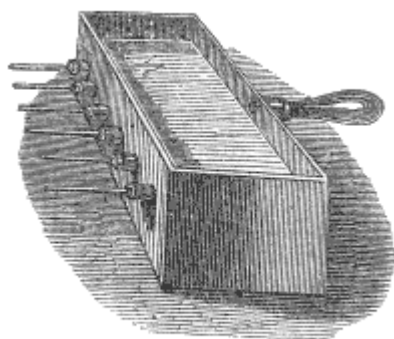


Fig. 208 (1-22).

Per paragonare la facoltà conduttrice dei solidi, Ingenhousz, medico olandese, morto alla fine del secolo passato, costruì il piccolo apparato che porta il suo nome, e che è rappresentato dalla figura 208. È una cassa di latta, a cui sono fissate, mediante delle tubature e dei turaccioli, delle verghe di diverse sostanze, per es., di ferro, di rame, di legno, di vetro. Queste verghe penetrano per alcuni millimetri nell'interno della cassa e sono ricoperte di cera bianca, la quale si fonde a 63 gradi. Riempita la cassa d'acqua bollente, si osserva che sopra alcune la cera entra tosto in fusione sino ad una distanza più o meno grande, mentre sopra altre non si scorge verun indizio di fusione. Il potere conduttore è evidentemente di tanto maggiore di quanto più estesa è la parte sulla quale la cera è stata fusa.

Despretz misurò la facoltà conduttrice dei solidi rappresentato dalla figura 209. È una spranga prismatica in cui sono praticate, di decimetro in decimetro, delle piccole cavità piene di mercurio, in ciascuna delle quali è immerso un termometro. Esposta questa spranga, con una delle sue estremità, ad una sorgente di calorico costante, si scorgono le colonne termometriche ascendere successivamente, partendo dalla sorgente, poi fermarsi a temperature fisse, ma decrescenti da un termometro al seguente. Con questo processo, Despretz verificò la legge seguente enunciata per la prima volta da Lambert di Berlino: *Quando le distanze della sorgente crescono in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura sull'aria ambiente decregono in progressione geometrica.*

Tuttavia, questa legge non si verifica che pei metalli ottimi conduttori, quali sono l'oro, il platino, l'argento ed il rame; essa non è che approssimativa pel ferro, lo zinco, il piombo, lo stagno, e per nulla applicabile ai corpi non metallici, come il marmo, la porcellana; etc.

Rappresentando con 1000 la facoltà conduttrice dell'oro, Despretz ha trovato che quella delle sostanze seguenti è:

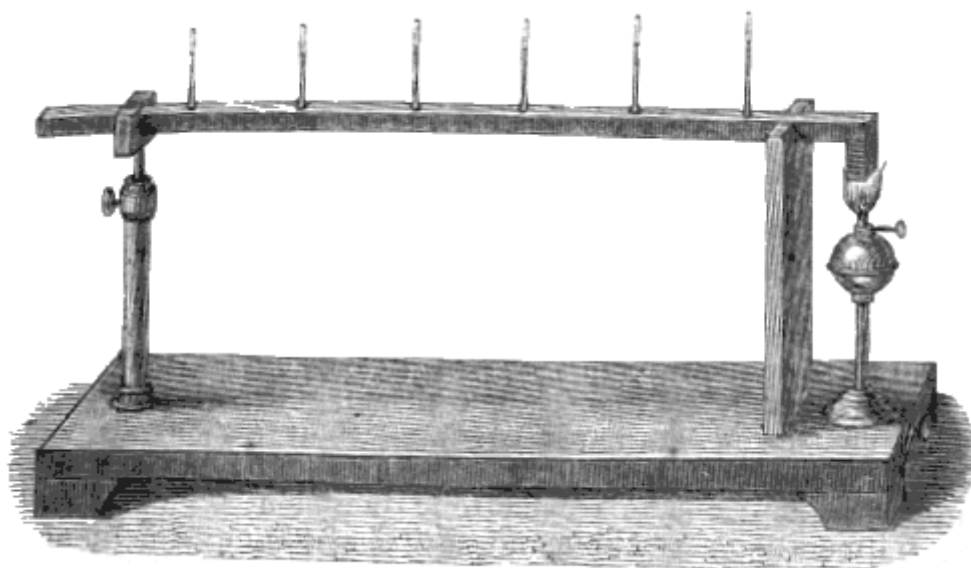


Fig. 209  $I = 8\frac{1}{2}$ .

Platino	981	Stagno	304
Argento	973	Piombo	179
Rame	898	Marmo	24
Ferro	374	Porcellana	12
Zinco	363	Terra da mattoni	11

Wiedmann e Franz pubblicarono, nel 1833, negli Annali di Poggendorf, il risultato di lunghe ricerche sulla conducibilità dei metalli pel calorico. Onde non alterare la forma delle spranghe metalliche praticandovi delle cavità, come aveva fatto Despretz, il che distruggeva parzialmente la continuità dei metalli, questi fisici applicarono un processo esente da tal causa d'errore. Essi misurarono la temperatura delle spranghe, nelle loro diverse parti, mediante correnti termo-elettriche che ottenevano applicando su queste parti il punto di saldatura d'un elemento della pila termo-elettrica di Melloni (lib. X, cap. VIII).

Le spranghe metalliche erano della maggior possibile regolarità, e disposte in uno spazio di cui la temperatura era costante. Uno dei capi delle spranghe era in comunicazione con una sorgente di calorico; e l'elemento termo-elettrico che doveva essere posto a contatto colle spranghe, aveva dimensioni piccolissime, onde toglier loro pochissimo calorico.

Operando in tal modo, Wiedmann e Franz ottennero dei risultati notabilmente differenti da quelli di Despretz. Rappresentando con 100 la conducibilità dell'argento, per gli altri metalli trovarono i numeri seguenti:

Argento	100	Acciaio	11,6
Rame	73,6	Piombo	8,5
Oro	53,2	Platino	8,4
Stagno	14,5	Lega di Rose	2,8
Ferro	11,9	Bismuto	1,8

Le sostanze organiche conducono male il calorico. De la Rive, a Ginevra, dimostrò che la conducibilità, dei legni è molto maggiore nel senso delle fibre di quello che lo sia trasversalmente, e che i legni i più compatti sono quelli che conducono meglio il calorico. La crusca, la lana, la paglia, il cotone, che sono corpi poco densi e formati, per così dire, di parti discontinue, sono assai cattivi conduttori.

**326. Conducibilità dei liquidi.** - La conducibilità dei liquidi è debolissima, come lo si può dimostrare mediante l'esperienza seguente. Si colloca sul fondo di un vaso di vetro cilindrico D (fig. 210) un piccolo termoscopio B composto di due sfere di vetro riunite mediante un tubo ricurvo *m*, nel quale avvi un piccolo indice di liquido colorato.

Poi, riempito il vaso D di acqua alla temperatura ordinaria, si immerge in parte, in questo liquido, un vaso di latta A nel quale si è versata dell'acqua bollente o dell'olio riscaldato a duecento o trecento gradi. Allora si osserva che la sfera del termoscopio più vicina al fondo del vaso A non si riscalda che assai poco, perché l'indice *m* non si sposta che di una quantità poco sensibile; da ciò se ne deduce la poca conducibilità dell'acqua pel calorico. Ripetendo l'esperienza con altri liquidi, si ottiene lo stesso risultato.

Esperimentando con un apparato analogo al precedente, e disponendo una serie di termometri gli uni sotto gli altri per tutta l'altezza del vaso D, Despretz ha trovato che il calorico si propaga nei liquidi secondo la stessa legge che nelle spranghe metalliche, ma che la conducibilità dei primi è incomparabilmente più debole.

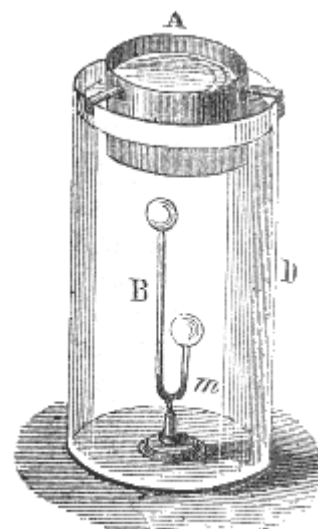


Fig. 210.

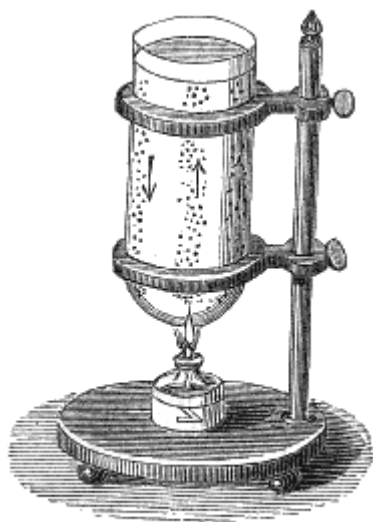


Fig. 211 (a.=34).

**327. Modo di riscaldamento dei liquidi.** - Quando si scaldano i liquidi alla loro parte inferiore, stante la loro poca conducibilità, il riscaldamento è prodotto principalmente dalle correnti ascendenti e discendenti che si stabiliscono nella loro massa. Queste correnti provengono dalla dilatazione degli strati inferiori, i quali, divenendo meno densi, si elevano nel liquido, e sono rimpiazzati dagli strati superiori più freddi e, per conseguenza, più densi. Si rendono visibili queste correnti gettando nell'acqua della segatura di legno che ascende e discende con essi. L'esperienza si dispone come mostra la figura 211.

**328. Conducibilità dei gas.** - Non si può valutare direttamente la facoltà conduttrice dei gas a motivo della loro grande diatermanità e dell'estrema mobilità delle loro molecole; ma allorché sono inceppati nei loro movimenti, la loro conducibilità si mostra pressoché nulla. In fatti, si osserva che tutte le sostanze tra le cui filamenta resta imprigionata l'aria, presentano una grande

resistenza alla propagazione del calorico: tali sono la paglia, la lanuggine, le pellicce. Quando una massa gasosa si scalda, il riscaldamento proviene principalmente dal suo contatto con un corpo caldo, e per le correnti ascendenti che provengono dalla dilatazione come nei liquidi.

**329. Applicazioni.** - La maggiore o minor conducibilità dei corpi trova numerose applicazioni. Quando, per es., si tratta di conservar caldo un liquido per lungo tempo, lo si chiude in un vaso a doppia parete, e se ne riempie l'intervallo di materie non conduttrici, come segatura di legno, vetro, carbone triturato, paglia. Si adopera lo stesso mezzo per impedire ad un corpo di assorbire calorico; così, per conservare il ghiaccio nella stagione calda lo si avvolge nella paglia od in una coperta di lana.

Nelle nostre abitazioni, il pavimento di mattoni ci sembra più freddo del tavolato perchè conduce meglio il calorico.

La sensazione di caldo o di freddo che proviamo al contatto di certi corpi è dovuta alla loro conducibilità. Se la loro temperatura è meno elevata di quella del nostro corpo, ci sembrano più

freddi che non lo siano effettivamente perché ci sottraggono del calorico per la loro conducibilità; questo accade pel marmo; se all'incontro, la loro temperatura è superiore a quella del nostro corpo, ci sembrano più caldi pel calorico che ci trasmettono da diversi punti della loro massa; tale è il fenomeno che ci presenta una spranga di ferro esposta al sole.

## CAPITOLO VIII

# CALORIMETRIA, TEORIA DINAMICA DEL CALORE

**330. Oggetto della calorimetria, caloria.** - L'oggetto della calorimetria è quello di misurare la quantità di calorico che i corpi cedono o assorbono, allorché la loro temperatura si abbassa o si eleva di un numero di gradi conosciuto, o allorché cangiano di stato.

Non si può misurare la quantità assoluta di calorico quantità perduta o acquistata da un corpo, ma si può misurarne solo la quantità relativa, vale a dire il rapporto fra la quantità assoluta e quella che perde o assorbe un altro corpo per produrre un determinato effetto, perciò si convenne di prendere per *unità di calorico* o *caloria* la quantità di calorico necessaria per innalzare da zero ad 1 grado la temperatura di un chilogrammo d'acqua.

**331. Calorico specifico.** - Chiamasi *calorico specifico* o *capacità calorifica* di un corpo la quantità di calorico che assorbe, quando la sua temperatura si innalza da zero ad 1 grado, comparativamente a quella che assorbirebbe, nello stesso caso, un ugual peso di acqua; il che equivale a prendere per unità il calorico specifico dell'acqua.

Si verifica facilmente che tutti i corpi non hanno lo stesso calorico specifico. Se si mescola, per es., un chilogrammo di mercurio a 100 gradi con un chilogrammo d'acqua a zero, si osserva che la temperatura della mescolanza è di soli 3 gradi circa. Vale a dire che, siccome si è raffreddato di 97 gradi, la quantità di calorico da esso perduta non riscalda che di 3 gradi lo stesso peso d'acqua. Adunque l'acqua, a peso eguale, assorbe una quantità di calorico circa 33 volte maggiore di quella che assorbe il mercurio, per uno stesso innalzamento di temperatura.

Per la determinazione dei calorici specifici si adoperarono tre metodi: quello della fusione del ghiaccio, quello della mescolanze e quello del raffreddamento; in quest'ultimo metodo si desume il calorico specifico di un corpo dal tempo che esso impiega a raffreddarsi di un numero di gradi conosciuto. Noi esporremo soltanto i due primi metodi; ma innanzi tutto è necessario far conoscere come si misuri la quantità di un calorico assorbita da un corpo, di cui si conoscano la massa ed il calorico specifico, quando la sua temperatura si innalza di un certo numero di gradi.

**332. Misura del calorico sensibile assorbito dai corpi.** - Si rappresenti con  $m$  il peso di un corpo in chilogrammi, con  $c$  il suo calorico specifico e con  $t$  la sua temperatura.

Siccome si è presa per unità la quantità di calorico necessaria per elevare da zero ad 1 grado la temperatura di un chilogrammo d'acqua, così abbisogna un numero  $m$  di queste unità per elevare da zero ad 1 grado la temperatura di un peso d'acqua di  $m$  chilogrammi, e per elevarla da zero a  $t$  gradi se ne richiede un numero  $t$  volte maggiore, cioè un numero  $mt$ . Ora, poichè tale è la quantità di calorico necessaria per portare da zero a  $t$  gradi la temperatura di  $m$  chilogrammi d'acqua, il cui calorico specifico è 1, è evidente che per un corpo dello stesso peso, il cui calorico specifico sia  $c$ , se ne richiede  $c$  volte  $mt$  ossia  $mtc$ . Da ciò si conchiude che allorché un corpo si riscalda da zero a  $t$  gradi, *la quantità di calorico che assorbe può essere rappresentata dal prodotto che si ottiene moltiplicando il suo peso per la sua temperatura e pel suo calorico specifico*. Questo principio è la base delle formole che ci serviranno alla determinazione dei calorici specifici.

Se il corpo si riscalda o si raffredda da  $t$  a  $t'$  gradi, la quantità di calorico ceduta sarà del pari rappresentata dalla formola

$$m(t'-t)c, \text{ ovvero } m(t-t')c.$$

Mediante queste formole si risolvono tutti i problemi relativi al calorico specifico.



**333. Metodo delle mescolanze.** - Per calcolare il calorico specifico di un corpo solido o liquido col metodo delle mescolanze, si pesa questo corpo e lo si porta ad una temperatura conosciuta, il che si ottiene, se esso è solido, mantenendolo, per un certo tempo, a una corrente di vapore a 100 gradi; poi lo si immerge in una massa d'acqua fredda, di cui si conoscono parimenti il peso e la temperatura. Dalla quantità di calorico che il corpo cede all'acqua, se ne deduce in seguito il suo calorico specifico.

A tal uopo, rappresentiamo con  $M$  il peso del corpo, con  $T$  la sua temperatura all'istante in cui lo si immerge nel liquido e con  $c$  il suo calorico specifico.

Parimenti, si rappresenti con  $m$  il peso dell'acqua fredda e con  $t$  la sua temperatura.

Finalmente, si rappresenti con  $m'$  il peso del vaso contenente l'acqua, con  $c'$  il suo calorico specifico e con  $t$  la sua temperatura, la quale è evidentemente quella dell'acqua.

Questo vaso è, in generale, un piccolo cilindro d'argento o di ottone a pareti sottili e levigate.

Appena che il corpo caldo è immerso nel liquido, la temperatura di quest'ultimo si eleva, e se si rappresenta con  $\theta$  la più alta temperatura a cui esso arriva, si vede che il corpo si è raffreddato di un numero di gradi rappresentato da  $(T-\theta)$ , e che, per conseguenza ha perduta una quantità di calorico la quale ha per misura  $Mc(T-\theta)$ .

L'acqua ed il vaso, invece, si sono riscaldati di un numero di gradi uguale a  $(\theta-t)$  ed assorbono rispettivamente delle quantità di calorico eguali ad  $m(\theta-t)$  e ad  $m'c'(\theta-t)$ , poichè il calorico specifico dell'acqua è l'unità. Ora, la quantità di calorico ceduta dal corpo è evidentemente uguale alla somma delle quantità di calorico assorbito dall'acqua e dal vaso; si ha adunque l'equazione:

$$Mc(T-\theta) = m(\theta-t) + m'c'(\theta-t) \quad [1],$$

dalla quale si deduce facilmente il valore di  $c$ , quando il calorico specifico  $c'$  del vaso sia noto. Se non lo fosse, si dovrebbe incominciare col determinarlo, immergendo nell'acqua un corpo caldo della stessa sostanza del vaso, ed avente, per conseguenza, lo stesso calorico specifico. L'equazione precedente assume allora la forma

$$Mc'(T-\theta) = m(\theta-t) + m'c'(\theta-t) \quad [2].$$

Cioè. la sola incognita contenuta in questa equazione è  $c'$ .

Essendo conosciuto il calorico specifico del vaso, per risolvere l'equazione [1] superiormente trovata, si scriva, nel secondo membro  $(\theta-t)$  come fattor comune, ed allora si avrà:

$$Mc(T-\theta) = (m+m'c')(\theta-t) \quad [3];$$

dividendo i due membri per  $M(T-\theta)$ , si ha:

$$c = [(m+m'c')(\theta-t)] / Mc(T-\theta) \quad [4]$$

Si scrive sovente il valore di  $c$  sotto questa forma:

$$c = (m+\theta)(\theta-t) / M(T-\theta) \quad [5]$$

mettendo  $m'c' = \theta$ ; cioè, esprimendo con  $\theta$  il peso di acqua che assorbirebbe la stessa quantità di calorico del vaso; il che si esprime dicendo che il vaso è *ridotto* in acqua.

Finalmente per dare al metodo delle mescolanze tutta la precisione di cui è suscettibile devesi anche tener conto del calore assorbito dal vetro e dal mercurio del termometro.

Onde tener a calcolo le perdite di calorico dovute, all'irradiazione nel processo che abbiám descritto, si fa dapprima un esperimento col corpo stesso di cui si cerca il calorico specifico, al solo intento di conoscere approssimativamente il numero di gradi di cui deve elevarsi la temperatura dell'acqua e del vaso. Se, per es., questo numero è di 10 gradi, si raffredda l'acqua ed il vaso di un numero corrispondente alla metà, ossia di 5 gradi, al disotto della temperatura dell'aria ambiente; poi si procede all'esperimento definitivo. Se la temperatura dell'acqua si eleva di 10 gradi, ne risulta che il vaso, la cui temperatura era di 5 gradi al disotto di quella dell'ambiente, alla fine dell'esperimento è di 5 gradi al disopra. Adunque la perdita ed il guadagno di calorico che provengono dall'irradiazione durante l'esperimento, si compensano.

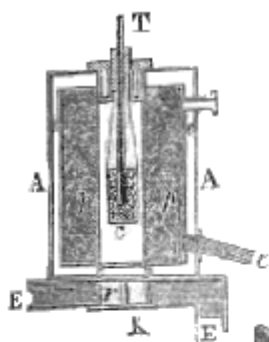


Fig. 213

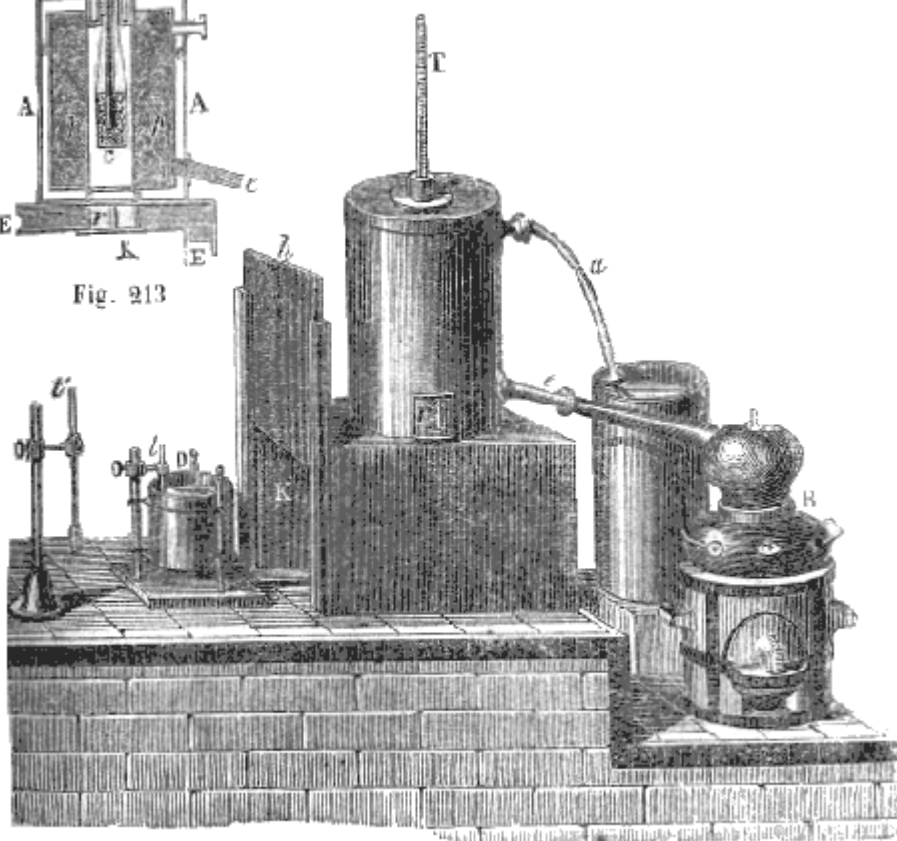


Fig. 212.

**334. Apparato di Regnault per il metodo delle mescolanze.** - La figura 212 rappresenta l'apparecchio adottato da Regnault per la ricerca dei calorigi specifici col metodo delle mescolanze.

Il pezzo principale di questo apparecchio è una stufa AA, rappresentata in sezione nella figura 213.

Essa è divisa in tre scompartimenti cilindrici: nello scompartimento centrale è sospeso per mezzo di fili di seta un piccolo canestro *c* di fili di ottone; in questo canestro vien collocata in pezzetti la sostanza sulla quale si vuol sperimentare.

Un termometro *T*, fisso al centro di questi frammenti, ne indica la temperatura. Nel secondo scompartimento *pp* circola una corrente di vapore, che giunge, per mezzo di un tubo *e*, da un generatore *B*, e si porta in seguito, per mezzo di un tubo *a*, in un serpentino, ove il vapore si condensa. Il terzo scompartimento *ee* è pieno d'aria destinata ad opporsi alla dispersione del calorico. Al di sotto della stufa avvi una camera *K* circondata da una doppia parete *EE*, formante un serbatoio che si mantiene pieno d'acqua fredda onde impedire la trasmissione del calorico proveniente dalla stufa e dal generatore. Finalmente lo scompartimento centrale della stufa è chiuso da un registro *r* che si apre ad arbitrio, e che permette allora di far passare il canestro *c* dalla stufa nella camera *K*.

Ciò posto, a sinistra della stufa, si vede un piccolo vaso di ottone *D* a pareti sottilissime, il quale è sospeso, per mezzo di fili di seta, ad un piccolo carro che può scorrere in una scanalatura e giungere nella camera *K*. Il vaso *D*, che è destinato a servire di calorimetro, è pieno d'acqua, ed in quest'acqua è immerso un termometro *t* che ne dà la temperatura. Finalmente un termometro *t'*, collocato vicino all'apparato, dà la temperatura dell'aria ambiente.

Così disposto l'apparato, quando il termometro *T* indica che la sostanza collocata nel canestro *c* ha presa una temperatura stazionaria, il che avviene dopo due ore e mezzo a tre ore, si solleva il diaframma *h* e si fa avanzare il vaso *D* fin sotto allo scompartimento centrale della stufa. Aprendo allora il registro *r*, si lascia cadere rapidamente nell'acqua del vaso *D* il canestro e le materie in esso contenute, tranne il termometro il quale resta fisso al turacciolo che lo sostiene. Ritirando tosto il carro ed il vaso *D*, si agita l'acqua di quest'ultimo finchè il termometro *t* diventa stazionario. La temperatura che allora esso indica è quella rappresentata da  $\theta$  nella formola del paragrafo precedente. Conosciuta questa temperatura, il resto del calcolo si fa come si disse più sopra. Però si tien conto del calorico ceduto al calorimetro dal canestro di ottone; Regnault tenne conto anche di quello assorbito dal mezzo ambiente.

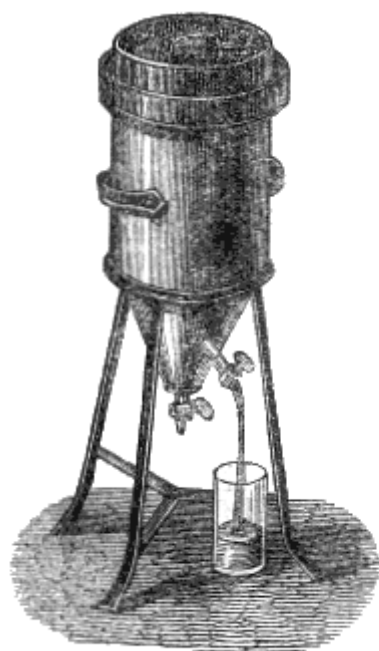


Fig. 214 (a.=80).

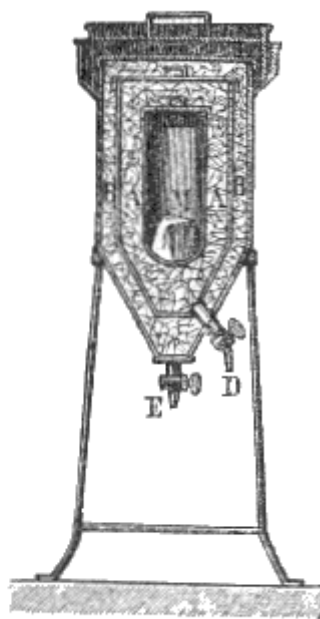


Fig. 215.

**335. Metodo della fusione del ghiaccio.** - Il metodo che noi descriveremo è fondato sul calorico latente assorbito dal ghiaccio che si fonde; quantità di calorico la quale, come vedremo ben presto (341), è di 79 unità per ogni chilogrammo di ghiaccio. L'apparato usato in questo metodo è dovuto a Lavoisier ed a Laplace, e si designa col nome di calorimetro di ghiaccio.

La figura 214 ne rappresenta l'esterno, e la figura 215, ne mostra una sezione. Quest'apparato è formato di tre vasi concentrici di latta. In quello che trovasi al centro si colloca il corpo M (fig. 215), di cui si cerca il calorico specifico; gli altri due scompartimenti sono pieni di ghiaccio frantumato. Il ghiaccio dello scompartimento A è destinato ad essere fuso dal corpo caldo, e quello dello scompartimento D serve solo a trattenere il calorico irradiato dall'ambiente sull'apparecchio. Due robinetti D ed E servono all'efflusso dell'acqua proveniente dalla fusione dei ghiaccio.

Per trovare il calorico specifico di un corpo solido mediante questo calorimetro, si determina dapprima il peso  $m$  di questo corpo in chilogrammi, poi lo si porta ad una temperatura conosciuta  $t$ , tenendolo per qualche tempo in un bagno caldo d'acqua o d'olio, ovvero in una corrente di vapore; in seguito lo si colloca rapidamente nel vaso centrale, si rimettono tosto i coperchii e vi si sovrappone del ghiaccio, come lo mostra la figura.

Allora si raccoglie l'acqua che effluisce dalla chiavetta D, e, quando l'efflusso cessa si determina il peso  $P$  in chilogrammi, peso che evidentemente rappresenta quello del ghiaccio fuso. Ora, siccome un chilogrammo di ghiaccio assorbe, fondendosi, 79 unità di calorico,  $P$  chilogrammi assorbiranno  $P$  volte 79 unità. D'altra parte, questa quantità di calorico è necessariamente uguale a quella ceduta dal corpo M durante il suo raffreddamento da  $t$  gradi a zero, cioè ad  $mtc$  (332); perchè si ammette come evidente che un corpo raffreddandosi da  $t$  gradi a zero cede precisamente la quantità di calorico che avrebbe assorbito per riscaldarsi da zero a  $t$  gradi. Si ha quindi l'eguaglianza:

$$mtc = 79 \cdot P; \text{ d'onde } c = 79 \cdot P / mt.$$

Il metodo del calorimetro di ghiaccio presenta molte cause di errori. La principale è che una parte dell'acqua proveniente dalla fusione rimane aderente al ghiaccio che non è stato fuso, per cui il peso  $P$  non può essere valutato esattamente. Inoltre, l'aria esterna che penetra nel calorimetro a traverso le chiavette aumenta la quantità di ghiaccio fuso. Si evitano in parte questi inconvenienti, sostituendo al calorimetro il *pozzo di ghiaccio*. Si dà questo nome ad un foro che praticasi, mediante un ferro caldo, in un pezzo di ghiaccio compatto e nel quale si colloca il corpo di cui si cerca il calore specifico, dopo d'averlo riscaldato sino ad una temperatura conosciuta (fig. 216).

Avendo previamente resi regolari i lembi del foro con un ferro caldo, vi si sovrappone un pezzo di ghiaccio in modo che lo chiuda esattamente. Quando si giudica che il corpo sia raffreddato fino a zero, lo si ritira unitamente all'acqua di fusione, e, determinato il peso di quest'ultima, altro non resta che sostituirlo nella formola precedente.

**336. Calorico specifico dei liquidi.** - Il calorico specifico dei liquidi può essere determinato tanto col metodo del raffreddamento come con quello delle mescolanze, o con quello del calorimetro di Lavoisier e Laplace. Solo in quest'ultimo metodo devono essere rinchiusi in un piccolo vaso di latta od in tubi di vetro che si collocano nello scompartimento M (fig. 215).

Paragonando fra loro i numeri della tavola qui unita, si vede che l'acqua e l'olio essenziale di trementina hanno un calorico specifico assai maggiore di quello delle altre sostanze e principalmente dei metalli. Questa proprietà è generale pei liquidi. Appunto pel suo grande calorico specifico l'acqua impiega molte tempo a riscaldarsi ed a raffreddarsi, ed allora assorbe o cede maggior quantità di calorico che un altro corpo di massa e di temperatura eguale. Questa doppia proprietà è utilizzata nella tempera dell'acciaio e nel riscaldamento per circolazione d'acqua calda (390).

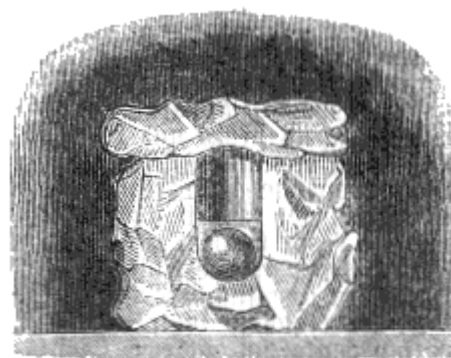


Fig. 210.

**337. Calorico specifico medio dei solidi e dei liquidi fra 0 e 100 gradi.** - Regnault ha calcolato col metodo delle mescolanze e con quello del raffreddamento, il calorico specifico di un gran numero di corpi. Noi riportiamo qui i numeri che egli ha ottenuti col primo di questi metodi, pei corpi che più di frequente si adoperano nelle arti:

SOSTANZE	CALORICI specifici	SOSTANZE	CALORICI specifici
Acqua	1,0080	Nichelio	0,10863
Essenza di trementina	0,42590	Cobalto	0,10696
Nero animale calcinato	0,26083	Zinco	0,09555
Carbone di legno calc.	0,24111	Rame	0,09515
Solfo	0,20259	Ottone	0,09391
Grafite	0,20187	Argento	0,05701
Vetro di termometri	0,19768	Stagno	0,05623
Fosforo	0,18949	Antimonio	0,05077
Diamante	0,14687	Mercurio	0,03332
Ghisa bianca	0,12983	Oro	0,03244
Ferro	0,11379	Platino laminato	0,03243
Acciaio dolce	0,1165	Bismuto	0,03084

I numeri compresi in questa tavola rappresentano i calorici specifici medii fra zero e 100 gradi; in fatti risulta dai lavori di Dulong e Petit sul calore, che i calorici specifici aumentano colla temperatura. Per es, quelli dei metalli sono maggiori tra 100 e 200 gradi, che non sieno fra zero e 100 gradi, e maggiori ancora da 200 a 300. Cioè per innalzare la temperatura di un corpo da 200 a 250 gradi, si richiede una quantità di calorico maggiore di quello che abbisogna per elevarla da 100 a 150 gradi, ed in quest'ultimo caso, una quantità maggiore di quella che si richiede per innalzarla da zero a 50 gradi.

Insomma, l'aumento di calorico specifico colla temperatura è tanto più sensibile quanto più i corpi sono vicini al loro punto di fusione. All'incontro, ogni azione che aumenta la densità dei corpi e la loro aggregazione molecolare, ne diminuisce il calorico specifico.

Rispetto ai liquidi, il loro calorico specifico aumenta colla temperatura ancor più rapidamente di quello dei solidi. L'acqua però fa eccezione, giacchè il suo calorico specifico aumenta meno di quello degli altri liquidi.

Finalmente, una stessa sostanza allo stato liquido presenta maggior calorico specifico che allo stato solido; ed allo stato gasoso il calorico specifico è ancor maggiore che allo stato liquido.

**338. Legge di Dulong e Petit sui calorici specifici degli atomi.** - Nel 1819, Dulong e Petit fecero conoscere questa legge rimarchevole, che il prodotto del calorico specifico dei corpi semplici pel loro peso atomico è lo stesso per tutti i corpi ed uguale a 37: legge che si può esprimere dicendo che *pei corpi semplici i calorici specifici sono in ragione inversa dei pesi atomici*.

Regnault, dopo aver determinato con molta cura i calorici specifici di un gran numero di corpi, trovò che il prodotto del peso atomico pel calorico specifico non è costante come avevano annunciato Dulong e Petit, ma che questo prodotto varia soltanto fra 38 e 42, variazione che può risultare dal non essere i calorici specifici determinati a distanze uguali dal punto di fusione dei corpi.

Regnault inoltre fu condotto alle due leggi seguenti sui calorici specifici dei corpi composti e delle leghe:

1.<sup>a</sup> *Nei corpi composti, che hanno la stessa formola atomica, il calorico specifico è in ragione inversa del peso atomico.*

2.<sup>a</sup> *Per temperature un po' lontane dal punto di fusione, il calorico specifico delle leghe è esattamente la media dei calorici specifici dei metalli componenti.*

**339. Calorico specifico dei gas.** - Il calorico specifico dei gas viene riferito a quello dell'acqua od a quello dell'aria; nel primo caso esso rappresenta la quantità di calorico necessaria per elevare di 1 grado un dato peso di gas,

comparativamente a quello che si richiederebbe pel medesimo peso di acqua; nel secondo la quantità di calorico necessaria per elevare di 1 grado un volume dato di gas, comparativamente a quello che si richiederebbe per lo stesso volume di aria.

Inoltre, in quest'ultima maniera di considerare i calorici specifici dei gas, si può supporre che i gas stessi siano a pressione costante ed a volume variabile; od a volume costante, sotto una pressione variabile.

I calorici specifici dei gas relativamente all'acqua furono determinati nel 1812 da Delaroche e Bérard. A quest'uopo, si misurava la quantità di calorico ceduta ad un peso conosciuto di acqua da un peso pure conosciuto di gas, il quale circolava in un serpentino collocato nel liquido. In seguito se ne deduceva il calorico specifico del gas per mezzo di un calcolo analogo a quello che fu indicato pel metodo delle mescolanze.

Gli stessi fisici determinarono i calorici specifici dei gas a pressione costante relativamente all'aria, paragonando fra loro le quantità di calorico ceduto ad uno stesso peso d'acqua da volumi uguali di gas e d'aria, alla stessa temperatura ed alla pressione atmosferica durante tutto il corso dell'esperienza. In seguito ai lavori di Delaroche e Bérard, De la Rive e Marcet, nel 1833, applicarono alla stessa determinazione il metodo del raffreddamento.

Finalmente i calorici specifici dei gas, a volume costante, sempre relativamente all'aria, furono calcolati da Dulong mediante una formola che fa conoscere la velocità di propagazione del suono nei differenti gas.

Dietro i calcoli di Laplace e di Poisson, e le esperienze di Clément e Désormes di Delaroche e Bérard, di Gay-Lussac e di Dulong, si era ammesso fino a questi ultimi tempi che il calorico specifico dei gas a pressione costante fosse sempre maggiore che a volume costante. Ma in un recente lavoro e con un metodo totalmente nuovo Regnault trovò che la differenza fra questi due calorici specifici è nulla o quasi nulla.

**340. Misura del calorico latente di fusione.** - Abbiamo detto (274) che quando i corpi passano dallo stato solido allo stato liquido avvi assorbimento di una quantità più o meno considerevole di calorico latente; ora ci resta a far conoscere come si misuri la quantità di calorico che viene in tal caso assorbita dall'unità di peso delle varie sostanze. Questa quistione si risolve col metodo delle mescolanze, partendo dal principio, ammesso come evidente, che un corpo nel solidificarsi sviluppa una quantità di calorico esattamente uguale a quella che aveva assorbito durante la fusione.

Sia proposto, per es., di determinare il calorico di fusione del piombo. Si fonde un peso  $M$  di questo corpo, e dopo di averne riconosciuta la temperatura  $T$ , lo si versa in una massa d'acqua di cui sia noto il peso  $m$  e la temperatura  $t$ . Ciò posto, si rappresenti con  $c$  il calorico specifico del piombo, con  $x$  il suo calorico di fusione, cioè la quantità di calorico latente assorbita dall'unità di peso durante la fusione, o, ciò che è lo stesso, quella che viene restituita all'atto della solidificazione; finalmente, sia  $\theta$  la temperatura finale che assume l'acqua riscaldata dal piombo.

La massa d'acqua, per riscaldarsi da  $t$  a  $\theta$  gradi, assorbe una quantità di calorico rappresentata da  $m(\theta-t)$  (332); d'altra parte, la massa di piombo raffreddandosi da  $T$  a  $\theta$  ha ceduto una quantità di calorico  $Mc(T-\theta)$ , ed inoltre, al momento della solidificazione, ha sviluppato una quantità di calorico rappresentata da  $Mx$ . Si ha quindi l'equazione:

$$Mc(T-\theta) + Mx = m(\theta-t)$$

$$\text{Da cui } x = \frac{m(\theta-t) - Mc(T-\theta)}{M}$$

**341. Calorico di fusione del ghiaccio.** - Il calorico di fusione del ghiaccio è quello che più importa per conoscere le applicazioni che se ne ponno fare. Esso pure viene determinato col metodo delle mescolanze. Per ciò, si rappresenti con  $M$  un peso di ghiaccio, a zero, e con  $m$  un peso d'acqua calda a  $t$  gradi, sufficiente per fondere tutto il ghiaccio.

Si getta quest'ultimo nell'acqua, ed appena che la fusione è compiuta, si misura la temperatura finale della mescolanza. Se si rappresenta con  $\theta$  questa temperatura, l'acqua, essendosi raffreddata da  $t$  gradi a  $\theta$ , ha ceduto una quantità di calorico eguale ad  $m(t-\theta)$ .

Il ghiaccio poi, ove si rappresenti con  $x$  il suo calorico di fusione, assorbe per fondersi una quantità di calorico  $Mx$ ; ma inoltre, dopo la fusione, l'acqua che ne proviene si riscalda e la sua temperatura si eleva da zero a  $\theta$  gradi; quindi allora assorbe una quantità di calorico  $M\theta$ . Per ciò si ha finalmente l'equazione

$$Mx + M\theta = m(t-\theta);$$

da cui si deduce il valore di  $x$ .

Con questo processo evitando con ogni possibile cura tutte le cause d'errore, la Provostaye e Desains trovarono che il calorico di fusione del ghiaccio è 79; vale a dire che 1 chilogrammo di ghiaccio, nel fondersi, assorbe, allo stato di calorico latente, la quantità di calorico che sarebbe necessario per elevare 79 chilogrammi d'acqua da zero ad 1 grado, o, ciò che torna lo stesso, 1 chilogrammo d'acqua da zero a 79 gradi.

Person, il quale fece numerose ricerche sui calorici latenti, trovò sperimentalmente i numeri seguenti pei calorici latenti di parecchi corpi semplici e composti.

Acqua	79,25	Bismuto	12,64
Azoto di soda	62,97	Solfo	9,37
Zinco	28,13	Piombo	5,37
Argento	21,07	Fosforo	5,03
Stagno	14,25	Lega d'Arcet	4,50
Cadmio	13,66	Mercurio	2,83

### 342. Misura del calorico latente di vaporizzazione. -

Abbiamo detto (301) che i liquidi nel vaporizzarsi, rendono latente una quantità di calorico assai considerevole, che si distingue col nome di calorico di elasticità o di calorico di vaporizzazione. Per determinare la quantità di calorico allora assorbita dall'unità di peso dei diversi liquidi, si ammette come evidente che un vapore il quale passa allo stato liquido rende libera una quantità di calorico precisamente eguale a quella che aveva assorbito nel convertirsi in vapore.

Ciò posto, il metodo che si adopera è quello stesso che venne già impiegato per la determinazione dei calorici specifici dei gas relativamente a quello dell'acqua. La figura 217 rappresenta l'apparato adoperato in questo genere di ricerche. Il vapore si produce in una storta C, ove la sua temperatura è indicata da un termometro, e si porta in un serpentino SS immerso nell'acqua fredda; ivi si condensa e cede al serpentino ed all'acqua del vaso B il suo calorico latente. L'acqua risultante dalla condensazione si raccoglie in un vaso A, ed il suo peso fa conoscere il peso del vapore che attraversò il serpentino. Finalmente, alcuni termometri introdotti nel vaso B indicano l'elevazione di temperatura dell'acqua.

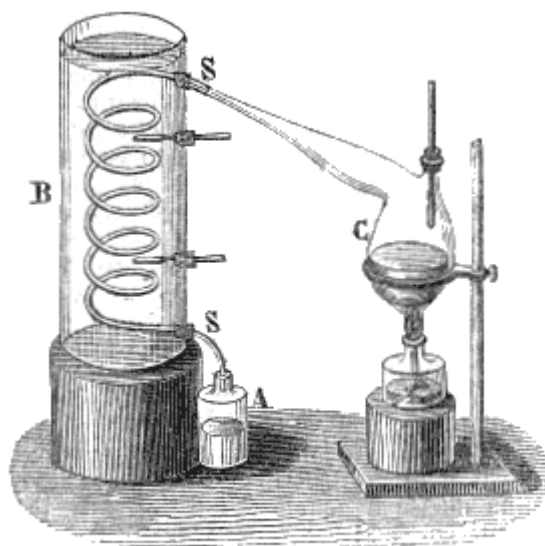


Fig. 217.

Ciò posto, si rappresenti con  $M$  il peso del vapore condensato, con  $T$  la sua temperatura all'istante in cui entra nel serpentino e con  $x$  il suo calorico di vaporizzazione. Del pari si rappresenti con  $m$  il peso dell'acqua nella quale è immerso il serpentino, aggiuntovi pure il peso del vaso B e del serpentino ridotti in acqua (333), con  $t$  la temperatura iniziale dell'acqua e con  $\theta$  la sua temperatura alla fine dell'esperimento.

Per conoscere la quantità di calorico ceduta dal vapore, osserviamo che al principio dell'esperimento l'acqua proveniente dalla condensazione esce a  $t$  gradi, mentre che alla fine esce a  $\theta$ ; si può quindi ammettere che essa esca per tutto il tempo in cui dura l'esperimento, ad una temperatura media fra  $t$  e  $\theta$ , cioè ad una temperatura rappresentata da  $(t+\theta)/2$ . Adunque, il peso  $M$  di vapore cede, nel condensarsi, una quantità di calorico uguale a  $M[T-(t+\theta)/2]$ ; ma inoltre, nel liquefarsi, sviluppa una quantità di calorico, rappresentata da  $Mx$ . D'altronde, il calorico assorbito dall'acqua fredda, dal serpentino e dal vaso è  $m(\theta-t)$ ; si ha quindi:

$$Mx + M[T-(t+\theta)/2] = m(\theta-t).$$

Quella equazione fa conoscere  $x$ . Despretz in questa maniera ha trovato pel calorico d'elasticità del vapore acqueo il numero 540. Cioè 1 grammo d'acqua, a 100 gradi, assorbe, vaporizzandosi, la quantità di calorico necessaria per elevare 540 grammi d'acqua da zero ad 1 grado.

**343. Problemi sui calorici specifici e sui calorici latenti. - I.** In un vaso che pesa 72 grammi e contiene  $0^{\text{lit}},15$  d'acqua a 10 gradi, si getta un pezzo di ferro il cui peso è 20 grammi e la temperatura 98 gradi; la temperatura dell'acqua si innalza allora ad  $11^{\circ},29$ ; si domanda quale sia il calorico specifico del ferro, sapendo che quello del vetro è  $0,19768$ .

Questo problema si risolve per mezzo della formola [3] del paragrafo 333, sostituendo alle lettere  $M, m, m', c', t$  e  $\theta$  i numeri ad esse corrispondenti nel precedente enunciato.

Quanto al peso dell'acqua poi, siccome un litro di questo liquido pesa un chilogrammo,  $0^{\text{lit}},15$  ovvero, ciò che è lo stesso  $0^{\text{lit}},150$ , pesano 150 grammi.

Ciò posto, facendo le sostituzioni nella formola indicata si ha:

$$20(98-11,29)c = (150+72 \times 0,19768)(11,29-10) \\ \text{d'onde } c = 0,113.$$

II. Una massa di platino, del peso di 40 grammi, è collocata in un forno e vi rimane un tempo sufficiente per acquistarne la temperatura; venendo in seguito ritirata ed immersa in una massa d'acqua il cui peso è 84 grammi e la temperatura 12 gradi, si osserva che l'acqua viene riscaldata fino a 22 gradi: si domanda quale sia la temperatura del forno, sapendo che il calorico specifico del platino è  $0,03243$ .

Se si rappresenta con  $t$  la temperatura cercata, il numero delle unità di calorico cedute dal platino nel raffreddarsi da  $t$  gradi a 22, dietro la formola  $m(t'-t)c$  del paragrafo 326, è  $50(t-22)0,03243$ . Del pari il numero di unità del calorico assorbite dall'acqua il cui calorico specifico è 1, per riscaldarsi da 12 gradi a 22, è  $84(22-12)$ , ossia 840. Ora, siccome la quantità di calorico assorbita dall'acqua è necessariamente uguale a quella che viene perduta dal platino, si ha:

$$40(t-22)0,03243 = 840, \text{ d'onde } t = 669 \text{ gradi.}$$

bisogna notare però che questo valore di  $t$  è soltanto approssimativo, perché il numero  $0,03243$  è il calorico specifico del platino fra zero a 160 gradi; ma si è veduto che ad una temperatura più elevata è maggiore (337), e quindi la temperatura trovata di 669 gradi è superiore alla temperatura effettiva del forno.

III. Praticata una cavità in un pezzo di ghiaccio vi si rinchioda una massa di stagno del peso di 55 grammi e la cui temperatura venne portata a 100 gradi. Si domanda quale sarà il peso del ghiaccio fuso, sapendo che il calorico specifico dello stagno è  $0,05623$  e che il calorico di fusione del ghiaccio è 79?

Siccome lo stagno in questo caso si raffredda da 100 gradi fino a zero, il numero delle unità di calorico da esso perdute, dietro la formola *mtc* (332), è rappresentato da

$$55 \cdot 100 \cdot 0,05623.$$

Ora, poichè 1 chilogrammo di ghiaccio per fondersi assorbe 79 unità di calorico (331),  $x$  chilogrammi di ghiaccio ne assorbono un numero d'unità rappresentato da  $79x$ .

Adunque si ha:

$$79x = 55 \cdot 100 \cdot 0,05623, \text{ d'onde } x = 3^{\text{gr}}, 9.$$

IV. Quanti chilogrammi di ghiaccio bisogna gettare in 9 litri d'acqua per raffreddarla da 20 gradi a 5?

Si rappresenti con  $M$  il peso cercato; questo peso assorbirà per fondersi un numero di unità di calorico rappresentato da  $79M$  (331); ma il peso  $M$  d'acqua, che ne risulta, essendo a zero al momento della fusione e dovendo riscaldarsi di 5 gradi, assorbe una quantità di calorico  $5M$ ; per conseguenza il calorico totale assorbito è  $79M + 5M$ , ossia  $84M$ . Il calorico ceduto dai 9 litri d'acqua nel raffreddarsi da 20 gradi a 5, è  $9(20-5)$  ossia 135. Adunque si ha finalmente:

$$84M = 135, \text{ da cui } M = 1^{\text{chil}}, 607.$$

V. Qual'è il peso del vapore d'acqua a 100 gradi, che nel condensarsi riscalda 208 litri d'acqua da 14 fino a 32 gradi?

Sia  $p$  questo peso in chilogrammi; siccome il calorico latente del vapor d'acqua è 540 (342),  $p$  chilogrammi di vapore, condensandosi, cedono una quantità di calorico rappresentata da  $540p$  e danno  $p$  chilogrammi d'acqua a 100 gradi. Ora quest'acqua, raffreddandosi in seguito fino a 32 gradi, cede essa pure una quantità di calorico eguale  $p(100-32)$ , ossia  $68p$ . Del resto, siccome i 208 litri che si riscaldano da 14 a 32 gradi, pesano 208 chilogrammi, assorbono una quantità di calorico uguale a  $208(32-14)$  ossia 3744 unità; quindi si ha:

$$540p + 68p = 3744, \text{ da cui } p = 6^{\text{chil}}, 158.$$

VI. In un vaso si ha dell'acqua ad 11 gradi; in un altro vaso dell'acqua a 91 gradi.

Quanti litri se ne dovranno levare da ciascuno di essi per formare un bagno di 250 litri a 31 gradi?

Siano  $x$  ed  $y$  i numeri dei litri che si debbono levare rispettivamente da ciascun vaso; fra queste quantità si ha dapprima la relazione  $x + y = 250$  [1]. Per ottenere una seconda equazione in  $x$  ed  $y$ , si ossevi che  $x$  litri ad 11 gradi contengono  $11x$  unità di calorico e che  $y$  litri a 91 gradi ne contengano un numero rappresentato da  $91y$ . Inoltre i 250 litri di mescolanza, a 31 gradi, contengono  $250 \cdot 31$ , ossia 7750 unità; si ha quindi l'equazione  $11x + 91y = 7750$  [2].

Sciolte le equazioni [1] e [2], si trova  $x = 187^{\text{lit}}, 5$  ed  $y = 62^{\text{lit}}, 5$ .

## TEORIA DINAMICA DEL CALORICO

**344. Equivalente meccanico del calorico.** - Partendo dall'idea che lo svolgimento di calore è dovuto ad un moto vibratorio delle molecole, sottoposto alle leggi ordinarie della meccanica, parecchi geometri e fisici lavorano da alcuni anni per sviluppare una nuova teoria che indicano col nome di *teoria dinamica del calorico* e colla quale si propongono di dimostrare non solo che una data quantità di calorico può essere trasformata in un lavoro meccanico (381) e reciprocamente ma ben anche di calcolare il lavoro meccanico che può produrre una determinata quantità di calorico, o la quantità di calorico che può essere sviluppata da un dato lavoro meccanico. Si sa, infatti, che il calorico può produrre un lavoro meccanico, come avviene quando si adopera l'espansione dei vapori e la dilatazione dei gas; e che reciprocamente si può svolgere del calore mediante un'azione meccanica come la percussione, la pressione e lo strofinamento (383 e 384). La teoria dinamica del calorico è uno degli studi cui si volgono molti; e merita infatti di fissare l'attenzione dei fisici e dei meccanici perchè può apportare dei miglioramenti della massima importanza per le macchine a vapore e per quelle ad aria calda.

Sembra che Mongolfier sia stato il primo tra i fisici che abbia annunciato esservi identità di natura fra il calorico ed il moto, non solo nel senso che il calorico è una causa di moto ed il moto una causa di calorico, ma anche nel senso che il calorico ed il moto sono due differenti manifestazioni, due diversi effetti di una causa unica, insomma, che il calorico può convertirsi in moto ed il moto in calorico.

Fondandosi sopra queste considerazioni teoriche, Mongolfier inventò, nel 1800, una macchina che chiamò *piro-ariete*, per mezzo della quale egli riteneva che il lavoro giornaliero di un cavallo-vapore (371) non dovesse costare che pochi centesimi. Il principio del piro-ariete consisteva nel dilatare per mezzo del calore una certa quantità d'aria che rimaneva sempre in un vaso chiuso; nel far servire quest'aumento di volume e di elasticità per sollevare una colonna d'acqua; e nel restituire poi a questa stessa massa di aria il calorico che essa dilatandosi aveva perduto e *convertito in effetto meccanico* onde restituirle la forza elastica, e così di seguito.

Segurn seniore, nipote di Mongolfier, presentò recentemente (3 gennaio 1855) all'Istituto di Francia una memoria nella quale descrive una nuova macchina a vapore fondata sulle teoriche precedenti.

Nel 1825, S. Carnot pubblicava un'opera intitolata: *Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco*, nella quale si trovano importantissime considerazioni sul modo di produrre il moto col mezzo del calore. Da allora in poi la teoria dinamica del calorico fu soggetto di lavori di parecchi dotti, e particolarmente di Joule, Thomson e Rankins in Inghilterra, di Mayer e Clausius in Germania, e di E. Clapeyron, Reec e Regnault in Francia.

Carnot ammetteva che, in una macchina a vapore, il lavoro meccanico prodotto è unicamente dovuto al *passaggio* del calorico nella macchina, dalla caldaia al condensatore (374); poichè la quantità di calorico posseduta dal vapore al suo ingresso nei cilindri, trovasi ancora per intero nel vapore mentre esce. Nella nuova teoria la quantità di calorico che entra nella macchina non si conserverebbe tutta allo stato di calorico, ma una porzione scomparirebbe *convertendosi* in

effetto meccanico, ed in ogni caso il lavoro meccanico prodotto sarebbe proporzionato alla quantità di calorico che è scomparsa.

In questa teoria Joule ha denominato *equivalente meccanico del calorico* la quantità di lavoro che può produrre ogni unità di calorico (330), ovvero, ciò che torna lo stesso, la quantità di lavoro meccanico necessaria per sviluppare una unità di calorico. Per mezzo di molti esperimenti Joule ha trovato che l'equivalente meccanico del calorico è espresso da 424 chilogrammi (381); cioè che la quantità di calorico necessaria per scaldare di un grado un chilogrammo d'acqua può sviluppare una forza motrice capace di innalzare in un minuto secondo all'altezza di un metro un peso di 424 chilogrammi.

Non potendo qui descrivere le esperienze di Joule, rimandiamo il lettore agli *Archivi delle scienze fisiche e naturali di Ginevra* (maggio 1854, pagina 37).

Parlando delle correnti di induzione, daremo due esempi rimarchevoli di effetti meccanici trasformati in calore in una esperienza d'induzione dovuta al signor Foucault, e nei nuovi apparati magneto-elettrici destinati all'illuminazione dei fari, dove la forza di un cavallo-vapore dà origine ad una brillante illuminazione elettrica.



# CAPITOLO IX

## IRRADIAZIONE DEL CALORICO

**345. Propagazione del calorico in un mezzo omogeneo.** - La temperatura di un corpo collocato in un ambiente più caldo o più freddo, si innalza o si abbassa progressivamente sino a raggiungere quella dell'ambiente; d'onde si conchiude che il corpo ha guadagnato o perduto una certa quantità di calorico ricevendola dai corpi vicini, o cedendola ai medesimi. Adunque il calorico si trasmette da un corpo ad un altro attraverso allo spazio, alla stessa maniera della luce. Il calorico che si propaga così a distanza si denomina *calorico raggiante*, e chiamasi *raggio di calorico* o *raggio calorifico* la linea retta, che percorre propagandosi.

Il calorico si trasmette anche per entro alla massa dei corpi; allora si produce una vera irradiazione interna da molecola a molecola, il quale fenomeno venne già studiato (325) sotto il nome di *conducibilità*.

**346. Leggi dell'irradiazione.** - L'irradiazione del calorico è soggetta alle tre leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> *L'irradiazione avviene in tutte le direzioni intorno ai corpi.* Infatti, se si colloca un termometro in differenti posizioni attorno ad un corpo caldo, indica sempre un innalzamento di temperatura.

2.<sup>a</sup> *In un mezzo omogeneo l'irradiazione si effettua in linea retta.* Infatti, se si interpone un diaframma tra una sorgente calorifica ed un termometro, quest'ultimo cessa di sentire l'influenza della sorgente.

Ma quando passano da un mezzo all'altro, per es., dall'aria nel vetro i raggi calorifici, al pari dei luminosi, sono generalente deviati; questo fenomeno si chiama *rifrazione*, ed è soggetto alle stesse leggi che esporremo parlando della luce.

3.<sup>a</sup> *Il calorico raggiante si propaga nel vuoto come nell'aria.* Ciò si dimostra ponendo un piccolo termometro entro un globo di vetro nel quale si fa il vuoto. Se allora si avvicina il globo ad un corpo caldo, si vede elevarsi la colonna termometrica; il qual fenomeno non può attribuirsi che all'irradiazione nel vuoto, poichè abbiām veduto che il vetro non conduce abbastanza il calorico acciò la propagazione possa effettuarsi per mezzo delle pareti del globo e dell'asta del termometro.

La velocità di propagazione del calorico non è stata determinata; si sa soltanto che essa deve differire poco da quella della luce, se pure non le è assolutamente eguale, perchè la luce solare e la maggior parte delle luci artificiali sono costantemente accompagnate da raggi calorifici.

**347. Cause che fanno variare l'intensità del calorico raggiante.** - Prendendo per *intensità del calorico* la quantità di calore ricevuta sull'unità di superficie, si trova che può essere modificata da tre cause: cioè dalla temperatura della sorgente del calorico, dalla sua distanza e dall'obliquità dei raggi calorifici rispetto alla superficie che li emette. Infatti, sull'intensità del calorico raggiante si hanno le tre leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> *L'intensità del calorico raggiante è proporzionale alla temperatura della sorgente;*

2.<sup>a</sup> *Questa intensità è in ragione inversa del quadrato della distanza;*

3.<sup>a</sup> *L'intensità dei raggi calorifici è tanto minore quanto più obliqua è la direzione dell'emissione rispetto alla superficie irradiante.*

La prima legge si dimostra presentando una delle sfere del termometro differenziale (241) a sorgenti diverse di calore, per es., ad un cubo di latta riempito successivamente d'acqua a 30°, a 20° ed a 10°.

Allora si osserva che, a pari distanza, il termometro indica temperature che stanno tra loro nello stesso rapporto di quelle del cubo, per esempio, come 6, 4, 2 (349, 2.<sup>a</sup>).

Per dimostrare sperimentalmente la seconda legge, si colloca il termometro differenziale ad una determinata distanza da una sorgente di calore costante, poi ad una distanza doppia, e si osserva che il termometro, in questa seconda posizione, indica una temperatura quattro volte minore della prima. Ad una distanza tripla esso segna una temperatura nove volte minore.

Questa seconda legge si dimostra anche basandosi sul teorema di geometria, che la superficie di una sfera cresce come il quadrato del suo raggio. Infatti, se si immagina una sfera cava *ab* (fig. 218) di raggio qualunque, al centro della quale esista una sorgente costante di calore, ogni unità di superficie della sua parete interna riceve una certa quantità di calorico. Ora, se il raggio della sfera si raddoppiasse, *ef*, la sua superficie, giusta il teorema citato, sarebbe quadruplicata; quindi la parete interna conterrebbe il quadruplo di unità di superficie, e siccome la quantità di calorico emessa dal centro rimane la stessa, ciascuna di queste unità ne riceverebbe necessariamente la quarta parte.

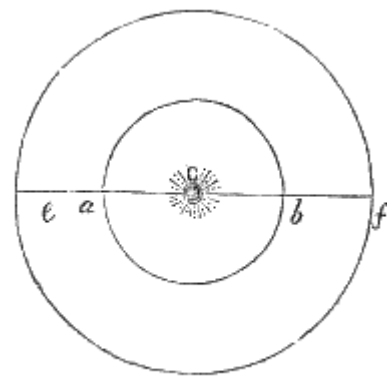


Fig. 218.

La terza legge può essere dimostrata, come insegna Leslie, nel modo seguente: si colloca davanti ad uno specchio concavo una scatola di latta *mn* (fig 219) cilindrica ed a pareti sottili, la quale può essere inclinata più o meno attorno ad un asse orizzontale. La parte anteriore di questa scatola è coperta di nero fumo, ed alla sua parte superiore avvi una tubulatura che serve a riempirla d'acqua calda. Finalmente fra la cassa e lo specchio vi sono due diaframmi *H* e *K* in cui sono praticate due aperture circolari eguali, per le quali passa un fascio di raggi paralleli incidenti sullo specchio.

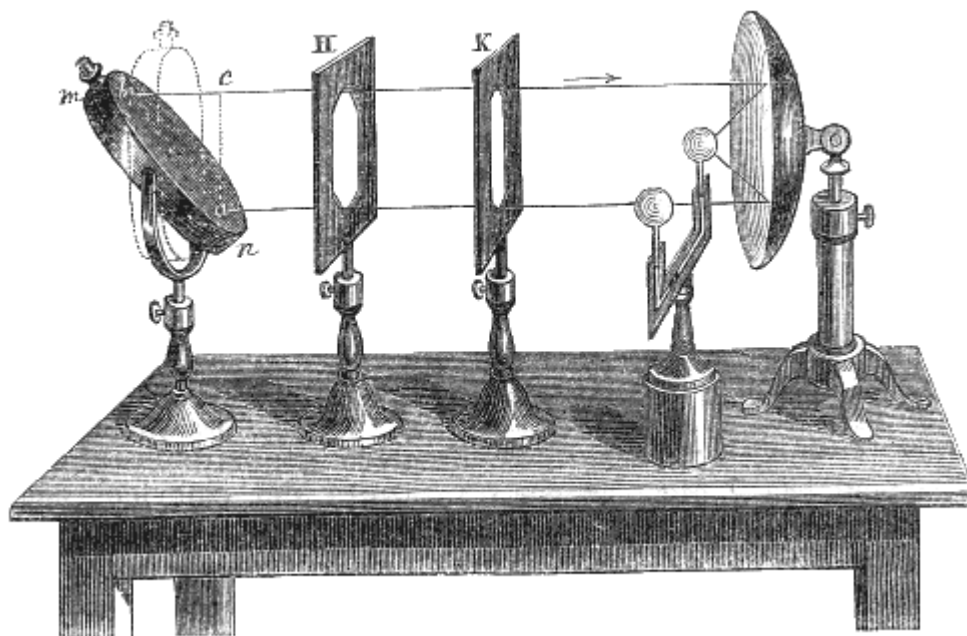


Fig. 219.

Ciò posto, collocato un termometro differenziale al fuoco dello specchio, si incomincia dal dare alla cassa piena d'acqua calda la posizione verticale indicata dalle linee punteggiate, e la si lascia così finchè la temperatura marcata dal termometro sia divenuta stazionaria poi dando alla scatola la posizione inclinata *mn* si attende che il termometro sia ritornato stazionario. Ora, si osserva che in ambedue i casi il termometro segna esattamente la stessa temperatura. Il che dimostra la legge enunciata. Infatti, nel primo caso la parte della superficie della cassa che trasmette dei raggi verso lo specchio è rappresentata da un cerchio avente per diametro *ac* ed eguale quindi all'apertura dei diaframmi: nel secondo caso la superficie che irradia verso lo specchio è un elisse avente per grande asse *ab* e per piccolo asse il diametro dei diaframmi cioè *ac*; adunque questa seconda superficie è più grande della prima e quindi emette maggior quantità di raggi verso lo specchio. Ora, giacchè l'effetto prodotto sul termometro non è più intenso che nel primo caso, ciò mostra che nel secondo caso in cui i raggi sono obliqui alla superficie irradiante, l'intensità è minore che nel primo in cui sono perpendicolari alla stessa superficie.

Per tradurre in formula questa terza legge si rappresenti con  $i$  l'intensità dei raggi perpendicolari alla superficie, e con  $i'$  quella dei raggi obliqui. Queste intensità essendo necessariamente in ragione inversa delle superficie  $ab$  ed  $ac$ , giacchè l'effetto è eguale per ambedue, si ha  $i' \cdot \text{superf.} ab = i \cdot \text{superf.} ac$ .

Ora siccome la superficie  $ac$  non è altro che la proiezione, si sa da un teorema conosciuto in trigonometria che  $\text{superf.} ac = \text{superf.} ab \cdot \cos bac$ . Introducendo questo valore nell'eguaglianza superiore e sopprimendo il fattore  $\text{superf.} ab$  comune ai due membri, si ha  $i' = i \cdot \cos bac$ ; d'onde si conchiude che *l'intensità dei raggi obliqui è proporzionale al coseno dell'angolo formato dal raggio colla normale alla superficie*; essendo facile riconoscere che quest'angolo è lo stesso d'angolo  $bac$ . Questa legge conosciuta sotto il nome di *legge del coseno*, non è generale; infatti i signori Desains e de La Provostaye hanno constatato che essa non si verifica che in un caso limitatissimo, quello cioè in cui i corpi sono, come il nero-fumo privi di potere riflettente (355).

**348. Equilibrio mobile di temperatura.** - Due ipotesi si sono fatte sull'irradiazione. Nella prima si suppone che quando due corpi a differenti temperature sono in presenza l'uno dell'altro, avvi irradiazione soltanto dal corpo più caldo verso il meno caldo, il quale non emette calorico verso il primo, e ciò fino a tanto che la temperatura del corpo più caldo abbassandosi gradatamente diventi eguale a quella dell'altro corpo; allora cessa ogni irradiazione. A quest'ipotesi si è surrogata la seguente, dovuta a Prévost di Ginevra, la quale è la sola ammessa oggidì. Secondo questo scienziato, tutti i corpi, qualunque sia la loro temperatura, emettono costantemente del calorico in tutte le direzioni; per conseguenza avvi perdita di calorico, ossia raffreddamento per quelli la cui temperatura è più alta perchè i raggi che essi emettono hanno intensità maggiore di quelli che ricevono. Al contrario guadagnano calorico, cioè si riscaldano, quelli la cui temperatura è più bassa.

Giunge poi un istante in cui la temperatura è la stessa per gli uni e per gli altri; i corpi tuttavia si scambiano ancora tra loro del calorico in modo però che ciascuno ne riceve quanto ne emette, onde la temperatura rimane costante. Questo stato particolare si indica col nome di *equilibrio di temperatura*.

**349. Legge di Newton sul raffreddamento.** - Un corpo collocato in un ambiente vuoto si raffredda o si riscalda soltanto per irradiazione.

Nell'atmosfera, si raffredda o si riscalda per irradiazione e pel suo contatto coll'aria. In amendue i casi la velocità del raffreddamento o del riscaldamento, cioè *la quantità di calorico perduta od assorbita in un secondo* è tanto maggiore quanto più grande è la differenza di temperatura.

Newton stabilì pel raffreddamento e pel riscaldamento dei corpi la legge seguente: *la quantità di calorico che un corpo perde o guadagna in un minuto secondo è proporzionale alla differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente*. Dulong e Petit dimostrarono che questa legge non è così generale come aveva supposto Newton, e che si deve applicarla soltanto a differenze di temperatura che non oltrepassano 15 o 20 gradi. Oltre questo limite, la quantità di calorico perduta od assorbita è maggiore di quella indicata dalla suddetta legge.

Dalla legge di Newton si deducono le seguenti conseguenze:

1.<sup>a</sup> Quando un corpo è esposto ad una sorgente costante di calore, la sua temperatura non può innalzarsi indefinitivamente, perchè la quantità di calorico che esso riceve in tempi eguali è sempre la stessa, mentre quella che perde cresce col crescere dell'eccesso dalla sua temperatura su quella dell'aria ambiente. Giunge dunque un momento in cui la quantità di calorico emessa eguaglia quella assorbita, ed allora la temperatura rimane stazionaria.

2.<sup>a</sup> La legge di Newton, applicata al termometro differenziale, mostra che le indicazioni di questo strumento sono proporzionali alle quantità di calorico ch'esso riceve. Infatti, suppongasì che uno dei bulbi d'un termometro differenziale riceva i raggi emessi da una sorgente costante.

Lo strumento indica sulle prime un aumento successivo di temperatura, poi diviene stazionario, come rilevasi dalla posizione fissa che prende l'indice; allora la quantità di calorico che il bulbo riceve è uguale a quella che emette. Ma quest'ultima, dietro la legge di Newton, è proporzionale all'eccesso della temperatura del bulbo su quella dell'ambiente cioè al numero di gradi segnati dal termometro. Dunque *la temperatura indicata da un termometro differenziale è proporzionale alla quantità di calorico ch'esso riceve*.

## RIFLESSIONE, EMISSIONE ED ASSORDIMENTO DEL CALORICO

**350. Leggi della riflessione.** - Quando i raggi calorifici cadono sulla superficie di un corpo, si dividono generalmente in due parti; alcuni penetrano nella massa del corpo, altri rimbalzano quasi respinti dalla superficie medesima, come avviene di una palla elastica, il che si esprime dicendo che sono *riflessi*.

Se si rappresenta con *mn* (fig. 220) una superficie riflettente piana, con *CB* il raggio incidente, con *BD* una retta perpendicolare alla superficie che dicesi *normale*, con *BA* il

raggio riflesso; l'angolo *CBD* chiamasi l'*angolo di incidenza*, e *DBA* l'*angolo di riflessione*. Ciò posto, la riflessione del calorico, come quella della luce, è sottoposta alle due leggi seguenti:

- 1.<sup>a</sup> L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza.
- 2.<sup>a</sup> Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente.

Queste due leggi si dimostrano col mezzo degli specchi concavi (342).

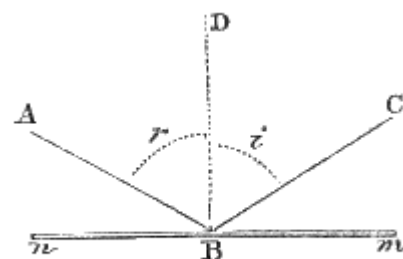


Fig. 220.

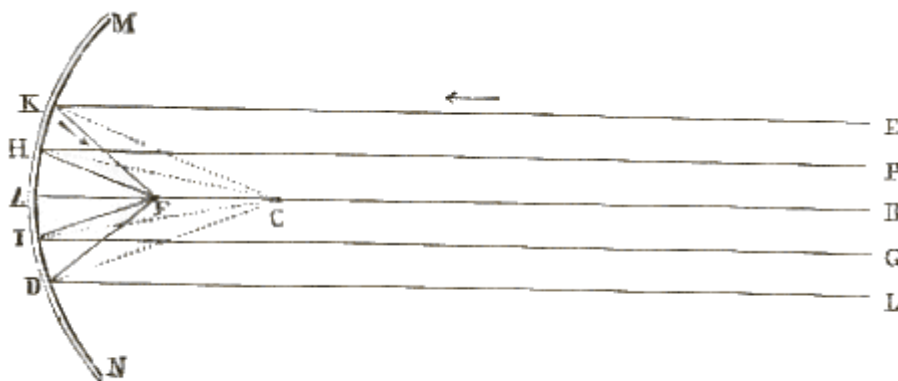


Fig. 221.

**351. Riflessione sugli specchi concavi.** - Si chiamano *specchi concavi* o *riflettori* le superficie sferiche o paraboliche di metallo o di vetro che servono a concentrare in un punto dei raggi luminosi o calorifici.

Noi considereremo soltanto gli specchi sferici. La figura 222 mostra due di questi specchi, e la figura 221 ne presenta una sezione mediana. Il centro *C* della sfera, alla superficie della quale lo specchio appartiene, si chiama *centro di curvatura*; *A*, punto di mezzo del riflettore, dicesi *centro di figura*: finalmente, la retta *AB*, passante per questi due punti, è l'*asse principale* dello specchio.

Per applicare agli specchi sferici le leggi della riflessione sulle superficie piane, si considerano come formati da un infinito numero di superficie piane infinitamente piccole; questa ipotesi permette di dimostrare colla geometria che le normali a queste piccole superficie vanno tutte a concorrere nel centro di curvatura.

Ciò posto, suppongasì collocata sull'asse *AB* dello specchio *MN* una sorgente calorifica abbastanza lontana perchè i raggi *EK*, *PH*... da essa emanati si possano considerare come paralleli tra loro. Dietro l'ipotesi premessa che lo specchio sia formato da un infinito numero di piccoli elementi piani, il raggio *EK* si riflette sull'elemento *K* precisamente come sopra uno specchio piano; cioè, essendo *CK* la normale a questo elemento, il raggio prende una direzione *KF* tale che l'angolo *CKF* è uguale all'angolo *CKE*. Siccome gli altri raggi *PH*, *GI*..., si riflettono nella stessa guisa, così tutti questi raggi, dopo la loro riflessione, concorrono sensibilmente in un punto *F* che è il punto di mezzo della *AC*, come si dimostrerà in ottica. Adunque in *F* avvi una concentrazione di raggi calorifici, e per conseguenza un innalzamento di temperatura maggiore che in ogni altro punto. Quindi quel punto ebbe il nome di *foco*. La distanza *VA* dal fuoco allo specchio si chiama la *distanza focale*.

Nella figura 221 il calorico si propaga, secondo le linee EKF, LDF... nella direzione delle frecce; ma se il corpo caldo fosse collocato in F, il calorico si propagherebbe secondo le linee FKE, FDL..., di maniera che i raggi emessi dal foco diventerebbero, dopo la riflessione, paralleli tra loro.

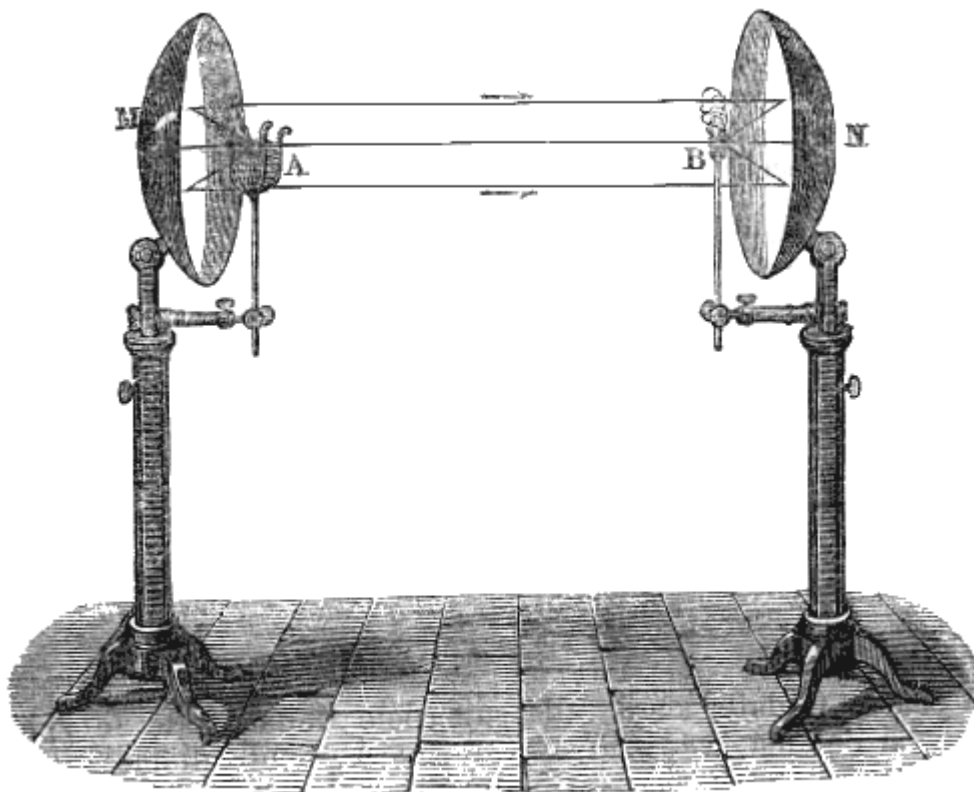


Fig. 222 (a. = 1m,50').

**352. Dimostrazione delle leggi della riflessione.** - L'esperienza seguente, fatta quasi contemporaneamente da Scheele in Isvezia, e da Pictet a Ginevra, dimostra l'esistenza dei fochi, ed in pari tempo le leggi della riflessione del calorico. Si dispongono due riflettori MN (fig. 222) a distanza di 4 o 5 metri l'uno dall'altro, in modo che i loro assi coincidano. Al fuoco dell'uno, in un piccolo cestello di filo di ferro A, si collocano dei carboni accesi; al fuoco dell'altro si pone un corpo accensibile B, per es., dell'esca. I raggi emessi dalla sorgente A si riflettono una prima volta sullo specchio al cui fuoco trovansi la sorgente. Per effetto di questa riflessione, avendo presa una direzione parallela all'asse (351), i raggi si riflettono una seconda volta sull'altro specchio e concorrono nel sul foco B. Di fatti, il pezzo d'esca ivi collocato si accende, mentre non s'accende se trovasi al di qua o al di là del foco.

Questo esperimento serve a dimostrare che il calorico e la luce si riflettono secondo le stesse leggi. Perciò si colloca al foco A una candela accesa ed al foco B un diaframma di vetro smerigliato, e si osserva su quest'ultimo un foco luminoso precisamente dove si era accesa l'esca.

Adunque il foco luminoso ed il foco calorifico si formano allo stesso punto; d'onde si deduce che la riflessione avviene secondo le stesse leggi in amendue i casi. Ora si dimostrerà più innanzi (400) che per la luce l'angolo di riflessione è uguale all'angolo d'incidenza, e che il raggio incidente ed il riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente; dunque *altrettanto avviene pel calorico*.

Gli specchi concavi, a motivo della elevazione di temperatura che si può ottenere ai loro fochi, vennero distinti col nome di *specchi ustorii*.

Si racconta che Archimede incendiò i vascelli romani dinanzi a Siracusa col mezzo di tali specchi. Buffon costruì degli specchi ustorii la cui potenza prova la possibilità del fatto attribuito ad Archimede. Questi specchi erano formati da un gran numero di specchi piani di cristallo, lunghi 22 centimetri e larghi 16. Questi specchi potevano essere mossi indipendentemente l'uno dall'altro in varie direzioni in modo che tutti i raggi riflessi concorressero in un medesimo punto. Con 128 di

questi specchi, per mezzo di un cocente sole d'estate, Buffon produsse, alla distanza di 68 metri, l'accensione d'una tavola di legno intonacata di catrame.

**353. Riflessione nel vuoto.** - Il calorico si riflette nel vuoto come nell'aria. Per dimostrarlo, si istituisce la seguente esperienza, dovuta a Davy in Inghilterra. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si dispongono due piccoli specchi concavi l'uno di fronte all'altro. Al foco dell'uno trovansi un termometro assai sensibile, ed al foco dell'altro una sorgente elettrica di calore che consiste in un filo di platino reso incandescente col farlo attraversare dalla corrente di una pila. Si vede il termometro ascendere tosto di parecchi gradi, il qual fenomeno è dovuto al calorico riflesso, perchè il termometro non indica più innalzamento di temperatura, quando non trovansi esattamente al foco del secondo specchio.

**354. Apparente riflessione del freddo.** - Se si pongono due specchi concavi l'uno di fronte all'altro, come rappresenta la figura 222, ed in luogo di carboni ardenti si colloca al foco di uno di essi un pezzo di ghiaccio, mentre l'aria ambiente è, per es., a  $12^{\circ}$  o  $15^{\circ}$ , si osserva che un termometro differenziale posto al foco del secondo specchio indica un raffreddamento di parecchi gradi. Questo fenomeno sembra a primo aspetto prodotto da raggi frigoriferi emessi dal ghiaccio. Ma questa così detta *riflessione apparente* del freddo si spiega dietro ciò che si è esposto (348) sull'equilibrio di temperatura che tende sempre a stabilirsi tra i corpi. V'è ancora scambio di calorico, come nell'esperienza in cui s'accende l'esca, ma sono inversi gli uffici, perchè in questo caso il corpo caldo è il termometro. Siccome i raggi emessi dal termometro sono più intensi di quelli che emette il ghiaccio, così non v'è compensazione tra il calorico che il termometro cede e quello che riceve, e quindi si raffredda.

A questa stessa causa bisogna riferire il freddo che noi sentiamo talvolta presso ad un muro di mattoni o di pietra, ed in generale presso ad ogni corpo la cui temperatura sia inferiore a quella del nostro.

**355. Potere riflettente.** - Si chiama *potere riflettente* la proprietà che hanno i corpi di riflettere una parte più o men grande del calorico incidente. Il potere riflettente varia da una sostanza all'altra. Per istudiare questo potere sopra varie sostanze, senza aver bisogno di costruire con esse altrettanti specchi, Leslie dispose le sue esperienze come mostra la figura 223. La sorgente di calore è un cubo M pieno d'acqua a  $100^{\circ}$ . Sull'asse d'uno specchio sferico N, tra il foco e lo specchio, trovansi fissata una piastra a della sostanza di cui si cerca il potere riflettente. Per questa disposizione, i raggi emessi dalla sorgente e riflessi una prima volta sullo specchio, incontrano la piastra a, vi si riflettono di nuovo e formano il loro foco tra la piastra e lo specchio in un punto in cui si colloca il bulbo di un termoscopio. Ora, lo specchio ed il termoscopio restando sempre gli stessi, e l'acqua del cubo trovandosi sempre a  $100^{\circ}$ , si osserva che la temperatura indicata dal termoscopio varia colla natura della piastra a soggetta all'esperienza; d'onde si deduce non già il potere riflettente assoluto di un corpo, ma il rapporto di questo potere a quello di un altro corpo, preso per termine di confronto. Infatti, di conformità a quanto si è detto (349,2<sup>o</sup>) sull'applicazione della legge di Newton al termometro differenziale, le temperature indicate da questo strumento sono proporzionali alla quantità di calorico ch'esso riceve. Per conseguenza, se, per es., una piastra di vetro ed una di piombo fanno avanzare il termometro differenziale l'una di 1 grado, l'altra di 6, si deve inferirne che la quantità di calorico riflessa dal piombo è 6 volte quella riflessa dal vetro, perchè, la quantità di calorico emessa dalla sorgente essendo la stessa, lo specchio concavo ne riflette la stessa porzione, e la differenza non può provenire che dal potere riflettente della piastra a.

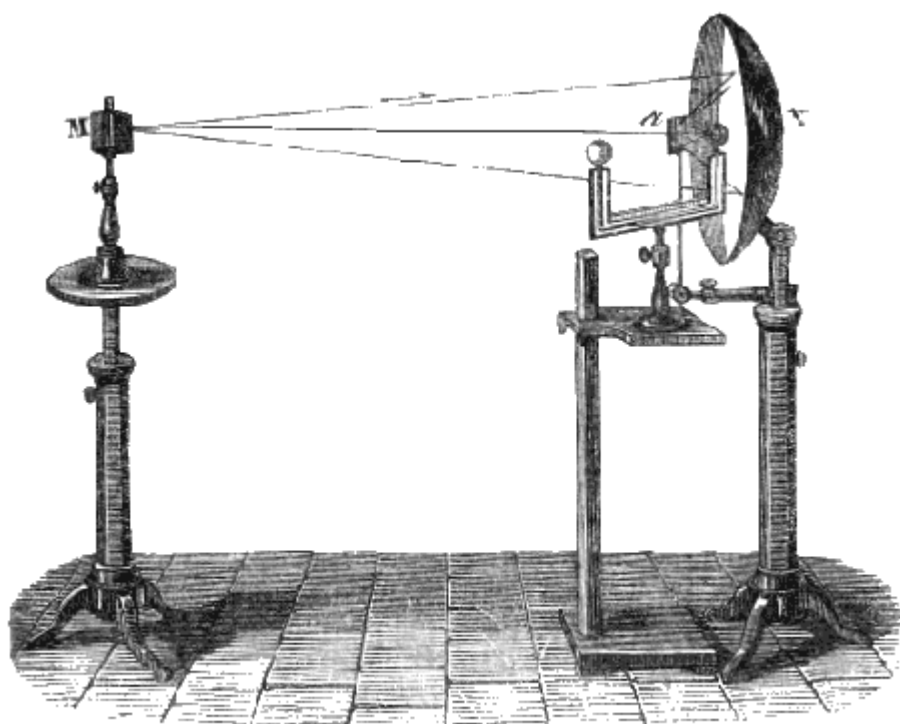


Fig. 523 (a. — 1m, 50).

Mediante questo processo, rappresentando con 100 il potere riflettente dell'ottone, preso per termine di confronto, Leslie formò la seguente tavola dei poteri riflettenti relativi:

Ottone	100	Inchiostro della China	13
Argento	90	Vetro	10
Stagno	80	Vetro coperto d'olio	5
Acciaio	70	Vetro bagnato d'acqua	0
Piombo	60	Nero di fumo	0

Questi numeri non rappresentano che il potere riflettente relativo di diverse sostanze per rapporto all'ottone. Il loro potere assoluto sarebbe il rapporto della quantità di calore riflesso alla quantità di calore ricevuta. Melloni pel primo ha determinato il potere riflettente assoluto di un certo numero di sostanze. i signori Desains e de La Provostaye, che l'hanno anch'essi cercato per diversi metalli, hanno trovato i risultati seguenti, col mezzo del termo-moltiplicatore di Melloni, il calore essendo riflesso sotto un angolo di 50 gradi:

Placche d'argento	0,97	Acciaio	0,82
Oro	0,95	Zinco	0,81
Ottone e rame	0,93	Ferro	0,77
Platino	0,83	Ghisa	0,74

Fra poco (359) si vedrà quali sieno le cause che modificano, per uno stesso corpo, il potere riflettente.

**356. Potere assorbente.** - Il *potere assorbente* dei corpi è la proprietà ch'essi hanno di lasciar penetrare nella loro massa una parte più o meno grande del calorico incidente.

Il potere assorbente di un corpo è sempre in ordine inverso del suo potere riflettente; cioè, quanto più un corpo riflette il calorico, tanto meno l'assorbe e reciprocamente. Ma i due poteri non sono complementarii; cioè, la somma delle quantità di calorico riflessa ed assorbita non rappresenta la totalità del calorico incidente. Essa ne è sempre minore, perchè il calorico incidente si divide realmente in tre parti: 1.<sup>a</sup> una che è assorbita; 2.<sup>a</sup> un'altra che è riflessa regolarmente, cioè, secondo le leggi più sopra dimostrate (351); 3.<sup>a</sup> una terza che è riflessa irregolarmente, cioè in tutte le direzioni, e che chiamasi *calorico diffuso* (371).

Per determinare il potere assorbente dei corpi, Leslie fece uso dell'apparecchio già adoperato nella ricerca dei poteri riflettenti (fig. 223).

Sopprimeva però la piastra a e collocava il bulbo del termoscopio nel foco stesso dello specchio. Essendo questo bulbo successivamente coperto di nero-fumo, di vernice, di foglie d'oro, d'argento, di rame, ecc., il termoscopio, sotto l'influenza della sorgente di calore M, indicava una temperatura tanto più elevata quanto più grande era il potere assorbente della sostanza che involuppa il bulbo focale. Leslie constatò per tal guisa che il potere assorbente di un corpo è tanto maggiore quanto più piccolo è il suo potere riflettente. Tuttavia, in queste esperienze, il rapporto dei poteri assorbenti non si può desumere da quello delle temperature indicate dal termoscopio, perchè qui non è applicabile rigorosamente la legge di Newton, la quale sussiste soltanto per corpi della stessa natura; mentre l'involuppo che copre la bolla posta al foco viene mutato a ciascuna osservazione. Ma si vedrà fra poco (358) come si possano dedurre i rapporti dei poteri assorbenti da quelli degli emissivi.

Prendendo per fonte di calore un cubo ripieno d'acqua a 100 gradi, Melloni, col suo termo-moltiplicatore, ha trovato i qui sotto poteri assorbenti relativi:

Nero di fumo	100	Inchiostro della China.	85
Bianco di cerussa	100	Gomma lacca	72
Colla di pesce	91	Metalli	13

**357. Potere emissivo.** - Il *potere emissivo* dei corpi è la loro proprietà di emettere, a parità di temperatura e di superficie, una più o meno grande quantità di calorico.

Leslie adoperò l'apparecchio rappresentato nella figura 223 anche per determinare il potere emissivo dei corpi. A questo intento, il bulbo del termoscopio era collocato precisamente nel foco dello specchio, e le facce del cubo M erano formate di metalli differenti, o coperte di diverse sostanze, come sarebbero il nero-fumo, la carta, l'acqua, ecc. Empito il cubo d'acqua a 100°, ed a parità di tutte le altre circostanze, Leslie volgeva successivamente verso lo specchio ciascuna delle facce del cubo, e notava le temperature indicate dal termoscopio. Ora, per la faccia coperta di nero di fumo, la temperatura al foco dello specchio, si innalzava di più che per tutte le altre, e le facce metalliche erano quelle che producevano le temperature più basse. Applicando qui la legge di Newton, e rappresentando con 100 il calorico emesso dal nero di fumo, Leslie formò la seguente tavola dei poteri emissivi:

Nero di fumo	100	Colla di pesce	80
Acqua	100	Piombo non lucente	43
Carta	98	Mercurio	20
Cera lacca	95	Piombo raschiato	19
Vetro bianco ordinario	90	Ferro levigato	15
Inchiostro della China	88	Stagno, oro, argento, rame, ecc...	12

Importa notare che in questa tavola l'ordine dei corpi è precisamente inverso di quello della tavola dei poteri riflettenti. De la Provostaye e Dessains, facendo uso del termo-moltiplicatore, trovarono i numeri seguenti pei poteri emissivi dei metalli, rapportati a quello del nero di fumo rappresentato da 100:

Platino laminato	10,80	Oro in foglie	4,28
“ brunito	9,50	Argento laminato	3,00
Argento deposto chimicamente	5,36	“ puro brunito	2,30
Rame in lamine	4,90	“ deposto chimicam. e brunito	2,25

D'onde rilevasi che il potere emissivo dato da Leslie pei metalli è eccessivamente grande.

**358. Identità del potere assorbente e dell'emissivo.** - Non si potrebbero dedurre i poteri assorbenti dai riflettenti, perchè si è veduto (356) che non sono rigorosamente complementarii gli uni degli altri. Ma i poteri assorbenti sarebbero determinati se si dimostrasse ch'essi sono pei vari corpi eguali ai loro poteri emissivi. Questa appunto è la conseguenza che Dulong e Petit dedussero dal seguente esperimento. In un grande pallone di vetro, il quale era mantenuto a 0° nel ghiaccio, e le cui pareti erano annerite all'interno, fissarono questi fisici un termometro scaldato da principio ad



una certa temperatura, per es., a  $15^{\circ}$ , indi, fatto il vuoto nel pallone, mediante una tubulatura che lo poneva in comunicazione con una macchina pneumatica, lasciarono che il termometro si raffreddasse gradatamente, e contarono il tempo che impiegava a scendere da  $10^{\circ}$  a  $5^{\circ}$ . Ricominciando poi l'esperimento in senso contrario, cioè conservando le pareti del pallone a  $15^{\circ}$  e raffreddando il termometro a  $0^{\circ}$ , osservarono il tempo che il termometro impiegava a salire da  $5^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ , e riconobbero che questo tempo era precisamente uguale a quello che aveva impiegato a discendere da  $10^{\circ}$  a  $5^{\circ}$ .

D'onde conclusero che per un medesimo corpo, per una stessa differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente, il potere emissivo è eguale al potere assorbente, poichè le quantità di calorico emesso ed assorbito in tempi eguali sono eguali.

**359. Cause che modificano il potere riflettente, l'assorbente e l'emissivo.** - Essendo eguali tra loro i poteri emissivo ed assorbente, ogni causa che modifica uno di essi modifica necessariamente in analoga maniera anche l'altro. E siccome il potere riflettente è, per così dire, inverso degli altri due, così diminuisce per ogni causa che aumenti questi ultimi, e viceversa.

Si è già veduto che questi differenti poteri variano da una sostanza all'altra; che i metalli hanno il massimo potere riflettente, ed il nero di fumo il minimo. Ma per uno stesso corpo, questi poteri sono anche modificati dal grado di levigatezza, dalla densità, dalla grossezza della sostanza irradiante, dall'obliquità dei raggi incidenti e, finalmente, dalla natura della sorgente.

Si ammise per molto tempo che il potere riflettente crescesse in generale col grado della levigatezza della superficie, e che gli altri poteri all'incontro decrescessero. Ma Melloni ha constatato che rigando una superficie metallica levigata, il suo potere riflettente ne veniva ora aumentato ora diminuito, il qual fenomeno viene attribuito da questo fisico alla diversa densità che assume la piastra metallica riflettente. Se questa piastra è stata primitivamente incrudita (71), l'omogeneità venne distrutta dall'incrudimento, le molecole sono più ravvicinate presso alla superficie che nell'interno della massa, ed il potere riflettente ne è aumentato. Ma rigando la superficie, si scopre la massa interna, che è meno densa, ed il potere riflettente decresce. Al contrario, in una piastra non incrudita ed omogenea in tutta la sua massa, il potere riflettente è aumentato quando siasi scalfitta la sua superficie con uno strumento acuminato, il che proviene da un aumento di densità dalla superficie prodotto dal tracciarvi le righe.

Anche la grossezza delle sostanze irradianti può modificare il loro potere emissivo, come lo provano le esperienze di Leslie, di Rumford e di Melloni. Quest'ultimo fisico verificò che coprendo di vernice le facce di un cubo metallico pieno d'acqua ad una temperatura costante, il potere emissivo aumentava col crescere del numero degli strati di vernice fino a 16, che al di là di questo limite rimaneva costante, qualunque fosse il numero degli strati. Egli ha calcolato che la grossezza dei 16 strati era di  $\frac{4}{100}$  di millimetro. Avendo poi successivamente applicate sulle facce di un cubo di vetro delle foglie d'oro di 8, 4 e 2 milles. di millimetro, trovò che la diminuzione di calorico raggiante era sempre la stessa. Da ciò sembra emergere che poi metalli la grossezza dello strato irradiante, fino al minor limite cui si possa ridurla, è senza influenza.

Melloni constatò inoltre che il potere assorbente varia colla natura della sorgente di calorico. Per es., per una stessa quantità di calorico incidente, il carbonato di piombo, esposto ai raggi emessi da un cubo pieno d'acqua a  $100^{\circ}$  ne assorbe presso a poco il doppio di quelli che assorbirebbe se fossero emessi da una lampada. Il solo nero-fumo assorbe sempre la stessa quantità di calorico qualunque ne sia la sorgente.

Il potere assorbente varia coll'inclinazione dei raggi incidenti. Raggiunge il suo massimo quando l'incidenza è normale, e diminuisce a misura che i raggi incidenti si allontanano dalla normale. Questa è una delle ragioni per cui il suolo si scalda più in estate che in inverno, perchè in estate i raggi solari sono meno obliqui.

I corpi ridotti in polvere sembrano, in generale, aver tutti lo stesso potere emissivo; almeno così verificarono Masson e Courtépée per sei corpi, sopra venti, che sottoposero all'esperienza.

Il potere irradiante dei corpi gasosi in combustione è assai debole come si verifica avvicinando la sfera di un termoscopio ad una fiamma di idrogeno, quantunque la temperatura di questa fiamma sia

assai elevata. Ma se si colloca nella fiamma una spira di platino, questa spira, prendendo la temperatura della fiamma, irradia fortemente, come lo indica il termometro. Per un effetto simile le fiamme delle lampade e del gas illuminante irradiano assai più della fiamma di idrogeno, a motivo dell'eccesso di carbonio che esse contengono, e che, non essendo abbruciato in totalità, diviene incandescente nella fiamma.

**360. Applicazioni.** - Le proprietà dei diversi poteri riflettente, assorbente ed emissivo hanno numerose applicazioni nell'economia domestica e nelle arti. Leslie aveva annunciato in modo generale che i corpi bianchi riflettono benissimo il calore e l'assorbono poco, e che il contrario ha luogo pei corpi neri. Ora, questo principio non è così generale come l'aveva ammesso Leslie. Diffatti la cerussa, quantunque bianca, ha un potere assorbente grande come quello del nero di fumo (356); ma per le stoffe di tela, di cotone, di lana e di un gran numero di altre sostanze, il principio di Leslie è applicabile. Ciò posto trattasi, per es., di scegliere le vesti più convenienti per l'inverno o per l'estate, è facile il vedere che in ambedue le stagioni bisogna dare la preferenza alle vesti bianche. Infatti, il loro potere emissivo è minore di quello delle vesti nere; per conseguenza, nell'inverno impediscono la disperione del calorico del nostro corpo; in estate poi, essendo dotate di minor potere assorbente, assorbono dall'atmosfera minor quantità di calorico che le vesti nere, per cui ci sembrano più fresche. Per questo motivo senza dubbio la natura ha dato agli animali che abitano le regioni polari, un pelo bianco, principalmente durante l'inverno.

I vasi nei quali si pongono a scaldare i liquidi, come le caffettiere, servono meglio quando la loro superficie è nera e scabra, perchè in tal caso il loro potere assorbente è maggiore. La lucentezza che si usa dare a questi vasi è tutta a dispendio di combustibile. Se si tratta all'incontro di conservar caldo un liquido pel maggior tempo possibile, bisogna collocarlo in un vaso di metallo terso e lucente, perchè il potere emissivo essendo allora minore, il raffreddamento è più lento.

Sulle Alpi i montanari accelerano la fusione delle nevi coprendole di terra onde aumentare il loro potere assorbente.

L'intonaco delle stufe e di altri simili caloriferi che usiamo nelle nostre abitazioni, deve essere nero onde facilitare la emissione del calorico; al contrario l'interno dei nostri camini dovrebbe essere rivestito di lastre di porcellana o di maiolica bianche e lucenti onde aumentare il potere riflettente del camino verso l'appartamento.

## TRASMISSIONE DEL CALORICO RAGGIANTE ATTRAVERSO I CORPI

**361. Diatermanità.** - Vi sono dei corpi che si lasciano attraversare dal calorico raggiante, allo stesso modo che i corpi diafani lasciano passare la luce; altri sono privi di questa proprietà o non la posseggono che in grado debolissimo. Melloni ha dato ai primi il nome di corpi *diatermani*, ed ai secondi quello di corpi *atermani*. I gas sono i corpi i più diatermani; i metalli sono del tutto atermi. A malgrado dell'analogia che sussiste fra il calorico raggiante e la luce, notiamo fin d'ora che i corpi trasparenti non sono sempre i più diatermani, e che i corpi opachi non sono sempre atermi.

Prevost, a Ginevra, e Delaroche, in Francia, negli anni 1811 e 1812, scoprirono parecchi dei fenomeni che presentano i corpi diatermani; ma, solo nel 1832, Melloni, per mezzo di un ingegnoso apparato termometrico che descriveremo in seguito, diede una teoria compiuta delle proprietà diatermane dei solidi e dei liquidi.

Questo fisico, nelle sue esperienze, ha fatto uso di cinque sorgenti di calore, cioè: 1.° di una lampada di Locatelli, ossia senza tubo di vetro, con specchio concavo ed a semplice corrente d'aria; 2.° di una lampada d'Argant, ossia a doppia corrente d'aria e munita di tubo di vetro, come le lampade Carcel; 3.° di un filo di platino ravvolto a spira mantenuto incandescente entro la fiamma di una lampada ad alcool; 4.° di un piccolo cubo di rame annerito all'esterno e pieno d'acqua mantenuta a 100°; 5° finalmente di una piastra di rame annerita e scaldata a circa 400° dalla fiamma di una lampada ad alcool.

Cangiando successivamente le piastre diatermane e le sorgenti di calore Melloni constatò i fatti che ora esporremo.

**362. Cause che modificano la diatermanità.** - Le cause che modificano la diatermanità sono sei, cioè:

- 1.<sup>a</sup> La natura della sostanza di cui sono formate le piastre che il calorico attraversa;
- 2.<sup>a</sup> Il grado di levigatezza di queste lamine;
- 3.<sup>a</sup> La loro grossezza;
- 4.<sup>a</sup> Il numero delle lamine che il calorico attraversa;
- 5.<sup>a</sup> La natura delle lamine già attraversate;
- 6.<sup>a</sup> La natura della sorgente di calore.

**363. Influenza della sostanza delle lamine.** - Esperimentando sopra diversi liquidi posti successivamente in un truogolo di vetro, le cui facce opposte erano parallele e distanti l'una dall'altra di 9<sup>mil</sup>,<sup>2</sup>, e paragonando le indicazioni date dall'apparato quando v'erano interposti dei liquidi, a quelle osservate allorchè il calorico giungeva direttamente, Melloni trovò che, prendendo per sorgente di calorico una lampada di Argant, di 1000 raggi incidenti,

Il solfuro di carbonio ne lascia passare	63
L'olio d'ulivo	30
L'etere	21
L'acido solforico	17
L'alcool	15
L'acqua che tiene disciolto dello zucchero o dell'allume	12
L'acqua distillata	11

Sperimentando del pari sopra diverse sostanze solide ridotte in lamine della grossezza costante di 2<sup>mil</sup>,<sup>6</sup>, Melloni ottenne la seguente tabella:

Di 100 raggi il sal gemma ne lascia passare	92
lo spato d'Islanda ed il cristallo	62
il cristallo di rocca affumicato	57
il carbonato di piombo diafano	52
il solfato di calce diafano	20
l'allume diafano	12
il solfato di rame	0

Dai risultati esposti in queste due tabelle si deduce che certe sostanze le quali difficilmente si lasciano attraversare dalla luce, come il cristallo di rocca affumicato, possono lasciarsi attraversare assai facilmente dal calorico; mentrchè altre sostanze pochissimo permeabili al calorico, per es., il solfato di calce e più di tutte l'allume, possono essere assai diafane. Queste diverse esperienze conducono adunque ad ammettere che non avvi alcun rapporto fra la diatermanità e la trasparenza dei corpi.

**364. Influenza della levigatezza.** - La diatermanità di una lamina cresce colla sua levigatezza. Per es., Melloni trovò che le indicazioni del suo apparato variavano da 12 a 5 gradi quando s'interponevano lamine di vetro della stessa qualità e della stessa grossezza, ma più o meno levigate.

**365. Influenza della grossezza.** - La quantità di calorico che attraversa una lamina diatermana decresce al crescere della grossezza, ma l'assorbimento non è a quest'ultima proporzionale. L'assorbimento, in generale, avviene nei primi strati. Al di là di un certo limite, la quantità di calorico trasmessa tende a rimaner costante, anche quando la grossezza cresce.

Melloni constatò questo fatto esperimentando sopra lamine di vetro bianco le cui grossezze erano 1, 2, 3, 4, e trovò che di 1000 raggi, queste lamine ne lasciavano passare rispettivamente 619, 576, 558, 549, numeri le cui differenze tendono a divenir nulle.

**366. Influenza del numero delle lamine.** - L'accrescimento del numero delle lamine attraversate dal calorico produce un effetto analogo all'aumento di grossezza, cioè, l'assorbimento cresce meno rapidamente del numero delle lamine, od in altri termini, la quantità di calorico assorbita decresce da una lamina alla successiva.

Inoltre, parecchie lamine della stessa specie sovrapposte, intercettano maggior quantità di calorico che una lamina sola di una grossezza uguale alla somma delle loro grossezze. Finalmente l'effetto prodotto da lamine sovrapposte, di differenti sostanze, è, indipendente dall'ordine, nel quale esse si succedono.

**367. Influenza della natura delle lamine già attraversate.** - I raggi calorifici che hanno già attraversato una o più sostanze diatermane subiscono una modificazione la quale li rende più o meno atti ad attraversare altre sostanze diatermane. Paragonando, per es., i risultati ottenuti con una lampada d'Argant, la di cui fiamma è circondata da un tubo di vetro, con quelli di una lampada di Locatelli che non ha tubo di vetro, Melloni trovò che rappresentando con 100 i raggi incidenti, relativamente alla quantità di calorico trasmessa dalle due lampade, si hanno i seguenti risultati:

SOSTANZE	LAMPADA d'Argant	LAMPADA di Locatelli
Il sal gemma lascia passare	92	92
Lo spato d'Islanda ed il cristallo	62	39
Il cristallo di rocca affumicato	57	37
Il solfato di calce	20	14
L'allume	12	9

Da ciò si conchiude che il calorico, il quale nella lampada d'Argant ha già attraversato il vetro, si trasmette più facilmente attraverso alle altre sostanze. Soltanto il sal gemma lascia sempre passare la stessa quantità di calorico incidente.

**368. Influenza della natura della sorgente.** - In generale, la natura della sorgente di calorico modifica d'assai la diatermanità dei corpi, come lo dimostrano i risultati ottenuti da Melloni facendo uso di quattro differenti sorgenti. Infatti, rappresentando ancora con 100 i raggi incidenti, questo scienziato ottenne i risultati esposti nella seguente tabella:

SOSTANZE	LAMPADA di Locatelli	PLATINO incandescente	RAME scaldato a 400°	RAME scaldato a 100°
Il sal gemma lascia passare	92	92	92	92
Lo spato d'Islanda ed il cristallo	39	28	6	0
Il cristallo di rocca affumicato	39	24	6	0
Il solfato di calce	14	5	0	0
L'allume	9	2	0	0

Questa tabella mostra che, ad eccezione del sal gemma, la proporzione del calorico trasmessa attraverso ai solidi diminuisce colla temperatura della sorgente e divien nulla quando la sorgente ha la temperatura di 100 gradi. I liquidi offrono lo stesso fenomeno.

**369. Differenti specie di raggi calorifici.** - Le proprietà che presenta il calorico nel suo passaggio attraverso ai corpi hanno condotto Melloni a proporre sul calorico una ipotesi analoga a quella che già da tempo fu adottata sulla luce. Siccome Newton ammise parecchie specie di raggi luminosi, il *rosso*, l'*aranciato*, il *giallo*, il *verde*, il *turchino*, l'*indaco* ed il *violetto*, i quali sono disugualmente trasmissibili attraverso ai corpi diafani, e che ponno trovarsi combinati fra loro od isolati; del pari Melloni ammette l'esistenza di parecchie specie di raggi calorifici, le quali sarebbero emesse simultaneamente, in proporzioni variabili, dalle varie sorgenti di calore e sarebbero dotati della proprietà di attraversare più o meno facilmente le sostanze diatermane. Queste sostanze possederebbero adunque una vera *colorazione* calorifica, cioè assorbirebbero certi raggi e ne lascerebbero passare certi altri, alla stessa guisa che un vetro turchino, per es., è attraversato dai raggi turchini e non da quelli di altro colore.

La teoria di Melloni si spiega assai bene nel sistema delle ondulazioni, ammettendo che le proprietà delle differenti specie di calorico siano dovute a differenti numeri di vibrazioni, ossia ad onde calorifiche di lunghezze disuguali.

**370. Applicazioni della diatermanità.** - Sebbene non siasi fatta alcuna esperienza sulla diatermanità dei gas, non si può mettere in dubbio che l'aria sia assai diatermana, poichè in questo fluido si producono tutti i fenomeni di calorico raggiante. A cagione della loro grande diatermanità, gli strati superiori dell'atmosfera hanno sempre una bassa temperatura, benchè siano attraversati dai raggi solari. Il fenomeno contrario accade nel seno dei laghi e dei mari, perchè

l'acqua è poco diatermana; i soli strati superiori risentono delle variazioni di temperatura al variare delle stagioni, mentre ad una certa profondità la temperatura rimane costante.

Le proprietà dei corpi diatermani furono applicate utilmente a separare la luce ed il calorico irradianti simultaneamente da una stessa sorgente. Il sal gemma ricoperto di nero-fumo arresta completamente la luce e lascia passare il calorico. Al contrario le lamine o le soluzioni di allume arrestano il calorico e lasciano passare la luce. Quest'ultimo processo si applica con vantaggio agli apparecchi che si rischiarano coi raggi solari o colla luce elettrica, quando importi di evitare un calore troppo intenso.

Nei giardini, l'uso delle campane con cui si coprono parecchie piante è fondato sulla diatermanità del vetro indicata in una delle tavole precedenti (368); questa sostanza è attraversata dai raggi solari che hanno una temperatura elevata, e non dai raggi calorifici emessi dal suolo.

**371. Diffusione.** - Abbiamo già detto (356) che il calorico incidente sulla superficie di un corpo non si riflette tutto secondo le leggi della riflessione esposte precedentemente (352). Una parte viene riflessa irregolarmente, cioè in tutte le direzioni intorno al punto d'incidenza. Questo fenomeno si denomina *diffusione* o *riflessione irregolare* del calorico, e si chiama *riflessione regolare* o *riflessione speculare* quella che avviene secondo le leggi sopraccitate. Il fenomeno della diffusione prodotta dalla superficie dei corpi fu scoperto da Melloni.

La riflessione regolare non si effettua che sopra superficie levigate; la irregolare, al contrario, si produce sulle superficie smorte o rugose, come le piastre di legno, di vetro, di metallo non levigate e smorte.

Il potere diffusivo varia secondo la natura della sorgente e quella delle sostanze riflettenti. I corpi bianchi diffondono assai il calorico che irradia da una sorgente incandescente. I metalli smorti sono ancora più diffusivi dei corpi bianchi.

# CAPITOLO X

## MACCHINE A VAPORE

**372. Oggetto della macchina a vapore.** - Le *macchine a vapore* sono apparati che servono ad impiegare la forza elastica. del vapore acqueo come forza motrice.

Nelle macchine generalmente usate, il vapore, in causa della sua forza elastica, imprime ad uno stantuffo un moto rettilineo alternativo, il quale viene in seguito trasformato in moto circolare continuo, per mezzo di diversi organi meccanici.

Siccome ogni macchina a vapore si compone di due parti ben distinte, cioè dell'apparato in cui si produce il vapore e della macchina propriamente detta, così noi incominceremo dal descrivere il primo di questi apparati.

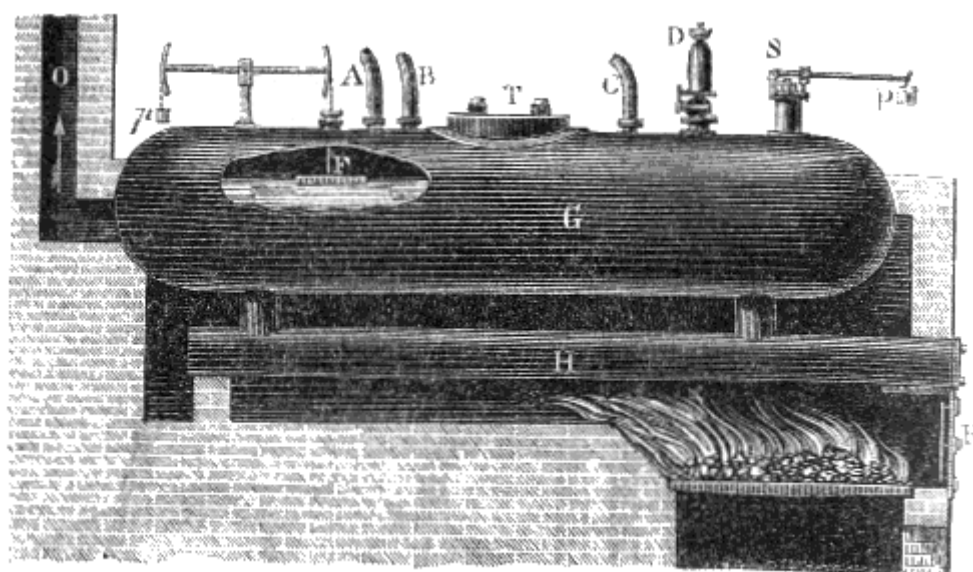


Fig. 224 (l. = 6m).

**373. Generatore del vapore.** - Chiamasi *generatore* o *caldaia* l'apparato che serve alla produzione del vapore. La figura 224 rappresenta la forma che si dà ordinariamente ai generatori delle macchine fisse, dai quali differiscono di molto quelli delle locomotive e dei battelli a vapore. Esso consiste in un lungo cilindro di lamiera di ferro terminato da due emisferi; al disotto sonvi due altri cilindri, pure di lamiera di ferro, e comunicanti col generatore per mezzo di due tubature. Questi cilindri, di cui un solo è visibile nel disegno, si chiamano bollitoi, e sono destinati a ricevere la prima azione del fuoco del fornello. Questi bollitoi sono totalmente pieni d'acqua, e la caldaia ne è piena per poco più della metà.

Al di sotto dei bollitoi trovasi il focolare, nel quale si fa abbruciare, del carbon fossile o della legna. I prodotti della combustione, dopo aver circolato attorno ai bollitoi ed alla caldaia, sfuggono nell'atmosfera per un camino al quale, in generale, si dia una grandissima altezza per attivarne l'aspirazione.

La seguente leggenda ci dispensa dall'entrare in più minuti particolari:

Leggenda esplicativa della figura 224.

- A Canna che conduce il vapore all'apertura e della camera di distribuzione della macchina (fig. 228, pag. 280).
- B Tubo che conduce il vapore ad un manometro il quale indica la tensione del vapore nell'interno della caldaia.
- C Tubo che serve all'introduzione dell'acqua nella caldaia.
- D Fischietto d'allarme, così chiamato perchè serve a dar l'allarme quando non avvi acqua bastante nella caldaia; circostanza che può esser causa di esplosione nel momento in cui l'acqua vi è introdotta, perchè allora, essendo roventi le pareti, si produce gran copia di vapore. Fintanto che il livello non è troppo basso nella caldaia il vapore non passa nel fischietto; ma se il livello discende al di sotto dell'altezza conveniente, un piccolo galleggiante che non si vede nella

figura e che chiude l'estremità inferiore del tubo D, si abbassa e permette l'uscita al vapore. Quest'ultimo, sprigionandosi, va ad urtare contro i lembi di un disco metallico e gli fa produrre quel suono acuto che si ode frequentemente sulle strade-ferrate.

F *Galleggiante* destinato ad indicare il livello dell'acqua nella caldaia. È composto di una pietra rettangolare sommersa in parte nell'acqua, come mostra l'apertura praticata nella parete del ceneratore. Questa pietra, sospesa all'estremità di una leva, è tenuta in equilibrio dalla perdita di peso che soffre nell'acqua, e da un contrappeso *p*. Fintanto che l'acqua arriva all'altezza voluta, la leva che sostiene il galleggiante rimane orizzontale; ma si inclina verso F quando l'acqua non è sufficiente, ed in senso contrario se questa è soverchia. In ambedue i casi si ha un indizio per regolare convenientemente l'introduzione dell'acqua.

G *Generatore cilindrico* di lamiera di ferro, totalmente chiuso.

H *Bollitoi* in numero di due posti l'uno accanto all'altro.

O Condotto del camino.

P Peso che gravita sulla valvola di sicurezza.

*p* Contrappeso del galleggiante.

R Porta del focolare.

S *Valvola di sicurezza*, da noi descritta parlando della pentola di Papin (300).

T Apertura (*trou d'homme*) che serve per il ripulimento e per le riparazioni della caldaia.

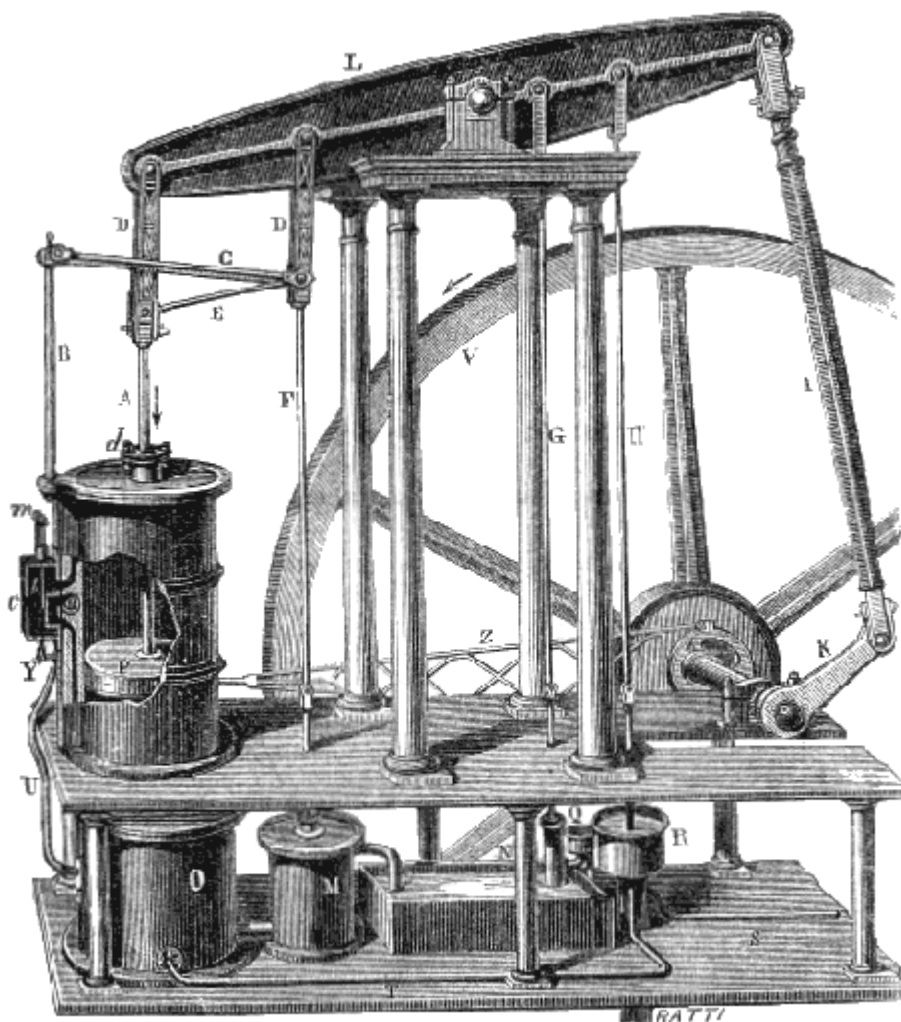


Fig. 225 (n. = 4m. 60).

**374. Macchina a doppio effetto o macchina di Watt.** - Si chiama *macchina a doppio effetto* quella in cui il vapore agisce alternativamente al disopra ed al disotto dello stantuffo. Essa porta anche il nome di *macchina di Watt*, perchè è costrutta secondo il sistema che questo illustre ingegnere aveva adottato.

Daremo qui dapprima un'idea dell'insieme di questa macchina, poi ne descriveremo separatamente ognuna delle parti. Alla sinistra del disegno (fig. 225), avvi un cilindro di ghisa nel quale entra il vapore dalla caldaia. Un'apertura praticata nella parete di questo cilindro lascia vedere

lo stantuffo, sul quale il vapore agisce alternativamente al disopra ed al disotto per farlo salire o discendere. Per mezzo dell'asta A, questo stantuffo trasmette il suo movimento ad una robusta leva di ghisa L, che si chiama *bilanciere*, e che è sostenuta da quattro colonne pure di ghisa. Il bilanciere alla sua volta trasmette il proprio movimento ad una lunga sbarra I che si chiama asta del bilanciere, e che si articola su di una manovella K, alla quale imprime un moto di rotazione continua. Questa manovella è fissata ad un albero orizzontale di ghisa che si chiama *albero principale*, e che gira con essa. Quest'albero, mediante ruote d'ingranaggio o corregge continue, trasmette il moto e la forza a diverse macchine, come molini per segare, tornii, laminatoi, ecc.

Alla sinistra del cilindro avvi la camera di distribuzione, dalla quale mediante un meccanismo che descriveremo in seguito (375), il vapore passa alternativamente al disopra ed al disotto dello stantuffo. Ma è necessario che, dopo aver agito sopra ognuna delle basi dello stantuffo il vapore venga sottratto, altrimenti si eserciterebbe una pressione nei due sensi opposti e lo stantuffo rimarrebbe in equilibrio. Per ciò, il vapore che ha agito sullo stantuffo passa in un vaso O che contiene dell'acqua fredda e che si chiama *condensatore*. Quivi il vapore si condensa quasi completamente, e si produce il vuoto nella parte del cilindro che comunica col condensatore. Per conseguenza la pressione esercitandosi soltanto sopra una delle basi dello stantuffo, lo fa salire o discendere.

L'uso del condensatore è appoggiato sul principio, dovuto a Watt che quando due vasi comunicanti fra loro e contenenti del vapore allo stato di saturazione, si trovano a temperature differenti, la tensione è la stessa in ambedue i vasi e corrisponde alla temperatura del vaso meno caldo (291).

Siccome l'acqua del condensatore si riscalda rapidamente per la liquefazione dei vapori, bisogna rinnovarla costantemente. Ciò si ottiene per mezzo di due trombe: l'una, FM, che si chiama *tromba ad aria*, aspira dal condensatore l'acqua calda che contiene, e nello stesso tempo, l'aria che trovavasi sciolta nell'acqua del generatore e che passa col vapore nel corpo del cilindro e nel condensatore; l'altra HR, che chiamasi *tromba ad acqua fredda*, aspira da un pozzo o da un fiume dell'acqua, che viene spinta nel condensatore dalla pressione atmosferica.

Una terza tromba GQ, che si chiama *tromba alimentatrice*, inietta nel generatore l'acqua calda aspirata dal condensatore, onde si ha un risparmio di combustibile.

#### *Macchina a vapore a doppio effetto*

(Leggenda esplicativa)

- A Asta dello stantuffo che si articola sul parallelogrammo e serve a trasmettere al bilanciere il movimento alternativo dello stantuffo.
- B Asta fissata al cilindro, e che sostiene il braccio di richiamo C.
- C Braccio di richiamo doppio che dirige il movimento del parallelogrammo.
- D, D, E Verghe che formano coll'estremità del bilanciere un *parallelogrammo articolato* al quale è fissata l'asta dello stantuffo e che ha per oggetto di mantenere a quest'asta un movimento rettilineo durante la sua corsa.
- F Asta della tromba ad aria che esporta dal condensatore l'aria e l'acqua calda che esso contiene.
- G Asta della *tromba di alimentazione* che spinge nel generatore per mezzo del tubo S l'acqua calda aspirata dal condensatore.
- H Asta della *tromba ad acqua fredda* che serve ad aspirare l'acqua fredda necessaria alla condensazione.
- I Asta del bilanciere (*bielle*) che trasmette il movimento del bilanciere alla manovella.
- K Manovella che trasmette il movimento dell'asta I all'albero principale.
- L Bilanciere mobile sopra due orecchioni collocati a metà della sua lunghezza e che trasmette il moto dello stantuffo all'asta I.
- M Cilindro della tromba ad aria in comunicazione col condensatore O.
- N Serbatoio ove giunge l'acqua calda che la tromba aspira dal condensatore.
- O Condensatore pieno d'acqua fredda, nel quale si liquefa il vapore dopo aver agito sullo stantuffo.
- P Stantuffo metallico mobile in un cilindro di ghisa; questo stantuffo, il quale riceve direttamente la pressione del vapore, trasmette il movimento a tutte le parti della macchina.
- Q Cassa d'aria (178) della tromba premente alimentatrice che spinge l'acqua nella caldaia.
- R Serbatoio della tromba ad acqua fredda.
- S Tubo che conduce nel generatore l'acqua calda spinta dalla tromba d'alimentazione.
- T Tubo che guida dal serbatoio R nel condensatore l'acqua aspirata dalla tromba ad acqua fredda.
- U Tubo che conduce dal cilindro al condensatore il vapore che ha agito sullo stantuffo.



V Grande ruota di ghisa chiamata *volante*, che gira coll'albero principale, e serve a regolarne il moto in virtù della sua inerzia, specialmente quando lo stantuffo è agli estremi della sua corsa.

Y Leva a gomito che trasmette il moto dall'eccentrico *c* al cassetto *b*.

Z Tirante dell'eccentrico.

*a* Orifizio che comunica ora colla parte superiore, ora colla parte inferiore del cilindro e serve a lasciar passare il vapore nel tubo U e quindi nel condensatore.

*b* Asta che trasmette il moto al *cassetto*, il quale serve a far giungere il vapore ora al disopra, ora al disotto dello stantuffo, e che sarà descritto più innanzi all'articolo *Distribuzione del vapore*.

*c* Orificio pel quale il vapore passa dal generatore nella cassa di distribuzione.

*d* Scattola a stoppa nella quale scorre l'asta dello stantuffo, senza lasciar passare il vapore.

*e* Eccentrico fissato all'albero principale e che gira in un anello al quale si attacca il tirante Z.

*m* Verga che lega l'asta *b* del cassetto alla leva a gomito Y ed all'eccentrico.

Nella figura 225, la parte inferiore del disegno non rappresenta esattamente la disposizione che si suol dare alle trombe, al serbatoio dell'acqua calda ed a quello dell'acqua fredda: le modificazioni che vi furono introdotte però, hanno per scopo di far meglio comprendere come queste parti funzionino e comunichino fra di loro.

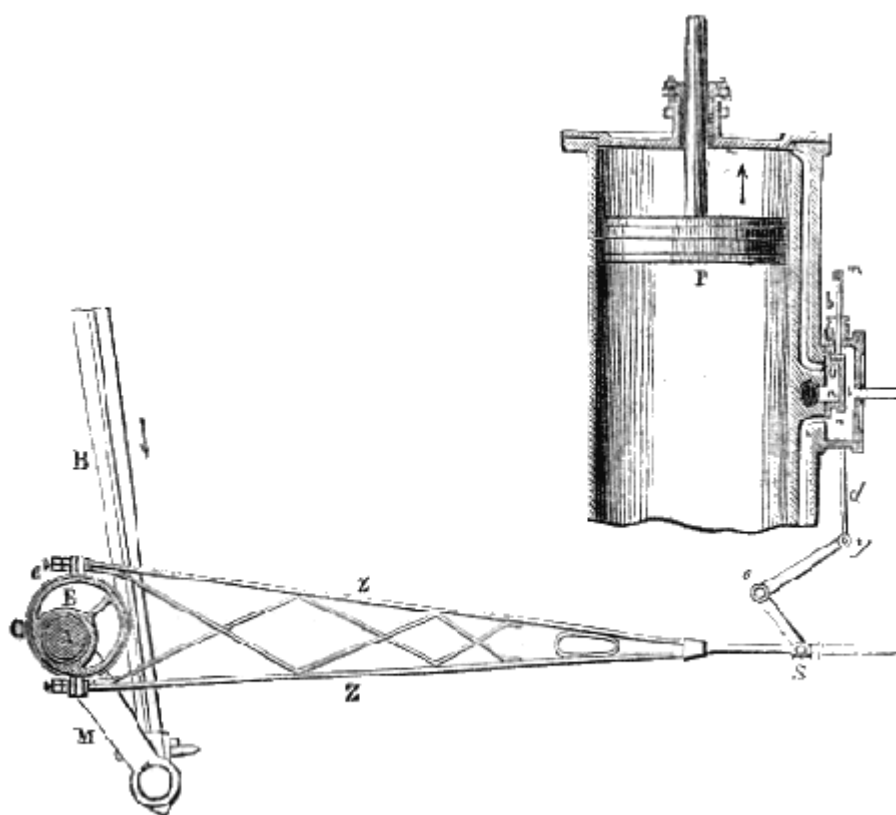


Fig. 226.

**375. Distribuzione del vapore; eccentrico.** - La figura 226 rappresenta le parti della *distribuzione del vapore*. Una canna *c* che comunica colla caldaia, guida il vapore in una cassa rettangolare di ghisa fissata sul cilindro. Nella parete di quest'ultimo sono praticati tre orifici *u, n, a*; mediante canali interni, il primo comunica colla parte superiore del cilindro; il secondo colla parte inferiore; ed il terzo a coll'imboccatura *r* di una canna che termina nel condensatore. Sui tre orifici scorre un pezzo *t* che si chiama *cassetto* o *tiratoio* (*glissière* ou *tiroir*). Questo pezzo è fissato ad un'asta *b* unita ad articolazione in *m* con un'asta più grande *d*, e riceve con essa un moto alternativo da una leva a gomito *yoS*, congiunta coll'eccentrico. Quando il tiratoio è all'alto della sua corsa, come lo mostra la figura, il vapore penetra per l'orifizio *n* e si porta nella parte inferiore del cilindro, mentre non può entrare per l'orifizio *u*, che allora trovasi coperto dal tiratoio. Ma quel vapore che trovasi al disopra dello stantuffo, passa attraverso allo stesso orifizio *u* e per l'orifizio *a* si porta nel foro *r*, e va nel condensatore. Perciò lo stantuffo non è premuto che dal basso all'alto, ed ascende.

Se al contrario il tiratoio è al basso della sua corsa, il vapore penetra per l'orifizio *u*, e l'orifizio *n* lascia passare il vapore che è al disotto dello stantuffo per giungere al condensatore, e per conseguenza lo stantuffo discende, e così di seguito a ciascun spostamento del cassetto.

Il tiratoio riceve il movimento alternativo dall'*eccentrico*. Chiamasi così un pezzo circolare *E* fissato all'albero principale *A*, in modo però che il suo centro non coincide coll'asse di quest'albero. L'*eccentrico* è avvolto da un collare *C* nel quale ruota a sfregamento dolce. A questo collare si attaccano le verghe *ZZ*. Il collare, senza girare, segue il moto dell'*eccentrico*, e ne riceve, nella direzione orizzontale, un moto alternativo che comunica alla leva *Soy* e quindi al cassetto.

**376. Macchina ad effetto semplice.** - Chiamasi macchina ad *effetto semplice* quella nella quale il vapore agisce soltanto sulla base superiore dello stantuffo, il quale risale per l'azione di un contrappeso fissato all'altra estremità del bilanciante. Queste macchine, delle quali oggidì se ne fa poco uso, furono da principio adoperate, specialmente da Watt, per far agire delle trombe destinate ad estrar l'acqua dalle miniere. In questo caso, per la loro semplicità, sono da preferirsi alle macchine a doppio effetto, e se ne fa ancor uso nella contea di Cornovaglia in Inghilterra.

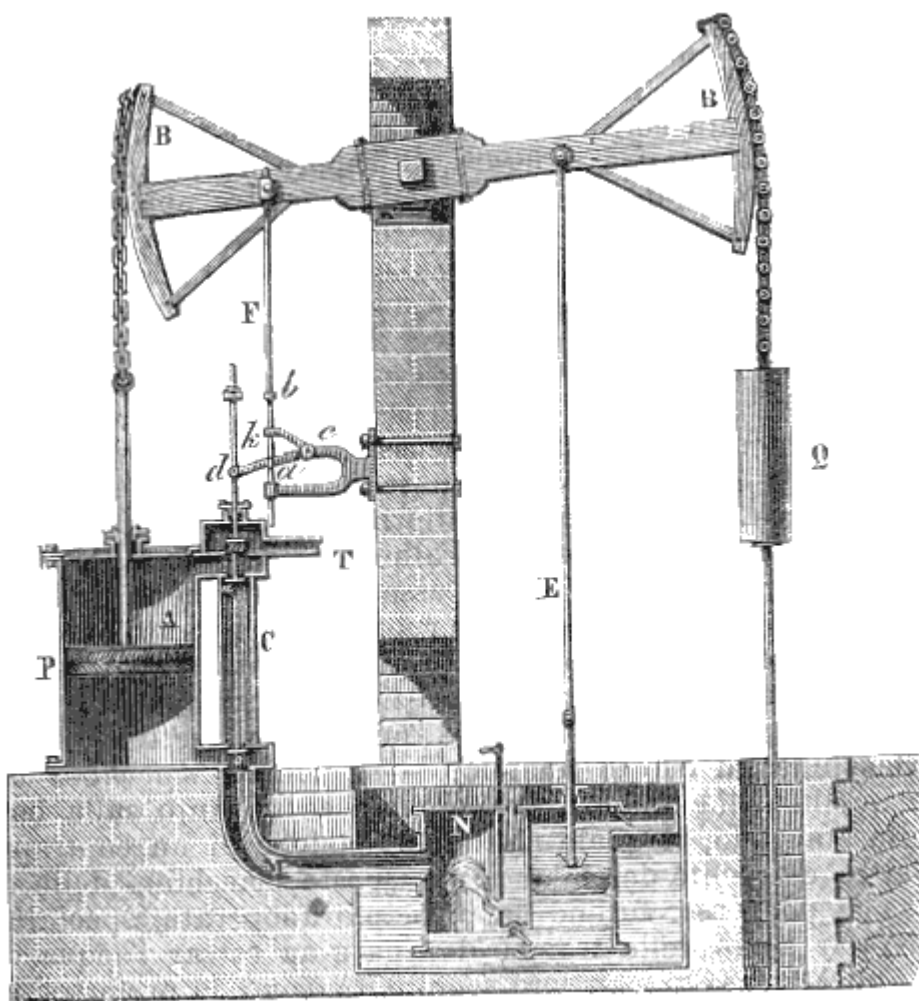


Fig. 227 (A. — 9m,50).

La figura 227 rappresenta lo spaccato di una macchina ad effetto semplice. Il bilanciante *BB* è di legno; alle sue estremità vi sono due pezzi curvati ad arco di cerchio sui quali si avvolgono due catene fissate, l'una all'asta dello stantuffo *P* sul quale agisce il vapore, l'altra all'asta della tromba. A destra del cilindro *A* evvi la camera di distribuzione *C*, nella quale giunge il vapore dalla caldaia per mezzo del tubo *T*. Un'asta *d* porta tre valvole *m*, *n*, *o*. Le valvole *m* ed *o* si aprono dal basso all'alto; la sola valvola *n* si apre dall'alto al basso.

Essendo aperte le valvole *m* ed *o*, come mostra il disegno, il vapore della caldaia giunge liberamente, per mezzo del tubo T, al disopra dello stantuffo P, mentre quello che vi si trova al disotto passa nel condensatore N, mediante il condotto M; allora lo stantuffo discende.

Ora, l'asta che porta le valvole *m*, *n*, *o*, è unita ad una leva a gomito *dck*, mobile su di una cerniera *c*. Questa leva a gomito fa aprire e chiudere le valvole. A quest'uopo, un'asta F, fissata al bilanciere, porta due prominenze *a* e *b*, mediante le quali urta sull'estremità *k* della leva a gomito. Trovandosi le valvole disposte come nella figura 227, lo stantuffo discende unitamente alla sbarra F; per conseguenza la prominenza *b* batte sulla leva e la fa discendere insieme all'asta *dmo*; allora le valvole *m* ed *o* si chiudono e si apre la valvola *n*. In tal momento è tolta ogni comunicazione colla caldaia e col condensatore; ma il vapore che ha fatto discendere lo stantuffo, passa liberamente al disotto del medesimo per mezzo del condotto C. Premendo allora egualmente le due basi dello stantuffo si fa equilibrio da sè stesso, e lo stantuffo risale per effetto della trazione esercitata dal peso Q; a tal uopo non abbisogna che poca forza, perchè nella tromba di prosciugamento, di cui l'asta è fissata al peso Q, lo sforzo necessita soltanto durante l'innalzamento dello stantuffo. All'istante in cui lo stantuffo P giunge alla sommità della sua corsa, la prominenza *a* urta alla sua volta contro la leva *k*, solleva l'asta *dno*, ed il vapore ritorna al disopra dello stantuffo e lo fa discendere di nuovo, e così di seguito.

**377. Locomotive.** - Si chiamano *macchine locomotive*, o semplicemente *locomotive* alcune macchine a vapore, che, disposte sopra carri, si spostano da sè stesse trasmettendo il moto alle ruote.

Nelle locomotive, il parallelogrammo, il bilanciere, ed il volante delle macchine fisse sono soppressi; anche la forma del generatore è completamente modificata. Le parti principali di queste macchine sono il *telaio*, la *cassa di riscaldamento*, il *corpo cilindrico della caldaia*, la *cassa fumaria*, i *cilindri a vapore* coi loro cassetti, le *ruote motrici* e l'*apparato di alimentazione*.

Il telaio è una cornice di legno di quercia sostenuta dalle sale delle ruote, e che porta tutte le parti della macchina. Nel nostro disegno (fig. 228), sulla piattaforma di lamiera di ferro che ricopre il telaio, è rappresentato il meccanico che deve dirigere la locomotiva nell'istante in cui si dispone ad aprire il *regolatore del vapore* I, situato nella parte superiore della cassa di riscaldamento Z. Alla parte inferiore di quest'ultima evvi il focolare, d'onde la fiamma ed i prodotti della combustione passano nella cassa fumaria Y, indi nella canna del camino, dopo aver attraversato 125 tubi di ottone che sono interamente immersi nell'acqua della caldaia.

La caldaia che unisce la cassa a fuoco colla cassa fumaria è di rame, di forma cilindrica e del diametro di un metro circa; essa è circondata da doghe di acaiù, le quali in causa della loro debole conducibilità si oppongono al raffreddamento. Uscendo dalla caldaia il vapore si porta nei due cilindri collocati a ciascun lato della cassa fumaria. Ivi, per mezzo di una distribuzione analoga a quella più sopra descritta (375), agisce alternativamente sulle due basi degli stantuffi, le cui aste trasmettono il movimento agli assi delle grandi ruote. La camera di distribuzione non è visibile nella figura 228 perchè è collocata sotto al telaio fra i due cilindri. Dopo di avere agito sugli stantuffi, il vapore sfugge pel camino, e contribuisce a rendere maggiore l'aspirazione.

La trasmissione del moto dagli stantuffi alle due ruote grandi si compie per mezzo di due aste (*bielles*) e di due manovelle che collegano le aste degli stantuffi cogli assi di queste ruote. I tiratoi ricevono il moto alternativo nelle casse di distribuzione di ciascun cilindro per mezzo di eccentrici situati sugli assi delle ruote motrici.

L'alimentazione, ossia la rinnovazione dell'acqua nella caldaia, si ottiene per mezzo di due trombe aspiranti e prementi situate sotto il telaio e messe in moto da eccentrici. Queste trombe, mediante tubi di comunicazione, aspirano l'acqua da un serbatoio collocato sul *tender*.

Chiamasi così quel carro che succede immediatamente alla locomotiva e che porta l'acqua ed il carbone occorrenti per un viaggio determinato.

La leggenda esplicativa che accompagna la figura ci dispensa dall'entrare in più estesi schiarimenti.

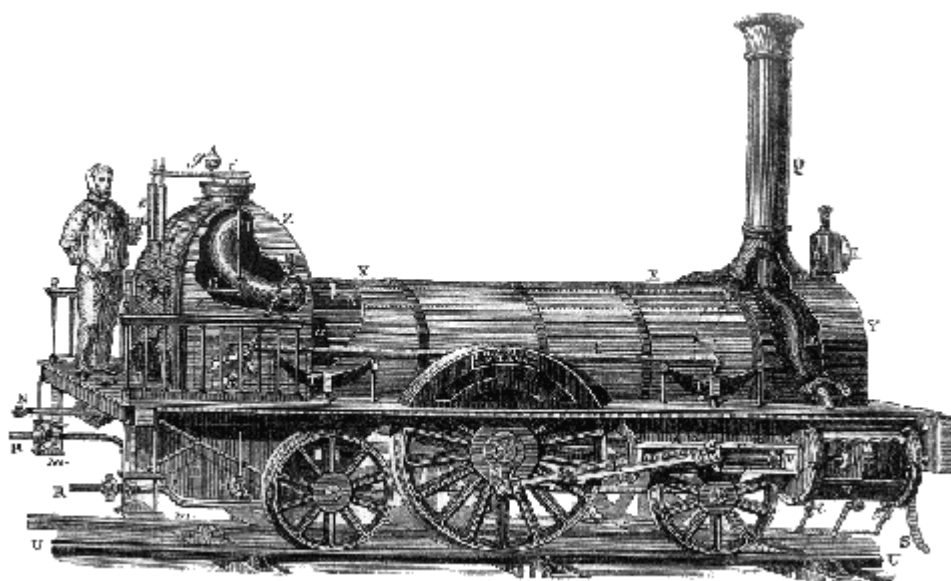


Fig. 226 (1=5m,38)

### *Locomotiva a cupola*

(Leggenda esplicativa)

A Tubo di rame che riceve il vapore dall'estremità I e si biforca all'altra estremità per condurlo ai due cilindri che contengono gli stantuffi motori.

B Impugnatura della leva di cambiamento di direzione. Questa leva trasmette il moto alla spranga C, che lo comunica alla distribuzione del vapore.

C Spranga del cambiamento di direzione.

D Parte inferiore della cassa di riscaldamento contenente la graticola del focolare.

E Tubo pel quale sfugge il vapore dopo che ha agito sugli stantuffi.

F Cilindro di ghisa contenente uno stantuffo motore. Ve n'è uno a ciascun lato della locomotiva. Il cilindro fu disegnato aperto per lasciar vedere lo stantuffo.

G Spranga che serve ad aprire il regolatore I per lasciar passare il vapore nel tubo A. Nella figura il meccanico afferra colla mano la leva che fa girare questa spranga.

H Chiavetta di scarico della caldaia.

I Regolatore che si apre e si chiude a mano per la immissione del vapore.

K Grande asta (*bielle*) motrice, a forchetta, che riunisce la testa dell'asta dello stantuffo alla manovella M della ruota motrice.

L Lampada e specchio che di notte servono ad indicare l'avvicinarsi della locomotiva.

M Manovella che trasmette all'asse della ruota grande il movimento dello stantuffo.

N Attaccatura del *tender*, che segue la locomotiva.

O Sportello del focolare pel quale si introduce il *coke*.

P Stantuffo metallico la cui asta si articola coll'asta K.

Q Tubo del camino, pel quale sfuggono il fumo ed il vapore che escono dai cilindri.

R, R Tubi conducenti l'acqua dal *tender* a due trombe prementi le quali alimentano la caldaia, ma che nella figura non sono visibili.

S Pezzo che scaccia le pietre o qualsiasi altro oggetto che ingombri la via.

T, T Molle sostenenti la caldaia.

U, U Guide di ferro, tenute ferme sulla via per mezzo di cuscinetti di ghisa fissati sopra traverse di legno.

V Intelaiatura della scattola a stoppa dei cilindri.

X, X Corpo cilindrico della caldaia coperto di doghe di acaiù destinate per la debole loro conducibilità, a diminuire la perdita di calorico. Si vede, al disotto del tubo A sin dove si eleva il livello dell'acqua nella caldaia. Nell'acqua stanno immersi dei tubi di ottone *a*, a traverso dei quali passano i prodotti della combustione per recarsi nella canna fumaria.

Y Canna fumaria nella quale sboccano i tubi *a*.

Z, Z Cassa di riscaldamento sormontata da una cupola nella quale passa il vapore.

*a* Tubi di ottone in numero di 125, aperti alle due estremità, i quali comunicano ad un capo colla cassa di riscaldamento ed all'altro colla canna fumaria. Questi tubi trasmettono il calore del focolare all'acqua della caldaia e contribuiscono a convertirla in vapore.

*b* Direttore del moto collocato lateralmente alla camera del fuoco e munito di intaccature nelle quali possono ingranare le braccia della leva R. L'intaccatura estrema anteriore corrisponde al moto in avanti; l'intaccatura estrema

posteriore al moto all'indietro; l'intaccatura di mezzo è un punto morto. Le intaccature intermedie fra questa e le intaccature estreme danno l'espansione per il moto in avanti e in addietro.

*c* Astuccio contenente delle molle a spira, le quali regolano l'azione della valvola di sicurezza *i*.

*g* Fischietto d'allarme che si fa udire alla distanza di 2000 metri.

*i* valvola di sicurezza.

*m, m* sgabello per salire sulla piattaforma della locomotiva.

*n*, Tubo di cristallo situato davanti al meccanico e che indica il livello dell'acqua nella caldaia colla quale comunica pe' suoi due capi.

*R, r* Guide destinate a mantenere in linea retta il moto della testa dello stantuffo.

*t, t* Chiavette per evacuare i cilindri dopo che sono stati scaldati dal vapore al cominciare della corsa.

*v* Spranga che trasmette il moto alle chiavette di evacuazione.

**378. Macchina a reazione; eolipila.** - Chiamansi *macchine a reazione*, alcune macchine nelle quali il vapore agisce per reazione, come fa l'acqua nell'arganetto idraulico (84). L'idea di queste macchine è molto antica; 120 anni prima di Gesù Cristo, Erone di Alessandria, lo stesso che inventò la fontana che porta il di lui nome, descrisse il seguente apparecchio denominato *eolipila a reazione*.

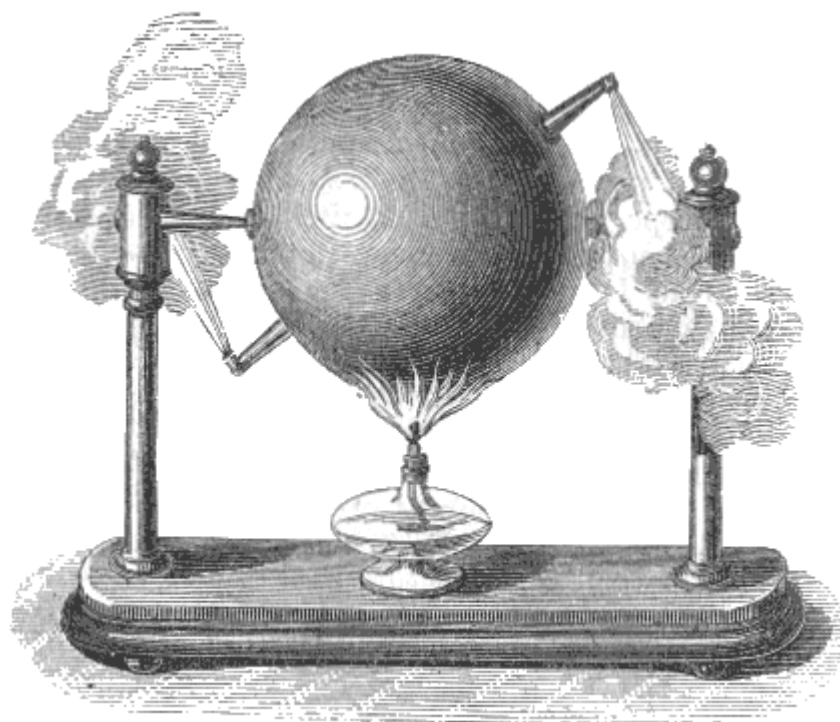


Fig. 229 (a. = 18).

È una sfera cava di metallo (fig. 229) che può girare liberamente intorno a due perni. Alle estremità di uno stesso diametro sono fissate due tubature che presentano lateralmente ed in direzione contraria degli orifizi dai quali sfugge il vapore. Per introdurre dell'acqua in questa sfera, la si riscalda dapprima allo scopo di rarefare l'aria, indi la si immerge nell'acqua fredda; l'aria si contrae, ed il liquido vi penetra. Se si riscalda allora l'apparato sino alla ebollizione, il vapore che si sviluppa

gli imprime un moto rapido di rotazione, il quale è dovuto alla pressione del vapore sulla parete opposta all'orifizio di uscita.

Si fecero diversi tentativi onde utilizzare in grande la reazione del calore come forza motrice; si tentò anche di farlo agire per impulsione, dirigendo un getto di vapore sulle palette di una ruota girante; ma in questi differenti processi, il vapore non produsse giammai l'effetto utile che si ottiene facendolo agire per espansione su di uno stantuffo

**379. Macchine a bassa, ad alta ed a media pressione.** - Dicesi che una macchina è a *bassa pressione*, quando la tensione del vapore non oltrepassa 1 atmosfera ed  $\frac{1}{4}$ ; a *media pressione*, quando la tensione del vapore è compresa fra 1 atmosfera ed  $\frac{1}{4}$  e 4 atmosfere; e ad *alta pressione* quando il vapore agisce con una tensione superiore a 4 atmosfere.

**330. Macchine ad espansione e senza espansione.** - Quando il vapore arriva liberamente sullo stantuffo durante tutta la corsa del medesimo, conserva sensibilmente la stessa forza elastica, ed allora si dice che la macchina è *senza espansione* (*sans détente*); ma se, per una particolare disposizione del tiratoio, il vapore cessa di giungere sullo stantuffo allorchè questo si trova soltanto a due terzi od a tre quarti della sua corsa, allora la macchina dicesi ad espansione, *a scappamento* (*a détente*), in tal caso il vapore, per la forza espansiva dovuta all'alta sua temperatura, agisce ancora sullo stantuffo, e lo spinge sino al termine della sua corsa. Da ciò la distinzione di macchine ad espansione e macchine senza espansione.

Finalmente si chiamano *macchine a condensazione* quelle che sono fornite di un condensatore in cui il vapore si liquefa dopo di aver agito sullo stantuffo, e *macchine senza condensazione* quelle che mancano di condensatore; a queste ultime appartengono le locomotive.

**381. Cavallo-vapore.** - In meccanica applicata si chiama *lavoro meccanico* di un motore il prodotto dello sforzo che esso esercita per lo spazio percorso dal corpo cui è applicato, e si prende per unità di lavoro meccanico il *chilogrammetro*, che è il lavoro necessario per elevare 1 chilogrammo ad 1 metro di altezza in 1 minuto secondo.

Nella misura del lavoro delle macchine a vapore si prende per unità il *cavallo-vapore*, il quale rappresenta *il lavoro necessario per elevare 75 chilogrammi ad 1 metro di altezza in 1 minuto secondo*; quindi esso equivale a 75 chilogrammi. Per conseguenza una macchina di 40 cavalli è quella che può elevare, senza interruzione, 40 volte 75 chilogrammi, ossia 3000 chilogrammi ad 1 metro di altezza in ogni minuto secondo. Il lavoro di un cavallo-vapore è circa il doppio di quello degli ordinari cavalli da tiro.

# CAPITOLO XI

## SORGENTI DI CALORE E DI FREDDO

**382. Differenti sorgenti di calore.** - Le diverse sorgenti di calore sono: 1.° le *sorgenti meccaniche*, le quali comprendono lo sfregamento la percussione e la compressione; 2.° le *sorgenti fisiche*, cioè l'irradiazione solare, il calore terrestre, le azioni molecolari, i cambiamenti di stato e l'elettricità; 3.° le *sorgenti chimiche*, cioè le combinazioni chimiche e segnatamente la combustione<sup>(7)</sup>.

### *Sorgenti meccaniche*

**383. Calore prodotto dallo strofinamento.** - Lo strofinamento reciproco di due corpi sviluppa una quantità di calorico tanto più grande quanto più forte è la compressione e più rapido il movimento. Per es., spesse volte i bussoli delle ruote da carrozza, per effetto del loro attrito contro le sale, si riscaldano al punto di accendersi. H. Davy ottenne la parziale fusione di due pezzi di ghiaccio strofinandoli l'uno contro l'altro in una atmosfera al disotto di 0°. Traforando sotto acqua una massa di bronzo, Rumford trovò che il calore sviluppato dallo strofinamento necessario per ottenere 250 grammi di limatura è capace di scaldare 25 chilogrammi di acqua da 0° a 100°, ciò che rappresenta 2500 calorie (330). All'esposizione universale del 1855 Beaumonte e Mayer esposero un apparato per mezzo del quale in alcune ore innalzavano 400 litri d'acqua da 10 a 130 gradi, mediante lo strofinamento di un cono di legno coperto di canape girante con una velocità di 400 giri per minuto in una caldaia chiusa perfettamente. Le superficie strofinate erano costantemente unte d'olio.

Nell'acciarino a pietra focaia per il solo effetto dello strofinamento dell'acciaio contro la selce, le particelle metalliche che si staccano si riscaldano al punto d'accendersi nell'aria.

Si attribuisce il calore sviluppato dall'attrito ad un movimento vibratorio che prendono le molecole dei corpi.

**384. Calore dovuto alla compressione ed alla percussione.** - La temperatura di un corpo compresso in modo da renderne maggiore la densità, si innalza tanto più quanto è più grande la diminuzione del volume. Questo fenomeno, poco sensibile nei liquidi, è più evidente nei solidi; ma nei gas, i quali sono assai compressibili, lo sviluppo di calore è considerevole.

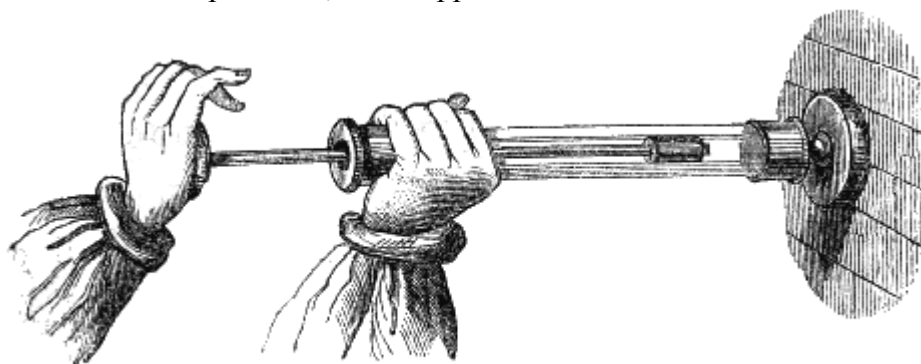


Fig. 230 (1=36).

Si dimostra il grande svolgimento di calore che si produce nei gas compressi per mezzo dello *schizzetto pneumatico*. Quest'apparato composto di un tubo di vetro a pareti grosse, nel quale scorre

<sup>(7)</sup> Alle sorgenti di calore qui annoverate bisogna aggiungere anche le *sorgenti fisiologiche*, ossia le cause che producono il calore negli esseri viventi.

(Nota del Trad.)

uno stantuffo di cuoio che chiude esattamente (fig. 230). Nella base interna di questo stantuffo avvi una cavità entro la quale si colloca un pezzetto di esca. Abbassando rapidamente lo stantuffo verso il fondo del tubo pieno d'aria, questa, per la compressione cui soggiace, si riscalda a segno da accendere l'esca, che si vede abbruciare ritirando rapidamente lo stantuffo. In quest'esperimento l'accensione dell'esca dimostra una temperatura corrispondente almeno a 300°. All'istante della compressione si produce una luce piuttosto viva che dapprima venne attribuita all'alta temperatura alla quale l'aria è portata; ma si riconobbe che essa è dovuta unicamente alla combustione dell'olio di cui è spalmata la superficie dello stantuffo.

La compressione basta per determinare la combinazione e quindi la detuonazione di una mescolanza di ossigeno e di idrogeno, in forza dell'innalzamento di temperatura che viene prodotto.

Il calore sviluppato dalla compressione si attribuisce all'avvicinamento delle molecole, il quale fa passare allo stato di calorico sensibile una certa quantità di calorico latente.

Anche la percussione è una sorgente di calore, siccome si può constatare battendo sull'incudine un metallo maleabile. Il calore che allora si sviluppa non è dovuto soltanto all'avvicinamento delle molecole, ma risulta altresì da un movimento vibratorio, perchè si riscalda anche il piombo, il quale, per mezzo della percussione, non aumenta di densità.

### *Sorgenti fisiche*

**385. Radiazione solare.** - Il sole è la sorgente più intensa di calore. Si ignora la causa del calore emesso da quest'astro che alcuni considerano siccome una massa infuocata soggetta ad immense eruzioni, e che altri riguardano come composto di strati reagenti chimicamente gli uni sugli altri come le coppie della pila voltaica, d'onde ne risulterebbero delle correnti elettriche alle quali sarebbero dovuti la sua luce ed il suo calore. In ambedue queste ipotesi l'incandescenza del sole avrebbe un termine.

Si fecero dei tentativi per misurare la quantità di calorico emesso, annualmente dal sole. Pouillet, mediante un apparato da esso chiamato *pireliometro*, giudicò che la quantità totale del calorico che la terra riceve dal sole nel corso di un anno, ove fosse tutta quanta impiegata per fondere del ghiaccio, sarebbe capace di liquefarne uno strato della grossezza di quasi 31 metri su tutta la superficie del globo. Ora, la terra, avuto riguardo alla superficie che presenta all'irradiazione del sole ed alla distanza che la separa dal medesimo, non riceve; che  $\frac{1}{238100000}$  del calore solare.

**386. Calorico terrestre.** - Il globo terrestre possiede un calore proprio che si distingue col nome di *calore centrale*. Diffatti, ad una profondità poco considerevole, ma che varia a norma dei paesi, si trova uno strato la cui temperatura resta costante in tutte le stagioni. d'onde si conchiude che il calore solare non penetra, al disotto del suolo che ad una profondità determinata. Indi, al disotto di questo strato, che si denomina *strato invariabile* si osserva che la temperatura aumenta in media di un grado per ogni 30 o 40 metri di profondità. Questa legge dell'aumento della temperatura del suolo è stata verificata sino a grandi profondità nelle miniere e nei pozzi artesiani. Estendendola sino ad una profondità di 3500 metri, cioè, a poco meno di una lega metrica, la temperatura dello strato corrispondente sarebbe già di 100 gradi. Le acque termali ed i vulcani confermano l'esistenza del calore centrale.

La profondità alla quale si trova lo strato invariabile non è la stessa sui differenti punti del globo; a Parigi essa è di 27 metri, ed a questa profondità la temperatura è costantemente di 11°, 8.

Diverse ipotesi furono immaginate per dare spiegazione del calore centrale. La più generalmente adottata dai fisici e dai geologi è che la terra sia stata primitivamente allo stato liquido in causa di una temperatura elevata, e che, per l'irradiazione, la sua superficie siasi raffreddata a poco a poco in modo da formare una corteccia solida, la quale, anche attualmente, avrebbe soltanto da 14 a 15 leghe di grossezza, conservandosi tuttavia allo stato liquido la massa centrale. Il raffreddamento di questa massa non può essere che lentissimo, a motivo della debole conducibilità degli strati terrestri.



Per la medesima causa sembra che il calore centrale non elevi la temperatura della superficie del suolo più di  $\frac{1}{36}$  di grado.

**387. Calore sviluppato dalla imbibizione e dall'assorbimento.** - I fenomeni molecolari, come l'imbibizione (121), l'assorbimento, le azioni capillari, sono, in generale, accompagnati da svolgimento di calore. Pouillet ha constatato che ogni qualvolta si versa un liquido su di un solido assai diviso, succede un innalzamento di temperatura che varia secondo la natura delle sostanze. Colle materie inorganiche, come i metalli, gli ossidi, le terre, l'elevazione di temperatura è di 2 a 3 decimi di grado; ma nelle materie organiche, come la spugna, la farina, l'amido, le radici, le membrane essiccate, l'aumento di temperatura varia da 1 a 10 gradi.

L'assorbimento dei gas effettuato dai corpi solidi presenta gli stessi fenomeni. Dobereiner trovò che il platino assai diviso, ottenuto allo stato di precipitato chimico e denominato *nero di platino*, collocato nel gas ossigeno, assorbe un volume di questo gas parecchie centinaia di volte maggiore del suo, e la temperatura s'innalza in modo da dare origine a combustioni vivissime. La *spugna di platino*, che si ottiene precipitando col sale ammoniaco il cloruro di platino in soluzione e calcinando il precipitato, produce il medesimo effetto. Un getto di idrogeno diretto contro di essa si accende per lo sviluppo di calore dipendente dall'assorbimento.

Su questo principio è fondato l'*acciarino a spugna di platino*. Quest'apparato si compone di due recipienti di vetro (fig. 231): il primo, A, penetra nel vaso inferiore B per mezzo di una tubulatura smerigliata che lo chiude esattamente. All'estremità di questa tubulatura avvi una massa di zinco Z che si immerge nell'acqua mescolata con acido solforico. Per la reazione reciproca dell'acqua, dell'acido e del metallo, si sviluppa dell'idrogeno il quale, non trovando dapprima alcuna uscita, respinge l'acqua del vaso B nel vaso A sino a che lo zinco più non peschi nel liquido; il turacciolo del vaso superiore è munito lateralmente di una solcatura che permette l'uscita dell'aria di mano in mano che l'acqua si eleva.

Una tubulatura di ottone H, fissata su di un lato B, porta un piccolo cono E in cui è praticato un orifizio, al disopra del quale avvi una spugna di platino contenuta in una capsuletta D.

Ciò posto, appena che si apre una chiavetta che chiude il tubo di ottone, l'idrogeno si sprigiona e si infiamma a contatto del platino. Bisogna aver cura di non presentare il platino alla corrente di idrogeno se non quando questo gas ha trascinato fuori del vaso B tutta l'aria che trovavasi in esso contenuta; altrimenti si produrrebbe una viva detonazione dovuta alla combinazione dell'ossigeno coll'idrogeno contenuti nel vaso B.

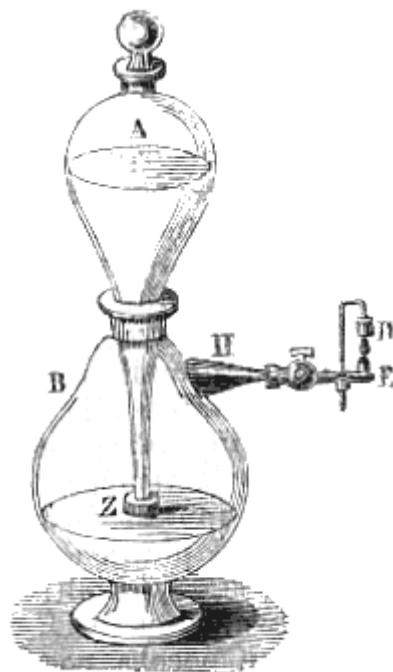


Fig. 231 a. = 38 .

Favre, il quale fece recentemente delle ricerche sul calore che si sviluppa mentre un gas è assorbito dal carbone (122), giunse a questo notevole risultato che il massimo sviluppo di calore prodotto dall'assorbimento di un grammo d'acido solforoso o di protossido sopravanza di gran lunga il calore svolto nella liquefazione di un egual peso dei medesimi gas; per l'acido carbonico, il calore sviluppato dall'assorbimento supera anche quello che si svolgerebbe nella sua solidificazione. Onde si deve concludere che lo sviluppo di calore nell'assorbimento dei gas non può essere compiutamente spiegato col supporre che il gas diventi liquido o si solidifichi nei pori del carbone; ma che bisogna inoltre ammettere un'azione speciale tra le molecole del carbone e quelle del gas, azione che Mitcherlich ha denominata col nome di *affinità capillare*.

Del calorico reso libero dai cambiamenti di stato si parlò già agli articoli *Solidificazione e Liquefazione* (276 e 303); la quistione del calorico sviluppato dalla elettricità sarà trattata nella teoria dei fenomeni elettrici.

### *Sorgenti chimiche*

**388. Combinazioni chimiche, combustione.** - Le combinazioni chimiche sono generalmente accompagnate da uno sviluppo di calore più o meno abbondante. Quando queste combinazioni si compiono lentamente, come avviene allorchè il ferro si ossida all'aria, il calore sviluppato non riesce sensibile; ma quando si compiono rapidamente, lo sviluppo di calore è assai intenso ed in tal caso avviene una combustione.

Chiamasi *combustione* qualunque combinazione chimica che avvenga con svolgimento di calore e di luce. Le combustioni della legna, dell'olio, della cera sono combinazioni dell'idrogeno e del carbonio di queste sostanze coll'ossigeno dell'aria. Ma si producono delle combustioni anche indipendentemente dall'ossigeno. Per es., i frammenti di fosforo o l'antimonio in polvere gettati in una bottiglia piena di cloro, si combinano con questo gas con vivo svolgimento di luce e di calore.

Quasi tutti i combustibili abbruciano con fiamma. Una *fiamma* è un gas od un vapore portato ad un'altra temperatura per effetto della combustione. Il potere rischiarante di una fiamma varia col variare dei prodotti che si formano durante la combustione. La presenza di un corpo solido in una fiamma ne aumenta il potere rischiarante. Le fiamme dell'idrogeno, dell'ossido di carbonio, dell'alcool sono pallide, perchè contengono soltanto dei prodotti gassosi. Ma le fiamme delle candele delle lampade, del gas illuminante hanno un grande potere rischiarante perchè contengono un eccesso di carbonio, il quale, sfuggendo alla combustione, diventa incandescente nella fiamma. Si aumenta notabilmente l'intensità di una fiamma, collocandovi entro dei fili di platino o dell'amianto. Devesi notare che la temperatura di una fiamma non è in rapporto col suo potere rischiarante. La fiamma dell'idrogeno, che è la più pallida, è quella che sviluppa maggior calore.

**389. Calore sviluppato durante la combustione.** - Molti fisici, e principalmente Lavoisier, Rumford, Dulong, Despretz, Hess, Fabre e Silbermann, si occuparono nel ricercare la quantità di calorico sviluppata dai differenti corpi, durante la combustione e le altre combinazioni.

Per eseguire questi esperimenti Lavoisier si è servito del calorimetro di ghiaccio che venne descritto precedentemente (335); Rumford ha fatto uso di un calorimetro conosciuto sotto il suo vero nome, e che consiste in una vasca rettangolare di ottone piena di acqua; in questa vasca trovasi un serpentino il quale ne attraversa il fondo e finisce inferiormente in forma di imbuto rovesciato. Sotto quest'imbuto si fanno abbruciare i corpi sui quali si vuole sperimentare. I prodotti della combustione, attraversando il serpentino, riscaldano l'acqua della vasca e dall'innalzamento della temperatura si deduce poi il calore sviluppato.

Despretz e Dulong modificarono successivamente il calorimetro di Rumford, facendo abbruciare i corpi non più al disotto della vasca che contiene l'acqua da riscaldarsi, ma in una camera di combustione collocata nel seno stesso del liquido; l'ossigeno necessario alla combustione giungeva per mezzo di un tubo alla parte inferiore della camera, ed i prodotti della combustione sfuggivano per un altro tubo situato alla parte superiore ed avvolto a serpentino nella massa del liquido che dovevano riscaldare. Infine, il calorimetro venne perfezionato principalmente per opera di Fabre e Silbermann, in modo di evitare il meglio possibile le cause di errore e di poter determinare non solo la quantità di calore sviluppata nella combustione, ma anche nelle azioni chimiche.

Prendendo per unità la quantità di calorico necessaria per innalzare da 1° la temperatura di 1 chilogrammo di acqua, Dulong ha trovato che un chilogrammo delle seguenti sostanze sviluppa, nell'abbruciare, i numeri delle unità esposti in questa tavola:

Idrogeno	34600	Carbon fossile di mediocre qualità	7600
“ protocarbonato	13205	Carbonio puro	7295
“ bicarbonato	12032	Alcool a 42° gradi di Baumé	6855
Essenza di trementina	10836	Legno assai secco	3652
Olio di ulivo	9863	Solfo	2601
Etere solforico	9430	Ossido di carbonio	2488

I numeri trovati anteriormente da altri fisici differivano talvolta troppo da quelli ottenuti da Dulong, soprattutto pel carbonio, ma al giorno d'oggi l'accordo quasi perfetto fra i risultati avuti dai signori Fabre e Silbermann e quelli di Dulong mostra l'esattezza dei numeri ottenuti da questo fisico.

Gli esperimenti di Dulong, di Despretz e di Hess dimostrano che un corpo nell'abbruciare, produce sempre la stessa quantità di calorico per giungere allo stesso grado di ossidazione, sia che vi arrivi immediatamente, oppure soltanto progressivamente. Per es., un grammo di carbonio che si trasforma direttamente in acido carbonico sviluppa la stessa quantità di calorico che avrebbe prodotta trasformandosi dapprima in ossido di carbonio e successivamente in acido carbonico.

## RISCALDAMENTO

**390. Differenti modi di riscaldamento.** – Il *riscaldamento* è un'arte che ha per iscopo di approfittare, nell'economia domestica e nell'industria, delle sorgenti di calore che ci offre la natura.

La sorgente di calore comunemente usata fino al presente è la combustione del legno, del carbone, del litantrace, del coke, della torba e dell'antracite.

Avuto riguardo agli apparati che servono alla combustione, si possono distinguere quattro processi di riscaldamento: 1.° il riscaldamento diretto per irradiazione del calorico, come nei camini e nelle stufette; 2.° il riscaldamento per mezzo dell'aria calda; 3.° il riscaldamento per mezzo del vapore; 4.° il riscaldamento per circolazione dell'acqua calda.

Faremo conoscere brevemente, l'uno dopo l'altro, questi quattro processi.

**391. Camini.** - I *camini* sono focolari aperti, applicati ad un muro e sormontati da una canna o *gola* a traverso della quale sfuggono i prodotti aeriformi della combustione. L'invenzione dei camini sembra rimontare sino al primo secolo dell'era cristiana. In tempi più remoti il focolare era collocato nel mezzo dell'ambiente che si voleva riscaldare, ed il fumo sfuggiva da un'apertura praticata nel tetto. Pertanto, Vitruvio consigliava di non adornare gli appartamenti d'inverno di opere sontuose le quali le quali verrebbero danneggiate dal fumo e dalla fuliggine.

I primi camini, sebbene applicati contro i muri, non erano circondati da stipiti, ma soltanto sormontati da una *capanna* che guidava il fumo al di fuori. Soltanto nei tempi moderni venne data ai camini la forma che hanno oggidì. Tra i fisici che li hanno perfezionati meritano speciale menzione Filiberto de l'Orme, Ganger, Franklin e Rumford.

I camini, per quanto la loro costruzione sia stata perfezionata, sono ancora il mezzo di riscaldamento più imperfetto e più dispendioso, perchè non utilizzano che una piccola quantità del calorico sviluppato dal combustibile; di fatti, colla legna ne utilizzano soltanto il 6 per cento all'incirca, e col coke e col carbon fossile il 13 per cento.

Questa enorme perdita di calorico è cagionata dalla corrente d'aria che alimenta la combustione, e che, versandosi nell'atmosfera, vi diffonde una gran parte del calore prodotto. Per ciò Franklin diceva che volendo ottenere il minor riscaldamento con una data quantità di combustibile bisognava adottare i camini. Cionullostante, i camini sono e saranno sempre il mezzo di riscaldamento più gradito e più salubre per la presenza del fuoco e perchè producono un continuo rinnovamento dell'aria negli appartamenti.

**392. Aspirazione dei camini.** – Chiamasi *aspirazione* di un camino una corrente dal basso all'alto che si stabilisce nella sua gola, in causa dell'ascesa dei prodotti della combustione; quando la corrente è rapida e continua si dice che l'aspirazione è buona.

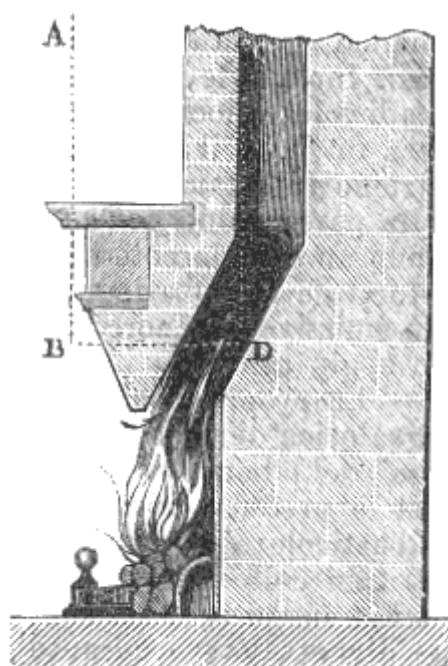


Fig. 232.

L'aspirazione è prodotta dalla differenza di temperatura all'interno della gola e al di fuori. Siccome le sostanze gaseose che riempiono la gola, in causa di questa differenza, sono meno dense dell'aria dell'appartamento, l'equilibrio è impossibile (158). Di fatti, il peso della colonna gasosa CD (fig. 232), nella gola, essendo minore di quello della colonna d'aria esterna AB della medesima altezza, ne risulta, dall'esterno verso l'interno del camino, un eccesso di pressione che spinge entro la gola i prodotti della combustione tanto più rapidamente quanto è maggiore la differenza di peso fra le due masse gaseose.

Si può verificare assai bene l'esistenza delle correnti prodotte nei gas dalle differenze di temperatura per mezzo del seguente esperimento. Aprendo una porta che mette in comunicazione due camere delle quali una sola sia riscaldata, indi collocando verso la parte superiore della porta stessa una candela accesa, si vede che la fiamma si dirige dalla camera calda verso la camera fredda; invece, ponendo la candela in terra, si vede che la fiamma si dirige dalla camera fredda verso la camera calda. Questi due effetti sono prodotti da una corrente d'aria calda che sfugge dalla parte superiore della porta, e da una corrente d'aria fredda che si sostituisce alla prima, entrando per la parte inferiore.

Per avere una buona aspirazione un camino deve soddisfare alle seguenti condizioni:

1.<sup>a</sup> La sezione della gola deve avere la dimensione strettamente necessaria per l'efflusso dei prodotti della combustione; altrimenti, ove questa sezione sia troppo grande, si stabiliscono contemporaneamente delle correnti ascendenti e delle correnti discendenti, ed il camino fa fumo. Alla sommità della gola conviene collocare un tubo conico più stretto, onde il fumo esca con una velocità che basti per resistere all'azione del vento.

2.<sup>a</sup> La gola del camino deve essere sufficientemente elevata, perchè, siccome l'aspirazione è prodotta dall'eccesso della pressione esterna sulla pressione interna, questo eccesso sarà tanto maggiore quanto più alta è la colonna d'aria scaldata.

3.<sup>a</sup> L'aria esterna deve penetrare nell'appartamento in cui trovasi il camino abbastanza rapidamente per corrispondere alla chiamata del focolare. In un appartamento affatto chiuso il combustibile non ahbrucerebbe, o si stabilirebbero delle correnti d'aria discendenti che spingerebbero il fumo nell'appartamento. D'ordinario, l'aria rientra in quantità sufficiente dalle fessure delle porte e delle finestre.

4.<sup>a</sup> Si deve evitare di far comunicare fra loro due gole di camino, perchè se l'aspirazione di uno di essi è più attiva di quella dell'altro, si produce in quest'ultimo una corrente d'aria discendente che respinge il fumo nell'appartamento.

**393. Stufe.** - Le *stufe* sono apparecchi di riscaldamento a focolare isolato collocate entro la massa d'aria che si vuol riscaldare, in modo che il calorico viene irradiato in tutte le direzioni. Alla parte inferiore trovasi l'apertura per cui ha accesso l'aria necessaria alla combustione, i di cui prodotti poi sfuggono dalla parte superiore per mezzo di tubi più o meno lunghi. Siccome questi prodotti escono dall'apparecchio già molto raffreddati, si utilizza quasi tutto il calore sviluppato, epperò questo modo di riscaldamento è più economico; ma è molto meno salubre di quello che si ottiene coi camini, perchè produce soltanto una ventilazione assai scarsa, o non ne produce affatto quando vi si fa arrivar l'aria dall'esterno come si pratica nelle stufe svedesi. Inoltre le stufe hanno l'inconveniente di spandere un odore disagiata e nocivo, specialmente se sono costrutte in

ghisa od in lamiera di ferro, il quale effetto devesi probabilmente attribuire alla decomposizione di sostanze organiche diffuse nell'aria e che vengono a contatto colle pareti calde delle stufe.

Colle stufe di metallo annerito, le quali hanno un grande potere emissivo, il riscaldamento è più rapido, ma queste stufe si raffreddano anche più presto. Le stufe di terra, il cui potere emissivo è minore, danno un riscaldamento più lento, ma più durevole e più gradito.

**394. Riscaldamento per mezzo del vapore.** - La proprietà che hanno i vapori di restituire, nel condensarsi, il loro calorico di vaporizzazione, venne utilizzata per il riscaldamento dei bagni, dei laboratori, dei pubblici edifici, delle serre, delle stufe. Perciò si fa produrre il vapore in caldaie analoghe a quella che fu descritta all'articolo *Generatore a vapore* (fig. 224); indi, lo si fa circolare entro tubi collocati nei luoghi che si vogliono riscaldare. Il vapore si condensa in questi tubi e cede ad essi tutto il suo calorico latente, il quale diventa libero durante la condensazione. Questo calorico si trasmette poi all'aria esterna od al liquido nel quale sono immersi i tubi conduttori.

**395. Riscaldamento per mezzo dell'aria calda.** - Il riscaldamento per mezzo dell'aria calda consiste nello scaldar l'aria alla parte inferiore di un edificio e nel lasciare che, in virtù della sua minor densità, salga fino ai piani superiori entro condotti collocati nei muri. L'apparato viene disposto come dimostra la fig. 233. Un fornello F collocato nelle cantine contiene un sistema di tubi ricurvi AB posti l'uno accanto all'altro, dei quali uno solo è visibile nella figura. L'aria esterna penetra per l'apertura A nel tubo, dove si scalda e, sollevandosi nella direzione delle frecce, entra nell'ambiente M per l'apertura superiore B che chiamasi *bocca di calore*.

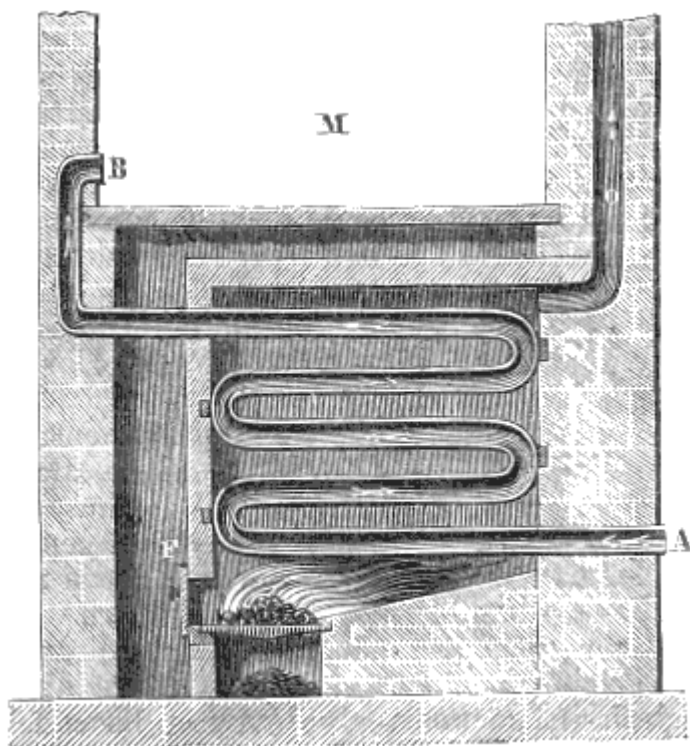


Fig. 233.

Nei differenti piani, ogni camera ha una o parecchie consimili bocche di calore, le quali sono praticate vicino al pavimento perché l'aria calda tende sempre ad innalzarsi.

Il condotto O è una gola da camino ordinaria, attraverso la quale sfuggono i prodotti della combustione che si formano nel fornello.

Questi apparati, distinti col nome di *caloriferi*, sono molto più economici dei camini, ma non possono produrre un abbastanza rapido rinnovamento dell'aria degli appartamenti e per conseguenza sono meno salubri.

**396. Riscaldamento per circolazione d'acqua calda.** - Il riscaldamento per circolazione d'acqua calda si ottiene per mezzo di un movimento circolatorio continuo di acqua, la quale, dopo di essersi riscaldata in una caldaia, si innalza in una serie di tubi; indi dopo di essersi raffreddata, ritorna alla caldaia per un'altra serie di tubi consimili.

Il primo apparecchio atto a questo genere di riscaldamento fu inventato da Bonnemain, in Francia, verso la fine del secolo passato: però fu Leone Duvoir che diede a questi apparati la forma che hanno oggidì. La figura 234 rappresenta la disposizione adottata da questo ingegnere per riscaldare un edificio di parecchi piani. L'apparecchio di riscaldamento, collocato nelle cantine, consiste in una caldaia oo, in forma di campana ed a focolare interno F. Alla parte superiore della caldaia è fissato un lungo tubo M che comunica con un serbatoio Q collocato nella parte più alta dell'edificio che si vuol riscaldare. Questo serbatoio porta alla sua parte superiore una tubulatura n

chiusa da una valvola *s* che si carica più o meno per limitare la tensione del vapore nell'interno dell'apparato.

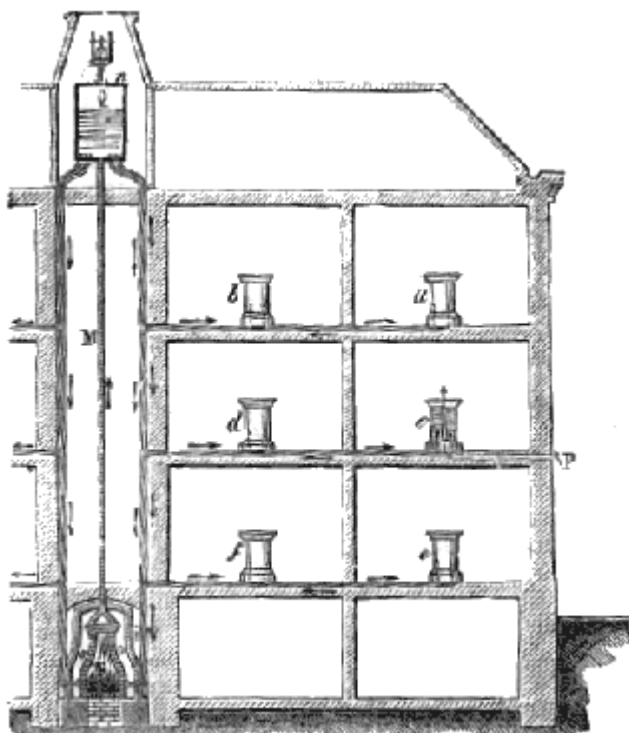


Fig. 234.

Ciò posto, quando la caldaia, il tubo *M* ed una parte del serbatoio *Q* siano riempiti d'acqua, a misura che questo liquido si riscalda nella caldaia, si produce nel tubo *M* fino al serbatoio *Q* una corrente ascendente d'acqua calda, mentre, nel medesimo tempo, partendo dalla parte inferiore del serbatoio *Q*, si formano delle correnti discendenti d'acqua meno calda e più densa, che vanno per mezzo di tubi nei recipienti *b*, *d*, *f* pieni d'acqua. Da questi partono altri tubi per mezzo dei quali la corrente discendente continua fino ad altri recipienti *a*, *c*, *e*; poi finalmente, da questi ultimi, mediante tubi di ritorno, la corrente si porta alla parte inferiore della caldaia.

Durante questo tragitto, l'acqua calda cede successivamente il suo calorico sensibile ai tubi ed ai recipienti, i quali si riscaldano e divengono vere stufe ad acqua. Si può determinare facilmente quante di queste stufe e di quali dimensioni occorranza per riscaldare uno spazio determinato, fondandosi sul principio fornito dall'esperienza e dalla teoria che un litro d'acqua basta per riscaldare sufficientemente 3200 litri d'aria. Due di queste stufe ponno, durante l'inverno, mantenere alla temperatura di 15 gradi 600 o 700 metri cubi d'aria.

Nell'interno di questi recipienti vi sono dei tubi di ghisa pieni d'aria guidati dall'esterno per mezzo di tubi *P*, collocati sotto il pavimento. Quest'aria si riscalda nei tubi, indi esce dalla parte superiore dei recipienti.

Il principale vantaggio di questo modo di riscaldamento è di dare una temperatura sensibilmente costante per un lunghissimo tempo. perchè la massa d'acqua contenuta nei tubi e nei recipienti si raffredda lentamente; epperò è usitatissimo per le serre, l'incubazione artificiale, ed in generale, in tutti i casi in cui necessita una temperatura uniforme.

### SORGENTI DI FREDDO

**397. Diverse sorgenti di freddo.** - Le cause di freddo sono: il passaggio dallo stato solido allo stato liquido mediante le azioni chimiche, l'evaporazione, la dilatazione dei gas, l'irradiazione in generale e specialmente l'irradiazione notturna. Avendo già fatto conoscere le prime due di queste cause (274, 280 e 301), qui parleremo solo delle altre.

**398. Freddo prodotto dalla dilatazione dei gas.** - Abbiamo veduto (384) che sottoponendo alla compressione i gas, una parte del loro calorico latente diventa libera, e la temperatura si innalza. Reciprocamente, la rarefazione di un gas è accompagnata da un abbassamento di temperatura, perchè una certa quantità di calorico libero diventa latente. Per dimostrare questo fenomeno, si colloca un termometro di Bréguet (243) sotto il recipiente della macchina pneumatica, e si fa il vuoto; a ciascun colpo di stantuffo l'indice si avvanza verso lo zero, e se ne allontana tosto che cessa di progredire la rarefazione.

Si osserva che il freddo prodotto dalla dilatazione di un gas è generalmente minore del calore prodotto dalla sua compressione; ciò si spiega perchè il calore ceduto dalle pareti del corpo di tromba, nel primo lo caso, è maggiore di quello che esse assorbono nel secondo, giacchè lo stantuffo ritirandosi pone il gas a contatto con una superficie sempre maggiore

**399. Freddo prodotto dall'irradiazione notturna.** - Di giorno la superficie del suolo riceve dal sole una quantità di calorico maggiore di quella che emette verso gli spazi celesti, e la sua temperatura si innalza. Di notte accade l'opposto. Il calorico che la terra perde allora per irradiazione non è più compensato, e ne risulta un abbassamento di temperatura tanto più considerevole quanto più il cielo è sereno; perchè, quanto vi son nubi, queste, come altrettanti specchi, rimandano verso la terra il calorico raggianti. Di fatti si osserva che durante certe invernate i fiumi non gelano, sebbene il termometro sia durante il corso di parecchi giorni al disotto di  $-4^{\circ}$ , quando però il cielo sia coperto di nubi; mentre, in altre invernate meno rigide, i fiumi gelano se il cielo è sereno. Anche il potere emissivo ha una grande influenza sul raffreddamento prodotto dall'irradiazione notturna; quanto più questo potere è grande, tanto più il raffreddamento è considerevole.

Vedremo più innanzi, in Meteorologia, che il raffreddamento prodotto dall'irradiazione notturna è la causa del fenomeno della rugiada.

Al Bengala il raffreddamento notturno è utilizzato per ottenere artificialmente del ghiaccio. A questo effetto, durante le notti serene, si espongono sul suolo dei grandi vasi piani, pieni d'acqua, avendo cura di isolarli sopra sostanze non conduttrici, come paglia, foglie secce<sup>(8)</sup>h. Ivi, per effetto dell'irradiazione notturna, questi vasi si raffreddano abbastanza perchè l'acqua si congeli anche quando l'aria è a 10 gradi al disopra di zero. Lo stesso processo può essere evidentemente impiegato con successo ovunque il cielo è sereno.

Si dice che i Peruviani, onde preservare dal gelo i germogli delle giovani piante, accendessero davanti al luogo che volevano proteggere dei grandi fuochi il cui fumo, producendo una nube artificiale, si opponeva al raffreddamento prodotto dall'irradiazione notturna. Questo processo dovrebbe essere sperimentato principalmente nei nostri paesi.

---

<sup>(8)</sup> Nel testo "secce" [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

# LIBRO VII

## DELLA LUCE

### CAPITOLO I

## TRASMISSIONE, VELOCITÀ ED INTENSITÀ DELLA LUCE

**400. Luce, ipotesi sulla sua natura.** - La *luce* è l'agente che produce in noi, mediante la sua azione sulla retina, il fenomeno della visione. La parte della fisica che fa conoscere le proprietà della luce si chiama *ottica*.

Per spiegare l'origine della luce si adottarono le stesse ipotesi abbracciate pel calorico, l'ipotesi cioè dell'*emissione* e quella delle *ondulazioni*. Nella prima, sostenuta da Newton, si ammette che i corpi luminosi emettono in tutte le direzioni, sotto forma di molecole tenuissime, una sostanza imponderabile, che si propaga in linea retta con una velocità quasi infinita. Queste molecole, penetrando nell'occhio, reagiscono sulla retina e determinano la sensazione che costituisce la visione.

Nell'ipotesi delle ondulazioni, sostenuta da Grimaldi, Descartes, Huyghens, Young, Malus e Fresnel, si ammette che le molecole dei corpi luminosi siano animate da un movimento vibratorio rapidissimo che si comunica ad un fluido eminentemente sottile ed elastico sparso in tutto l'universo, ed a cui si dà il nome di *etere*, e che uno scuotimento in un punto qualunque dell'etere si propaghi in tutti i sensi sotto forma di onde sferiche luminose, nello stesso modo che il suono si propaga nell'aria per mezzo delle onde sonore. Però, si ammette che le vibrazioni dell'etere si producono non perpendicolarmente alla superficie dell'onda luminosa, come nella propagazione del suono, ma in questa stessa superficie, cioè perpendicolarmente alla direzione che segue la luce propagandosi, ciò che si esprime dicendo che le vibrazioni sono *trasversali*. Si può acquistare un'idea di queste vibrazioni scuotendo una corda per uno de' suoi capi; il movimento si propaga serpeggiando sino all'altro capo; adunque la propagazione avviene nel senso della lunghezza della corda, ma le vibrazioni si compiono in linea trasversale.

Nel sistema delle ondulazioni Fresnel giunse a dare una spiegazione completa a vari fenomeni luminosi, come quelli della *diffrazione* e degli *anelli colorati*, che non si potevano spiegare nel sistema della emissione.

Perciò, dopo i lavori di Fresnel, la teoria delle ondulazioni è quella quasi generalmente adottata.

**401. Corpi luminosi, diafani, pellucidi, opachi.** - Chiamansi *corpi luminosi* quelli che emettono luce, come il sole ed i corpi ignescenti; *corpi diafani* o *trasparenti* quelli che lasciano passare facilmente la luce ed a traverso dei quali si distinguono gli oggetti; tali sono l'acqua, i gas, il vetro liscio. *Corpi pellucidi* sono quelli a traverso cui scorge ancora la luce, ma senza che si possa riconoscere la forma degli oggetti; tali sono il vetro smerigliato, la carta unta d'olio. Finalmente si chiamano *corpi opachi* quelli che non si lasciano attraversare dalla luce, come il legno, i metalli. Tuttavia non vi sono corpi perfettamente opachi; tutti sono più o meno pellucidi, quando siano ridotti in foglie abbastanza sottili.

**402. Raggio e fascio luminoso.** - Chiamasi *raggio luminoso* la linea che segue la luce propagandosi, e *fascio luminoso* un insieme di raggi emessi da una sola sorgente. Dicesi *parallelo* un fascio luminoso quando è composto di raggi paralleli; *divergente* quando i raggi si allontanano



gli uni dagli altri, e *convergente* quando i raggi concorrono verso uno stesso punto. Ogni corpo luminoso emette da tutti i suoi punti ed in tutte le direzioni dei raggi rettilinei divergenti.

**403. Propagazione della luce in un mezzo omogeneo.** - Chiamasi *mezzo* lo spazio pieno o vuoto nel quale si produce un fenomeno. L'aria, l'acqua, il vetro sono mezzi nei quali si propaga la luce. Dicesi *omogeneo* quel mezzo che ha in tutte le sue parti la stessa composizione chimica e la stessa densità.

Ciò posto, *in qualsiasi mezzo omogeneo la luce si propaga in linea retta*. Di fatti, se si colloca un corpo opaco sulla linea retta che congiunge l'occhio con un colpo luminoso, la luce è intercettata. Si può anche notare che la luce la quale penetra in una camera nera, a traverso una piccola apertura, segna nell'aria una traccia luminosa rettilinea che diventa visibile perché rischiarata i pulviscoli leggeri sospesi nell'atmosfera.

Tuttavia la luce cangia di direzione allorché incontra un ostacolo nel quale non può penetrare, o quando passa da un mezzo in un altro; questi fenomeni saranno descritti sotto i nomi di *riflessione* o di *rifrazione*.

**404. Ombra, penombra, riflesso.** - L'ombra di un corpo è la parte dello spazio ove esso impedisce alla luce di penetrare. Quando si tratta di determinare l'estensione e la forma dell'ombra proiettata da un corpo, si ponno distinguere due casi: quello in cui la sorgente luminosa è un punto unico, e quello in cui è un corpo di una estensione qualunque.

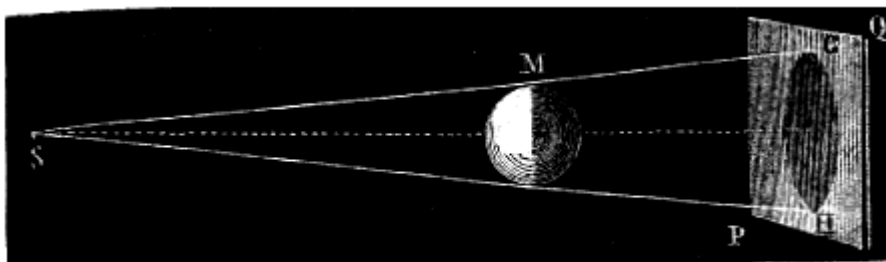


Fig. 235.

Nel primo caso, si rappresenti con S (fig. 235) il punto luminoso e con M il corpo che porta l'ombra e che noi supporremo sferico. Se si immagina che una retta indefinita SG si muova all'intorno della sfera rimanendole tangente e passando costantemente pel punto S, questa retta genera una superficie conica, la quale, al di là della sfera, separa la porzione dello spazio che trovasi nell'ombra da quella che è rischiarata. In questo caso, collocando al di là del corpo luminoso un diaframma PQ, il passaggio dall'ombra alla luce, su questo diaframma sarebbe chiaramente delineato; ma questo non accade nei casi ordinari in cui i corpi luminosi hanno sempre una certa estensione.

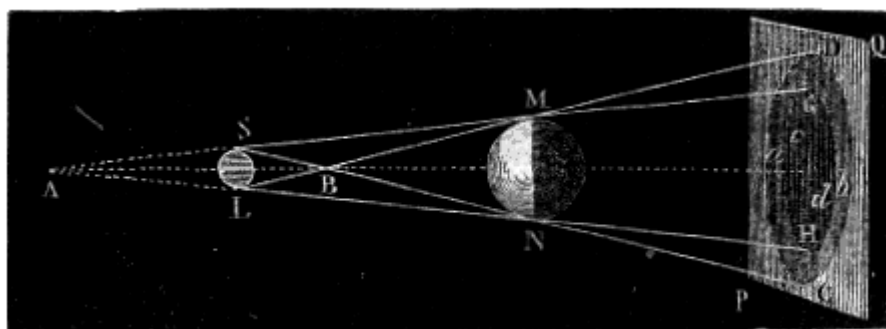


Fig. 236.

In fatti, per semplificare la dimostrazione, supponiamo che il corpo illuminante ed il corpo illuminato siano due sfere SL ed mn (fig. 236). Se si immagina che una retta indefinita AG si muova tangenzialmente a queste sfere, incontrando costantemente la linea dei centri nel punto A, essa genera una superficie conica avente per vertice questo punto, e che limita, dietro la sfera MN, uno spazio MGHN completamente privo di luce. Ora, se una seconda retta LD, che taglia la linea dei centri in B, gira ancora tangenzialmente alle due sfere in modo da generare una nuova superficie

conica BDC, si riconosce, osservando la figura, che tutto lo spazio esteriore a questa superficie è completamente rischiarato, ma che la parte compresa fra le due superficie non è completamente priva di luce nè completamente illuminata. Di modo che, se si colloca un diaframma PQ dietro al corpo opaco, la parte cGdH di questo diaframma trovasi compiutamente nell'ombra; mentre è facile lo scorgere che la parte anulare *ab* riceve luce da certi punti del corpo ma non ne riceve da tutti. Questa parte del diaframma è adunque più rischiarata dell'ombra propriamente detta, ma meno del resto del diaframma, epperò chiamasi *penombra*.

Le ombre che ora abbiamo costrutte sono le *ombre geometriche*; ma le *ombre fisiche*, cioè quelle che realmente si osservano, non sono così rigorosamente limitate. In fatti si riconosce che una certa quantità di luce passa nell'ombra e che reciprocamente si trova nell'ombra della parte rischiarata. Questo fenomeno, che descriveremo in seguito, è conosciuto sotto il nome di *diffrazione* (527).

Quando un corpo opaco intercetta la luce con una delle sue superficie, la superficie opposta non è giammai completamente oscura, ma è più o meno rischiarata dalla luce che si riflette sui corpi vicini. L'effetto di questo riverbero chiamasi *riflesso*. Ora, siccome la luce riflessa da un corpo colorato partecipa, in generale, del colore proprio di questo corpo, ne risulta che i riflessi medesimi assumono la tinta, degli oggetti circostanti. I pittori nei loro quadri, i tappezzieri nella scelta delle tappezzerie, le donne in quella dei loro abbigliamenti, approfittano artificiosamente degli effetti di luce prodotti dai riflessi.

**405. Immagini prodotte da piccole aperture.** - Allorchè si ricevono su di un diaframma bianco i raggi luminosi che penetrano in una camera oscura *a traverso di una piccola apertura*, si ottengono delle immagini degli oggetti esterni, le quali presentano i seguenti fenomeni: 1.º esse sono capovolte; 2.º la loro forma, la quale è sempre quella dell'oggetto esterno, è indipendente dalla forma dell'apertura.

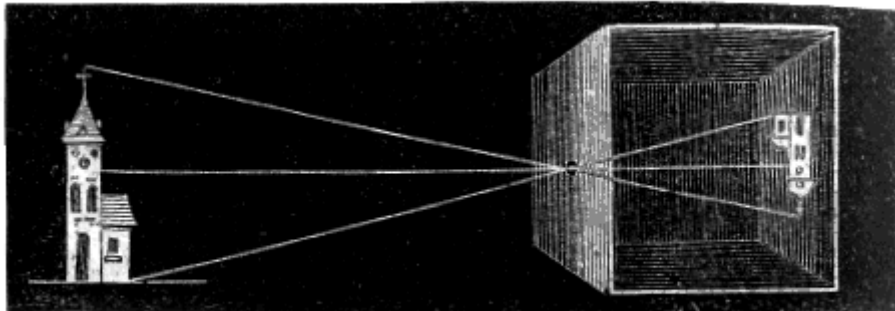


Fig. 237.

Il rovesciamento delle immagini risulta da ciò che i raggi luminosi i quali provengono dagli oggetti esterni e penetrano nella camera oscura, passando a traverso all'apertura, si incrociano, come dimostra la figura 237. Continuando a propagarsi in linea retta i raggi partiti dai punti più elevati incontrano il diaframma nei punti più bassi, e reciprocamente quelli partiti dai punti inferiori lo incontrano nei punti più alti. Da ciò il rovesciamento dell'immagine. All'articolo *Camera oscura*, si vedrà come si aumenti il lume e la chiarezza delle immagini per mezzo di vetri convergenti, e con quali processi si ponno raddrizzare.

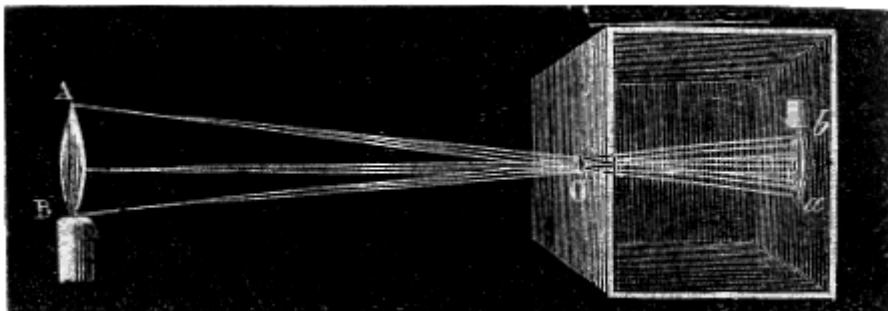


Fig. 238.

Per mostrare come la forma dell'immagine è indipendente da quella dell'apertura, quando questa sia abbastanza piccola ed il diaframma si trovi a sufficiente distanza, si immagini un'apertura *O* (fig. 238) praticata in una delle pareti della camera oscura, ed un diaframma *ab* sul quale si riceve l'immagine di una fiamma *AB* collocata all'esterno. Da ciascun punto della fiamma penetra nella camera oscura un fascio divergente che forma sul diaframma un'immagine triangolare simile all'apertura. Ora, la riunione di tutte queste immagini parziali produce un'immagine totale che ha la stessa forma dell'oggetto rischiarante. In fatti, se si immagina che una retta indefinita si muova nell'apertura della camera oscura, supposta piccolissima, rimanendo sempre tangente all'oggetto luminoso *AB*, si può ammettere che nel suo movimento, la retta descrive due coni aventi per vertice l'apertura stessa della camera oscura e per base uno il corpo luminoso e l'altro la parte rischiarata del diaframma cioè l'immagine. Per conseguenza se il diaframma è perpendicolare alla retta che congiunge il centro dell'apertura col centro del corpo luminoso, l'immagine è simile a questo corpo; ma se il diaframma è obliquo, l'immagine è allungata nel senso dell'obliquità. Ciò si osserva, per es., nell'ombra portata dalle foglie degli alberi: i fasci luminosi che passano a traverso le foglie presentano delle immagini del sole, che sono rotonde od ellittiche, secondo che il terreno, sul quale si proiettano, è perpendicolare od obliquo ai raggi solari, qualunque sia poi la forma degli intervalli esistenti tra le foglie a traverso dei quali passa la luce.

**406. Velocità della luce.** - La luce si propaga con una velocità tale che alla superficie della terra, qualunque sia la distanza, non si può constatare verun intervallo apprezzabile fra l'istante in cui un fenomeno luminoso si produce e quello in cui l'occhio lo scorge: pertanto questa velocità è stata dapprima determinata mediante le osservazioni astronomiche. Roemer, astronomo danese, pel primo dedusse, nel 1675, la velocità della luce dall'osservazione degli eclissi del primo satellite di Giove.

Si sa che Giove è un pianeta intorno al quale girano rapidamente quattro satelliti, nel modo stesso che la luna gira intorno alla terra.

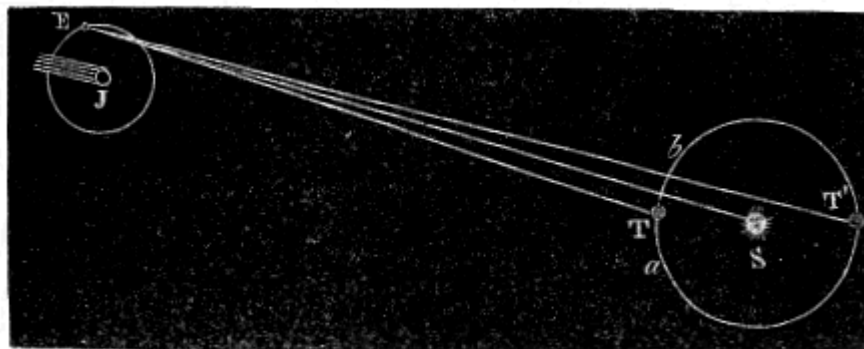


Fig. 239.

Il suo primo satellite *E* (fig. 239) fa le sue immersioni, cioè entra nell'ombra proiettata da Giove *J*, ad intervalli di tempo eguali, che sono di 42 ore, 28' 36". Fintanto che la terra *T* si trova nella parte *ab* della sua orbita, cioè sensibilmente alla stessa distanza da Giove, si riconosce che gli intervalli fra due immersioni consecutive rimangono costanti; ma di mano in mano che se ne allontanano, girando intorno al sole *S*, l'intervallo fra due immersioni cresce, ed allorchè a capo di sei mesi la terra è passata dalla posizione *T* alla posizione *T'*, si osserva un ritardo totale di 16' 36" fra l'istante in cui si scorge il fenomeno e quello in cui, secondo il calcolo, avviene realmente. Ora, quando la terra si trovava nella posizione *T*, per giungere fino ad essa, la luce solare riflessa dal satellite *E*, doveva percorrere la distanza *ET*, mentre nella seconda posizione *T'* la luce deve percorrere la distanza *ET'*, che supera la prima della quantità *TT'*, poichè i raggi *ET* ed *ET'* si ponno riguardare come paralleli, stante la grande distanza del punto *E*. Adunque la luce impiega 16' 36" a percorrere il diametro *TT'* dell'orbita terrestre cioè il doppio della distanza fra la terra ed il sole; epperò ha una velocità di circa 77000 leghe di 4000 metri per secondo.

Le stelle più vicine alla terra sono per lo meno distanti 206265 volte più del sole. Adunque la luce che esse ci mandano impiega più di 3 anni ed  $\frac{1}{4}$  per giungere sino a noi. Le stelle che sono

visibili soltanto per mezzo del telescopio si trovano ad una tale distanza dalla terra che abbisognano migliaia d'anni perchè la loro luce arrivi fino al nostro sistema planetario. Pertanto noi continueremmo a contemplare questi astri ed a studiarne i loro movimenti sebbene avessero già da secoli cessato di risplendere.

**407. Apparato di Foucault per misurare la velocità della luce.** - Ad onta della prodigiosa velocità della luce, Foucault giunse a misurarla sperimentalmente con un ingegnoso apparecchio fondato sull'uso dello specchio girante già adottato da Wheatstone per misurare la velocità dell'elettricità.

Prima di descrivere quest'apparato, avvertiamo il lettore che per comprendere quanto segue bisogna conoscere le proprietà degli specchi e delle lenti, che verranno esposte ai paragrafi 422 e 450.

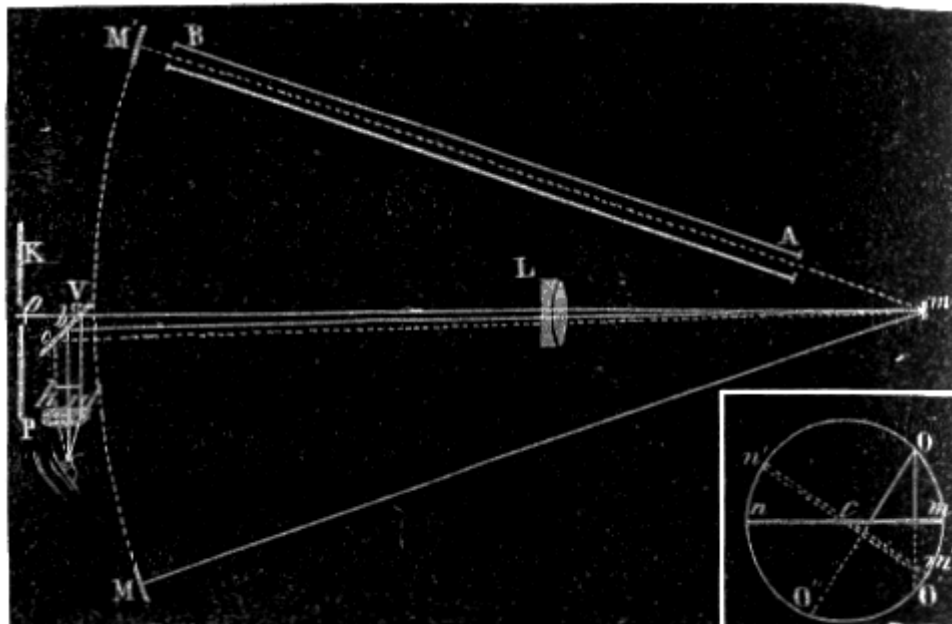


Fig. 240.

Fig. 241.

La figura 240 rappresenta, in un piano orizzontale, le principali disposizioni dell'apparato di Foucault. Nella parete K di una camera oscura, è praticata un'apertura quadrata, dietro la quale è teso verticalmente un filo di platino  $o$ . Un fascio di luce solare, riflessa esternamente su di uno specchio, penetra nella camera oscura a traverso dell'apertura quadrata, incontra il filo di platino, e di là si dirige su di una lente acromatica L, a lungo fuoco, situata ad una distanza dal filo di platino minore del doppio della distanza focale principale. L'immagine del filo di platino tende allora a formarsi nell'asse della lente con dimensioni più o meno amplificate. Ma il fascio luminoso, dopo di avere attraversata la lente, incontra uno specchio piano  $m$ , che gira con grande velocità, e, riflettendosi su di esso, va a formare nello spazio un'immagine del filo di platino, la quale si sposta con una velocità angolare doppia di quella dello specchio<sup>(9)</sup>. Questa immagine viene riflessa da uno specchio M concavo e fisso il cui centro di curvatura coincide coll'asse di rotazione dello specchio girante  $m$  e col suo centro di figura. Il fascio riflesso sullo specchio M si riflette di nuovo sullo specchio  $m$ , attraversa una seconda volta la lente e produce un'immagine del filo di platino sopra questo filo medesimo intanto che lo specchio  $m$  gira lentamente.

<sup>(9)</sup> Per dimostrarlo, si rappresenti con  $mn$  (fig. 241) lo specchio girante, con O un oggetto fisso collocato davanti al medesimo e la cui immagine si produce in  $O'$ . Quando lo specchio arriva nella posizione  $m'n'$ , l'immagine si produce in  $O''$ . Ora i due angoli  $O'O O''$ , ed  $mcm'$  sono eguali, perchè hanno i lati rispettivamente perpendicolari; ma l'angolo inscritto  $O'O O''$  ha per misura soltanto la metà dell'arco  $O'O''$ , mentre l'angolo al centro  $mcm'$  ha per misura l'intero arco  $mm'$ . Adunque l'arco  $OO'$  è doppio di  $mm'$ , il che dimostra la velocità angolare dell'immagine essere doppia di quella dello specchio.

Per ricevere questa immagine senza intercettare il fascio luminoso che entra per l'apertura K, si colloca fra la lente ed il filo di platino una lastra di vetro V a faccie parallele, e la si inclina in modo che i raggi riflessi vadano a cadere su di un potente oculare P.

Ciò posto, se lo specchio  $m$  è in quiete o gira con poca velocità, il raggio *retrocedente* Mn incontra lo specchio  $m$  nella stessa posizione in cui trovatisi dopo la prima riflessione; riprende quindi la stessa direzione già seguita, incontra in  $a$  lo specchio V, vi si riflette parzialmente e forma in  $d$ , ad una distanza  $ad$ , uguale ad  $ao$ , l'immagine che l'occhio guarda coll'oculare P. Lo specchio  $m$ , girando, fa ricomparire questa immagine a ciascuna rivoluzione, e, se la sua velocità di rotazione è uniforme, l'immagine resta immobile nello spazio. Quando la velocità non sorpassa 30 giri per minuto secondo, le apparizioni successive sono distinte; ma oltre 30 giri le impressioni nell'occhio persistono e l'immagine appare assolutamente continua.

Finalmente se lo specchio  $m$  gira con bastante velocità, esso cambia sensibilmente di posizione nel tempo che la luce impiega a percorrere il doppio cammino da  $m$  in M e da M in  $m$ ; allora il raggio retrocedente, dopo la sua riflessione sullo specchio  $m$ , prende la direzione  $mb$  e forma la propria immagine in  $i$ , cioè l'immagine subisce una deviazione totale di. Rigorosamente parlando, avvi deviazione anche quando lo specchio gira lentamente, ma essa non è valutabile se non quando acquista una certa grandezza, il che richiede od una velocità di rotazione alquanto considerevole, od una distanza Mm abbastanza grande; perchè la deviazione cresce necessariamente come il tempo che la luce impiega a retrocedere.

Nell'esperienza, di Foucault, la distanza mM era soltanto di 4 metri, nel qual caso dando allo specchio una velocità di 600 ad 800 giri per minuto secondo, si ottengono delle deviazioni di 2 a 3 decimi di millimetri.

Facendo  $Mm = l$ ,  $Lm = l'$ ,  $oL = r$ , e rappresentando con  $n$  il numero dei giri per minuto secondo, con  $\delta$  la deviazione assoluta di, e con V la velocità della luce, Foucault giunse alla formola:

$$V = \frac{8\pi\sqrt{2nr}}{\delta(l+l')}$$

L'apparato di Foucault serve ad sperimentare anche sui liquidi. Per ciò, si interpone fra lo specchio girante  $m$  ed uno specchio concavo M', identico allo specchio M, un tubo AB lungo 3 metri e pieno d'acqua distillata. I raggi luminosi riflessi dallo specchio girante, nella direzione mM', attraversano due volte la colonna d'acqua AB prima di ritornare sullo specchio V. Ora, il raggio retrocedente si riflette in  $c$  e produce l'immagine in  $h$ ; adunque la deviazione è maggiore pei raggi che hanno attraversata l'acqua di quello che lo sia pei raggi che si propagarono soltanto nell'aria, il che indica che la velocità della luce è minore nell'acqua che nell'aria.

Questa conseguenza è la parte più importante dell'esperienza di Foucault. In fatti, avendo in teoria fatto conoscere come, nel sistema delle ondulazioni, la velocità della luce sia minore nel mezzo più rifrangente, mentre il contrario accadrebbe secondo il sistema dell'emissione, il risultato ottenuto da Foucault dimostra che deve essere adottato esclusivamente il sistema delle ondulazioni.

Il meccanismo di cui Foucault si serve per imprimere allo specchio girante una grande velocità, consiste in una piccola turbina a vapore, la quale ha qualche rapporto colla sirena e, come essa, produce un suono tanto più acuto quanto più è rapida la rotazione. Dall'altezza del suono fornito dall'apparato si deduce la sua velocità di rotazione.

**408. Leggi dell'intensità della luce.** - Chiamando *intensità* di una luce la quantità che ne riceve ogni unità di superficie di un corpo illuminato, si trova che questa intensità è sottoposta alle due leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> *L'intensità della luce su di una superficie è in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa.*

2.<sup>a</sup> *L'intensità della luce ricevuta obliquamente è proporzionale al seno dell'angolo che fanno i raggi luminosi colla superficie rischiarata.*

Per dimostrare la prima di queste leggi si abbiano due diaframmi CD ed AB (fig. 242) collocati, l'uno ad una certa distanza da una sorgente luminosa L e l'altro ad una distanza doppia, e si

chiamino  $s$  ed  $L$  le aree dei due cerchi. Rappresentando con  $K$  la quantità di luce emessa dalla sorgente, nella direzione  $ALB$ , l'intensità della luce sul diaframma  $CD$ , cioè la quantità di luce ricevuta da ogni unità di superficie del medesimo è  $K/s$ , e l'intensità dell'illuminazione sul diaframma  $AB$  è  $K/S$ . Ora a motivo della somiglianza dei triangoli  $ALB$  e  $CLD$ , il diametro  $AB$  è doppio di  $CD$ ; per conseguenza le aree dei cerchi essendo fra loro come i quadrati dei diametri, l'area  $L$  è quattro volte più grande di  $s$ . Adunque la intensità  $K/S$  è un quarto di  $K/s$ , come si doveva dimostrare.

Questa prima legge si può dimostrare anche coll'esperienza, mediante l'apparato rappresentato dalla fig 244. Per ciò si paragonano le ombre portate sopra un vetro smerigliato da due aste opache illuminate l'una dalla fiamma di una sola candela, e l'altra da quattro collocate ad una distanza doppia della prima. Allora si trova che le due ombre portate sono della stessa intensità, il che dimostra la legge.

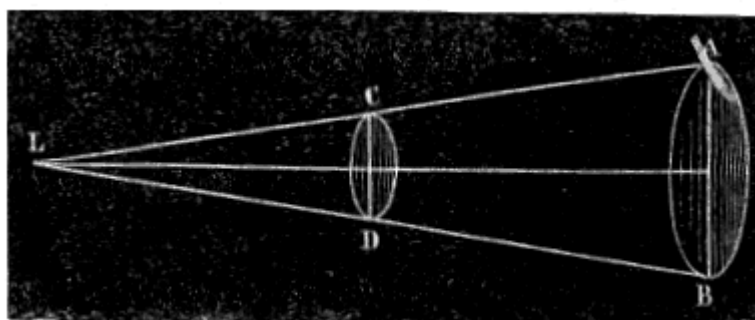


Fig. 242.

La figura 242 dimostra che la divergenza dei raggi luminosi emessi da una stessa sorgente fa sì che l'intensità della luce stia in ragione inversa dei quadrati delle distanze. Per raggi luminosi paralleli l'intensità rimane costante, almeno nel vuoto perché nell'aria e negli altri mezzi trasparenti l'intensità della luce decresce per effetto di assorbimento (466), però in proporzione assai minore dei quadrati delle distanze.

La seconda legge dell'intensità, si dimostra col calcolo. Infatti si rappresenti con  $DAEB$  (fig. 243) un fascio di raggi luminosi paralleli cadenti sulla superficie  $AC$  e formanti con essa un angolo  $\alpha$ , e sia  $S$  la quantità totale di luce ricevuta da questa superficie.

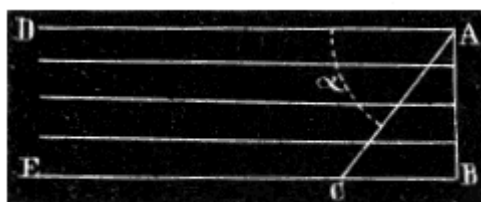


Fig. 243.

Se si rappresenta con  $I$  l'intensità della luce, cioè la quantità ricevuta dall'unità di superficie; si ha  $I = S/AC$  [A]; ma essendo  $AB$  la proiezione della superficie  $AC$  su di un piano perpendicolare alla direzione del fascio, si sa dalla trigonometria che  $AB = AC \sin \alpha$ , d'onde  $AC = AB / \sin \alpha$ .

Sostituendo questo valore nell'eguaglianza [A] si ha  $I = (\sin \alpha / AB) \cdot S$ . Il che dimostra la legge, perché essendo costante  $AB$  ed  $S$ ,  $I$  cresce proporzionalmente a  $\sin \alpha$ .

La legge nel senso è applicabile anche ai raggi emessi obliquamente da una superficie luminosa, vale a dire che i raggi sono tanto meno intensi, quanto più sono inclinati rispetto alla superficie che li emette, analogamente alla terza legge del calorico raggianti.

**409. Fotometri.** - Chiamansi *fotometri* gli apparati che servono a paragonare le intensità relative di due luci. Se ne immaginarono moltissimi, ma tutti lasciano molto a desiderare sotto il rapporto della precisione.

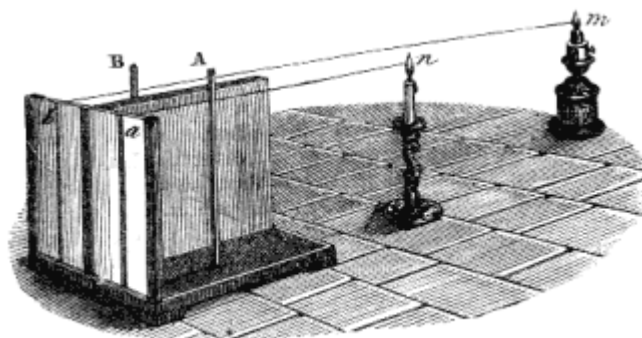


Fig. 244.

*Fotometro di Rumford.* - Il fotometro di Rumford si compone di un diaframma di vetro smerigliato davanti al quale sono fissate due aste opache A e B, separate da un diaframma (fig. 244). Ad una certa distanza sono collocate le luci che si vogliono paragonare, per es., quella di una lucerna e quella di una candela, in modo che ciascuna di esse proietti sul diaframma un'ombra dell'asta che le corrisponde. Le ombre proiettate sono dapprima di diseguale intensità; ma, allontanando la lucerna od avvicinandola, si trova una posizione in cui l'intensità delle due ombre a e b è uguale, ciò che indica essere il diaframma egualmente rischiarato dalle due luci. Allora le intensità di queste due luci sono direttamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze dalle ombre proiettate; cioè se la lampada, per es., trovasi lontana 3 volte più della candela, essa rischiarerà 9 volte di più.

In fatti siano  $i$  ed  $i'$  le intensità della lucerna e della candela all'unità di distanza;  $d$  e  $d'$  le loro distanze riepettive dalle ombre proiettate. Dietro la prima legge dell'intensità della luce (408), l'intensità della lucerna, alla distanza  $d$  è  $i/d^2$ , e quella della candela alla distanza  $d'$  è  $i'/d'^2$ .

Ora, sul diaframma queste due intensità sono eguali, dunque si ha l'equazione  $i/d^2 = i'/d'^2$ , d'onde  $i/i' = d^2/d'^2$  come bisognava dimostrare.

*Fotometro del signor Foucault.* - Il signor Foucault ha perfezionato il fotometro di Rumford, osservando, non più le ombre portate da un corpo opaco interposto fra il diaframma e le luci da confrontarsi, ma il loro splendore diretto su di un diaframma di carta inamidata, di cui ciascuna metà è rischiarata rispettivamente da una delle luci. Per ciò il diaframma di carta formante la parete anteriore di una cassetta di legno simile a quella del dagherrotipo, una tramezza opaca perpendicolare a questo diaframma, separa i due fascetti proiettati dalle luci; di più la tramezza essendo mobile, un rocchetto che imbocca una dentiera servirà a farla avanzare od indietreggiare sino a che i due splendori sulla carta inamidata divengano tangenti nel senso verticale. Allora non resta che ad allontanare od avvicinare una delle due luci, fino a che le metà del diaframma, vedute contro luce, presentino lo stesso splendore.

Il fotometro di Rumford e tutti quelli fondati sullo stesso principio presentano l'inconveniente che le due luci che si confrontano non possiedono la stessa tinta; l'una, per es., è gialla e l'altra azzurrastra, ciò che rende difficilissimo il confronto delle loro intensità. Tuttavia quando la differenza delle tinte non è troppo marcata, il signor Foucault ha rimarcato che, se si guarda fisso il diaframma ammiccando le palpebre, arriva il momento in cui le due metà del diaframma sembrano della stessa tinta.

*Fotometro del signor Govi.* - Per correggere l'inconveniente suesposto il signor Govi a Firenze ha ultimamente proposto un nuovo fotometro, da lui chiamato *fotometro analizzatore*, e nel quale il confronto non ha luogo che fra raggi della stessa rifrangibilità. Per ciò i fascetti provenienti da due luci da confrontarsi, prima di cadere su di un vetro smerigliato o sopra un diaframma di carta inamidata, attraversano un prisma che li decompone; dimodochè sul diaframma formansi due spettri di eguale lunghezza e tangenti pei loro margini (456). In questi spettri si paragonano poi fra di loro le parti che hanno la stessa tinta.



Fig. 245.



Fig. 246.

*Fotometro di Wheatstone.* - La parte principale di questo fotometro è una perla d'acciaio P (fig. 245), montata sul lembo di un disco di sughero sostenuto da una ruota o che ingrana internamente su una ruota più grande. Quest'ultima è fissata su di una piccola scattola cilindrica di ottone che si tiene con una mano, intanto che coll'altra si fa girare una manovella A la quale trasmette il movimento ad un asse centrale ed alla ruota o. Siccome quest'ultima allora gira secondo il contorno interno della ruota grande, e, nello stesso tempo, sopra se stessa, la perla partecipa a questo doppio moto e descrive una curva conformata come quelle rappresentate dalla fig. 246.

Ciò posto, siano M ed N due luci, di cui vogliansi paragonare le intensità. Si colloca fra di esse il fotometro e lo si fa girare rapidamente.

I punti brillanti prodotti dalla riflessione delle luci sopra due punti opposti della perla danno origine a due strisce luminose disposte come mostra la figura 246. Se una di esse, per es., quella che proviene dalla luce M, è più intensa dell'altra, si avvicina lo strumento a quest'ultima fintanto che le due strisce presentino lo stesso splendore. Allora misurando la distanza del fotometro da ciascuna delle due luci, le loro intensità sono proporzionali ai quadrati delle distanze.



## CAPITOLO II

### RIFLESSIONE DELLA LUCE, SPECCHI

**410. Leggi della riflessione della luce.** - Allorchè un raggio luminoso incontra una superficie levigata, si riflette secondo le seguenti leggi, che sono le stesse già esposte per la riflessione del calorico:

1.<sup>a</sup> *L'angolo di riflessione è uguale, all'angolo di incidenza.*

2.<sup>a</sup> *Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Le parole *raggio incidente*, *raggio riflesso*, *angolo d'incidenza* ed *angolo di riflessione* hanno lo stesso significato che loro abbiamo attribuito al paragrafo 350, per cui riteniamo inutile il definirle di nuovo.

1.<sup>a</sup> *Dimostrazione.* - Le due leggi suaccennate si dimostrano, nelle scuole, mediante l'apparato rappresentato dalla figura 247. È un cerchio graduato il di cui piano è verticale. Due regoli di ottone, mobili intorno al centro, portano, l'uno un diaframma di vetro smerigliato P, l'altro un diaframma opaco N, nel centro del quale è praticata una piccola apertura. All'estremità di quest'ultimo regolo avvi uno specchio M che può essere inclinato più o meno, restando sempre perpendicolare al piano del cerchio graduato.

Finalmente, al centro di quest'ultimo trovasi un piccolo specchio piano *m*, di metallo, che gli rimane sempre perpendicolare.

Ciò posto, per fare l'esperimento, si riceve un fascio di luce solare sullo specchio M, il quale si inclina in modo che la luce riflessa attraversi il diaframma N e cada al centro dello specchio *m*. Ivi il fascio luminoso subisce una seconda riflessione e prende una direzione *mP*, che si determina facendo avanzare il diaframma P fintanto che l'immagine dell'apertura N si fermi al suo centro. Leggendo allora sulla periferia i numeri dei gradi compresi negli archi AN ed AP, si osserva che questi numeri sono eguali, il che dimostra essere l'angolo di riflessione *AmP* eguale all'angolo d'incidenza *AmM*.

La seconda legge trovasi dimostrata dalla disposizione stessa dell'apparato, poichè il piano dei raggi *mM* e *mP* è parallelo al piano del cerchio graduato *e*, per conseguenza, perpendicolare allo specchio *m*.

2.<sup>a</sup> *Dimostrazione.* - Si può dimostrare la prima legge della riflessione della luce anche coll'esperienza seguente, la quale dà risultati più precisi della precedente, ma è più difficile ad eseguirsi in una scuola.

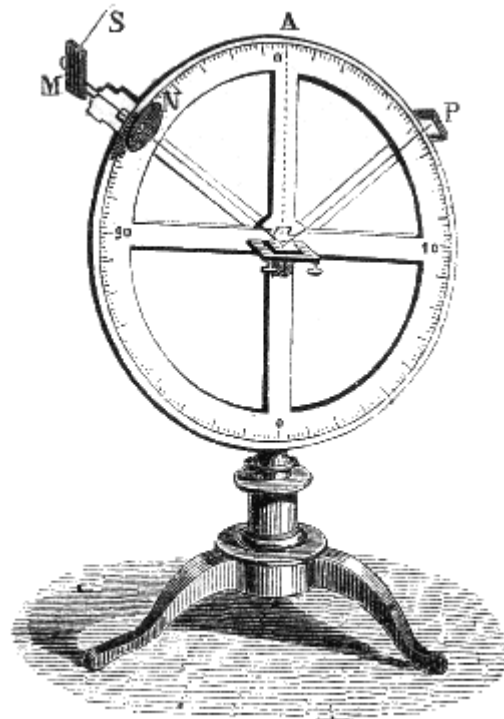


Fig. 247 (a. = 48).

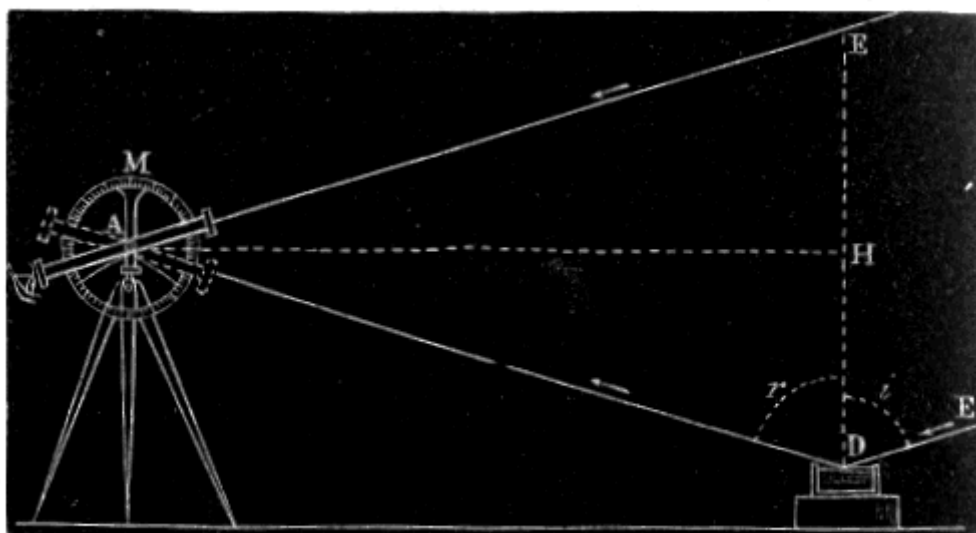


Fig. 248.

Si dispone verticalmente un cerchio graduato M (fig. 248), al centro del quale è collocato un cannocchiale mobile in un piano parallelo alla periferia; poi si colloca ad una conveniente distanza un piccolo vaso pieno di mercurio, destinato a formare uno specchio piano esattamente orizzontale. Ciò posto, si guarda col cannocchiale, secondo una direzione AE, una stella brillante di prima o di seconda grandezza; poi si inclina il cannocchiale in modo di ricevere un raggio AD proveniente dalla medesima stella e riflesso in D dalla superficie lucente del mercurio. Per tal modo si trova che i due angoli formati dai raggi EA e DA, coll'orizzontale AH, sono eguali, dal che è facile il conchiudere che l'angolo d'incidenza E'DE è uguale all'angolo di riflessione EDA. In fatti se si conduce la normale DE, siccome questa retta, è perpendicolare ad AH, il triangolo ACD è isoscelo, e gli angoli ADE ed AED sono eguali, ma poichè i raggi luminosi AE e DE' sono paralleli a motivo della grande distanza della stella, gli angoli AED ed EDE' sono eguali come alterni interni; adunque  $EDE' = EDA$ , come si volea dimostrare.

## RIFLESSIONE DELLA LUCE SULLE SUPERFICIE PIANE

**411. Specchi, immagini.** - Chiamarsi *specchi* certi corpi di metallo o di vetro, a superficie levigata, mediante i quali si ponno vedere per riflessione gli oggetti che loro si presentano. L'*immagine* degli oggetti è il luogo ove essi si vedono.

Gli specchi, a seconda della loro forma, si dividono in ispecchi *piani*, *concavi*, *convessi*, *sferici*, *parabolici*, *conici*, ecc. Le immagini si dividono in *virtuali* e *reali*. Vedremo in seguito da che siano caratterizzate queste due sorta di immagini.

**412. Formazione delle immagini negli specchi piani.** - Siccome la determinazione della posizione e della grandezza delle immagini si riduce sempre alla ricerca delle immagini di una serie di punti, consideriamo dapprima un punto unico A situato davanti ad uno specchio piano MN (fig. 249).

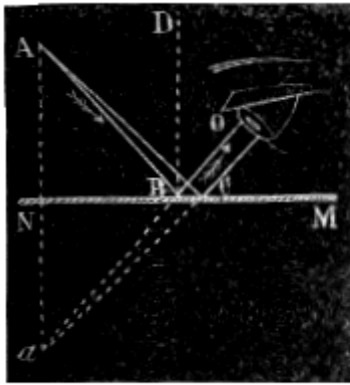


Fig. 249.

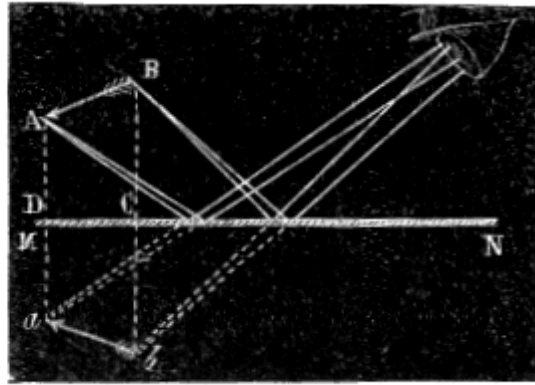


Fig. 250.

Un raggio qualunque AB; che parte da questo punto ed incontra lo specchio, si riflette secondo la direzione BO, facendo l'angolo di riflessione DBO uguale all'angolo di incidenza ABD.

Ciò posto, se si abbassa dal punto A, la AN perpendicolare, allo specchio e si prolunga il raggio OB al disotto dello specchio fino ad incontrare questa perpendicolare nel punto *a*, si formano due triangoli ABM e BNa, che sono eguali; perchè hanno un lato comune BN, compreso fra due angoli eguali, infatti gli angoli ANB e BNa sono eguali perchè retti, e gli angoli ABN e NBa sono eguali fra loro perchè ambedue eguali all'angolo OBM. Dall'eguaglianza di questi triangoli risulta che aN è uguale ad AN, cioè che un raggio qualunque AL prende, dopo la riflessione, una direzione tale che il suo prolungamento al disotto dello specchio incontra la perpendicolare Aa in un punto A, distante dallo specchio precisamente come lo stesso punto A. Questa proprietà non essendo particolare del raggio AB, si applica a qualsiasi altro raggio AC partito dal punto A. Da ciò si deduce l'importante conseguenza che tutti i raggi emessi dal punto A e riflessi sullo specchio *seguono, dopo la loro riflessione, la stessa direzione come se fossero tutti partiti dal punto a*. Perciò l'occhio è ingannato e vede il punto A in *a*, come se vi fosse realmente. Adunque negli specchi piani *l'immagine di un punto si forma, dietro allo specchio, ad una distanza eguale a quella del punto dato e sulla perpendicolare condotta da questo punto allo specchio*.

E evidente che si otterrà l'immagine di un oggetto qualunque costruendo, dietro la regola suesposta, l'immagine di ciascuno de' suoi punti *od* almeno di quelli che bastano per determinarne la posizione e la forma. La figura 250 mostra la costruzione che bisogna fare per ottenere l'immagine *ab* di un oggetto qualunque AB.

Da questa costruzione si deduce immediatamente che, negli specchi piani, *l'immagine ha la stessa grandezza dell'oggetto*, perchè se il trapezio ABCD si ribalta sul trapezio DCab, si vede facilmente che essi coincidono e l'oggetto AB si confonde colla sua immagine.

Dalla stessa costruzione risulta anche che, negli specchi piani, *l'immagine è simmetrica all'oggetto*, e non capovolta, applicando alla parola simmetrica lo stesso significato che le si dà in geometria, ove si chiamano simmetrici, rispetto ad un piano due punti, quando sono situati sopra una stessa perpendicolare a questo piano e ad eguale distanza l'uno da una parte del piano e l'altro dalla parte opposta, condizioni alle quali soddisfano tutti i diversi punti dell'oggetto AB e della sua immagine come mostra la figura 250.

**413. Immagini virtuali ed immagini reali.** - Relativamente alla direzione dei raggi riflessi dagli specchi bisogna distinguere due casi, secondo che questi raggi dopo la riflessione sono divergenti o convergenti.

Nel primo caso, i raggi riflessi non si incontrano; ma se si immaginano prolungati al di là dello specchio, i loro prolungamenti concorrono in uno stesso punto, siccome mostrano le figure 249 e 250. L'occhio essendo allora colpito come se i raggi fossero partiti da questo punto, vi scorge un'immagine. Ora questa non esiste realmente, perchè i raggi luminosi non passano al di là dello specchio; essa non è quindi prodotta che da un'illusione dell'occhio; epperò le si dà il nome di *immagine virtuale*, volendo con ciò indicare che essa tende a formarsi, ma che in realtà non si produce. Tali sono sempre le immagini fornite dagli specchi piani.

Nel secondo caso, in cui i raggi riflessi sono convergenti, come ce ne offriranno in seguito un esempio gli specchi concavi, questi raggi concorrono in un punto situato davanti allo specchio e dalla stessa parte dell'oggetto. Ivi formano un'immagine, alla quale si dà il nome di *immagine reale*, per esprimere che essa esiste realmente; infatti può essere ricevuta su di un diaframma ed agire chimicamente sopra certe sostanze. Insomma si può dire che *le immagini reali sono quelle che vengono formate dai medesimi raggi riflessi, e le virtuali quelle che sono formate dai loro prolungamenti*.

**414. Immagini multiple negli specchi di vetro.** - Gli specchi metallici avendo una sola superficie riflettente producono una sola immagine; ma così non accade cogli specchi di vetro. Questi producono parecchie immagini che si scorgono facilmente osservando obliquamente in uno specchio la fiamma di una candela. Si vede una prima immagine poco intensa, indi una seconda assai distinta, e dietro di questa se ne vedono parecchie altre la cui intensità decresce successivamente sino a diventar nulla.

Questo fenomeno è prodotto dalle due superficie riflettenti che presentano gli specchi di vetro. Allorchè i raggi luminosi incontrano la prima superficie, una parte ne è riflessa e dà la prima immagine *a* (fig. 251) formata dal prolungamento dei raggi *bH* riflessi da questa superficie; l'altra parte penetra nel vetro, si riflette in *c* sullo strato metallico che riveste la superficie posteriore dello specchio e ritorna all'occhio, nella direzione *dE*, formando l'immagine *a'*. Questa immagine, distante dalla prima del doppio della grossezza dello specchio, è più intensa perchè lo strato metallico che ricopre lo specchio riflette meglio del vetro. Le altre immagini sono sempre meno chiare perchè i raggi dai quali sono formate emergono dopo una serie di riflessioni successive sulle due faccie interne dello specchio.

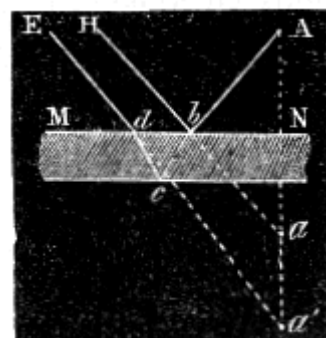


Fig. 251.

Siccome questa molteplicità di immagini sarebbe dannosa alle osservazioni in parecchi strumenti di ottica, così allora si adoprano specchi metallici.

**415. Immagini multiple con due specchi piani.** - Quando un oggetto è situato fra due specchi piani che formino tra loro un angolo retto od acuto, si producono delle immagini di questo oggetto il cui numero aumenta colla inclinazione degli specchi. Se essi sono perpendicolari l'uno all'altro si vedono tre immagini disposte come mostra la figura 252.

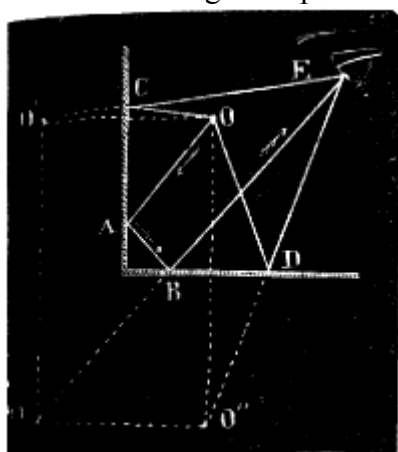


Fig. 252.

I raggi *OC* e *OD*, partiti dal punto *O*, danno, dopo una sola riflessione, uno l'immagine *O'* e l'altro l'immagine *O''*; ed il raggio *OA*, il quale ha subito due riflessioni in *A* ed in *B*, fornisce la terza immagine *O'''*.

Quando l'angolo degli specchi è di  $60^\circ$ , si formano 5 immagini; se è di  $45^\circ$  se ne producono 7. Il numero delle immagini continua così a crescere a misura che l'angolo degli specchi diminuisce, e quando è nullo, cioè quando gli specchi sono paralleli, il numero delle immagini proviene da questo che i raggi luminosi subiscono successivamente da uno specchio all'altro un numero di riflessioni sempre maggiore.

Su questa proprietà degli specchi inclinati è fondato il *caleidoscopio*, apparato che risulta di un tubo di cartone in cui trovansi due specchi inclinati tra loro di  $45^\circ$ , o tre specchi

inclinati di  $60^\circ$ . Collocando ad una estremità, fra due lastre di vetro, l'ultima delle quali smerigliata, degli oggetti assai irregolari, come dei muschi, delle laminette di similoro, dei pezzi di merletto, e guardando per l'altra estremità, si vedono questi oggetti e le loro immagini disposte simmetricamente in modo da presentare un insieme assai svariato e spesse volte assai aggradevole.

**416. Riflessione irregolare.** - La riflessione che accade alla superficie dei corpi levigati, giusta le due leggi precedentemente enunciate (410), si chiama *riflessione regolare* o *riflessione speculare*. Ma la luce così riflessa non rappresenta tutta la luce incidente. Questa, quando il corpo riflettente è opaco, si divide realmente in tre parti, una che è riflessa regolarmente, l'altra *irregolarmente*, cioè in tutte le direzioni, e la terza che è estinta, perchè assorbita dal corpo riflettente, come il calorico che diventa latente nei cambiamenti di stato. Inoltre, se il corpo che riceve i raggi incidenti è trasparente, avvi un'altra parte di luce la quale lo attraversa.

La luce riflessa irregolarmente si distingue col nome di *luce diffusa*, e per essa noi vediamo i corpi. Di fatti, la luce riflessa regolarmente non dà l'immagine del corpo che la riflette, ma bensì quella del corpo che la emette. Per es., se si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare su di uno specchio ben terso, quanto più quest'ultimo riflette regolarmente la luce, e tanto meno è visibile nelle diverse parti dell'ambiente. L'occhio che riceve il fascio riflesso non vede lo specchio, ma soltanto l'immagine del sole. Diminuendo la facoltà riflettente dello specchio collo spargervi sopra una polvere leggera, la quantità di luce diffusa aumenta, l'immagine solare si indebolisce e lo specchio diventa più visibile in tutte le altre parti dell'ambiente.

**417. Intensità della luce riflessa.** - L'intensità della luce riflessa regolarmente da corpi della stessa sostanza aumenta al crescere del grado di levigatezza e dell'angolo che i raggi incidenti fanno colla normale alla superficie riflettente. Per es., guardando assai obliquamente un foglio di carta bianca situato dinanzi alla fiamma di una candela, si vede per riflessione una immagine della fiamma; il che non avviene quando l'occhio riceve dei raggi meno obliqui.

Per corpi di diversa natura, levigati allo stesso grado e sotto angoli di incidenza eguali, l'intensità varia colla sostanza ed anche col mezzo, nel quale è immerso il corpo riflettente. Per es., il vetro liscio immerso nell'acqua perde una parte della sua facoltà riflettente.

## RIFLESSIONE SULLE SUPERFICIE CURVE

**418. Specchi sferici.** - Abbiamo già detto (411) che si distinguono parecchie sorta di specchi curvi: quelli che si adoperano più di frequente sono gli specchi sferici e gli specchi parabolici.

Chiamansi *specchi sferici* quelli che hanno la curvatura sferica; si può supporre che la loro superficie sia generata dalla rotazione di un arco MN (fig. 253) intorno al raggio CA che congiunge il punto di mezzo dell'arco col suo centro. Si dice poi che lo specchio è *concavo* o *convesso* secondo che la riflessione avviene sulla sua superficie concava o convessa. Chiamasi *centro di curvatura* o *centro geometrico* il centro C della sfera cava di cui lo specchio forma parte; il punto A è il *centro di figura*. La retta indefinita AL, che passa pei centri A e C, è *l'asse principale dello specchio*; tutte le rette che passano soltanto pel centro C, senza passare nel punto A, sono *assi secondari*. Chiamasi *apertura* di uno specchio l'angolo MCN formato dai raggi che congiungono il centro dello specchio co' suoi lembi. Finalmente si denomina *sezione principale* o *sezione meridiana* di uno specchio quella che si ottiene segandolo con un piano che passa per l'asse principale. In tutto ciò che diremo intorno agli specchi, avremo riguardo soltanto alle linee situate in una stessa sezione principale.

La teoria della riflessione della luce sugli specchi curvi si deduce assai facilmente dalle leggi della riflessione sugli specchi piani, considerando la superficie dei primi siccome risultante di un numero grandissimo di superficie piane infinitamente piccole che ne sono gli *elementi*. La *normale* alla superficie curva in un punto dato è allora la perpendicolare all'elemento corrispondente, o, ciò che è lo stesso, al piano tangente che lo contiene. Ora si dimostra, in geometria, che negli specchi sferici tutte le normali passano pel centro di curvatura, per cui si può facilmente condurre la normale in un punto qualunque dello specchio sferico.

**419. Fochi negli specchi sferici concavi.** - Negli specchi curvi chiamansi *fochi* i punti in cui concorrono i raggi riflessi od i loro prolungamenti: distinguonsi quindi due sorta di fochi: fochi reali ed i fochi virtuali.

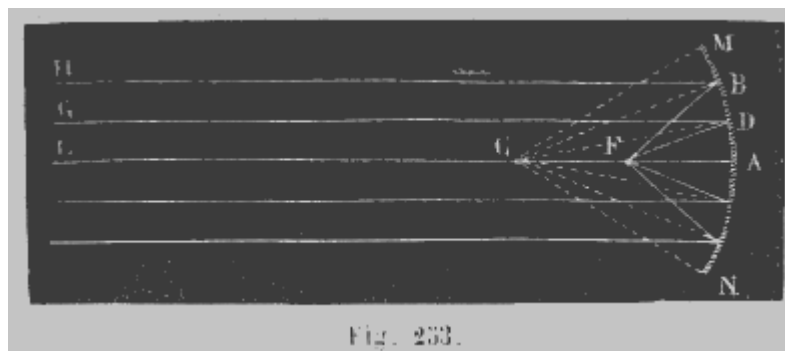


Fig. 253.

*Foco reale* - Consideriamo dapprima il caso in cui i raggi luminosi sono paralleli all'asse principale, ciò che suppone il corpo rischiarante collocato ad una distanza infinita e sia GD un tal raggio (fig. 253).

Dietro l'ipotesi più sopra ammessa, che cioè gli specchi curvi siano formati di una serie di elementi piani, infinitamente piccoli, il raggio GD si riflette sull'elemento corrispondente al punto D secondo le leggi della riflessione sugli specchi piani (410); vale a dire che, essendo CD la normale al punto di incidenza D, l'angolo di riflessione CDF è uguale all'angolo di incidenza GDC e si trova nella stessa sezione meridiana.

Onde, si può facilmente concludere che il punto F, ove il raggio riflesso incontra l'asse principale, divide assai approssimativamente il raggio di curvatura AC in due parti uguali. Difatti, nel triangolo DFC, i lati DF e CF sono eguali siccome opposti ad angoli eguali, perchè gli angoli DCF e FDC sono ambedue uguali all'angolo CDG, il primo come alterno-interno, il secondo in conseguenza della legge di riflessione.

D'altronde, FD si accosta tanto più ad eguagliare FA quanto più piccolo è l'arco AD. Quindi, allorchè, quest'arco è soltanto di un piccol numero di gradi, si possono considerare le rette AF e FC come sensibilmente uguali, ed il punto F siccome il punto di mezzo della AC. Fintanto che l'apertura MCN dello specchio non supera 8 o 10 gradi, qualsiasi altro raggio HB, parallelo all'asse, dopo di essere stato riflesso, passa assai approssimativamente pel punto F. Vedesi dunque che quando un fascetto di raggi paralleli all'asse cade su di uno specchio concavo, tutti questi raggi, in seguito alla riflessione, concorrono sensibilmente in uno stesso punto situato a eguale distanza dal centro della curva e dello specchio. Questo punto rimarchevole è il *foco principale* dello specchio, e la distanza FA è la *distanza focale principale*.

Bisogna notare che siccome tutti i raggi paralleli all'asse vanno a concorrere sensibilmente nello stesso punto F, così, reciprocamente, se si colloca in F un oggetto luminoso, i raggi emessi da questo oggetto devono prendere dopo la riflessione, delle direzioni DG, BH,... parallele all'asse principale; perchè allora gli angoli di riflessione sono cambiati in angoli di incidenza e quelli di incidenza in angoli di riflessione restando sempre uguali.

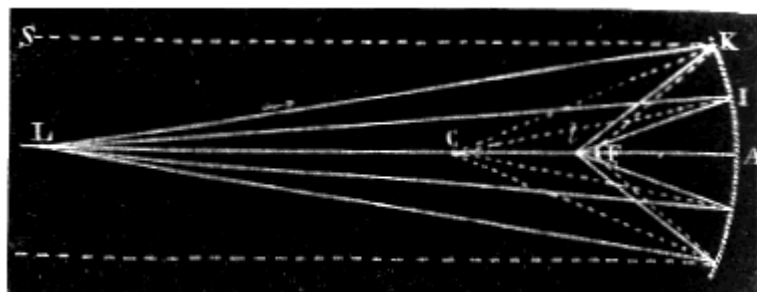


Fig. 254.

Si consideri ora il caso in cui i raggi luminosi che cadono sullo specchio siano emessi da un punto L (fig. 254) situato sull'asse principale, ad una distanza tale che i raggi incidenti non siano più paralleli, ma divergenti. Siccome, in questo caso, il raggio incidente LK fa colla normale CK un angolo d'incidenza LKC più piccolo dell'angolo SKC, che fa colla stessa normale il raggio SK parallelo all'asse, l'angolo di riflessione corrispondente al raggio LK dovrà anche essere più piccolo

dell'angolo CKF corrispondente al raggio SK. Per ciò, il raggio LK, dopo la riflessione, dovrà incontrare l'asse in un punto  $l$  situato fra il centro C ed il foco principale F. Fintanto che l'apertura dello specchio non sorpassa un piccolo numero di gradi, tutti i raggi emessi dal punto L, in seguito alla riflessione, concorrono sensibilmente allo stesso punto  $l$ . Questo punto chiamasi *foco coniugato* per indicare il rapporto esistente fra i punti L ed  $l$ , rapporto tale per cui sono reciproci l'uno dell'altro. Cioè, se il punto luminoso fosse trasportato in  $l$ , il suo foco coniugato sarebbe in L, poichè allora  $lK$  diventerebbe il raggio incidente e KL il raggio riflesso.

Esaminando la figura 254 si riconosce facilmente che allorché l'oggetto L si avvicina o si allontana dal centro C, il suo foco coniugato se ne avvicina o se ne allontana anch'esso; perchè gli angoli di incidenza e di riflessione crescono o decrescono insieme.

Quando l'oggetto L coincide col centro C, l'angolo di incidenza è nullo, e siccome altrettanto deve accadere dell'angolo di riflessione, il raggio riflesso ritorna sopra sè stesso ed il foco coincide coll'oggetto. Quando l'oggetto luminoso passa al di là del centro C, fra questo punto ed il foco principale, il foco coniugato passa alla sua volta dall'altro lato del centro, e se ne allontana a misura che il punto luminoso si avvicina al foco principale, i raggi riflessi essendo paralleli all'asse non si incontrano più, e per conseguenza il foco coniugato si forma a distanza infinita, cioè non esiste più.

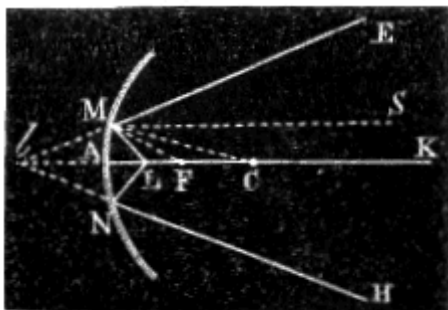


Fig. 255.

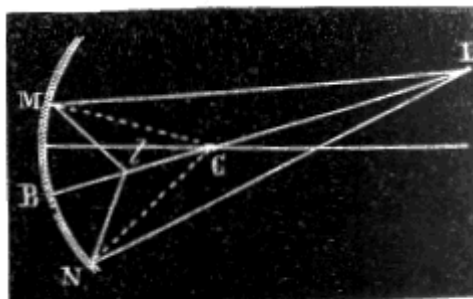


Fig. 256.

*Foco virtuale.* - Si consideri ora il caso in cui l'oggetto trovisi collocato in L (fig. 255) tra il foco principale e lo specchio. Allora un raggio qualsiasi LM, emesso dal punto L, fa colla normale CM un angolo di incidenza LMC più grande di FMC; per ciò l'angolo di riflessione deve essere più grande dell'angolo CMS. Ne segue che il raggio riflesso ME è divergente relativamente all'asse AK, siccome avviene altrettanto per tutti i raggi emessi dal punto L, questi raggi non si incontrano e quindi non formano alcun foco coniugato; ma se si immaginano prolungati al di là dello specchio, i loro prolungamenti vanno a concorrere sensibilmente in uno stesso punto  $l$  situato sull'asse; di maniera che l'occhio, ricevendoli, prova la stessa impressione come se questi raggi fossero emessi dal punto  $l$ . Perciò, si produce in questo punto un foco virtuale affatto analogo a quello che presentano gli specchi piani (413).

Nei differenti casi che abbiamo considerati bisogna notare che la posizione del foco principale è costante e che, invece, quelle del foco coniugato e del foco virtuale sono variabili. Inoltre il foco principale ed il foco coniugato sono sempre situati dallo stesso lato dell'oggetto relativamente allo specchio, mentre all'opposto, il foco virtuale è sempre situato dall'altro lato dello specchio.

Fino ad ora abbiamo supposto che il punto luminoso fosse situato sull'asse principale, nel qual caso il foco si forma su di quest'asse; quando il punto luminoso fosse situato su di un asse secondario LB (fig. 256), estendendo a quest'asse gli stessi ragionamenti che abbiamo applicati all'asse principale, si riconoscerebbe che il foco del punto L si forma in un punto  $l$  situato sull'asse secondario, e che, a seconda della distanza del punto L, questo foco può essere un foco principale, coniugato o virtuale. Del resto, facciamo osservare che gli assi secondari, al pari dell'asse principale, rappresentano sempre un raggio luminoso incidente, ma un raggio che si confonde colla normale e quindi col raggio riflesso.

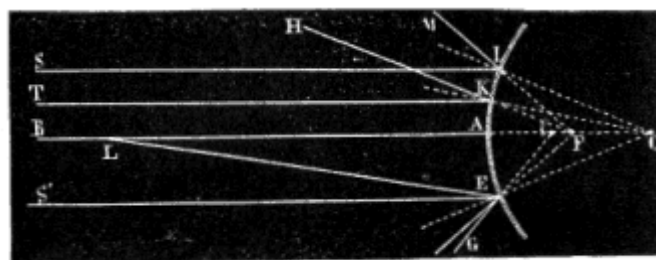


Fig. 257.

**420. Fochi negli specchi convessi.** - Negli specchi convessi il foco è sempre virtuale. Di fatti, siano i raggi SI, TK... (fig. 257), paralleli all'asse principale di uno specchio convesso. Questi raggi, dopo di essere stati riflessi, prendono delle direzioni divergenti IM, KH..., le quali prolungate, vanno a concorrere in un punto F, che è il *foco virtuale principale* dello specchio. Mediante il triangolo CKF, si dimostrerebbe come già fu dimostrato riguardo agli specchi concavi, che il punto F è sensibilmente il punto di mezzo del raggio di curvatura CA.

Se i raggi luminosi incidenti, invece di essere paralleli all'asse, partono da un punto L situato sull'asse ad una distanza finita, si riconosce facilmente che il foco è ancora virtuale, ma che si forma in I tra il foco principale F e lo specchio.

**421. Determinazione del foco principale.** - Nelle applicazioni degli specchi concavi o convessi, occorre spesso volte di conoscere il raggio di curvatura. Ora, questa ricerca si riduce a quella del foco principale perchè, essendo questo foco collocato alla metà del raggio, per avere quest'ultimo, basterà raddoppiare la distanza focale.

Per trovare il foco, quando lo specchio è concavo, si presenta quest'ultimo ai raggi solari in modo che il suo asse principale sia parallelo ai medesimi; indi, con un piccolo diaframma di vetro smerigliato si cerca il luogo ove l'immagine offre la massima intensità: ivi trovasi il foco principale. Misurando la distanza fra questo punto e lo specchio, e raddoppiandola, si ha il raggio dello specchio.

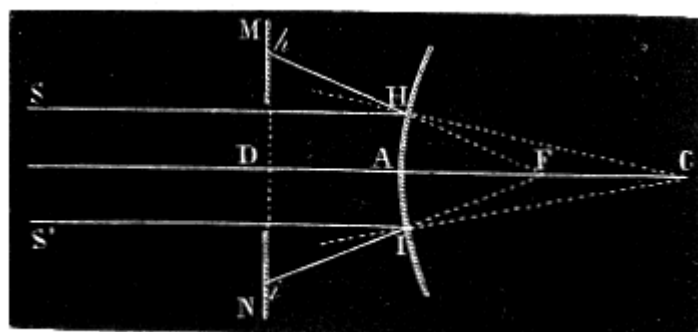


Fig. 258.

Se lo specchio è convesso, lo si copre di carta avendo cura di lasciarvi, ad eguali distanze dal centro di figura A e nello stesso piano meridiano (fig. 258), due piccole aperture circolari in H ed in I, ove per ciò rimane scoperto lo specchio. Quindi si colloca dinanzi allo specchio un diaframma DIN, nel cui centro trovasi praticata un'apertura circolare più grande della distanza HI. Ricevendo allora sullo specchio un fascio di raggi solari SH ed S'I paralleli all'asse, la luce si riflette in H ed in I, sulle parti in cui lo specchio è scoperto, e va a produrre sul diaframma due immagini brillanti in h ed in i. Allontanando od avvicinando il diaframma MN, trovasi una posizione in cui l'intervallo hi è doppio di HI. Allora la distanza AD del diaframma dallo specchio rappresenta la distanza focale principale. Di fatti, l'arco HAI confondendosi sensibilmente colla sua corda, ed essendo simili i triangoli FHI ed Fhi, si ha  $HI/hi = FA/FD$ ; ma HI è la metà di hi, dunque anche FA è eguale alla metà di FD. Per conseguenza, AD è eguale ad AF: d'altronde, FA è la distanza focale principale, poichè i raggi SH ed SI sono paralleli all'asse. Quindi il doppio di AD rappresenta il raggio di curvatura dello specchio.



**422. Formazione delle immagini negli specchi concavi.** - Fino ad ora abbiamo supposto che l'oggetto luminoso o rischiarato, collocato dinanzi agli specchi, fosse soltanto un punto; ma se quest'oggetto ha una certa estensione, si può immaginare condotto per ciascun de' suoi punti un asse secondario e determinare così una sequela di fochi reali o virtuali, il cui insieme comporrà l'immagine reale o virtuale dell'oggetto. Ora dobbiamo studiare come si determini negli specchi concavi e negli specchi convessi la posizione e la grandezza di queste immagini, basandoci sulle costruzioni che servirono a trovare i fochi (419 e 420).

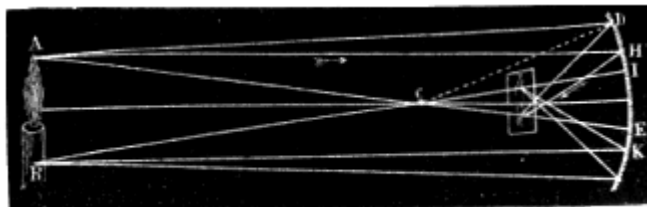


Fig. 259.

*Immagine reale.* - Si consideri dapprima il caso in cui lo specchio sia concavo e l'oggetto AB (fig. 259) si trovi collocato al di là del centro. Per ottenere l'immagine od il foco di un punto qualunque A, si deve incominciare col condurre per questo punto l'asse secondario AE; indi, tracciando dal punto A un raggio incidente qualunque AD, si conduce al punto di incidenza la normale CD, e si costruisce l'angolo di riflessione CDA eguale all'angolo di incidenza ADC. Il punto *a*, ove il raggio riflesso incontra l'asse secondario AE, è il foco coniugato del punto A, perchè qualunque altro raggio AH partito da questo punto va a concorrere in *a*. Del pari, se dal punto B si conduce l'asse secondario BI, i raggi emessi da questo punto, dopo la riflessione vanno a concorrere in *b* ed *a* formarvi il foco coniugato di B. Siccome le immagini di tutti i punti dell'oggetto AB vanno a formarsi fra *a* e *b*, ne segue che *ab* è l'immagine completa di AB. Dietro quanto dicemmo intorno ai fochi (419), *questa immagine è reale, rovesciata, più piccola dell'oggetto e posta fra il centro di curvatura ed il foco principale*. Si può vedere questa immagine in due modi: o situando l'occhio sulla direzione dei raggi riflessi, ed allora si vede una immagine aerea dell'oggetto; ovvero, ricevendo i raggi riflessi su di un diaframma che rifletta la luce in tutte le direzioni e la rimandi verso l'occhio.

Reciprocamente, se l'oggetto luminoso o rischiarato di cui si cerca l'immagine è situato in *ab*, fra il foco principale ed il centro, la sua immagine si produce in AB. Essa è ancora reale e rovesciata, ma più grande dell'oggetto e tanto più grande quanto più l'oggetto *ab* è vicino al foco principale.

Se l'oggetto è situato nel foco principale, non si produce veruna immagine; perchè allora i raggi emessi da ciascun punto formano, in seguito alla riflessione, altrettanti fasci rispettivamente paralleli all'asse secondario condotto pel punto da cui sono emessi (419), e quindi non possono produrre nè fochi nè immagini.

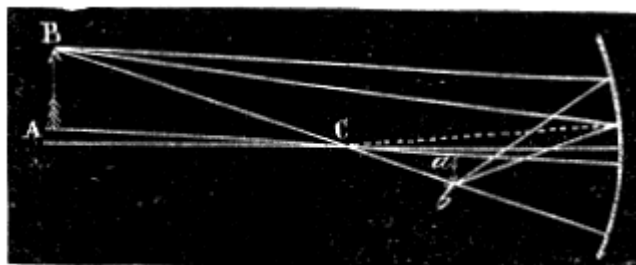


Fig. 260.

Quando l'oggetto AB ha tutti i suoi punti fuori dell'asse principale (fig. 260), ripetendo la costruzione precedente, si trova facilmente che l'immagine dell'oggetto AB si produce in *ab*.

*Immagine virtuale.* - Si consideri ora il caso in cui l'oggetto del quale cercasi l'immagine sia collocato tra il foco principale e lo specchio, ed AB rappresenti quest'oggetto (fig. 261). Siccome i raggi incidenti AD, AK, dopo la riflessione, prendono le direzioni DI e KH, i loro prolungamenti vanno a formare in *a*, sull'asse secondario, una immagine virtuale del punto A. Parimenti

l'immagine di B si forma in *b*; di maniera che l'occhio vede in *ab* l'immagine di AB. *Questa immagine è virtuale, diritta e più grande dell'oggetto.*

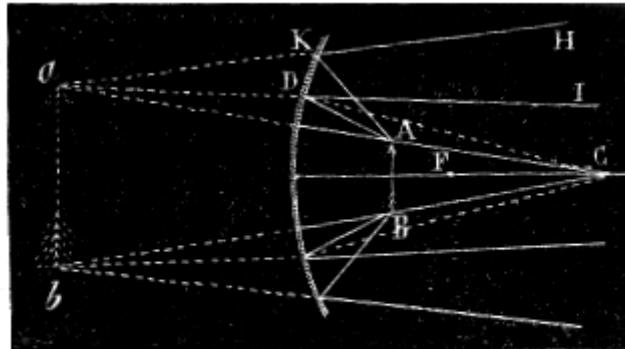


Fig. 261.

Riassumendo quanto precede, vedesi che gli specchi concavi danno origine a due specie di immagini o non ne producono alcuna, a norma della distanza dell'oggetto, il che si può constatare collocandosi dinanzi ad uno specchio concavo; ad una certa distanza si vede una immagine rovesciata e più piccola, e questa è l'immagine reale, ad una distanza minore l'immagine diventa confusa, e scompare, quando l'osservatore si trova nel foco. Se la distanza si rende ancor minore, l'immagine ricompare diritta e più grande, ed è l'immagine virtuale.

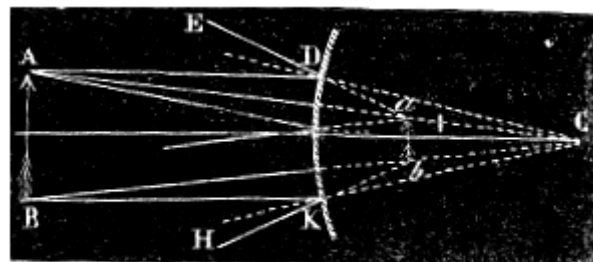


Fig. 262.

**423. Formazione delle immagini negli specchi convessi.** - Sia AB (fig. 262) un oggetto collocato dinanzi ad uno specchio convesso, ad una distanza qualunque. Conducendo gli assi secondari AC e BC, da quanto abbiamo veduto (420) relativamente alla costruzione dei fochi negli specchi convessi, risulta che tutti i raggi emessi dal punto A sono divergenti in seguito alla riflessione, e che i loro prolungamenti vanno a concorrere in un punto *a* che è l'immagine virtuale di A. Parimenti i raggi emessi dal punto B vanno a produrre in *b* una immagine virtuale di questo punto. Quindi l'occhio che riceve i raggi divergenti DE, KH..., vede in *ab* una immagine di AB. Da questa costruzione risulta che, qualunque sia la posizione di un oggetto davanti ad uno specchio convesso, *l'immagine è sempre virtuale, diritta e più piccola dell'oggetto.*

**424. Regola generale per la costruzione delle immagini negli specchi.** - Le diverse operazioni suesposte per la costruzione delle immagini tanto negli specchi concavi che negli specchi convessi (fig. 259, 261 e 262), si ponno riassumere nella regola seguente:

Per costruire l'immagine di un punto bisogna: 1.° condurre l'asse secondario per questo punto; 2.° condurre dal punto dato sullo specchio un raggio incidente qualunque; 3.° congiungere col centro mediante una retta la quale rappresenta la normale e fa conoscere l'angolo d'incidenza; 4.° dal punto di incidenza condurre dall'altra parte della normale la retta che fa con essa un angolo eguale all'angolo di incidenza. Quest'ultima retta, la quale rappresenta il raggio riflesso, se viene prolungata fino ad incontrare l'asse secondario, il suo punto di incontro con quest'asse è il luogo della immagine.

Applicando questa costruzione a ciascun punto di un oggetto, si troverà la corrispondente immagine, la quale sarà reale se i raggi riflessi incontrano la parte dell'asse secondario che trovasi davanti allo specchio, e virtuale se i prolungamenti di questi raggi incontrano l'asse secondario al di là dello specchio.

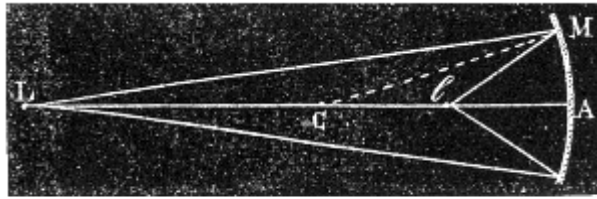


Fig. 263.

**425. Formole relative agli specchi sferici.** - Con una formola semplicissima si può rappresentare la relazione che passa fra la posizione relativa di un oggetto e quella della sua immagine negli specchi sferici. Per ciò suppongasì dapprima che lo specchio sia concavo, e si rappresenti con  $R$  il suo raggio di curvatura, con  $p$  la distanza  $LA$  dell'oggetto  $L$  (fig. 263) dallo specchio, e con  $p'$  la distanza  $LA'$  dell'immagine dallo specchio medesimo. Siccome nel triangolo  $LMI$ , la normale  $MC$  divide l'angolo  $LMI$  in due parti eguali, si può applicare il teorema di geometria che in qualunque triangolo la bisettrice di un angolo divide il lato opposto in due segmenti i quali stanno fra loro come i due lati dell'angolo; cioè che

$$CI/CL = IM/LM, \text{ d'onde } CI \cdot LM = CL \cdot IM.$$

ora, se l'arco  $AM$  non supera 5 o 6 gradi, le linee  $ML$ ,  $MI$  sono sensibilmente eguali ad  $AL$ ,  $A\ell$ , cioè a  $p$  e  $p'$ . d'altronde,

$$CI = CA - AI = R - p', \text{ e } CL = AL - AC = p - R.$$

Sostituendo questi valori nell'eguaglianza precedente, si ha

$$(R - p')p = (p - R)p', \text{ ossia } Rp - pp' - pp'R - p';$$

trasportando e riducendo, si trova:

$$Rp + Rp' = 2pp' \quad [1].$$

Se si dividono tutti i termini di questa eguaglianza per  $pp'R$ , e si sopprimono i fattori comuni, essa prende la forma:

$$1/p' + 1/p = 2/R \quad [2]$$

sotto la quale la si adopera ordinariamente.

Risolvendo l'equazione [1] relativamente a  $p'$ , se ne deduce:

$$p' = pR / (2p - R) \quad [3];$$

formola che fa conoscere la distanza dell'immagine dallo specchio quando sia nota quella dell'oggetto ed il raggio di curvatura.

**426. Discussione della formola degli specchi.** - Cerchiamo ora i differenti valori che assume  $p'$ , secondo quelli che si danno a  $p$  nella formola [3].

1.° L'oggetto luminoso o rischiarato trovisi dapprima sull'asse ad una distanza infinita, nel qual caso i raggi incidenti sono paralleli. Per interpretare il valore che prende allora  $p'$ , bisogna dividere per  $p$  i due termini della frazione  $pR/(2p - R)$ . il che dà:

$$p' = R / (2 - R/p) \quad [4].$$

Ora, introducendo in questa formola la condizione che  $p$  sia infinito, la frazione  $R/p$  diventa nulla, e si ha  $p' = R/2$ ; cioè l'immagine si produce al foco principale, come doveva accadere, perchè i raggi incidenti formano allora un fascio parallelo all'asse.

2.° Se l'oggetto si avvicina allo specchio,  $p$  decresce e diminuendo il denominatore della formola [4], aumenta il valore  $p'$ ; per conseguenza l'immagine si avvicina al centro del pari che l'oggetto, ma è sempre situata tra il foco principale ed il centro, perchè fintanto che  $p > R$ , si ha:

$$R / (2 - R/p) > R/2 \text{ e } < R.$$

3.° Se l'oggetto coincide col centro, il che si esprime facendo  $p = R$ , diventa  $p' = R$ , cioè l'immagine coincide coll'oggetto.

4.° Se l'oggetto luminoso trovasi fra il centro ed il foco principale, si ha  $p < R$  e si conchiude dalla formola [4] che  $p'$  è  $> R$ ; cioè che allora l'immagine si forma al di là del centro. Quando l'oggetto è giunto al foco principale, si ha

$$p = R/2. \text{ il che dà } p' = R/0 = \infty$$

cioè l'immagine si produce a distanza infinita. Infatti, i raggi riflessi sono allora paralleli all'asse.

5.° Finalmente, se l'oggetto è fra il foco principale e lo specchio, si ha  $p < R/2$ ; il denominatore della formola [4] essendo allora negativo, è negativo anche  $p'$ ; cioè la distanza  $p'$  fra l'immagine e lo specchio devesi prendere sull'asse in senso contrario di  $p$ .

Di fatti, l'immagine è allora virtuale e situata dall'altro lato dello specchio (419).

Introducendo nella formola [2] la condizione che  $p'$  sia negativo, questa formola diventa  $1/p - 1/p' = 2/R$ ; sotto questa forma comprende il caso delle immagini virtuali negli specchi concavi.

Trattandosi di specchi convessi, siccome l'immagine è sempre virtuale (423)  $p'$  e  $R$  sono dello stesso segno, poichè l'immagine ed il centro sono situati dalla stessa parte dello specchio, mentre che l'oggetto essendo dall'altra,  $p$  è di segno contrario; introducendo questa condizione nella formola [2], si trova  $1/p - 1/p' = 2/R$  [5], formola relativa agli specchi

convessi. Del resto si potrebbe trovarla direttamente colle stesse considerazioni geometriche che ci hanno condotto alla formola [2] degli specchi concavi.

Bisogna però notare che le differenti formole suesposte non sono rigorosamente esatte, poichè si appoggiano sulla ipotesi che le rette LM ed /M (fig. 263) siano eguali ad LA ed /A, il che è vero soltanto quando l'angolo MCA è nullo; ma queste formole si accostano tanto più all'esattezza quanto più piccola è l'apertura dello specchio.

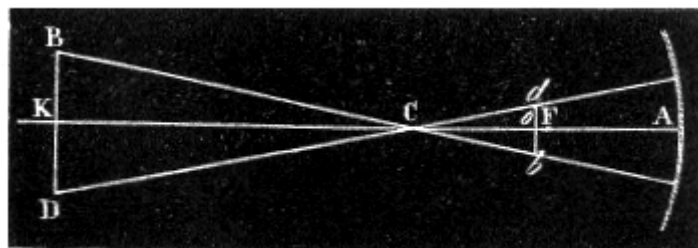


Fig. 264.

**427. Calcolo della grandezza delle immagini.** - Per mezzo delle formole precedenti si può facilmente calcolare la grandezza di un'immagine quando si conoscano la distanza dell'oggetto, la sua grandezza ed il raggio dello specchio. Di fatti, se si rappresenta l'oggetto con BD (fig. 264), la sua immagine con bd, e se si suppone conosciuta la distanza KA ed il raggio AC, si calcola Ao, mediante la formola [3] del paragrafo 425. Conosciuta Ao, se ne deduce oC. Ora, siccome i due triangoli BCD e dCb sono simili, si ha tra le loro basi e le loro altezze la proporzione:

$$bd/BD = Co/CK,$$

d'onde si deduce la grandezza bd dell'immagine.

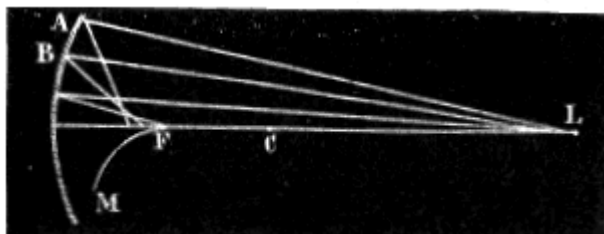


Fig. 265.

**428. Aberrazione di sfericità, caustiche.** - Nella teoria ora esposta intorno ai fochi ed alle immagini negli specchi sferici, abbiamo già notato che i raggi riflessi non vanno sensibilmente a concorrere verso un unico punto se non quando l'apertura dello specchio non sorpassa 8° o 10° (419). Per una apertura più grande i raggi riflessi vicino ai lembi incontrano l'asse a minor distanza dallo specchio di quelli che sono riflessi presso al centro di curvatura. Da ciò risulta, nelle immagini, una mancanza di chiarezza, che si indica col nome di *aberrazione di sfericità per riflessione*, onde distinguerla da la aberrazione di sfericità per rifrazione che presentano le lenti (453).

Siccome i raggi riflessi si tagliano successivamente a due a due, come vedesi al di sopra dell'asse FL (fig. 265), così i loro punti di intersezione formano nello spazio una superficie brillante che si chiama *caustica per riflessione*. La curva FM rappresenta uno dei rami della sezione meridiana di questa superficie.

**429. Applicazione degli specchi.** - Si conoscono le applicazioni degli specchi piani nell'economia domestica. Questi specchi sono anche di uso frequente in molti apparati di fisica allo scopo di dare alla luce una direzione determinata. Se si vuole per tal modo dirigere la luce solare, si può conservare ai raggi riflessi una direzione costante soltanto nel caso che lo specchio sia mobile. Bisogna allora imprimere a quest'ultimo un movimento, il quale compensi il cambiamento di direzione che assumono continuamente i raggi incidenti dipendentemente dal moto diurno apparente del sole. Si ottiene questo risultato con un movimento di orologeria, il quale, fa variare l'inclinazione dello specchio per mezzo di un'asta a cui quest'ultimo trovasi fissato. L'apparato così costruito chiamasi *eliostato*. La riflessione della luce venne utilizzata anche per misurare gli angoli dei cristalli con una grande precisione, per mezzo di strumenti conosciuti sotto il nome di *goniometri a riflessione*.

Anche gli specchi concavi ricevettero numerose applicazioni. Si adoperano per avere una immagine più grande dell'oggetto; tali sono gli specchi che taluni adoperano per radersi la barba. Abbiamo già visto l'uso che se ne può fare come specchi ustori (352); sono anche usati nei telescopi. Finalmente gli specchi concavi possono anche servire come riflettori per spingere la luce

a grandi distanze, collocando una sorgente di luce nel loro foco principale; ma per questo uso si devono preferire gli specchi parabolici.

**430. Specchi parabolici.** - Gli *specchi parabolici* sono specchi concavi la cui superficie è quella generata dalla rotazione di un arco di parabola AM attorno al suo asse AX (fig. 266)<sup>(10)</sup>.

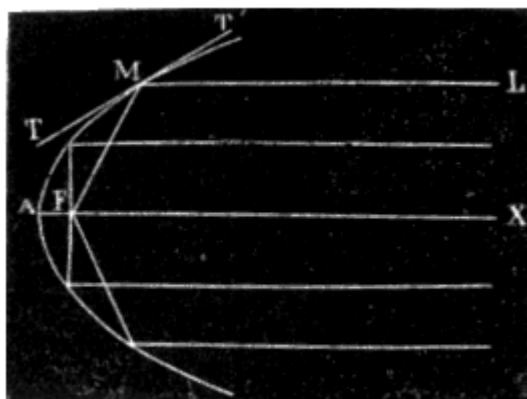


Fig. 266.

Si è veduto precedentemente (428) che negli specchi sferici i raggi paralleli all'asse concorrono al foco principale solo approssimativamente: da ciò risulta che reciprocamente una sorgente di luce collocata nel foco principale di tali specchi dà un fascio di raggi riflessi che non sono esattamente paralleli all'asse.

Ora questo difetto non si incontra negli specchi parabolici, i quali benchè di più difficile costruzione che gli specchi sferici, si devono però preferire come riflettori. Infatti è nota proprietà della parabola quella che per un punto M qualunque di questa curva il raggio vettore FM e la retta ML parallela all'asse, fanno colla tangente TT' angoli eguali. Per conseguenza negli specchi parabolici, tutti i raggi paralleli all'asse concorrono esattamente, dopo la riflessione, al foco F dello specchio, e reciprocamente, quando sia collocata in questo foco una sorgente di luce, i raggi luminosi che cadono sullo specchio riflettendosi, formano un fascio esattamente parallelo all'asse.

Ne segue che la luce riflessa dai medesimi tende a conservare la stessa intensità ad una grande distanza, perchè abbiamo veduto (408) che la intensità della luce è indebolita principalmente dalla divergenza dei raggi luminosi.

Per questa proprietà le lampade che si collocano sulle pubbliche carrozze e sui convogli delle strade-ferrate sono muniti di riflettori parabolici. Questi riflettori furono anche usati per molto tempo nei fari, ma vedremo quanto prima che ora si adoperano di preferenza vetri lenticolari.

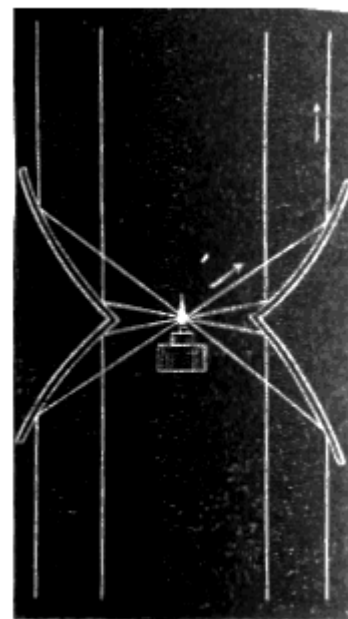


Fig. 267.

Seguendo due specchi parabolici eguali con un piano passante pel foco perpendicolare all'asse e riunendoli per le due sezioni fatte, come dimostra la figura 267, in modo che i due fochi coincidano, si ottiene un sistema di riflettori col quale una sola fiamma illumina contemporaneamente in due opposte direzioni. Questo sistema viene applicato alle scale per rischiararle in tutta la loro estensione.

<sup>(10)</sup> Nel testo "fig. 226"

## CAPITOLO III

### RIFRAZIONE SEMPLICE, LENTI

**431. Fenomeno della rifrazione.** - La *rifrazione* è una deviazione che subiscono i raggi luminosi quando passano obliquamente da un mezzo in un altro, per es., dall'aria nell'acqua od in qualsiasi altro mezzo.

Diciamo *obliquamente*, perchè se il raggio luminoso è perpendicolare alla superficie che separa due mezzi, non è deviato e continua a propagarsi in linea retta.

Rappresentando con SO (fig. 268) il *raggio incidente*, chiamasi *raggio rifratto*, la direzione OH che prende la luce nel secondo mezzo, e gli angoli SOA e HOB che formano questi raggi colla retta AB, normale alla superficie che separa i due mezzi, si chiamano l'uno *angolo d'incidenza*, l'altro *angolo di rifrazione*. Secondo che il raggio rifratto si avvicina o si allontana dalla normale, si dice che il secondo mezzo è più o meno *rifrangente* del primo.

Il calcolo mostra che la direzione della rifrazione dipende dalla velocità relativa della luce nei due mezzi. Il mezzo più rifrangente, nel sistema delle ondulazioni, è quello nel quale la velocità di propagazione è minore.

La luce incidente che si presenta per passare da un mezzo in un altro non penetra mai completamente in quest'ultimo: una parte se ne riflette alla superficie, di separazione dei due mezzi, e penetra nel secondo mezzo soltanto l'altra.

Nei mezzi non cristallizzati, come l'aria, i liquidi, il vetro ordinario, il raggio luminoso, semplice all'incidenza, rimane ancora semplice dopo la rifrazione; ma in certi corpi cristallizzati, come lo spato d'Islanda ed il cristallo di rocca, il raggio incidente dà origine a due raggi rifratti. Il primo di questi fenomeni costituisce la *rifrazione semplice*; al secondo si dà il nome di *doppia rifrazione*. Qui parleremo soltanto della rifrazione semplice; la teoria della rifrazione doppia verrà spiegata più innanzi (513).

**432. Leggi della rifrazione semplice.** - Quando un raggio luminoso si rifrange passando da un mezzo in un altro dotato di un potere rifrangente diverso si osservano le due leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> *Qualunque sia l'obliquità del raggio incidente, il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione stanno in sta rapporto costante per due mezzi eguali, ma variabile al cangiare dei mezzi.*

2.<sup>a</sup> *Il raggio incidente ed il raggio rifratto sono in uno stesso piano perpendicolare alla sua superficie di separazione dei due mezzi.*

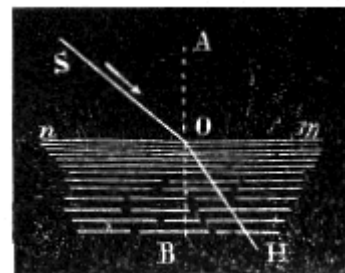


Fig. 268.

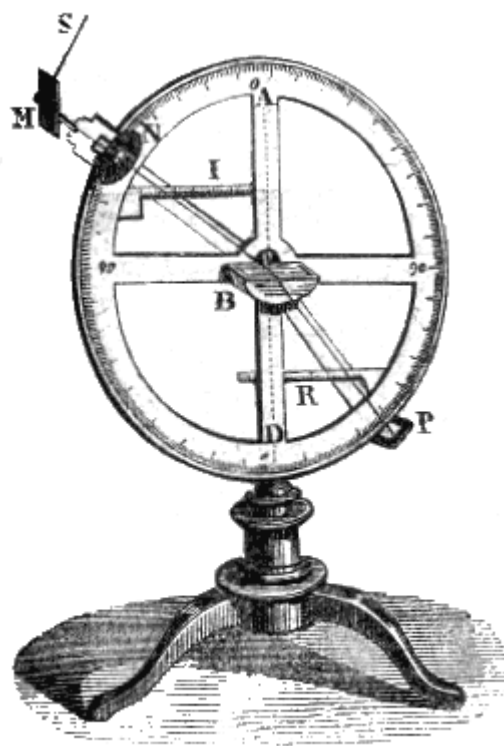


Fig. 269  $h = 48^\circ$ .

Queste leggi sono conosciute sotto il nome di *leggi di Cartesio*, fisico che per primo le formulò. Per dimostrarle si adopera lo stesso apparato che servì per le leggi della riflessione (410). A questo effetto, si sostituisce allo specchio piano collocato al centro del circolo graduato un vaso semicilindrico di vetro pieno d'acqua, in modo che la superficie del liquido si trovi esattamente all'altezza del centro del circolo (fig. 269). Inclinando allora lo specchio M in modo di dirigere verso il centro un raggio riflesso MO, questo si rifrange al suo ingresso nell'acqua, ma nell'uscire

non si rifrange più, perchè allora la sua direzione è perpendicolare alla parete curva del vaso B. Per conoscere l'andamento del raggio rifratto PO, lo si riceve sopra un diaframma P il quale si fa muovere fino a tanto che l'immagine dell'apertura praticata nel diaframma N venga a formarsi al suo centro. Finalmente in tutte le posizioni dei diaframmi N e P il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione sono misurati da due regoli I e R, mobili attorno ad un asse, divisi in millimetri ed equilibrati in modo da rimanere costantemente orizzontali, cioè perpendicolari al diametro AD.

Ciò posto, misurando, per mezzo dei regoli I ed R, i seni degli angoli MOA e DOP, si trovano numeri che variano colla posizione dei diaframmi, ma il cui rapporto è costante; cioè se il seno dell'angolo d'incidenza diventa due o tre volte maggiore, altrettanto avviene del seno dell'angolo di rifrazione, il che dimostra la prima legge. La seconda poi trovasi dimostrata dalla stessa disposizione dell'apparecchio, perchè il piano del circolo graduato è perpendicolare alla superficie del liquido contenuto nel vaso semicilindrico.

**433. Indici di rifrazione.** - Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e quello dell'angolo di rifrazione si chiama *indice di rifrazione*.

Esso varia ai variare dei mezzi; per es., dall'aria all'acqua è  $4/3$ , e dall'aria al vetro è  $3/2$ .

Se si considerano i mezzi in ordine inverso, cioè se la luce passa dall'acqua nell'aria o dal vetro nell'aria, si trova ch'essa segue lo stesso cammino, ma in senso contrario, perchè PO diventa il raggio incidente ed OM il rifratto. Per conseguenza il rapporto che rappresenta l'indice di rifrazione è esso pure invertito, ed è  $3/4$  dall'acqua all'aria e  $2/3$  dal vetro all'aria.

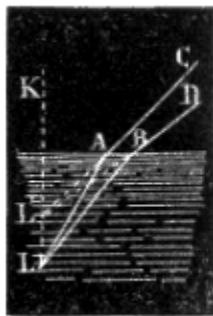


Fig. 270.

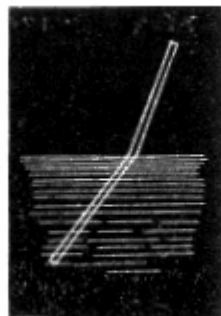


Fig. 271.

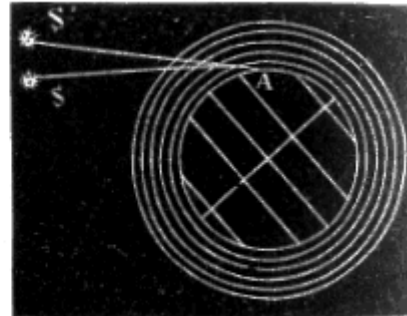


Fig. 272.

**434. Effetti prodotti dalla rifrazione.** - Per effetto della rifrazione i corpi immersi in un mezzo più rinfrangente dell'aria sembrano avvicinati alla superficie di separazione dei due mezzi; al contrario ne sembrerebbero allontanati se fossero posti in un mezzo meno rifrangente.

Si supponga, per es., un oggetto L immerso in una massa d'acqua (fig. 270).

I raggi LA, LB..., passando dall'acqua nell'aria, s'allontanano dalla normale al punto di incidenza, e prendono le direzioni AC, BD..., i cui prolungamenti concorrono sensibilmente in un punto L' situato sulla perpendicolare LK. L'occhio che riceve questi raggi vede adunque l'oggetto L in L'. Quanto più obliqui sono i raggi LA, LB ..., tanto più l'oggetto sembra rialzato.

Per questo stesso motivo un bastone immerso obliquamente nell'acqua sembra spezzato (fig. 271), perchè la parte immersa appare rialzata.

Del pari per effetto della rifrazione gli astri ci sembrano più alti che non siano sul nostro orizzonte. E di fatto, siccome gli strati atmosferici aumentano di densità avvicinandosi al suolo, e per uno stesso gas il potere rifrangente cresce colla densità (444), ne risulta che i raggi luminosi, entrando nell'atmosfera e propagandosi in essa, si piegano come mostra la figura 272, descrivendo una curva che arriva fino all'occhio; quindi noi vediamo l'astro in S' nella direzione tangente di questa curva invece di vederlo in S. Nei nostri climi la rifrazione atmosferica non eleva gli astri più di mezzo grado.

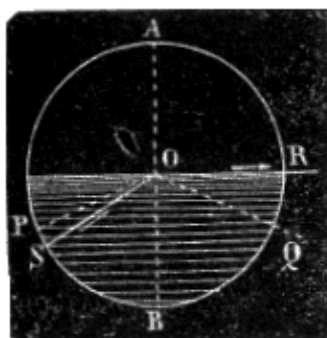


Fig. 273.

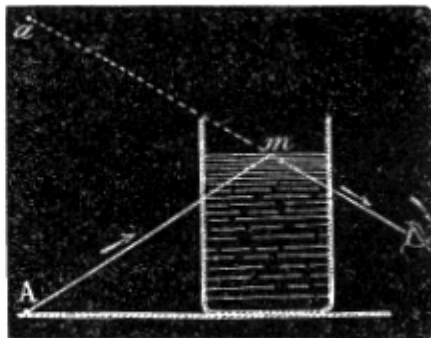


Fig. 274.

**435. Angolo limite, riflessione totale.** - Si è veduto (433) che quando un raggio luminoso passa da un mezzo in un altro meno rifrangente, come dall'acqua nell'aria, l'angolo di rifrazione è maggiore dell'angolo d'incidenza. Ne segue che quando la luce si propaga in una massa d'acqua da S in O (fig. 273), v'è sempre un valore dell'angolo di incidenza SOB pel quale l'angolo di rifrazione AOR è retto, ossia pel quale il raggio rifratto OR emerge parallelamente alla superficie dell'acqua.

Quest'angolo SOB si chiama *angolo limite*, perchè per ogni angolo d'incidenza maggiore, come POB, il raggio incidente PO non può dare origine ad alcun raggio rifratto. Infatti, siccome l'angolo AOR cresce coll'angolo SOB, il raggio OR si trova portato in OQ, cioè non vi è più rifrazione al punto O, ma avvi una riflessione interna che chiamasi *riflessione totale*, perchè la luce incidente è riflessa quasi in totalità. Dall'acqua all'aria l'angolo limite è di  $48^\circ 35'$ ; dal vetro all'aria è di  $41^\circ 48'$ .

La riflessione interna si può constatare coll'esperienza seguente: dinanzi ad un vaso di vetro pieno d'acqua (fig. 274), si colloca un oggetto A, poi guardando dall'altra parte del vaso la superficie del liquido dal basso in alto, come mostra la figura, si vede in *a* al disopra del liquido l'immagine dell'oggetto A, la quale è formata dai raggi riflessi in *m*.

**436. Miraggio.** - Il *miraggio* è una illusione ottica che fa vedere al disotto del suolo o nell'atmosfera l'immagine rovesciata degli oggetti lontani. Questo fenomeno si osserva di frequente nei paesi caldi, e particolarmente nelle sabbiose pianure dell'Egitto. Ivi, il suolo presenta spesso l'aspetto di un lago tranquillo sul quale si riflettono gli alberi ed i villaggi circostanti. Questo fenomeno venne osservato fin dalla più remota antichità, ma Monge fu il primo che ne diede la spiegazione quando fece parte della spedizione d'Egitto.

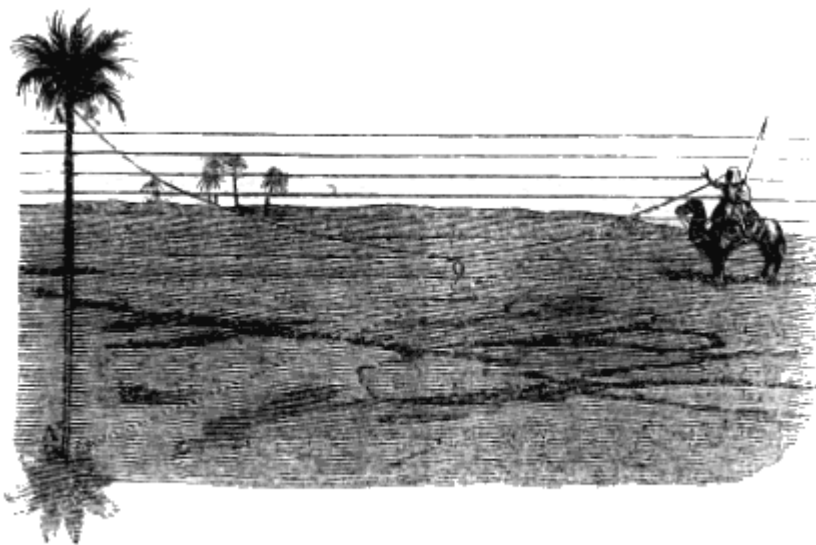


Fig. 275.

Il miraggio è un fenomeno di rifrazione che risulta dalla ineguale densità degli strati atmosferici quando sono dilatati pel loro contatto col suolo molto riscaldato. Gli strati inferiori essendo allora i meno densi, un raggio luminoso che si diriga da un oggetto elevato A (fig. 275) verso il suolo,



attraversa strati sempre meno rifrangenti; perchè vedremo quanto prima (444) che un gas è tanto meno rifrangente quanto meno è denso. Ne risulta che l'angolo d'incidenza cresce da uno strato al seguente, e finisce a raggiungere l'angolo limite, oltre il quale invece della rifrazione avviene la riflessione interna (435). Il raggio allora si rialza, come mostra la figura 275, e subisce una serie di rifrazioni successive in senso contrario alle prime, perchè passa in strati sempre più rifrangenti. Esso giunge dunque all'occhio dell'osservatore con quella stessa direzione che avrebbe se fosse partito da un punto situato al di sotto del suolo, e perciò produce un'immagine rovesciata dell'oggetto da cui fu emesso, come se fosse stato riflesso, in un punto O, sulla superficie di un'acqua tranquilla.

Talvolta i navigatori osservano nell'atmosfera l'immagine rovesciata delle spiagge o delle navi lontane; anche questo è un effetto di miraggio, che si produce in senso contrario al primo, e solo quando la temperatura del mare è inferiore a quella dell'aria, perchè allora gli strati più bassi dell'atmosfera sono i più densi a motivo del loro contatto colla superficie delle acque.

## TRASMISSIONE DELLA LUCE ATTRAVERSO I MEZZI DIAFANI

**437. Mezzi a facce parallele.** - Quando la luce attraversa un mezzo terminato da facce parallele, i raggi *emergenti*, cioè quelli che escono, sono paralleli ai raggi incidenti.

Per dimostrarlo si rappresenti con MN (fig. 276) una lastra di vetro a facce parallele, con SA un raggio incidente, e con DD' il raggio emergente: siano  $i$  ed  $r$  gli angoli di incidenza e di rifrazione del raggio all'ingresso nel vetro, ed  $i'$ ,  $r'$  gli angoli di incidenza e di rifrazione all'emergenza dal vetro. La luce in A subisce una prima rifrazione il cui indice è  $\text{sen } i / \text{sen } r$ . In D si rifrange un'altra volta, ed allora l'indice è  $\text{sen } i' / \text{sen } r'$ . Ora si è veduto (433) che l'indice di rifrazione dal vetro all'aria è l'inverso dell'indice dall'aria al vetro, dunque si ha:

$$\text{sen } i' / \text{sen } r' = \text{sen } i / \text{sen } r.$$

Ma siccome le due normali AG, DE sono parallele, gli angoli  $r$  ed  $i'$  come alterni interni, sono eguali. Per conseguenza essendo eguali i numeratori dei due rapporti precedenti, saranno pure eguali i denominatori; d'onde si conchiude che gli angoli  $r'$  ed  $i$  sono eguali, e che, per conseguenza, BD è parallela ad SA.

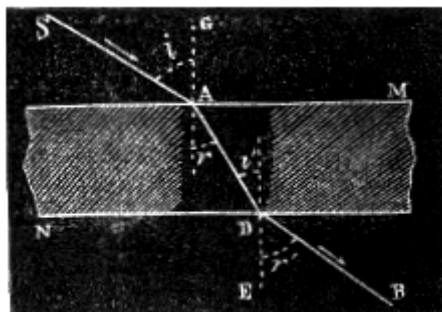


Fig. 276.

**438. Prismi.** - In ottica chiamasi *prisma* ogni mezzo trasparente terminato da due facce piane inclinate l'una all'altra. L'intersezione di queste due facce è una linea retta che chiamasi *spigolo* del prisma, e l'angolo che esse comprendono dicesi *angolo rifrangente* del prisma.

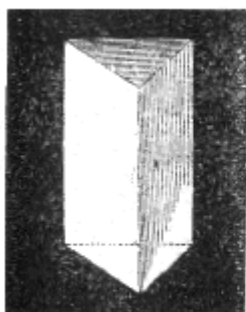


Fig. 277.

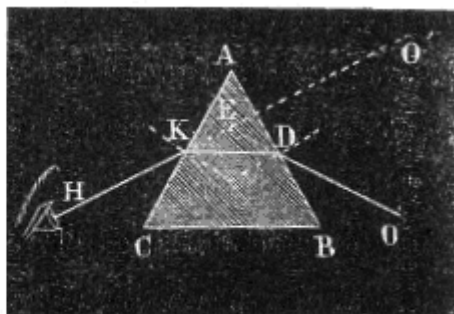


Fig. 278.

Ogni sezione perpendicolare allo spigolo dicesi *sezione principale*. Siccome i prismi che si adoperano d'ordinario per le esperienze, sono prismi triangolari retti di vetro come quello

rappresentato dalla figura 277, la loro sezione principale è un triangolo (fig. 278). In questa sezione il punto A chiamasi *vertice* del prisma, e la retta BC *base* del medesimo; espressioni che, geometricamente parlando, sono applicabili soltanto al triangolo ABC e non al prisma.

**439. Andamento dei raggi nel prisma.** - Quando si conoscono le leggi della rifrazione, è facile il determinare l'andamento della luce nei prismi. Infatti, sia O (fig. 278) un punto luminoso posto nel piano della sezione principale ABC di un prisma, e sia OD un raggio incidente. Questo raggio si rifrange in D, avvicinandosi alla normale, perchè entra in un mezzo più rifrangente. In K esso subisce una seconda rifrazione, ma allora si allontana dalla normale perchè passa nell'aria, che è meno rifrangente del vetro. Adunque la luce è rifratta due volte nello stesso senso e l'occhio che riceve il raggio emergente KH vede l'ometto O in O'; cioè *gli oggetti veduti attraverso ad un prisma sembrano trasportati verso il vertice di questo*. La deviazione che il prisma fa allora subire alla luce è misurata dall'angolo OEO' che il raggio emergente forma coll'incidente; quest'angolo chiamasi *angolo di deviazione*.

Si osserva inoltre che gli oggetti veduti attraverso ai prismi sembrano dotati dei colori vivaci dell'iride; questo fenomeno sarà descritto in seguito sotto il nome di *dispersione* (456).

**440. Condizione di emergenza dai prismi.** - I raggi luminosi che si sono rifratti alla prima faccia d'un prisma non possono emergere dalla seconda se non quando l'angolo rifrangente del prisma è minore del doppio dell'angolo limite della sostanza di cui il medesimo è formato.

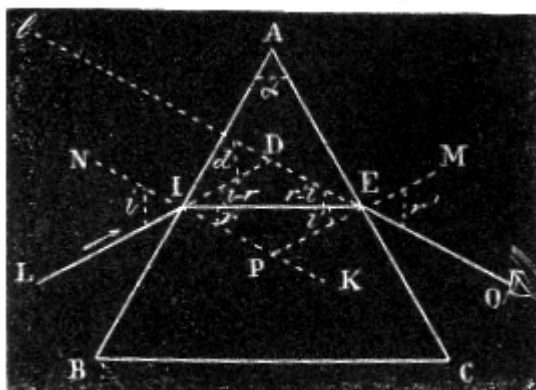


Fig. 279.

Infatti rappresentando con LI (fig. 279) il raggio incidente sulla prima faccia, con IE il raggio rifratto, con PI e PE le normali, si sa che il raggio IE non può emergere dalla seconda faccia se l'angolo di incidenza IEP è minore dell'angolo limite (435). Ora aumentando l'angolo di incidenza NIL avviene altrettanto dell'angolo EIP, mentre invece l'angolo IEP diminuisce. Per conseguenza, quanto più la direzione del raggio LI si accosta ad essere parallela alla faccia AB, tanto più facilmente questo raggio potrà emergere dalla seconda faccia.

Suppongasi adunque che LI sia parallela ad AB, allora l'angolo  $r$  avendo il suo valore massimo è eguale all'angolo limite  $l$  del prisma. D'altronde, l'angolo EPK esterno al triangolo IPE, eguaglia  $r+i'$ ; ma gli angoli EPK ed A sono eguali perchè hanno i lati rispettivamente perpendicolari; dunque  $A = r+i'$ , e quindi anche  $A = l+i'$ , perchè nel caso che consideriamo si ha  $r = l$ . Per

conseguenza se fosse  $A = 2l$ , ovvero  $A > 2l$ , si avrebbe  $i' = l$ , ovvero  $i' > l$ ; dunque non vi potrebbe essere emergenza dalla seconda faccia, ma riflessione interna ed emergenza soltanto dalla terza faccia BC.

A più forte ragione, avverrà altrettanto dei raggi il cui angolo di incidenza sia minore di BIN, perchè si è veduto poch'anzi che in tal caso l'angolo  $i'$  va crescendo. Pertanto nel caso in cui l'angolo rifrangente del prisma sia eguale o maggiore di  $2l$ , non può passare alcun raggio luminoso attraverso alle facce dell'angolo rifrangente.

Siccome l'angolo limite del vetro è  $41^\circ 48'$ , il doppio di quest'angolo è minore di  $90^\circ$ ; d'onde si conchiude che non si possono vedere gli oggetti attraverso ad un prisma di vetro il cui angolo rifrangente sia retto. L'angolo limite dell'acqua essendo invece  $48^\circ 35'$ , la luce può ancora attraversare l'angolo retto d'un prisma cavo che fosse formato con tre lastre di vetro ed empito d'acqua.

Nel caso in cui l'angolo A sia minore di  $2l$ , vi è sempre emergenza dalla seconda faccia di una parte della luce incidente sulla prima, e la quantità di luce che allora passa dipende dall'incidenza dei raggi diretti LI. Se l'angolo A è compreso tra  $l$  e  $2l$ , una parte dei raggi incidenti compresi nell'angolo NIB può emergere, ma tutti quelli compresi nell'angolo NIA subiscono la riflessione totale sulla faccia AC. Per  $A > 0$  e  $< l$ , possono passare tutti i raggi compresi nell'angolo NIB ed una parte di quelli compresi nell'angolo NIA.

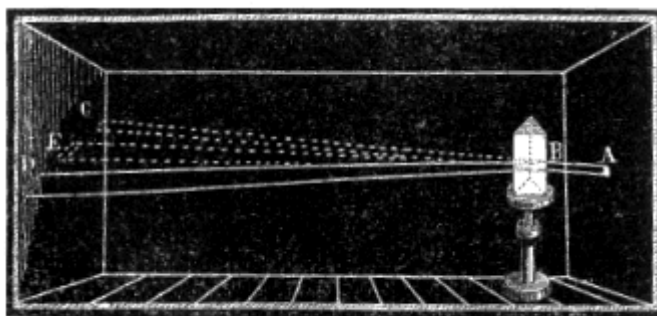


Fig. 280.

**441. Deviazione minima.** – Quando si riceve un fascio di luce solare attraverso ad un'apertura A, praticata nell'imposta di una camera oscura, (fig. 280), si osserva che il fascio va a proiettarsi secondo la retta AC sopra un diaframma lontano.

Ma se tra l'apertura dell'imposta ed il diaframma si interpone un prisma verticale, il fascio è deviato verso la base del prisma e viene a proiettarsi in D lungi dal punto C. Allora facendo girare il sostegno del prisma in modo che l'angolo d'incidenza decresca, si vede il disco luminoso D avvicinarsi al punto C sino ad una certa posizione E, oltre la quale, se si continua a far girare il prisma nello stesso verso, il disco retrocede. Evvi dunque una deviazione EBC minore di tutte le altre. Si dimostra col calcolo che questa *deviazione minima* avviene quando gli angoli di incidenza e di emergenza sono eguali.

L'angolo di deviazione minima si può determinare col calcolo, quando si conoscano l'angolo d'incidenza e l'angolo rifrangente. Infatti, siccome quando avvii deviazione minima l'angolo di emergenza  $r'$  è eguale all'angolo di incidenza  $i$  (fig. 197), bisogna che sia  $r = i'$ . Ora si è veduto più sopra (440) che  $A = r + i'$ ; dunque  $A = 2r$  [1].

Ciò posto, se si rappresenta con  $d$  l'angolo di deviazione minima /DL, siccome quest'angolo è esterno al triangolo DIE, si trova facilmente l'equazione:

$$d = i - r + r' - i' = 2i - 2r, \text{ ossia } d = 2i - A \quad [2],$$

la quale fa conoscere l'angolo  $d$  quando siano noti gli angoli  $i$  ed  $A$ .

Dalle formole [1] e [2] se ne deduce una terza, la quale serve a calcolare l'indice di rifrazione d'un prisma, quando se ne conosca l'angolo rifrangente e la deviazione minima. infatti, siccome l'indice di rifrazione è il rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di rifrazione, rappresentandolo con  $n$ , si ha  $n = \text{sen } i / \text{sen } r$ , e sostituendo ad  $i$  e ad  $r$  i loro valori cavati dalle formole precedenti [1] e [2] risulta:

$$n = \text{sen } [(A+d)/2] / \text{sen } a/2 \quad [3]$$

**442. Misura dell'indice di rifrazione dei solidi.** - Per mezzo della formula [3] suesposta, si calcola facilmente l'indice di rifrazione quando siano noti gli angoli  $A$  e  $d$ .

Per determinare dapprima l'angolo  $A$ , si taglia in forma di prisma triangolare la sostanza trasparente di cui si vuole conoscere l'indice di rifrazione, poi si misura l'angolo  $A$  del prisma per mezzo di un *goniometro* (429).

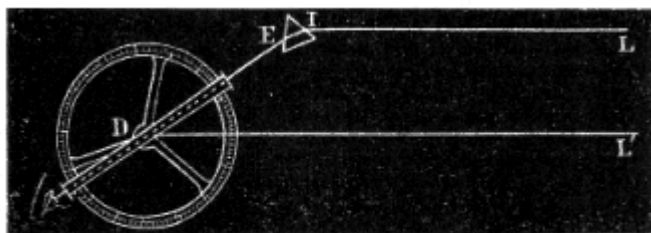


Fig. 281.

L'angolo  $d$  si misura nel seguente modo: si riceve sul prisma un raggio LI emesso da un oggetto lontano (fig. 281), e si fa ruotare il prisma in modo di ottenere la deviazione minima ED. Allora, misurando con un grafometro a cannocchiale l'angolo EDL' che fa il raggio rifratto DE col raggio DL' proveniente direttamente dall'oggetto, quest'angolo altro non è che la deviazione minima, supposto che l'oggetto sia abbastanza lontano perchè i due raggi LI ed L'D riescano sensibilmente paralleli. Altro non rimane che a sostituire i valori di  $A$  e di  $d$  nella formula [3], per dedurre il valore dell'indice  $n$ .

Questo processo, che è dovuto a Newton, non può essere applicato che ai corpi trasparenti; ma Wollaston fece conoscere un altro metodo col quale si può calcolare l'indice di rifrazione di un corpo opaco mediante la determinazione del suo angolo limite.

**443. Misura dell'indice di rifrazione dei liquidi.** - Biot ha applicato il metodo di Newton, cioè quello della deviazione minima, alla ricerca dell'indice di rifrazione dei liquidi. Per ciò in un prisma di vetro PQ (fig. 282) si pratica una cavità cilindrica O di circa 2 centimetri di diametro, e che si stende dalla faccia di incidenza a quella di emergenza. Questa cavità si chiude con due piastre di vetro a facce esattamente parallele, le quali si applicano sulle facce del prisma. Una piccola apertura B che si chiude con un turacciolo smerigliato serve ad introdurre i liquidi. Dopo avere determinato l'angolo rifrangente e la deviazione minima del prisma liquido contenuto nella cavità O, si introducono i valori di questi angoli nella formola [3] del paragrafo 441 e se ne deduce il valore dell'indice.

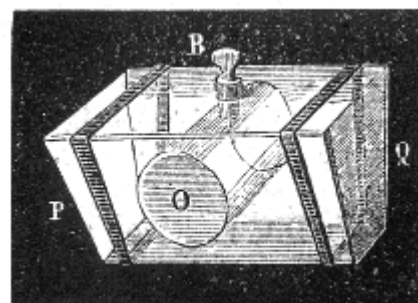


Fig. 282.

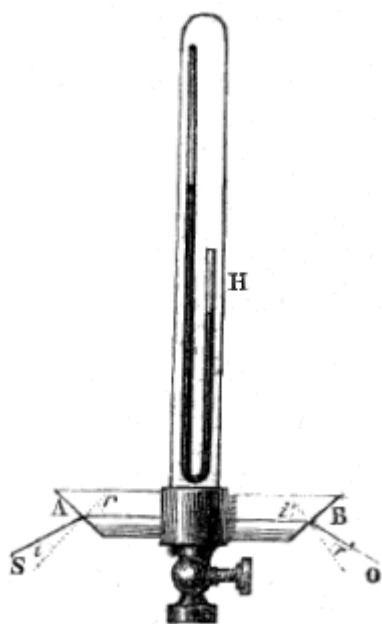


Fig. 283.

**444. Misura dell'indice di rifrazione del gas.** - Collo stesso metodo di Newton fu pure determinato l'indice di rifrazione del gas da Biot ed Arago. L'apparato di cui si servirono questi fisici si compone di un tubo di vetro AB (fig. 283) tagliato ad ugnatura alle sue estremità e chiuso da due lastre di vetro a facce parallele, inclinate tra loro di  $143^\circ$ . Questo tubo comunica da una punta con una campana H, nella quale trovasi un barometro a sifone, e dall'altra con un rubinetto per mezzo del quale si può fare il vuoto nell'apparato ed introdurvi in seguito diversi gas. Fatto il vuoto nel tubo AB lo si fa attraversare da un raggio di luce SA, il quale, alla prima incidenza, si allontana dalla normale d'una quantità  $r-i$ , e si avvicina alla normale di una quantità  $i'-r'$  alla seconda incidenza. Siccome queste due deviazioni si sommano, così la deviazione totale  $d$  è  $r-i+i'-r'$ . Ora, nel caso della deviazione minima si ha  $i = r'$  ed  $r = i'$ , onde risulta  $d = A-2i$ , perché  $r+i' = A$  (440).

Adunque l'indice dal vuoto all'aria, che è evidentemente  $\text{sen } r / \text{sen } i$ , ha per valore:

$$n = \text{sen } A/2 / \text{sen } [(A-d)/2] \quad [4].$$

Basta pertanto conoscere l'angolo rifrangente  $A$  e l'angolo di deviazione minima  $d$ , per dedurne l'indice di rifrazione dal vuoto all'aria, indice che si chiama *assoluto* o *principale*.

Per ottenere l'indice assoluto di un gas diverso dall'aria, dopo aver fatto il vuoto nell'apparecchio, vi si introduce questo gas, indi, misurati gli angoli  $A$  e  $d$ , la formola [4] precedente fa conoscere l'indice di rifrazione dal gas all'aria. Conoscendo già l'indice dal vuoto all'aria, il rapporto di questi due indici dà l'indice di rifrazione dal vuoto al gas dato, cioè il suo indice assoluto.

Col mezzo di questo apparecchio, Biot ed Arago hanno constatato che l'indice di rifrazione dei gas relativamente a quello dei solidi e dei liquidi è sempre piccolissimo, e che per uno stesso gas la *potenza rifrattiva* è proporzionale alla densità, intendendo per potenza rifrattiva di una sostanza il quadrato del suo indice di rifrazione diminuito di una unità, cioè il valore dell'espressione  $n^2-1$ . Il quoziente detta potenza rifrattiva per la densità si chiama *potere rifrangente*.

Tavola degli indici assoluti di rifrazione

SOSTANZE	INDICI	SOSTANZE	INDICI
Diamante	1,755	Alcool	1,374
Rubino	1,779	Albumina	1,360
Spatto d'Islanda, rifl. ordin.	1,6543	Etere	1,358
“ “ rifl. straord.	1,4833	Umore acqueo	1,3366
Vetro di Flint	1,605	Cristallino	1,384
Quarzo, rifl. ordinario	1,558	Umore vitreo	1,3394
“ rifl. straordinario	1,548	Acqua	1,3358
Vetro di Saint-Gobin	1,543	Ghiaccio	1,310
Vetro di Crown	1,534	Aria	1,0003

## LENTI, LORO EFFETTI

**445. Differenti specie di lenti.** - Si chiamano *lenti* certi mezzi diafani che, attesa la curvatura della loro superficie, hanno la proprietà di rendere convergenti o divergenti i raggi luminosi che li attraversano. Secondo il genere di curvatura, le lenti si chiamano sferiche, cilindriche, ellittiche, paraboliche. Negli strumenti di ottica si usano soltanto le lenti sferiche. Esse si costruiscono

generalmente di *crown*, vetro che non contiene piombo, o di *flint*, vetro con piombo e più rifrangente del *crown*.

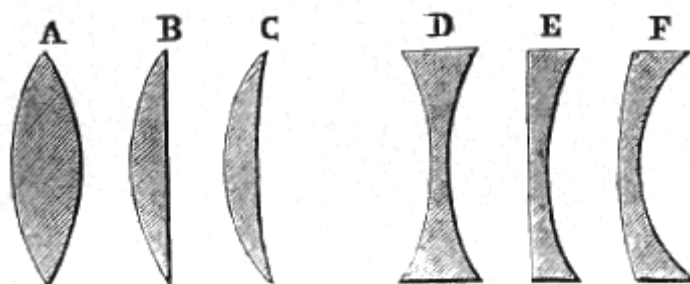


Fig. 284.

Combinando le superficie sferiche tra loro o con superficie piane, si formano sei specie di lenti rappresentate in sezione nella figura 284; quattro sono terminate da due superficie sferiche, e due da una superficie piana ed una sferica.

La prima A si chiama *bi-convessa*; la seconda B, *piano-convessa*; la terza C, *concavo-convessa convergente*; la quarta D, *bi-concava*; la quinta E, *piano-concava*; e l'ultima F, *concavo-concava divergente*. La lente C si chiama anche *menisco convergente*, e la lente F, *menisco divergente*.

Le prime tre, le quali sono più grosse al centro che agli orli, sono *convergenti*; le ultime, più sottili al centro che agli orli, sono *divergenti*. Nel primo gruppo basta considerare la lente bi-convessa, e nel secondo la bi-concava, perchè le proprietà di ciascuna di queste lenti si applicano rispettivamente a quelle del medesimo gruppo.

Nelle lenti le cui superficie sono ambedue sferiche si chiamano *centri di curvatura* i centri di queste superficie; la retta indefinita che passa per questi due centri dicesi *asse principale*. Nelle lenti piano-concave e piano-convexe, l'asse principale è la perpendicolare condotta dal centro della faccia sferica alla faccia piana.

Per poter paragonare l'andamento dei raggi luminosi nelle lenti a quello che essi seguono nei prismi, si fa la stessa ipotesi che per gli specchi curvi (418), cioè si suppongono le superficie delle lenti formate da un indefinito numero di elementi piani infinitamente piccoli; allora, la *normale* in un punto qualunque è la perpendicolare al piano tangente che contiene l'elemento corrispondente. Si sa dalla geometria che tutte le normali ad una superficie sferica passano pel suo centro. Nell'ipotesi ora enunciata si possono sempre immaginare ai punti di incidenza e di emergenza due superficie piane più o meno inclinate tra loro e che producono per tal modo l'effetto del prisma. Continuando questo confronto, si possono paragonare le tre lenti A, B, C ad una serie di prismi riuniti colle loro basi, e le lenti D, E, F ad una serie di prismi riuniti coi loro vertici: il che dimostra come le prime debbano ravvicinare i raggi gli uni agli altri e le altre allontanarli, perchè si è veduto che un raggio luminoso il quale attraversa un prisma, è deviato verso la base di esso (439).

**446. Fochi nelle lenti bi-convexe.** - Nelle lenti, come negli specchi, chiamansi *fochi* i punti in cui concorrono i raggi rifratti od i loro prolungamenti. Le lenti bi-convexe presentano le stesse specie di fochi degli specchi concavi, cioè: dei fochi reali e dei fochi virtuali.

*Foco reale.* - Consideriamo dapprima, come l'abbiamo fatto per gli specchi il caso in cui i raggi luminosi che cadono sulla lente siano paralleli al suo asse principale, come viene rappresentato dalla fig. 285.

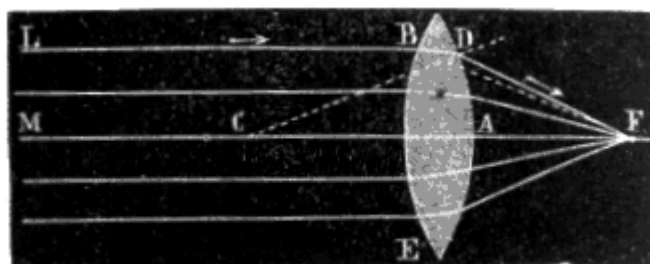


Fig. 285.

In questo caso, ogni raggio incidente LB, avvicinandosi alla normale al punto di incidenza B, ed allontanandosene al punto di emergenza D, si rifrange due volte verso l'asse e lo interseca in F. Siccome tutti i raggi paralleli all'asse si rifrangono nello stesso modo, così vengono a passare tutti sensibilmente per lo stesso punto F, fintanto che l'arco DE non sorpassa 10 o 12 gradi. Questo punto è il *foco principale*, e la distanza FA è la *distanza focale principale*. Essa è costante per una medesima lente, ma variabile coi raggi di curvatura e coll'indice di rifrazione. Nelle lenti ordinarie, che sono di crown, il foco principale coincide quasi col centro di curvatura.

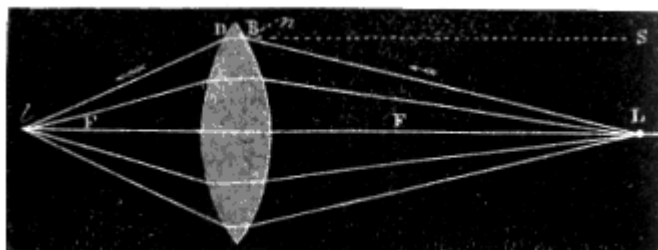


Fig. 286.

Diasi il caso in cui l'oggetto luminoso essendo al di là del foco principale, è abbastanza ravvicinato perchè tutti i raggi incidenti formino un fascetto divergente come lo rappresenta la figura 286. In questo caso, rappresentando con L il punto da cui emanano i raggi luminosi; confrontando l'andamento del raggio divergente LB con quello del raggio SB parallelo all'asse, si riconosce che il primo fa colla normale un angolo  $LBn$  maggiore dell'angolo  $SBn$ , e che, per conseguenza, deve fare anche un angolo di rifrazione maggiore, d'onde risulta che, dopo avere attraversata la lente, esso incontra l'asse in un punto  $l$  al di là del foco principale F. Siccome tutti i raggi partiti dal punto L vengono così a concorrere sensibilmente nello stesso punto  $l$ , quest'ultimo è il *foco coniugato* del punto L; questa denominazione esprime qui, del pari che negli specchi, la relazione che esiste tra i due punti L ed  $l$ , relazione per la quale, se il punto luminoso vien portato in  $l$ , il suo foco passa reciprocamente in L.

Di mano in mano che l'oggetto L si avvicina alla lente, la divergenza dei raggi emergenti aumenta, ed il foco  $l$  si allontana, quando l'oggetto L coincide col foco principale, i raggi emergenti dall'altro lato della lente sono paralleli all'asse, ed allora non v'è più foco, o, ciò che torna lo stesso, il foco si forma a distanza infinita. In questo caso, siccome i raggi rifratti sono paralleli, l'intensità della luce diminuisce assai lentamente, per cui una sola lampada può allora illuminare a grande distanza. Perciò basta collocarla al foco principale di una lente biconvessa, come mostra la figura 287.

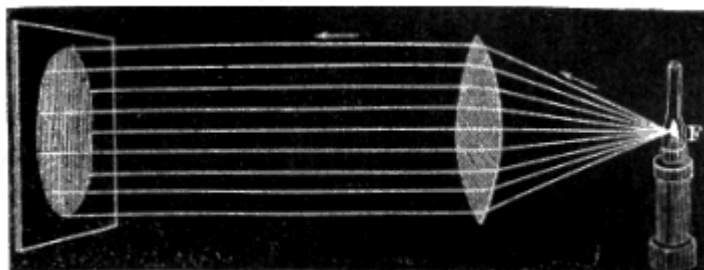


Fig. 287.

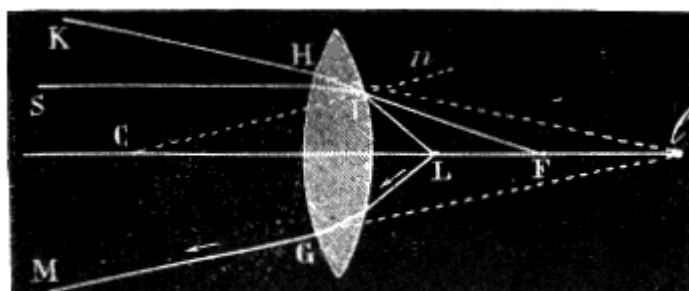


Fig. 288.

**Foco virtuale.** - Colle lenti bi-convesse il foco è virtuale quando l'oggetto luminoso  $L$  è collocato tra la lente ed il foco principale, come nella figura 288. In questo caso siccome i raggi incidenti  $LI$ , formano colla normale alcuni angoli maggiori di quelli formati dai raggi  $FI$  emessi dal foco principale, ne segue che dopo l'emergenza i primi di questi raggi si allontanano dall'asse più degli ultimi, e formano un fascio divergente  $HK$ ,  $GM$ . Adunque questi raggi non possono formare alcun foco reale, ma i loro prolungamenti concorrono in uno stesso punto  $I$  situato sull'asse; questo punto è il foco virtuale del punto  $L$  (413).

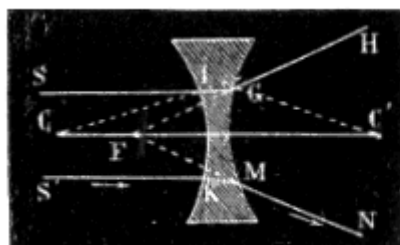


Fig. 289.

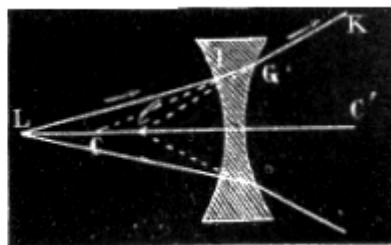


Fig. 290.

**447. Fochi nelle lenti bi-concave.** - Colle lenti bi-concave non si formano che fochi virtuali, qualunque sia la distanza dell'oggetto. Si consideri dapprima un fascio di raggi paralleli all'asse (fig. 289); un raggio qualunque  $SI$  si rifrange al punto d'incidenza  $I$  avvicinandosi alla normale  $CI$ . Al punto di emergenza  $G$  si rifrange di nuovo, ma allontanandosi dalla normale  $GC'$ , in modo che si piega due volte nello stesso senso allontanandosi sempre dall'asse  $CC'$ . Siccome lo stesso accade di qualunque altro raggio  $S'KMN$ , ne segue che i raggi, dopo avere attraversata la lente, formano un fascio divergente  $GH$ ,  $MN$ . Non può dunque esservi foco reale, ma i prolungamenti di questi raggi si incontrano in un punto  $F$ , che è il foco virtuale principale.

Nel caso in cui i raggi partano da un punto  $L$  (fig. 290), situato sull'asse, si trova, mediante la stessa costruzione, che si forma un foco virtuale in  $I$ , situato tra il foco principale e la lente.

**448. Determinazione sperimentale del foco principale delle lenti.** - Per determinare il foco principale di una lente bi-concava basta esporla ai raggi solari in modo che il suo asse principale sia parallelo ai medesimi. Allora, ricevendo il fascio emergente sopra un diaframma di vetro smerigliato, si determina facilmente il punto in cui vengono a concorrere i raggi; questo punto è il foco principale.

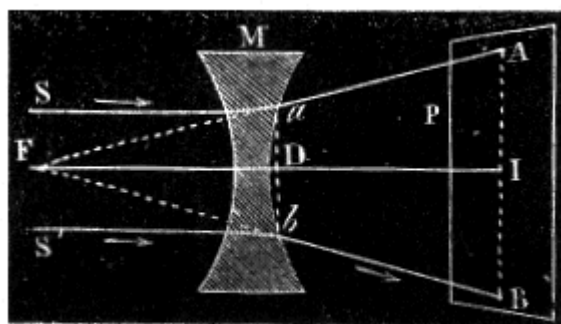


Fig. 291.

Se la lente è bi-concava, se ne copre la faccia  $aDb$  (fig. 291) con un corpo opaco, per es., con del nero-fumo, lasciando in uno stesso piano meridiano, e ad eguali distanze dall'asse, due piccoli dischi  $a$  e  $b$  non anneriti, i quali lasciano passare la luce; poi sull'altra faccia della lente si riceve un fascio di luce solare parallelo all'asse, e si muove all'innanzi o all'indietro il diaframma  $P$  su cui cadono i raggi emergenti, sino a tanto che le immagini  $A$  e  $B$  delle piccole aperture  $a$  e  $b$  riescano distanti l'una dall'altra del doppio di  $ab$ . Allora l'intervallo  $DI$  è la distanza focale richiesta, perchè siccome i triangoli  $Fab$  ed  $FAB$  sono simili,  $DI$  è uguale ad  $FD$ .

**449. Centro ottico, assi secondari.** - Per ogni lente esiste un punto denominato *centro ottico*, situato sull'asse e dotato della proprietà che ogni raggio luminoso il quale passi per questo punto non subisce alcuna deviazione angolare, cioè il raggio emergente è parallelo al raggio incidente. Per

dimostrare l'esistenza di questo punto in una lente biconvessa, si conducano dai centri della medesima alla superficie due raggi di curvatura paralleli  $CA$  e  $C'A'$  (fig. 292). Siccome i due elementi piani che appartengono alla superficie della lente in  $A$  ed in  $A'$  sono paralleli tra loro, perchè perpendicolari a due rette parallele, si può ammettere che il raggio rifratto  $KAA'K'$  si propaghi in un mezzo terminato da superficie parallele; per conseguenza, il raggio che si presenta in  $A$  sotto una inclinazione tale da seguire, dopo la rifrazione, la direzione  $AA'$ , deve emergere parallelamente alla sua direzione primitiva (437); adunque il punto  $O$  in cui la retta  $AA'$  incontra l'asse è il centro ottico. Per determinare la posizione di questo punto, nel caso in cui la curvatura delle due superficie sia la stessa, che è il caso più comune, basta osservare che i triangoli  $COA$  e  $C'O'A'$  sono eguali, e che si ha  $OC = OC'$ , dal che si deduce la posizione del punto  $O$ . Se le due curvature sono disuguali, i triangoli  $COA$  e  $C'O'A'$  sono simili, e dalla loro somiglianza si deduce il valore di  $CO$  o di  $C'O$  e per conseguenza la posizione del punto  $O$ .

Nelle lenti bi-concave e nelle concavo-convesse, il centro ottico si determina con una costruzione simile alla precedente. Nelle lenti che hanno una faccia piana, questo punto è situato alla intersezione dell'asse colla superficie curva.

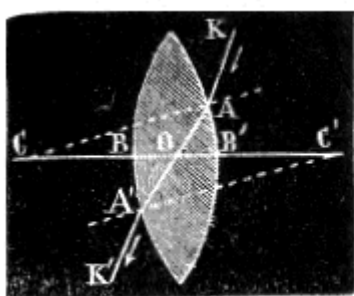


Fig. 292.

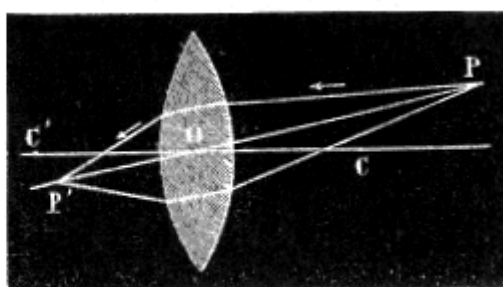


Fig. 293.

Ogni retta  $PP'$  (fig. 293) che passi pel centro ottico, senza passare nei centri di curvatura, è un *asse secondario*. Attesa la proprietà del centro ottico, ogni asse secondario rappresenta un raggio luminoso che passa per questo punto, perchè, stante la piccola grossezza delle lenti, si può ammettere che i raggi passanti pel centro ottico rimangano rettilinei, cioè si può trascurare la piccola deviazione che subiscono i raggi, restando pur sempre paralleli, quando attraversano obliquamente un mezzo terminato da facce parallele (fig. 276).

Fintanto che gli assi secondari non formano coll'asse principale che un piccolo angolo, si può applicare ai medesimi tutto ciò che si è detto dell'asse principale; cioè i raggi emessi da un punto  $P$  (fig. 293), situato sull'asse secondario  $PP'$  vengono a concorrere approssimativamente in uno stesso punto  $P'$  di quest'asse, ed il foco così formato è coniugato o virtuale secondo che la distanza del punto  $P$  dalla lente è maggiore o minore della distanza focale principale. Questo principio è la base di quanto segue sulla formazione delle immagini.

**450. Formazione delle immagini nelle lenti bi-convesse.** - Nelle lenti, del pari che negli specchi, l'immagine di un oggetto è il complesso dei fochi di ciascuno de' suoi punti; d'onde risulta che le immagini fornite dalle lenti sono reali o virtuali nelle stesse circostanze in cui lo sono i fochi, e che la loro costruzione si riduce alla ricerca di una serie di punti, come si è già veduto parlando degli specchi (422).

**1.° Immagine reale.** - Si consideri dapprima il caso in cui un oggetto  $AB$  (fig. 294) sia collocato davanti ad una lente bi-convessa al di là del foco principale. Se dal punto estremo  $A$  si conduce l'asse secondario  $Aa$ , qualunque raggio  $AC$  emesso da questo punto si rifrange in  $C$  e in  $D$ , due volte nello stesso senso, avvicinandosi all'asse secondario che va ad intersecare in  $a$ . Siccome anche gli altri raggi emessi dal punto  $A$ , secondo ciò che si disse nel paragrafo precedente, concorrono in  $a$ , questo punto è il foco coniugato del punto  $A$ . Ora, se si conduce l'asse secondario pel punto  $B$ , si trova parimenti che i raggi emessi da questo punto vanno a formare il loro foco in  $b$ , e siccome i punti situati tra  $A$  e  $B$  hanno evidentemente i loro fochi tra  $a$  e  $b$ , si forma un'immagine reale e rovesciata dell'oggetto  $AB$ .



Per vedere questa immagine, bisogna riceverla sopra un diaframma bianco che la riflette, ovvero collocar l'occhio nella direzione dei raggi emergenti.

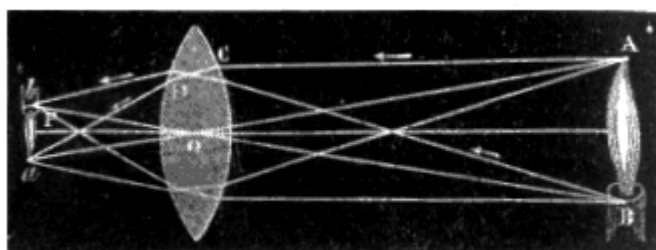


FIG. 294.

Reciprocamente, se  $ab$  fosse l'oggetto luminoso od illuminato che emette i raggi, la sua immagine si, formerebbe in  $AB$ . Da ciò ne derivano queste due conseguenze importanti per la teoria degli strumenti d'ottica che saranno descritti in seguito: 1.<sup>a</sup> *Se un oggetto, anche grandissimo, è molto lontano da una lente bi-convessa, l'immagine reale e rovesciata che se ne ottiene è piccolissima, assai vicina al foco principale ed un poco al di là di questo punto rispetto alla lente;* 2.<sup>a</sup> *reciprocamente, se un oggetto piccolissimo è collocato vicino al foco principale, ma un poco al di là, l'immagine che va a formarsi ad una grande distanza è ingrandita tanto più quanto l'oggetto è più vicino al foco principale.* Queste due conseguenze si possono constatare facilmente coll'esperienza, ricevendo su di un diaframma l'immagine della fiamma d'una candela collocata successivamente a diverse distanze al di là d'una lente bi-convessa.

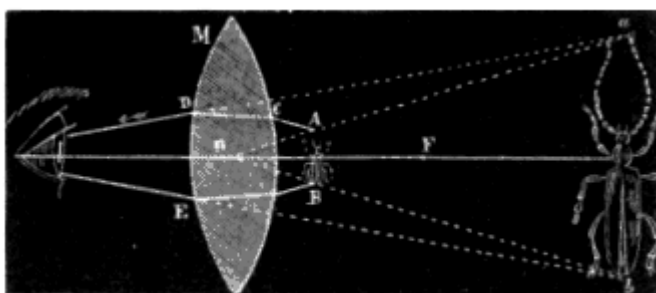


Fig. 295.

2.<sup>o</sup> *Immagine virtuale.* - Consideriamo ora il caso in cui l'oggetto  $AB$  (fig. 295) sia collocato tra la lente e il di lei foco principale. Se si conduce dal punto  $A$  l'asse secondario  $Oa$ , qualsiasi raggio  $AC$ , dopo essersi rifratto due volte, emerge divergente rispetto a quest'asse, perchè il punto  $A$  è collocato a distanza minore della distanza focale principale (446). Adunque questo raggio, prolungato in senso contrario alla sua direzione, incontra l'asse  $Oa$  in un punto  $a$ , che è il foco virtuale del punto  $A$ . Conducendo l'asse secondario nel punto  $B$ , si trova del pari che il foco virtuale di questo punto si forma in  $b$ . In  $ab$  si ha dunque l'immagine di  $AB$ . *Questa immagine è diritta, virtuale e più grande dell'oggetto.*

L'ingrandimento è tanto maggiore quanto più convessa è la lente e quanto più l'oggetto trovasi vicino al foco principale. In seguito si vedrà come si possa calcolare questo ingrandimento per mezzo di formole relative alle lenti (455). Le lenti bi-convesse, per tal modo adoperate come vetri d'ingrandimento, prendono il nome di *lenti* o di *microscopi semplici* (468).

**451. Formazione delle immagini nelle lenti bi-concave.** - Le lenti bi-concave, come gli specchi convessi, non danno che immagini virtuali qualunque sia la distanza dell'oggetto.

Sia infatti AB (fig. 296) un oggetto collocato davanti ad una di queste lenti. Se si conduce dapprima l'asse secondario pel punto A, tutti i raggi AC, AI, emessi da questo punto si rifrangono due volte nello stesso senso allontanandosi dall'asse AO; di modo che l'occhio il quale riceve i raggi emergenti DE e GR, li giudica partiti dal punto in cui i loro prolungamenti incontrano in *a* l'asse secondario AO. Del pari,

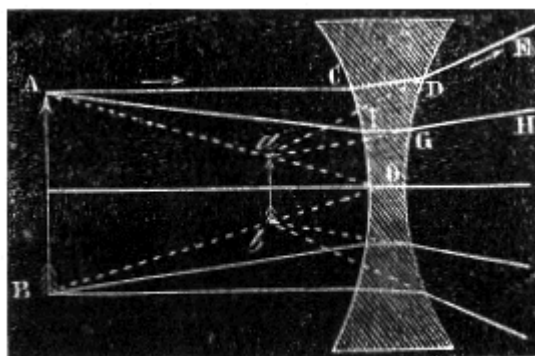


Fig. 296.

conducendo l'asse secondario pel punto B, i raggi emessi da questo punto formano un fascio di raggi divergenti le cui direzioni vanno a concorrere in *b*. L'occhio vede adunque in *ab* una immagine virtuale di AB, *la quale è sempre diritta e più piccola dell'oggetto.*

**452. Regola generale per la costruzione delle immagini nelle lenti.** - Esporremo qui una regola per la costruzione delle immagini nelle lenti, analoga a quella già data per gli specchi (424); innanzi tutto bisogna però osservare che siccome un punto situato sull'asse principale ha la sua immagine su quest'asse, così un punto posto su di un asse secondario ha del pari la sua immagine sull'asse secondario medesimo. Osserviamo inoltre che i soli raggi partiti da uno stesso punto formano un'immagine nel punto di loro intersezione, mentre i raggi partiti da punti differenti non danno mai immagine ancorchè si incontrino. Ciò posto, considerando il caso di una lente bi-convessa e supponendo l'oggetto collocato al di là del foco principale, l'immagine si ottiene colla costruzione seguente:

1.° Pel punto dato e pel centro ottico della lente si conduca l'asse secondario; 2.° si conduca dal punto dato un raggio incidente sulla lente; 3.° si unisca il punto di incidenza col centro di curvatura per mezzo di una retta che rappresenta la normale; 4.° si conduca il raggio rifratto avvicinandolo alla normale di una quantità determinata dietro il valore dell'indice di rifrazione dall'aria al vetro; 5.° si conduca la normale nel punto di emergenza; 6.° finalmente, si segni il raggio emergente il quale si allontanerà dalla normale e la cui direzione si determinerà col mezzo dell'indice di rifrazione dal vetro all'aria. Il punto in cui il raggio emergente così ottenuto incontra l'asse secondario è il luogo dell'immagine reale dal punto dato. Applicando la stessa costruzione a ciascuno dei punti di un oggetto collocato davanti ad una lente, se ne otterrà sempre l'immagine.

Se l'oggetto è collocato tra la lente e il suo foco principale, si fanno ancora le stesse costruzioni; in tal caso però non sono più i raggi emergenti che incontrano l'asse secondario, ma bensì i loro prolungamenti.

La stessa regola vale anche per le lenti bi-concave.

**453. Aberrazione di sfericità, caustiche.** - Nella teoria dei fochi e delle immagini presentate dalle diverse specie di lenti sferiche si suppose fin qui che i raggi emessi da uno stesso punto, dopo rifratti andassero a riunirsi assai sensibilmente in un punto solo. Così avviene infatti quando l'apertura della lente, cioè l'angolo che si ottiene congiungendo i suoi orli col foco, non sorpassa 10 o 12 gradi. Per un'apertura maggiore, i raggi che attraversano la lente presso agli orli hanno il loro punto di riunione più vicino alla lente di quelli che la attraversano presso all'asse: ossia si produce un fenomeno analogo a quello che si è osservato negli specchi (428), sotto il nome di *aberrazione di sfericità per rifrazione*. Le superficie lucenti, che allora si formano nello spazio a cagione delle intersezioni successive dei raggi rifratti, si chiamano *caustiche per rifrazione*.

L'aberrazione di sfericità nuoce alla chiarezza delle immagini. Si ovvia a questo inconveniente delle lenti, collocando innanzi ad esse dei diaframmi aventi un'apertura centrale in modo di lasciar passare i raggi che si presentano verso il centro e di trattenere quelli che tendono a rifrangersi presso ai lembi. Del resto, combinando due lenti di curvature convenienti si giunge a distruggere l'aberrazione di sfericità.

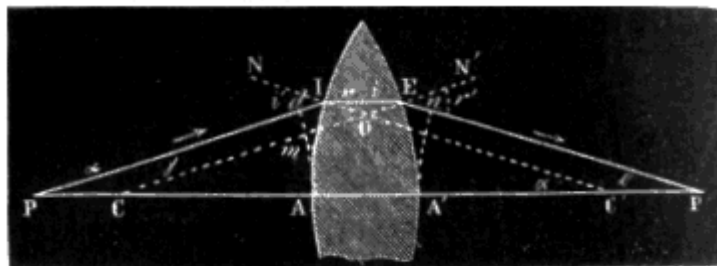


Fig. 297.

**454. Formole relative alle lenti.** - Per qualunque lente, si può tradurre in equazione la relazione che sussiste tra la distanza dell'immagine, quella dell'oggetto, il raggio di curvatura e l'indice di rifrazione della sostanza di cui è formata la lente. Si consideri dapprima il caso di una lente bi-convessa; rappresentando con P un punto luminoso situato sull'asse principale (fig. 297), con PI un raggio incidente, con IE la sua direzione nell'interno della lente, con EP' il raggio emergente, di modo che P' sarà il foco coniugato di P. Inoltre siano C'I e CE le normali ai punti di incidenza e di emergenza, si chiami  $\alpha$ ,  $\text{EP}'\text{A}' = \beta$ ,  $\text{ECA}' = \gamma$ ,  $\text{IC}'\text{A}' = \delta$ ,  $\text{NIP} = i$ ,  $\text{EIO} = r$ ,  $\text{IEO} = i'$ ,  $\text{N}'\text{EP}' = r'$ .

Siccome gli angoli  $i$  ed  $r'$  sono esterni l'uno al triangolo PIC', l'altro al triangolo CEP', si ha  $i = \alpha + \delta$ , ed  $r' = \gamma + \beta$ , d'onde

$$i + r' = \alpha + \beta + \gamma + \delta \quad [1].$$

Ora, al punto I si ha  $\text{sen } i = n \text{ sen } r$ , ed al punto E,  $\text{sen } r' = n \text{ sen } i'$  (433); ma supponendo l'arco AI di un piccolissimo numero di gradi, altrettanto è degli angoli  $i$ ,  $r$ ,  $i'$  ed  $r'$ , e si possono sostituire nelle formole precedenti ai seni  $i$  loro archi, ciò che dà  $i = nr$  ed  $r' = ni'$ ; d'onde  $i + r' = n(r + i')$ . D'altronde, siccome i due triangoli IOE e COC hanno l'angolo O eguale, si ha  $r + i' = \gamma + \delta$ , da cui  $i + r' = n(\gamma + \delta)$ .

Sostituendo questo valore nell'equazione [1], risulta:

$$n(\gamma + \delta) = \alpha + \beta + \gamma + \delta, \text{ ovvero } (n-1)(\gamma + \delta) = \alpha + \beta \quad [2].$$

Ciò posto, se si immagina che gli archi  $\alpha$  e  $\gamma$  siano descritti coi centri P e C e con raggio eguale all'unità, e se col centro in P e raggio PA si descrive l'arco dA, si hanno le proporzioni

$$\alpha/\text{Ad} = 1/\text{PA} \text{ e } \gamma/\text{A'E} = 1/\text{CA}'; \text{ d'onde si deduce:}$$

$$\alpha = \text{AD}/\text{PA} \text{ e } \gamma = \text{A'E}/\text{CA}', \text{ ovvero ponendo } \text{AP} = p, \text{ CA}' = R,$$

e sostituendo all'arco Ad l'arco AI che gli è sensibilmente eguale,

$$\alpha = \text{AI}/P \text{ e } \gamma = \text{A'E}/R.$$

Per l'altra faccia della lente, se si suppongono ancora gli archi  $\beta$  e  $\delta$  descritti con raggio eguale all'unità, e l'arco A'n descritto col raggio P'A', ponendo C'A = R' ed A'P' =  $p'$ , si ha parimenti:

$$\delta = \text{AI}/R' \text{ e } \beta = \text{A'n}/\text{P'A}' = \text{A'E}/p'$$

Sostituendo questi valori nell'equazione [2], si ha:

$$(n-1)(\text{A'E}/R + \text{AI}/R') = \text{AI}/p + \text{A'E}/p'.$$

Ammettendo che gli archi A'E ed AI sieno eguali, ciò che è tanto più prossimo al vero quanto meno i raggi incidenti si allontanano dall'asse, si può sopprimere il fattore comune e si ha:

$$(n-1)(1/R + 1/R') = 1/p + 1/p' \quad [3].$$

Questa è la formola per le lenti biconvesse. Ponendovi  $p = \infty$ , si trova:

$$1/p' = (n-1)(1/R + 1/R'),$$

in cui  $p'$  indica la distanza focale principale. Rappresentandola con  $f$  si ha

$$1/f = (n-1)(1/R + 1/R') \quad [4];$$

equazione dalla quale è facile dedurre il valore di  $f$ . Avuto riguardo alla formola [4], la formola [3] diventa:

$$1/p + 1/p' = 1/f \quad [5],$$

forma sotto la quale viene adoperata comunemente.

Quando l'immagine è virtuale,  $p'$  cangia di segno, e la formola [5] prende la forma

$$1/p - 1/p' = 1/f \quad [6].$$

Nelle lenti bi-concave  $p'$  ed  $f$  conservano lo stesso segno, ma cangia quello di  $p$ , allora la formola [5] diventa:

$$1/p - 1/p' = -1/f \quad [7].$$

Del resto la formola [7] potrebbe ottenersi con ragionamenti simili ai precedenti.

**455. Misura dell'ingrandimento.** - L'ingrandimento che dà una lente semplice si deduce facilmente dalla formola [6] precedente, la quale si applica all'immagine virtuale.

Infatti, essendo AB l'oggetto la cui immagine si forma in  $ab$  (fig. 295), se si immagina condotta una retta da A in B ed un'altra da  $a$  in  $b$ , si hanno due triangoli simili Oab ed OAB, i quali danno la proporzione  $ab/\text{AB} = p'/p$ . Ora, l'ingrandimento altro non è che il rapporto  $ab/\text{AB}$ ; dunque esso può anche esprimersi col rapporto  $p'/p$ . Per conseguenza, basta cavare quest'ultimo rapporto dall'equazione  $1/p - 1/p' = 1/f$  la quale conduce a quest'altra:  $p'/p = f/(f-p)$ .

L'ingrandimento adunque è eguale ad  $f/(f-p)$ .

## CAPITOLO IV

### DISPERSIONE ED ACROMATISMO

**456. Decomposizione della luce bianca, spettro solare.** - Il fenomeno della rifrazione non è così semplice come abbiamo finora supposto: quando la luce *bianca*, cioè quella che ci giunge dal sole, passa da un mezzo in un altro, non è soltanto deviata ma è anche *decomposta in parecchie specie di luce*. Questo fenomeno si chiama *dispersione*.

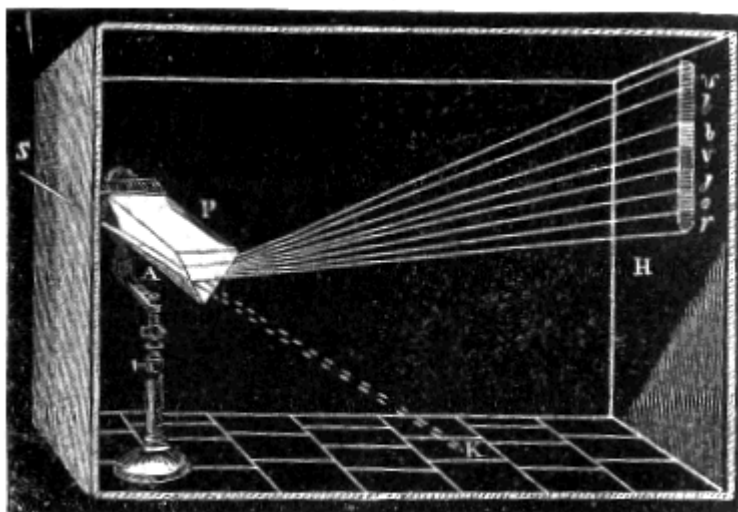


Fig. 298.

Per dimostrare che la luce bianca è decomposta per effetto della rifrazione, si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare SA (fig. 298), attraverso ad una piccolissima apertura praticata nell'imposta. Questo fascio tende a formare in K un'immagine del sole rotonda ed incolore; ma se s'interpone sul suo passaggio un prisma di flint P, disposto orizzontalmente, il fascio, all'ingresso ed all'uscita dal prisma, si rifrange verso la base di esso, ed invece di una immagine rotonda ed incolore si riceve sopra un diaframma lontano una immagine H, la quale nella direzione orizzontale ha la stessa dimensione del fascio primitivo, ma è oblunga in direzione verticale e colorata delle belle tinte dell'arcobaleno. Questa immagine colorata chiamasi *spettro solare*. Nello spettro solare trovansi realmente innumerevoli tinte, ma se ne distinguono sette principali, disposte, partendo dalla più rifrangibile, nell'ordine seguente: violetto, indaco, turchino, verde, giallo, ranciato, rosso. Questi colori non occupano tutti una eguale estensione nello spettro; il violetto è il più esteso, e il ranciato lo è meno di tutti.

Con prismi diafani di differenti sostanze, o con prismi di vetro cavi riempiti di diversi liquidi, si ottengono costantemente degli spettri formati cogli stessi colori e disposti nello stesso ordine; ma ad angolo rifrangente uguale, la lunghezza dello spettro varia colla sostanza di cui è formato il prisma. Quelle che le danno maggiore estensione diconsi più *dispersive*, e la dispersione si misura colla differenza degli indici di rifrazione dei raggi estremi dello spettro. Pel flint questa differenza è 0,0433, pel crown è 0,0246; la dispersione del flint adunque è quasi doppia di quella del crown.

Per prismi della stessa sostanza, la dispersione decresce coll'angolo rifrangente del prisma; infatti, se quest'angolo fosse nullo, le facce d'incidenza e di emergenza sarebbero parallele e la luce non verrebbe decomposta.

Negli spettri forniti dalle luci artificiali non si osservano colori diversi da quelli che presenta lo spettro solare, ed il loro ordine è lo stesso; ma in generale ne manca qualcuno. Anche la loro intensità relativa è assai modificata. La tinta che predomina in una fiamma artificiale è pur quella che predomina nel suo spettro. Le fiamme gialle, rosse, verdi, danno spettri ove la tinta predominante è il giallo, il rosso, il verde.

Per produrre uno spettro solare i cui sette colori principali siano ben distinti, l'apertura per la quale entra la luce solare non deve avere che alcuni millimetri di diametro, e se l'angolo rifrangente del prisma è di  $60^\circ$ , il diaframma sul quale si riceve lo spettro deve esserne lontano da 5 a 6 metri.

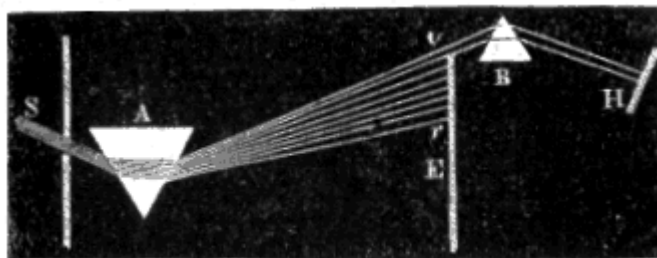


Fig. 299.

**457. I colori dello spettro sono semplici e disugualmente rifrangibili.** - Se si isola uno dei colori dello spettro intercettando gli altri per mezzo di un diaframma E, come mostra la figura 299, e lo si fa passare attraverso ad un secondo prisma B, si osserva pur tuttavia una deviazione, ma la luce rimane identicamente uguale, cioè l'immagine ricevuta sul diaframma H è rossa, quando si è lasciato passare il fascio rosso; turchina, se si è lasciato passare il fascio turchino. Questo fenomeno dimostra che i colori dello spettro sono *semplici*, cioè indecomponibili per mezzo del prisma.

Inoltre i colori dello spettro sono disugualmente rifrangibili, cioè hanno indici di rifrazione differenti.

La forma allungata dello spettro basterebbe a dimostrare l'ineguale rifrangibilità dei colori semplici, perchè è evidente che il colore violetto, il quale è il più deviato verso la base del prisma (fig. 298), è

anche il più rifrangibile, e che il rosso, il quale è meno deviato, è il meno rifrangibile. Ma si può constatare la ineguale rifrangibilità dei colori semplici con parecchie esperienze. Citeremo le due seguenti:

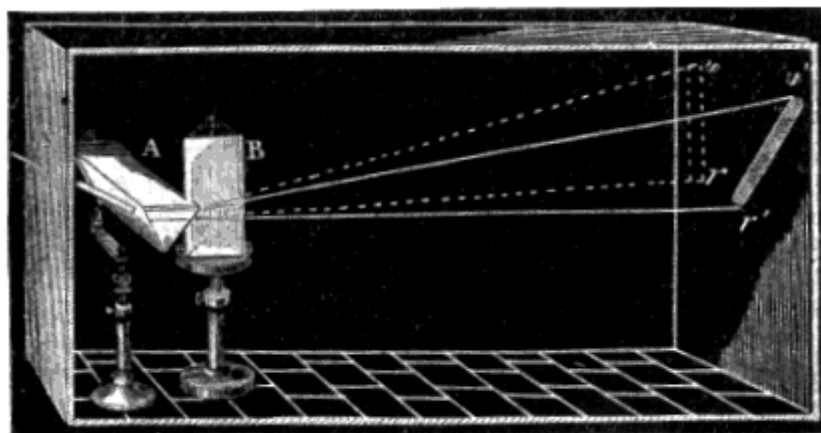


Fig. 300

1.° Si fissano sopra un cartone nero, l'una vicina all'altra, due piccole liste di carta, una rossa e l'altra violetta; indi si guardano attraverso ad un prisma. Si vedono allora deviate entrambe, ma disugualmente; la lista rossa è deviata meno della violetta, il che dimostra che i raggi rossi sono meno rifrangibili dei violetti.

2.° L'ineguale rifrangibilità dei colori semplici si dimostra anche mediante l'esperimento dei prismi incrociati di Newton. Sopra un primo prisma A (fig. 300), disposto orizzontalmente, si riceve un fascio di luce bianca S, il quale, quando attraversa soltanto il prisma A, forma uno spettro rv su di un diaframma lontano. Se allora si colloca verticalmente dietro del primo un secondo prisma B, in modo che sia attraversato dal fascio rifratto, lo spettro vr è deviato verso la base del prisma verticale; ma invece di essere deviato parallelamente a sè stesso, come avverrebbe se i colori dello spettro fossero rifratti egualmente, è deviato obliquamente, e prende la posizione  $r'v'$ , ciò che dimostra come partendo dal rosso sino al violetto, i colori siano sempre più rifrangibili.

Questi diversi esperimenti dimostrano che l'indice di rifrazione varia secondo i colori; bisogna notare inoltre che non tutti i raggi di un medesimo colore hanno lo stesso indice. Infatti, nella zona rossa, per esempio, i raggi che formano l'estremità dello spettro, sono meno rifratti di quelli che si trovano vicini alla zona ranciata. Nei calcoli degli indici di rifrazione (442), si convenne di prendere per indice di una sostanza quello del raggio giallo nello spettro formato da questa sostanza.

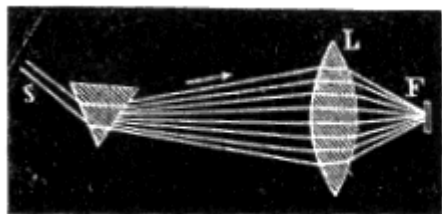


Fig. 301.

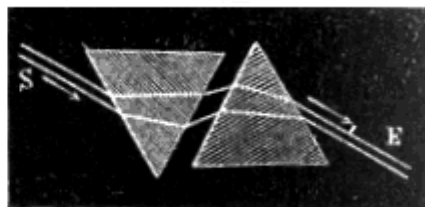


Fig. 302.

**458. Ricomposizione della luce bianca.** - Dopo aver decomposta la luce bianca, rimaneva a conoscere se si poteva riprodurla riunendo i diversi fasci separati dal prisma. Ora questa ricomposizione si può operare per mezzo di moltissimi processi.

1.° Se si riceve lo spettro su di un secondo prisma che abbia l'angolo rifrangente uguale a quello del primo, e sia rivolto in senso contrario, come lo mostra la figura 302, i diversi colori dello spettro vengono riuniti da questo secondo prisma, e si osserva che il fascio emergente E, parallelo al fascio S, è incolore.

2.° Ricevendo lo spettro su di una lente bi-convessa (fig. 301), e collocando un diaframma bianco al suo foco, si riceve un'immagine bianca del sole; un pallone di vetro pieno d'acqua produrrebbe lo stesso effetto della lente.

3.° Facendo cadere lo spettro su di uno specchio concavo (fig. 303), al suo foco sopra un diaframma di vetro smerigliato, si ottiene un'immagine bianca.

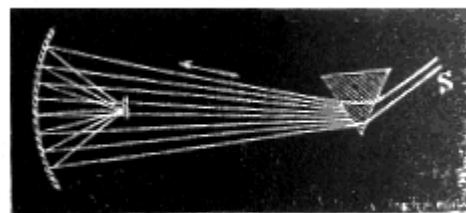


Fig. 303.

4.° La luce si ricompone anche mediante un grazioso esperimento che consiste nel ricevere i sette colori dello spettro sopra sette piccoli specchi a facce esattamente parallele, per non decomporre la luce, e disposti in modo che possano essere inclinati in tutti i sensi onde dirigere come si vuole la luce riflessa (fig. 304). Inchinando convenientemente questi specchi si fanno dapprima cadere sopra un diaframma bianco i sette fasci riflessi in modo da formarvi le sette immagine distinte, rossa, ranciata, giallan..., poi, facendo muovere gli specchi in modo che le sette immagini si sovrappongano esattamente, si ottiene un'immagine unica che è bianca.

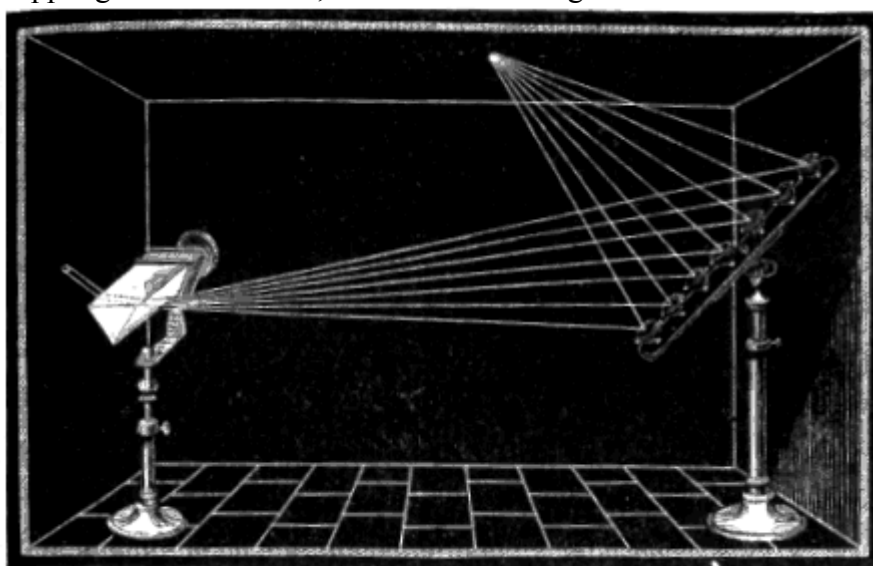


Fig. 304.

5.° Finalmente si dimostra che i sette colori dello spettro formano il bianco per mezzo del disco di Newton. È un disco di cartone del diametro di 35 centimetri circa. La parte centrale e gli orli sono coperti di carta nera, e nell'intervallo sono incollate alcune liste di carta che si stendono dal centro alla circonferenza, e sono colorite in rosso, ranciato, giallo, verde, turchino, indaco, violetto, in modo da imitare colla qualità ed estensione relativa delle tinte, cinque spettri successivi disposti circolarmente (fig. 305). Imprimendo a questo disco un moto rapido di rotazione, la retina riceve simultaneamente l'impressione dei sette colori dello spettro, ed il disco sembra bianco (fig. 306), od almeno grigio perchè i colori di cui è coperto non sono esattamente quelli dello spettro.

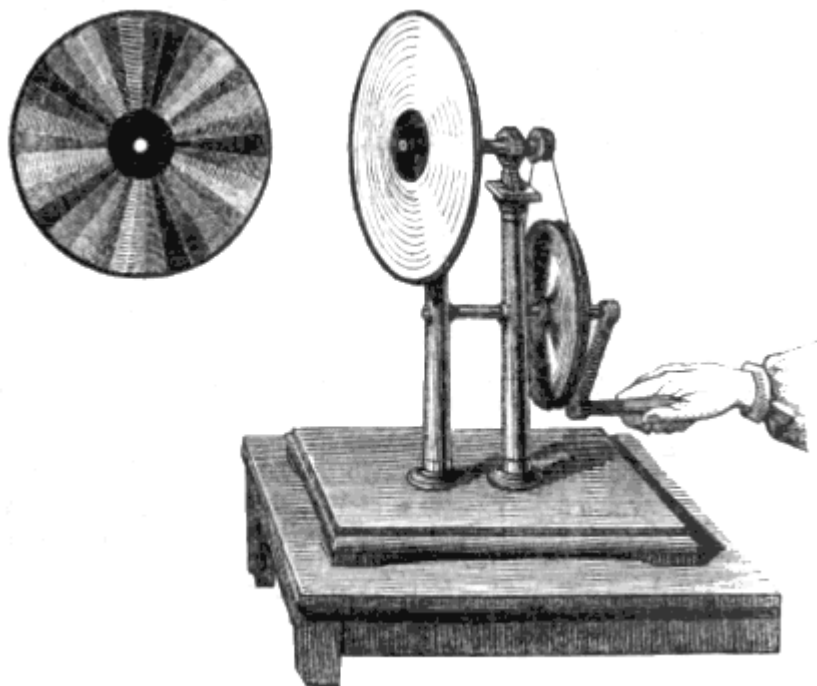


Fig. 305

Fig. 306

**459. Teoria di Newton sulla composizione della luce e sui colori dei corpi.** - Newton fu il primo che decompose la luce bianca per mezzo del prisma e la ricompose. Dalle diverse esperienze suesposte ei conchiuse che la luce bianca non è omogenea, ma che è formata da sette luci disugualmente rifrangibili, cui egli chiamò luci *semplici* o *primitive*, le quali, in virtù della loro differente rifrangibilità, si dividono, attraversando il prisma.

In questa teoria anche i corpi decompongono la luce per riflessione, ed il colore loro proprio non dipende che dal loro potere riflettente pei diversi colori semplici. Quelli che li riflettono tutti, nelle proporzioni in cui trovansi nello spettro, sono bianchi; quelli che non ne riflettono alcuno sono neri. Fra questi due limiti estremi si presenta un infinito numero di tinte secondo che i corpi riflettono in maggior numero o minor quantità certi colori semplici ed assorbono gli altri. Di modo che i corpi non sono colorati per sè stessi, ma dalla specie di luce che riflettono. Infatti se in una camera oscura si illumina successivamente uno stesso corpo con ciascuna delle luci dello spettro, questo corpo non

ha più un colore proprio, e, non potendo riflettere che la specie di luce che riceve, sembra rosso, ranciato, giallo..., secondo il fascio nel quale è collocato. Il colore dei corpi varia anche colla natura della sorgente di luce. La luce del gas e delle candele, per es., nelle quali predomina il giallo, comunicano questa tinta agli oggetti che rischiarano.

Tale è la teoria di Newton sulla composizione della luce e sulla colorazione dei corpi; essa è generalmente ammessa dai fisici. Alcuni però non ammettono sette colori semplici. Brewster, professore ad Edimburgo, non ne ammise che tre, cioè il rosso, il giallo e il turchino. Questo scienziato, avendo analizzato lo spettro solare guardandolo attraverso a sostanze colorate, le quali lasciano passare soltanto certi colori ed assorbono gli altri, osservò che in tutte le parti dello spettro trovansi del rosso, del giallo e del turchino. Quindi egli ammise che lo spettro solare sia formato da tre spettri sovrapposti, di eguale estensione, l'uno rosso, l'altro giallo e il terzo turchino, e che i tre

spettri abbiano la loro massima intensità in punti differenti; dal che risultano le diverse tinte dello spettro solare. Questa teoria non venne adottata dai fisici francesi.

**460. Colori complementari.** - Newton chiamò *colori complementari* quelli che riuniti formano il bianco. Il verde è complementario del rosso violaceo, il turchino del ranciato, il violetto del giallo. Un colore qualunque ha sempre il suo complementario, perchè, non essendo bianco, gli mancano alcuni dei colori dello spettro per formare la luce bianca; la mescolanza di questi colori deve adunque darne uno complementario al primo.

**461. Proprietà dello spettro.** - Nei colori dello spettro si distinguono: l'azione rischiarante, l'azione calorifica e l'azione chimica.

1.° *Azione rischiarante.* - Secondo le esperienze di Fraunhofer e d'Herschell, il massimo d'intensità della luce trovasi nel giallo e il minimo nel violetto.

2.° *Azioni calorifiche.* - L'intensità del calore rifratto insieme ai raggi solari varia nelle diverse parti dello spettro. Leslie mostrò per il primo che esso cresce dal violetto verso il rosso. Herschell stabilì che la massima intensità si trova nella zona oscura che termina il rosso: Berard nel rosso stesso. Questa differenza di risultati fu spiegata da Seebeck, il quale osservò che essa dipendeva dalla natura del prisma rifrangente. Con un prisma d'acqua trovò egli il massimo calore nel giallo; con un prisma d'alcool, lo trovò nel giallo ranciato, e finalmente con un prisma di crown, nel rosso medio.

Melloni confermò le esperienze di Seebeck mediante il suo termo-moltiplicatore; egli trovò inoltre che il massimo di calore si allontana tanto più dal giallo verso il rosso, quanto più la sostanza del prisma è diatermana (361). Con un prisma di salgemma, che è sostanza la più diatermana, il massimo si trova totalmente al di là del rosso.

3.° *Azioni chimiche.* - In un gran numero di fenomeni la luce solare si comporta come un agente chimico. Essa, per es., fa annerire il protocloruro di mercurio ed il cloruro d'argento; fa diventare opaco il fosforo diafano, e distrugge i principii coloranti d'origine vegetabile.

La luce basta anche per determinare delle combinazioni, come avviene con una mescolanza di cloro e di idrogeno; infine, contribuisce principalmente alla formazione della materia verde nelle piante. Tuttavia i diversi colori dello spettro non posseggono tutti la stessa azione chimica. Scheele, per il primo, mostrò che l'effetto di un raggio violetto sul cloruro d'argento è più sensibile di quello degli altri raggi. Wollaston inoltre osservò che questa azione si estendeva fuori dello spettro visibile colla stessa intensità che nel violetto, e ne concluse che, oltre i raggi che agiscono sulla retina, ne esistono altri invisibili, i quali sono più rifrangibili. I raggi che posseggono la proprietà di determinare delle reazioni tra gli elementi dei corpi ricevettero il nome di *raggi chimici*.

Edmondo Becquerel nello spettro scoprì anche due altre specie di raggi ch'ei chiama gli uni *raggi continuatori*, gli altri *raggi fosforogenici*. I primi sono raggi che non esercitano azione chimica per se stessi, ma che hanno la proprietà di farla continuare quando sia incominciata. I raggi fosforogenici sono quelli che hanno la proprietà di rendere luminosi certi corpi, come, per es., il solfuro di bario, quando dopo essere stati esposti per qualche tempo alla luce solare, vengono collocati nell'oscurità. Becquerel riconobbe che lo spettro fosforogenico si stende dall'indaco fin molto al di là del violetto.

**462. Righe dello spettro.** - I diversi colori dello spettro solare non sono continui. Per parecchi gradi di rifrangibilità i raggi mancano; da ciò ne deriva, in tutta l'estensione dello spettro, un gran numero di linee oscure assai strette che si chiamano righe dello spettro. Per osservarle, si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare per un'apertura assai stretta, ed alla distanza di 3 o 4 metri si guarda questa fessura attraverso un prisma di flint, affatto privo di strisce, tenendone gli spigoli paralleli ai lembi della fessura. Allora si scorge un gran numero di linee nere assai sottili, parallele agli spigoli del prisma e disposte molto irregolarmente. Se si guarda lo spettro con un cannocchiale acromatico, si ponno scorgere fino a seicento linee. Se ne distinguono sette che sono più appariscenti delle altre e si chiamano le *righe di Fraunhofer*, dal nome del fisico che per il primo le rimarcò. Colla luce solare, queste righe hanno posizioni fisse; il che fornisce il mezzo di misurare con precisione l'indice di rifrazione di ciascun colore semplice. Nello spettro formato da una luce



artificiale e da quella delle stelle, la posizione relativa delle righe è cangiata; colla luce elettrica le righe oscure vengono surrogate da righe brillanti.

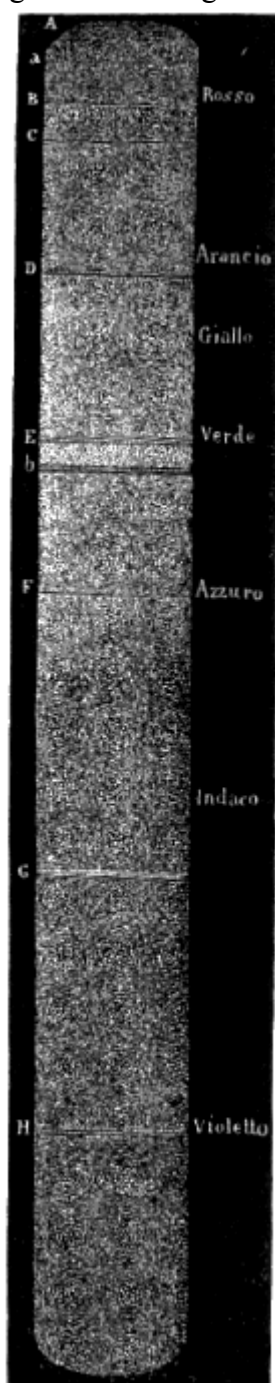


Fig. 307.

La figura 307 rappresenta lo spettro formato dalla luce solare nel quale non si sono conservate che le righe principali. Le sette righe fisse sono marcate in B, C, D, E, F, G, H. B e C sono nel rosso; D, nell'arancio; E, nel verde, F nell'azzurro; G, nell'indaco; e H, nel violetto. Vi sono altre righe rimarchevoli, come *a* nel rosso e *b* nel verde.

**463. Colori degli oggetti veduti attraverso ai prismi.** - Quando si guarda un corpo attraverso ad un prisma, le parti del suo contorno parallele agli spigoli del prisma sembrano colorate delle tinte dello spettro. Questo fenomeno dipende dalla diversa rifrangibilità dei raggi luminosi riflessi dal corpo. Guardando, per es., una lista assai assai stretta di carta bianca incollata sopra un cartone nero, attraverso a un prisma i cui spigoli sianle paralleli, questa lista sembra colorata di tutte le tinte dello spettro, e la tinta violetta è la più deviata verso il vertice del prisma. In questa esperienza, la luce bianca riflessa dalla lista di carta è decomposta al suo passaggio attraverso al prisma, e la tinta violetta, che è la più rifrangibile, vien deviata più delle altre, per cui sembra rialzata.

Se la lista di carta, invece d'essere assai stretta, ha una certa larghezza, tutta la sua parte di mezzo rimane bianca, e soltanto i suoi lembi paralleli agli spigoli del prisma si scorgono colorati, il più vicino al vertice in violetto misto di turchino e di indaco, ed il più vicino alla base in rosso misto di ranciato e di giallo. Per spiegare questo fenomeno bisogna immaginare la lista di carta divisa in una serie di liste parallele assai strette. Ciascuna di queste darà, come nel primo caso, uno spettro completo. Ora, il secondo spettro, trovandosi un po' al disotto del primo, il terzo un po' al disotto del secondo, e così di seguito, ne risulta una sovrapposizione successiva di tutti i colori semplici, la quale produce il bianco; vicino ai lembi però, ove la sovrapposizione non è completa, restano isolati il violetto da una parte e il rosso dall'altra.

Il prisma fornisce il mezzo di analizzare i colori di un corpo. Per ciò si taglia dal corpo stesso una listarella stretta, che si fissa su di un fondo nero e si illumina fortemente. Guardandola allora alla distanza di uno o due metri con un prisma, la luce riflessa dal corpo è decomposta ne' suoi elementi, e si riconosce di quali colori semplici sia composto il colore proprio del corpo. In tal modo si constatò che i colori di tutti i corpi sono composti. I petali dei fiori, per es., danno sempre uno spettro che presenta parecchi colori dello spettro solare.

**464. Aberrazione di rifrangibilità.** - Le diverse lenti descritte più sopra (445) hanno l'inconveniente di dare, quando sono ad una certa distanza dall'occhio, immagini i cui contorni sono iridescenti. Questo difetto, che è presente specialmente nelle lenti convergenti, proviene dalla ineguale rifrangibilità de colori semplici (457), e si chiama *aberrazione di rifrangibilità*. Infatti, le lenti, potendo essere paragonate ad una serie di prismi a facce infinitamente piccole riuniti colle loro basi, non solo rifrangono la luce, ma la decompongono ben anche come fanno i prismi. Da questa dispersione risulta che

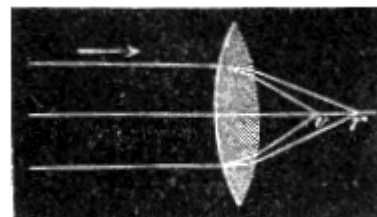


Fig. 308.

le lenti hanno realmente sette fochi distinti, uno per ciascun colore dello spettro. Nelle lenti convergenti, per es., i raggi rossi, che sono i meno rifrangibili, formano il loro foco in un punto *r* posto sull'asse della lente (fig. 308), mentre i violetti rifrangendosi di più, concorrono in un punto *r* più vicino.

Fra quelli due limiti si formano i fuochi ranciato, giallo, verde, turchino ed indaco. L'aberrazione di rifrangibilità è tanto più sensibile quanto più le lenti sono convergenti, quanto più lontano dall'asse è il punto d'incidenza dei raggi che le attraversano, perchè allora le facce d'incidenza e di emergenza sono più inclinate l'una relativamente all'altra. Ci rimane a far conoscere come si corregga l'aberrazione di rifrangibilità negli istrumenti d'ottica.

**465. Acromatismo.** - Combinando dei prismi di angoli rifrangenti differenti (438), e formati di sostanze disugualmente dispersive (456), si giunse a rifrangere la luce bianca senza decomporla.

Lo stesso risultato si ottiene con lenti di sostanze diverse, e le cui curvature siano convenientemente combinate. Siccome i contorni degli oggetti veduti attraverso a prismi o lenti cosiffatte non appariscono più iridescenti, si dice che questi prismi e queste lenti sono *acromatiche*, e si chiama *acromatismo* il fenomeno della rifrazione della luce senza dispersione.

Osservando il fenomeno della dispersione dei colori con prismi d'acqua, d'essenza di trementina, di vetro-crown, Newton era stato condotto ad ammettere che la dispersione fosse proporzionale alla rifrazione. Egli ne aveva concluso che non poteva esservi rifrazione senza dispersione, e per conseguenza che l'acromatismo era impossibile. Passò quasi mezzo secolo prima che si conoscesse l'errore di Newton. Hall, scienziato inglese, costruì per primo, nell'anno 1733, taluni cannocchiali acromatici; esso però non pubblicò la sua scoperta. Dollond, ottico di Londra, nel 1757, mostrò che ponendo una lente biconvessa di flint (fig. 309) si otteneva una lente sensibilmente acromatica.



Fig. 309

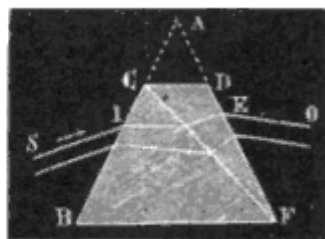


Fig. 310.

Per spiegare questo risultato si immaginano due prismi BFC e CFD sovrapposti e collocati in senso contrario, come mostra la figura 310. Se si suppone dapprima che questi prismi siano della stessa sostanza, siccome l'angolo rifrangente CFD del secondo è più piccolo dell'angolo rifrangente BCF del primo, si scorge che i due prismi produrranno lo stesso effetto di un prisma unico BAF; cioè la luce bianca che li attraversa non sarà soltanto deviata, ma ben anco decomposta. Al contrario, se il primo prisma BCF è di crown ed il secondo di flint, si può distruggere la dispersione conservando la rifrazione. Infatti, essendo il flint più dispersivo del crown e la dispersione prodotta da un prisma decrescendo col suo angolo rifrangente (456), ne risulta che, diminuendo convenientemente l'angolo rifrangente CFD del prisma di flint relativamente all'angolo rifrangente BCF del prisma di crown, si possono rendere uguali le dispersioni di questi prismi, e siccome in conseguenza della loro disposizione, le dispersioni avvengono in sensi contrari, esse si compensano, cioè i raggi emergenti EO sono sensibilmente ridotti ad esser paralleli, e per conseguenza danno un po' di luce bianca.

Tuttavia, siccome il rapporto degli angoli BCF e CFD, che producono, per es., il parallelismo de' raggi rossi e dei violetti non è quello opportuno pei raggi intermedi, ne segue che con due prismi non si possono realmente acromatizzare se non due raggi dello spettro. Per ottenere l'acromatismo perfetto si richiederebbero sette prismi di sostanze inugualmente dispersive, ed i cui angoli rifrangenti fossero opportunamente determinati.

La ritrazione non è tolta insieme colla dispersione, perchè bisognerebbe a questo effetto che le facoltà relative dei corpi variassero, come aveva supposto Newton, nello stesso rapporto dei loro poteri dispersivi, il che non accade. Per conseguenza, il raggio emergente EO, non esce parallelo al raggio incidente SI, ed avvi deviazione senza una sensibile decomposizione.

Le lenti acromatiche si formano con due lenti di sostanze inugualmente dispersive, l'una A, di flint, è concavo-convessa divergente (fig. 309); l'altra B, di crown, è bi-convessa, ed una delle sue facce può coincidere esattamente colla faccia concava della prima. Nelle lenti, come nei prismi, si richiederebbero sette vetri per ottenere l'acromatismo perfetto; ma per tutti gli istrumenti d'ottica, si suole adoperarne due soli, dando loro la curvatura necessaria per acromatizzare i raggi rossi ed i gialli.

**466. Assorbimento della luce nei mezzi trasparenti.** - Non si conosce alcuna sostanza di perfetta trasparenza. Il vetro, l'acqua, l'aria stessa estinguono gradatamente la luce che li attraversa e, quando questi mezzi abbiano una grossezza sufficiente, la indeboliscono in modo che non agisce più sulla retina. Si osserva infatti che un gran numero di stelle, le quali non sono visibili, anche quando il cielo è assai limpido, a chi trovasi in pianura, divengono visibili sulle alte montagne.

Questo indebolimento successivo che la luce soffre nell'attraversare i mezzi diafani chiamasi *assorbimento*; esso è prodotto dalla riflessione che subisce la luce sulle molecole dei corpi trasparenti. Se tutti i raggi semplici fossero egualmente trasmissibili attraverso ai mezzi diafani, questi sarebbero incolori. Ora, ciò non accade mai; per cui si conchiude che, siccome i corpi diafani non si lasciano attraversare ugualmente dai diversi raggi calorifici (367), così i corpi diafani

lasciano passare più facilmente certi raggi luminosi che certi altri. Il mezzo prende allora il colore pel quale è più diafano. Per questo motivo uno strato d'aria assai grosso sembra turchino; una lastra di vetro piuttosto grossa sembra verde. Il vetro colorato in rosso col protossido di rame lascia passare i soli raggi rossi ed assorbe tutti gli altri anche quando sia sottile.

Per effetto dell'assorbimento i raggi del sole sono meno intensi quando quest'astro trovasi all'orizzonte che non quando è allo zenit, perchè nel primo caso, la grossezza dello strato d'aria è molto maggiore.

# CAPITOLO V

## ISTRUMENTI D'OTTICA

**467. Diversi istrumenti d'ottica.** - Si chiamano *istrumenti d'ottica* certe combinazioni di lenti, o di lenti e di specchi; questi strumenti si ponno dividere in tre classi, secondo gli usi a cui sono destinati: 1.° gli strumenti che hanno per iscopo solo di amplificare le immagini di quei corpi che, per le loro piccole dimensioni, non possono essere veduti ad occhio nudo, e sono i *microscopi*; 2.° gli strumenti che servono ad osservare gli astri o gli oggetti assai lontani, e sono i *telescopi* ed i *cannocchiali terrestri*; 3.° gli strumenti atti a produrre su di un diaframma delle immagini impicciolite od ingrandite, le quali ponno venir utilizzate nell'arte del disegno od essere mostrate ad un gran numero d'osservatori; tali sono la *camera chiara*, la *camera oscura*, il *daguerrotipo*, la *lanterna magica*, la *fantasmagoria*, il *megascopio*, il *microscopio solare* ed il *microscopio foto-elettrico*. Le prime due classi danno soltanto immagini virtuali, e la terza solo immagini reali, quando se ne eccettui la camera chiara.

**468. Microscopio semplice.** - Si distinguono due specie di microscopii, il semplice e il composto. Il *microscopio semplice* talora è formato da una sola lente convergente, tal'altra da varie lenti sovrapposte che agiscono come una sola. Abbiamo già veduto (450, 2°) che, nel microscopio semplice o lente, l'oggetto che si osserva è collocato fra la lente ed il suo foco principale, e che allora l'immagine è virtuale, diritta ed ingrandita (295).

Al microscopio semplice furono date varie disposizioni. La figura 311 rappresenta quella adottata da Raspail. Un sostegno orizzontale che può essere innalzato od abbassato per mezzo d'un'asta dentata e d'una vite a bottone D, porta un diaframma nero A, nel cui centro è incassata una lente *o* più o meno convessa. Al disotto trovasi il *porta-oggetti* B, che è fisso, e sul quale, tra due lastre di vetro C, vien collocato l'oggetto che si vuol osservare. Siccome è necessario che l'oggetto sia fortemente illuminato, si riceve la luce diffusa nell'atmosfera su di uno specchio concavo di vetro M, il quale s'inclina in modo che i raggi riflessi cadano sull'oggetto. Per servirsi di questo microscopio, si colloca l'occhio assai vicino alla lente abbassandola verso l'oggetto ed innalzandola finchè si trova la posizione in cui l'immagine riesce più nitida.

Mediante lenti di ricambio si può variare l'ingrandimento, sempre però entro certi limiti, se si vuol conservare all'immagine tutta la sua nitidezza; col microscopio semplice si può, senza nuocere alla chiarezza, ottenere un ingrandimento lineare fino a 120 volte. L'ingrandimento si può determinare col calcolo (455), o coll'esperienza per mezzo del micrometro, strumento che descriveremo in seguito (470).

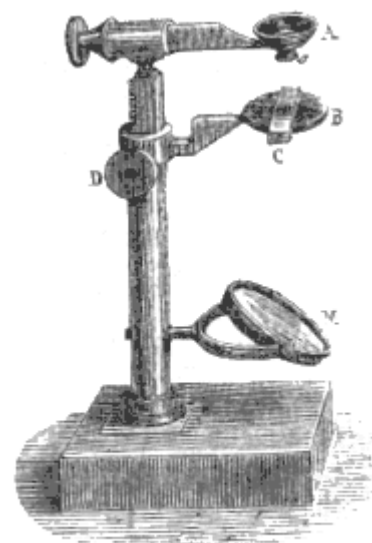


Fig. 311 (a. = 22°).

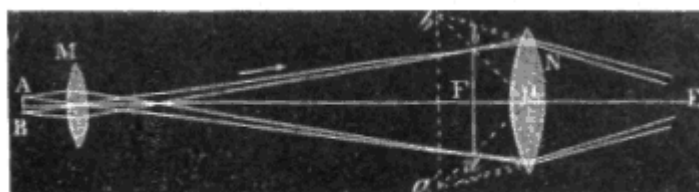


Fig. 312

**469. Microscopio composto.** - Il microscopio composto, ridotto al suo massimo grado di semplicità, consta di due vetri lenticolari convergenti, l'uno a corto foco, che dicesi *obbiettivo*,

perchè rivolto verso l'oggetto, l'altro, meno convergente, che si chiama *oculare*, perchè trovasi vicino all'occhio dell'osservatore.

La figura 312 rappresenta l'andamento dei raggi luminosi e la formazione dell'immagine nel microscopio composto, ridotto a due sole lenti. Collocando un oggetto AB assai vicino al foco principale dell'obbiiettivo M, ma un poco al di là di questo foco, si forma un'immagine *a*, reale, rovesciata ed assai ingrandita dall'altra parte dell'obbiiettivo (450, 1.°). Ora, la distanza dei due vetri M ed N è tale che il luogo dell'immagine *ab* si trova fra l'oculare N ed il suo foco F. Ne risulta che per l'occhio collocato in E, il quale guarda questa immagine coll'oculare, quest'ultimo vetro produce l'effetto del microscopio semplice o lente (450, 2.°) e sostituisce all'immagine *ab* una seconda immagine *a'b'* virtuale ed ingrandita di nuovo. Questa seconda immagine, diritta rispetto alla prima, è rovesciata rispetto all'oggetto. Adunque, in ultima analisi, si può dire che il microscopio composto altro non è che un microscopio semplice applicato non più all'oggetto, ma alla sua immagine già ingrandita da una prima lente.

**470. Ingrandimento, micrometro.** - In qualunque strumento di ottica chiamasi *ingrandimento* il rapporto fra la grandezza assoluta dell'immagine e quella dell'oggetto. L'ingrandimento, nel microscopio composto, è il prodotto degli ingrandimenti rispettivi dell'obbiiettivo e dell'oculare; cioè, se il primo di questi vetri ingrandisce 20 volte ed il secondo 10, l'ingrandimento definitivo è 200. L'ingrandimento dipende dalla maggiore o minor convessità dell'obbiiettivo e dell'oculare, dalla distanza di questi due vetri e da quella dell'oggetto dall'obbiiettivo. In alcuni microscopii l'ingrandimento venne portato fino a 1500 diametri ed anche più, ma allora l'immagine perde in chiarezza ciò che acquista in grandezza. Per ottenere delle immagini nitide e ben rischiarate, l'ingrandimento non deve oltrepassare 500 o 600 in diametro, ciò che dà, in superficie, un'immagine da 250 a 360 mila volte più grande dell'oggetto.

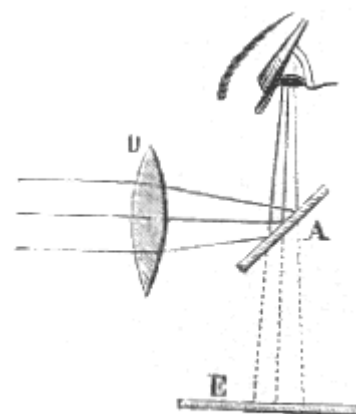


Fig. 313.

L'ingrandimento si misura sperimentalmente per mezzo del *micrometro*; chiamasi così una piccola lastra di vetro sulla quale sono tracciate col diamante delle linee parallele distanti l'una dall'altra di 1/10 od 1/100 di millimetro. Il micrometro si colloca davanti all'obbiiettivo, poi, invece di ricevere direttamente nell'occhio i raggi che emergono dall'oculare C, si ricevono su di una lastra di vetro a facce parallele A (fig. 313) inclinata di 45 gradi, e si colloca l'occhio al disopra in modo di vedere l'immagine delle linee del micrometro formarsi per riflessione sopra una scala divisa in millimetri, tracciata su di un diaframma E. Contando allora il numero delle divisioni della scala che corrisponde ad un certo numero di divisioni dell'immagine, se ne deduce l'ingrandimento. Se l'immagine, per es., occupa sulla scala 45 millimetri, e comprende 15 divisioni del micrometro, supponendo che l'intervallo di questa sia di 1/100 di millimetro, la grandezza assoluta dell'oggetto sarà 15/100 di millimetro, e siccome quella dell'immagine è di 45 millimetri, l'ingrandimento sarà il quoziente di 45 per 15/100, ossia 300. In questa esperienza l'occhio deve avere, dal diaframma E, una distanza eguale a quella della visione distinta, la quale varia pei diversi osservatori, ma che, in media è tra i 25 ed i 30 centimetri. L'ingrandimento del microscopio si determina anche per mezzo della camera chiara, che descriveremo in seguito (478).

Una volta conosciuto l'ingrandimento del microscopio è facile dedurre la grandezza assoluta degli oggetti collocati davanti all'obbiiettivo. Infatti, siccome l'ingrandimento è il quoziente della grandezza dell'immagine per quella dell'oggetto, ne segue che per avere la grandezza di quest'ultimo, basta dividere la grandezza dell'immagine per l'ingrandimento; per tal modo si può determinare, per es., il diametro dei globetti del sangue ed, in generale, di tutti gli oggetti microscopici.

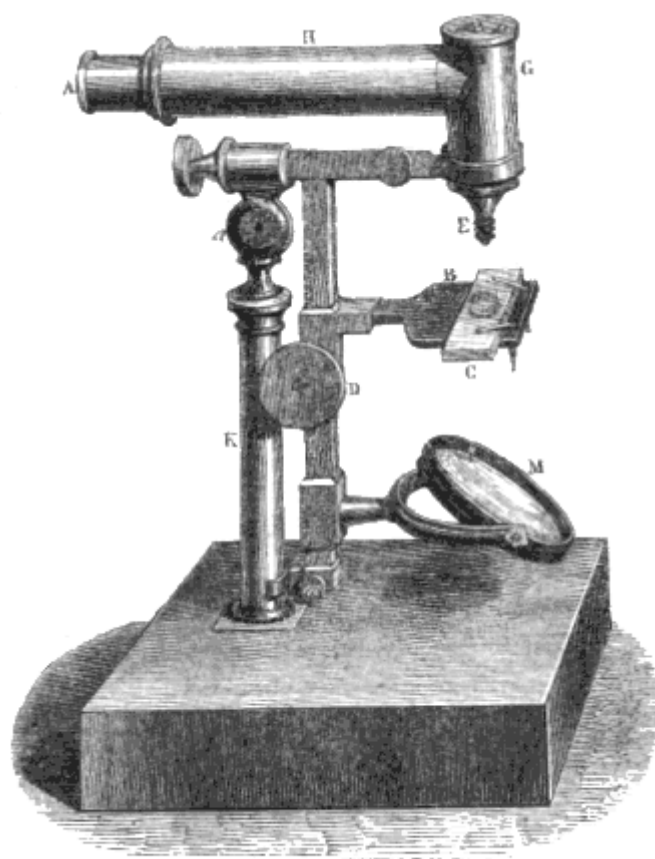


Fig. 314. ca. 83'

**471. Microscopio composto di Amici.** - Finora non abbiamo fatto conoscere (469) che il principio del microscopio composto; ora ci rimane a descrivere i principali accessori di questo apparecchio. Inventato nel 1620, ricevette in seguito molti perfezionamenti, i più importanti dei quali però non datano che da circa trent'anni e son dovuti principalmente ad Amici, in Italia, ed a Carlo Chevalier, in Francia.

La figura 314 rappresenta le parti principali del microscopio conosciuto sotto il nome di *microscopio di Amici*, o di *Carlo Chevalier*.

Negli antichi microscopii il tubo H era sempre verticale e le lenti non erano acromatiche. Amici pel primo adottò una disposizione che permette di collocare il tubo orizzontalmente o verticalmente a piacere, e Chevalier pel primo nel 1823, applicò al microscopio le lenti acromatiche.

Il nostro disegno rappresenta il microscopio nella posizione orizzontale, che, in generale, stanca meno la vista, però si può disporlo anche verticalmente. Per ciò si toglie il tubo a gomito G, ed in suo luogo si dispone sull'obbiettivo E il tubo H che porta l'oculare. Finalmente si può dare al microscopio anche una posizione inclinata, A quest'effetto si toglie una chiavarda *m*, che ferma l'apparecchio nella sua parte inferiore, e si fa muovere tutto il sistema sopra una cerniera *a*, la quale collega il microscopio con una colonna cilindrica che gli serve di sostegno.

Sopra un'asta prismatica parallela a questa colonna evvi il porta-oggetti B, il quale può essere innalzato od abbassato per mezzo di un piccolo rocchetto che ingrana in un'asta dentata, e che si fa girare per mezzo di un bottone D. L'oggetto *o* che si vuol osservare viene collocato fra due lamine di vetro C poste sul porta-oggetti.

Uno specchio concavo di vetro M, riceve la luce diffusa dell'atmosfera e la riflette sull'oggetto, il quale, per tal modo, trovasi fortemente rischiarato: condizione indispensabile per l'ingrandimento. Il porta-oggetti ha al suo centro un'apertura che si scorge attraverso alle lamine C e che lascia passare la luce riflessa dallo specchio.

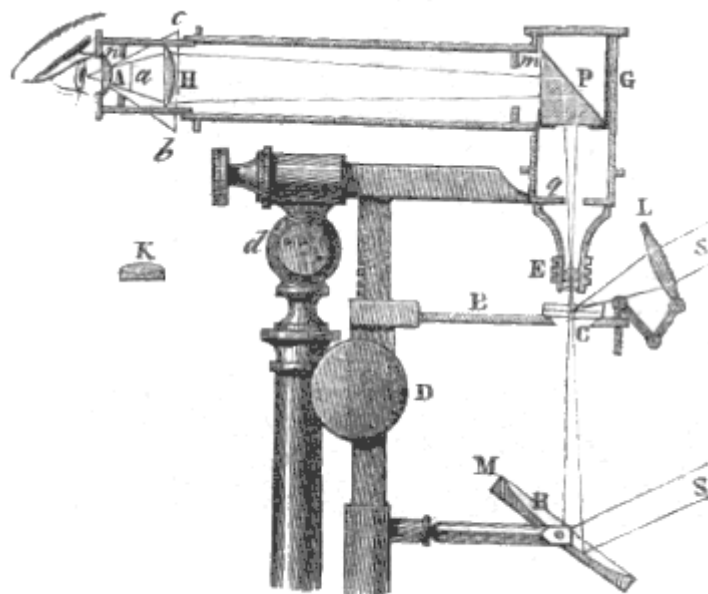


Fig. 315

La figura 315 mostra la posizione dei vetri e l'andamento dei raggi nel microscopio. L'obbiettivo E è formato da una, da due o da tre lenti acromatiche, come quella rappresentata in K, le cui distanze focali principali sono di 8 o 10 millimetri. L'oculare AH è formato da due lenti piano-convesse, acromatiche o non acromatiche. È facile il seguire l'andamento della luce in questo strumento. I raggi luminosi, dopo essersi riflessi sullo specchio M, concorrono verso l'oggetto, e di là si dirigono verso l'obbiettivo E. Dopo di averlo attraversato incontrano un prisma rettangolare di cristallo P, sull'ipotenusa del quale subiscono una riflessione totale (435). Dirigendosi allora nel tubo GA, i raggi luminosi cadono sulla lente H, e formano al di là della medesima, un'immagine a reale ed ingrandita dell'oggetto *o*. In fine, l'ultima lente agisce come microscopio semplice per sostituire a questa prima immagine una seconda immagine *bc* virtuale ed ingrandita di bel nuovo, come mostra la figura.

La lente intermedia H, chiamata *oculare di Campani*, serve a riunire i raggi troppo obliqui che non cadrebbero sull'oculare A. Essa ingrandisce il campo del microscopio ossia lo spazio visibile, rendendo l'immagine più piccola e più chiara. Questo vetro serve anche a correggere il difetto di acromatismo che trovasi più o meno nell'obbiettivo. L'aberrazione di sfericità è corretta dai diaframmi *m* ed *n*, i quali intercettano i raggi che tendono, ad attraversare le lenti troppo vicino agli orli. Per impedire ogni riflessione interna che potrebbe nuocere alla chiarezza delle immagini, le pareti del tubo sono annerite internamente.

Il modo di illuminare il microscopio varia secondo che l'oggetto è trasparente od opaco. Nel primo caso si illumina l'oggetto nel modo suindicato, per mezzo di uno specchio piano collocato al disotto del porta-oggetti; nel secondo si fa uso di una lente L sostenuta dal portaoggetti e che concentra la luce sull'oggetto.

Finalmente sono annessi all'apparato parecchi oculari ed obbiettivi di ricambio, per cui si può aumentare o diminuire l'ingrandimento.

Anche sopprimendo una o due lenti dell'obbiettivo si ottiene un ingrandimento minore.

Il microscopio fu la sorgente delle scoperte le più curiose in botanica, in zoologia, in fisiologia. Furono osservati animali, la cui esistenza era rimasta fin'allora sconosciuta, nell'aceto, nella pasta di farina, nelle frutta secche, in certi formaggi; la circolazione ed i globetti del sangue si resero visibili. Il microscopio offre anche numerose applicazioni nell'industria. Esso ci offre il mezzo, per es., di riconoscere le differenti specie di fecole, le falsificazioni pur troppo frequenti delle farine, della cioccolata, ecc.; serve anche a riconoscere nelle stoffe la presenza del cotone, della lana, della seta.



Fig. 316

**472. Cannocchiale astronomico.** - Il *cannocchiale astronomico* è destinato all'osservazione degli astri; esso è composto, come il microscopio di un obbiettivo e d'un oculare convergenti. L'obbiettivo M (fig. 316) dà un'immagine rovesciata *ab* dell'astro che si osserva, collocata tra l'oculare N ed il suo foco principale, e quest'oculare, che fa l'effetto di un microscopio semplice, dà in seguito una immagine *a'b'* virtuale, diritta ed assai ingrandita dell'immagine *ab*. Il cannocchiale astronomico ha, come si vede, molta analogia col microscopio, ma ne differisce perché in quest'ultimo, trovandosi l'oggetto assai vicino all'obbiettivo, l'immagine si forma molto al di là del foco principale ed è assai ingrandita (430, 1.<sup>o</sup>), di modo che l'ingrandimento è prodotto dall'obbiettivo e dall'oculare, mentre invece, nel cannocchiale astronomico, essendo l'astro che si osserva assai lontano, i raggi incidenti sono paralleli, e l'immagine si forma al foco principale dell'obbiettivo, molto più piccola dell'oggetto. L'ingrandimento quindi non può essere prodotto che dall'oculare, il quale per ciò deve essere assai convergente.

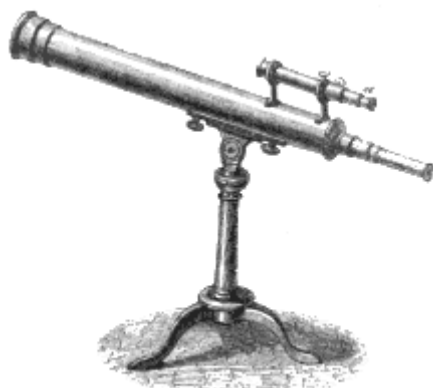


Fig. 317

La figura 317 rappresenta un cannocchiale astronomico montato sul suo sostegno. Sopra di esso avvi un piccolo cannocchiale detto *cercatore*.

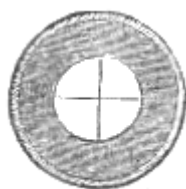


Fig. 318.

Siccome i cannocchiali che ingrandiscono molto hanno poco campo, non sono comodi per cercare un astro, epperò si guarda prima col cercatore il cui campo è più grande, cioè abbraccia una maggiore estensione di cielo, poi si guarda coi cannocchiale.

Il calcolo dimostra che, nel cannocchiale astronomico, l'ingrandimento è sensibilmente uguale a  $CF/OF$  (fig. 316): potendosi supporre  $F$ , foco dell'obbiettivo  $M$ , quasi coincidente col foco dell'oculare  $N$ ; epperò ne segue che l'ingrandimento sarà tanto maggiore quanto meno convergente è l'obbiettivo, e quanto più lo è l'oculare. In un buon cannocchiale l'ingrandimento non oltrepassa 1000 a 1200. Quando un cannocchiale astronomico è impiegato ad osservare gli astri per misurare con precisione, per es., la loro distanza zenitale, la loro ascensione retta, od il loro passaggio al meridiano, si aggiunge al medesimo il *reticolo*. Chiamansi così due fili sottilissimi di metallo o di seta tesi in croce su di un'apertura circolare praticata in una piccola lastra metallica (fig. 318). Il reticolo deve essere collocato nel luogo stesso in cui si forma l'immagine rovesciata fornita dall'obbiettivo, ed il punto d'incrociamiento dei fili deve trovarsi nello stesso asse ottico del cannocchiale, il quale per tal modo diventa la *linea di mira*.

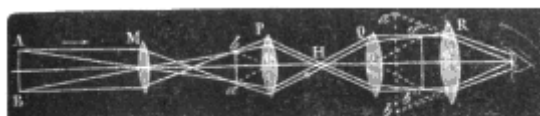


Fig. 319.



**473. Cannocchiale terrestre.** - Il *cannocchiale terrestre* differisce dall'astronomico solo perché in esso le immagini sono raddrizzate. Questo raddrizzamento si ottiene per mezzo di due vetri convergenti P e Q (fig 319) collocati tra l'obbiettivo M e l'oculare P. Supponendo l'oggetto in AB, ad una distanza maggiore di quella che si possa rappresentare nel disegno, la sua immagine rovesciata e piccolissima, si forma in *ba*, dall'altra parte dell'obbiettivo. Ora la seconda lente P è a tale distanza che il suo foco principale coincide coll'immagine *ab* d'onde risulta che i raggi luminosi che passano, per es., in *b*, prendono, dopo di aver attraversata la lente P, una direzione parallela all'asse secondario bO (446, 2.°, e 449). Del pari, i raggi che passano in *a* prendono una direzione parallela all'asse aO. Questi raggi, dopo d'essersi incrociati in H, attraversano una terza lente Q, il cui foco principale coincide col punto H. Adunque il fascio BbH, concorre in *b'* sopra un asse secondario Ob parallelo alla sua direzione (449); siccome anche il fascio AaH concorre in *a'*, si forma in *a'b'* un'immagine raddrizzata dell'oggetto AB. Questa immagine si guarda, come nel cannocchiale astronomico, con un oculare convergente R, collocato in modo da fare l'ufficio di microscopio semplice, cioè la sua distanza dall'immagine *a'b'* è minore della distanza focale principale; perciò dà in *a''b''* un'immagine virtuale, diritta ed ingrandita dell'immagine *a'b'*.

Le lenti P e Q che servono soltanto a raddrizzare l'immagine, sono fissate in un tubo di ottone, ad una distanza costante ed eguale alla somma delle loro distanze focali principali. L'obbiettivo M è mobile in un tubo, e può essere avvicinato od allontanato dalla lente P, in modo che l'immagine *ab* si formi sempre al foco di questa lente, qualunque sia la distanza dell'oggetto che si osserva. Anche la distanza della lente R può variare in modo che l'immagine *a''b''* si formi alla distanza della visione distinta (494).

Il cannocchiale terrestre può servire come cannocchiale astronomico: allora però abbisogna un oculare di ricambio perché l'oculare deve ingrandire di più nel secondo cannocchiale che nel primo. Però gli astronomi preferiscono il cannocchiale a due vetri perché assorbe minor quantità di luce.

Nel cannocchiale terrestre l'ingrandimento è lo stesso che nel cannocchiale astronomico, quando si supponga che i vetri P e Q destinati a raddrizzare l'immagine abbiano la stessa convessità.

**474. Oculari.** - Fin qui, per semplificare la costruzione delle immagini, abbiamo generalmente supposto che l'oculare fosse formato d'un sol vetro convergente, come nelle figure 312, 316 e 319. Ora, si nei microscopii che nei cannocchiali, non si adopera mai un oculare semplice, perché in tal caso, le aberrazioni di sfericità (453) e di rifrangibilità (464) sarebbero considerevoli. D'onde la necessità di formare gli oculari con parecchie lenti. A seconda del numero e della disposizione di queste lenti, si distinguono tre sorta principali di oculari: l'oculare di Campani, quello di Ramsden e quello di Dollong.

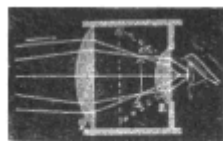


Fig. 320.

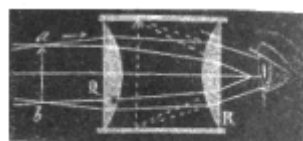


Fig. 321.

**Oculare di Campani.** - L'oculare di Campani, rappresentato dalla figura 320 si compone di due vetri piano convessi, le cui facce piane sono rivolte verso l'occhio. Il primo vetro Q riceve i raggi che sortono dall'obbiettivo ed unitamente a quest'ultimo serve a dare in *ab* un'immagine reale rovesciata dell'oggetto collocato al di là dell'obbiettivo. L'occhio poi guarda questa immagine col vetro R, che fa l'ufficio di microscopio semplice.

L'oculare di Campani si adopera nei microscopi e nei cannocchiali quando non hanno il reticolo, cioè quando sono adoperati soltanto come cannocchiali di osservazione e non come cannocchiali di passaggio o cannocchiali murali. In quest'oculare la distanza focale della lente R è un terzo di quella della lente Q, e la distanza tra le due lenti Q ed R è uguale alla semisomma delle loro distanze focali.

**Oculare di Ramsden.** - L'oculare di Ramsden, rappresentato dalla figura 321, si compone di due vetri piano convessi, le cui convessità son rivolte l'una verso l'altra. L'immagine reale e rovesciata *ab*, data dall'obbiettivo, si forma davanti alla lente Q, ed i due vetri Q e R fanno insieme l'ufficio di microscopio semplice.

Le distanze focali fra le due lenti sono tra loro eguali, e la distanza da una lente all'altra è uguale a due terzi delle loro distanze focali.

L'oculare di Ramsden si adopera nei cannocchiali astronomici muniti di reticolo.

**Oculare di Dollong.** - Nei cannocchiali terrestri dovendo l'immagine essere diritta, non si possono adoperare gli oculari di Campani e di Ramsden, perché, come abbiamo veduto, danno sempre immagini rovesciate. In tal caso si

ottiene il raddrizzamento delle immagini, e nello stesso tempo il loro acromatismo, per mezzo di un oculare quadruplo attribuito a Dollong.



Quest'oculare, rappresentato dalla figura 322, si compone di quattro vetri piano-convessi.

I primi due Q ed R hanno le loro facce piane rivolte verso l'obbiettivo, gli altri due S e T le hanno rivolte verso l'occhio. Essendo  $ab$  l'immagine reale e rovesciata data dall'obbiettivo, le lenti Q, R ed S concorrono a darne un'immagine  $a'b'$  reale e dritta, la quale vien guardata dall'occhio colla lente T. Il terzo vetro S, combinato colla lente R, rendendo meno divergenti i fasci di raggi, serve principalmente a diminuire le aberrazioni di rifrangibilità e di sfericità.

Secrétan, abile ottico, giunse a costruire dei cannocchiali terrestri di grande perfezione, acromatizzando, oltre l'obbiettivo, anche le lenti R e T, sulle quali cadono distesamente i fasci incidenti. Le lenti Q ed S, sulle quali i fasci incidenti cadono molto ristretti, ponno, senza inconveniente, essere impiegate anche non acromatizzate.

Riguardo alla disposizione delle lenti Q, R, S, T fra loro, ed ai rapporti delle loro distanze focali, Secrétan adottò la seguente regola empirica:

Rappresentando con  $q, r, s, t$  le distanze focali rispettive di quelle lenti, con  $d$  la distanza da Q ad R, con  $d'$  quella da R ad S, con  $d''$  quella da S a T, egli sceglie per le lenti Q, R, S, T, dei vetri le cui distanze focali stiano rispettivamente fra loro come i numeri 10, 11, 12 e 9, poi prende:

$$d=2/3(q+r), \quad d'=1/2(q+r+s+t), \quad e \quad d''=2/3(s+t).$$

Con questa combinazione Secrétan costruisce cannocchiali terrestri rimarchevoli per la grandezza del campo, per la loro modica lunghezza e per la chiarezza delle immagini.



Fig. 323.

**475. Cannocchiale di Galileo.** - Il *cannocchiale di Galileo* o *cannocchiale da teatro*, è il cannocchiale più semplice, perchè è composto di due soli vetri, un obbiettivo convergente M e un oculare divergente R (323), e dà immediatamente un'immagine raddrizzata.

Supponendo rappresentato l'oggetto dalla retta AB, la sua immagine tende a formarsi in  $ba$ , rovesciata e più piccola; ma, attraversando l'oculare R, raggi emessi dai punti A e B, si rifrangono allontanandosi rispettivamente dagli assi secondari  $bo'$  ed  $ao'$ , che corrispondono ai punti  $b$  ed  $a$  dell'immagine. Ne risulta che questi raggi, prolungati in un senso contrario alle loro direzioni, concorrono su questa assi in  $a'$  ed in  $b'$ ; adunque, l'occhio che riceve questi raggi vede in  $a'b'$  una immagine diretta ed ingrandita, la quale sembra più vicina, perchè veduta sotto un angolo  $a'O'b'$  maggiore dell'angolo AOB sotto il quale è veduto l'oggetto. L'ingrandimento che è il rapporto dell'angolo  $a'O'b'$  all'angolo AOB, non è, d'ordinario, che di due o tre volte.

La distanza dall'oculare R all'immagine  $ab$  è sensibilmente uguale alla distanza focale principale di questo oculare, d'onde risulta che la distanza dei due vetri è la differenza delle loro distanze focali rispettive, e, per conseguenza, il cannocchiale di Galileo è molto corto e comodamente portatile; esso ha il vantaggio di far vedere gli oggetti nella loro vera posizione, ed inoltre, essendo composto di due soli vetri, assorbe poca luce, ma, a motivo della divergenza dei raggi emergenti, ha poco campo, e per servirsene bisogna collocare l'occhio assai vicino all'oculare. Quest'ultimo può essere avvicinato all'obbiettivo od allontanato dal medesimo, in modo che l'immagine  $a'b'$  si formi sempre alla distanza della visione distinta.

Il cannocchiale da teatro o *binocolo* differisce da quello ora descritto soltanto per essere doppio, onde formare un'immagine in ciascun occhio, ed aumentare per tal modo la chiarezza.

Il cannocchiale di Galileo fu adoperato pel primo nelle osservazioni degli astri. Con esso questo illustre astronomo scoprì le montagne della luna, i satelliti di Giove e le macchie del sole.

Si ignora l'epoca dell'invenzione dei cannocchiali. Alcuni ne attribuiscono la scoperta a Ruggero Bacone, nel secolo XIII, altri a Giovanni Battista Della Porta alla fine del secolo XVI, altri ancora a

Giacomo Mezio, olandese, il quale, nel 1609, avrebbe per caso trovato che combinando due vetri, l'uno concavo e l'altro convesso, si scorgevano gli oggetti più grandi e più vicini.

**476. Telescopii.** - I *telescopii* sono strumenti che servono a vedere gli oggetti lontani e particolarmente gli astri. Il cannocchiale astronomico ed il cannocchiale di Galileo sono adunque telescopii. Infatti essi ebbero dapprima questo nome, e si chiamavano *telescopii per rifrazione* o *telescopii diottrici*; al presente però si intendono per telescopii gli apparati nei quali si approfitta della riflessione insieme e della rifrazione, per mezzo di specchi e di lenti, onde osservare gli oggetti lontani.

Se ne costrussero di parecchie specie, ma i più conosciuti sono quelli di Grégory, di Newton e di Herschell.

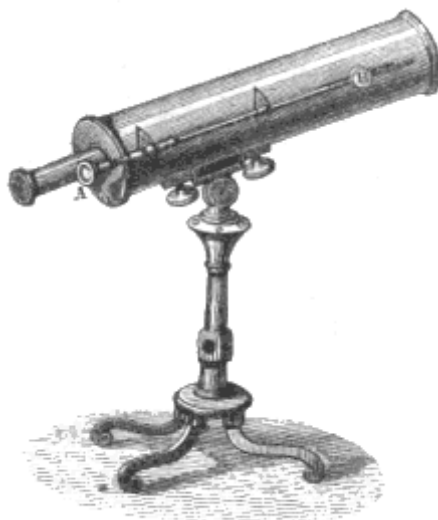


Fig. 324. a = 1 m, 20.

1.° *Telescopio di Grégory.* - La figura 324 rappresenta un telescopio di Grégory, montato sopra un piede sul quale può girare liberamente ed inclinarsi più o meno; la figura 325 ne dà una sezione longitudinale. Questo telescopio, che fu inventato verso il 1650, è composto di un lungo tubo di ottone; uno de' suoi capi è chiuso da un grande specchio concavo M, di metallo, nel cui centro è praticata un'apertura circolare nella quale passano i raggi che si dirigono all'oculare. Vicino all'altra estremità del tubo avvi un secondo specchio concavo N pure di metallo, un po' più largo dell'apertura centrale dello specchio grande e di un raggio di curvatura molto minore. Gli assi di questi specchi coincidono con quello del tubo. Essendo O il centro di curvatura del primo ed *ab* il suo foco, i raggi che come SA sono emessi dall'astro, si riflettono su questo specchio e formano in *ab* una immagine rovesciata e piccolissima dell'astro. Ora, la distanza degli specchi e le loro curvature rispettive sono tali che il luogo di questa immagine trovasi tra il centro o ed il foco *f* dello specchio piccolo; ne risulta che i raggi, dopo d'essersi riflessi una seconda volta sullo specchio N, formano in *a'b* una immagine ingrandita e rovesciata di *ab* (pag. 307, reciproca), e per conseguenza diritta rispetto all'astro. Finalmente si guarda questa immagine con un oculare P, a vetro semplice o doppio, il quale ha per oggetto di ingrandirla di nuovo, e che la fa vedere in *a''b''*.

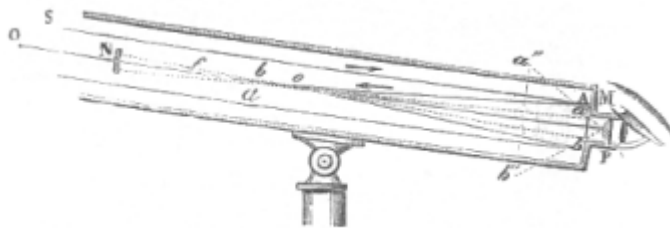


Fig. 325.

Siccome non sempre gli oggetti che si guardano sono collocati alla stessa distanza, il foco dello specchio grande, e, per conseguenza, quello del piccolo, ponno variare di posizione. Inoltre,

siccome la distanza della visione distinta non è la stessa per tutti gli occhi, si deve poter collocare l'immagine  $a''b''$  a differenti distanze. Per aver riguardo a queste variazioni, bisogna poter allontanare od avvicinare lo specchio piccolo al grande; per ciò, mediante un bottone A (fig. 324) si fa girare un'asta la quale per mezzo d'una vite fa muovere un pezzo B al quale è fissato lo specchio piccolo.

2.° *Telescopio di Newton.* - Il telescopio di Newton differisce poco da quello di Grégory; nel telescopio di Newton il grande specchio non ha apertura, e il piccolo, che è piano, è inclinato lateralmente di 45 gradi verso un'oculare collocato sul lato del tubo del telescopio. La difficile costruzione degli specchi metallici aveva fatto abbandonare generalmente i telescopii di Grégory e di Newton, quando Foucault, essendo riuscito ad inargentare gli specchi di vetro con grande perfezione e senza far loro perdere menomamente del loro levigato, pensò in seguito a farne l'applicazione al telescopio di Newton, che torna, per opera sua, in uso. Il primo suo specchio non aveva che 10 centimetri di diametro; ma egli ne ha successivamente costrutti di 22 centimetri, di 33, di 42, e in questo momento ne costruisce uno di 80.



Fig. 326

La figura 327 rappresenta un telescopio di Newton, montato sopra un piede parallatico, e la figura 326 ne mostra una sezione orizzontale.

Vedesi in questa come i raggi luminosi riflessi sullo specchio parabolico inargentato M, vadano ad incontrare un piccolo prisma rettangolo  $mn$ , che rimpiazza lo specchio piano inclinato a 45 gradi, di cui si faceva uso nell'antico telescopio di Newton. Dopo che i raggi hanno subito la riflessione totale sull'ipotenusa  $mn$ , vanno a formare in  $ab$  un'immagine piccolissima dell'astro che si osserva. Egli è questa immagine che in seguito si guarda con un oculare ai quattro lenti, posto sul lato del telescopio, e che, secondo il suo potere d'ingrandimento e la dimensione dello specchio inargentato, può dare un ingrandimento variabile da 50 a 800.

In questo strumento, è lo specchio che fa l'ufficio di obbiettivo, ma evidentemente senza alcuna aberrazione di rifrangibilità (464). Quanto alle aberrazioni di sfericità, si vedrà qui appresso in qual modo Foucault pervenga a farle scomparire con successivi emendamenti fatti allo specchio.

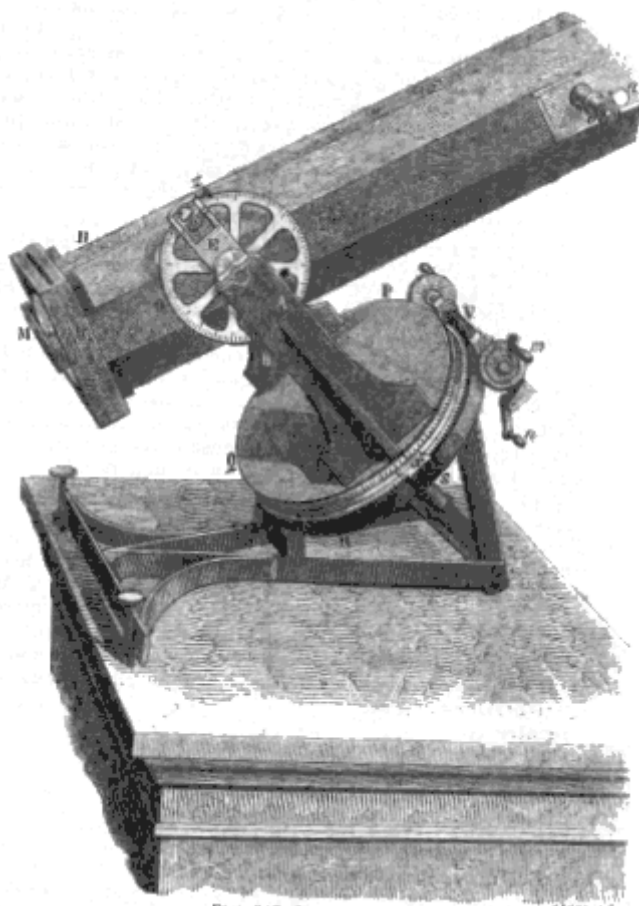


Fig. 327 (L. = 900,70).

Gli specchi di vetro dei nuovi telescopii escono dalla fabbrica di Saint-Gobin; essi vengono dapprima sbozzati e ridotti alla forma sferica nelle officine dei fari di Sauter, e poscia terminati in quella di Secrétan. Ma fino al presente non vi è che Foucault che possa dar loro l'ultimo grado di precisione, prendendo egli stesso in mano il brunitoio, con una serie di prove ottiche successive e di emendamenti locali; questo scienziato riduce la loro superficie senza difetti; ciò che ha luogo quando la medesima è quella di un paraboloide. Tuttavia, Foucault ha riconosciuto che per correggere le aberrazioni di sfericità provenienti dall'oculare, egli non doveva dare a' suoi specchi una superficie rigorosamente parabolica, ma terminarli con una superficie sperimentale che, agendo

di concerto al sistema de' vetri amplificatori dell'oculare, assicura la perfezione dell'immagine risultante.

Levigato lo specchio rimane a inargentarlo sulla sua superficie concava. Perciò Foucault fa uso del processo Drayton leggermente modificato immergendo lo specchio in un bagno d'argento di natura assai complessa, cioè: acqua distillata, alcool puro, nitrato d'argento fuso, nitrato d'ammoniaca, ammoniaca, gomma, galbano ed essenza di garofano. Al contatto del vetro levigato, questo bagno si riduce, l'argento si deposita, e dopo 20 a 25 minuti, lo strato d'argento ha acquistato lo spessore conveniente. Quantunque lo strato così ottenuto sia di già levigato e lucente, si compie col dargli una levigatezza perfetta mediante uno strofinamento prolungato con una pelle fatta divenir rossa con ossido di ferro. Così preparati, Foucault stima che gli specchi inargentati riflettano il 75 per 100 della luce incidente.

I nuovi telescopii a specchi di vetro inargentato e parabolici hanno sui vecchi telescopii a specchi sferici di metallo, il triplice vantaggio di dare immagini più pure, d'avere un peso molto minore, e d'essere molto più corti; la loro distanza focale non essendo che sei volte il diametro dello specchio.

Conosciuti questi particolari, ci resta a descrivere l'apparecchio nel suo assieme. Il corpo del telescopio, che è di legno, ha la forma di un tubo ottagonale (fig. 327). L'estremità G è aperta; all'altra estremità vi è lo specchio. Partendo da quest'ultimo, al terzo incirca della lunghezza, sono

fissati due orecchioni sostenuti da due cuscinetti portati da due sostegni di legno A e B. Questi sono fissati su di una tavola PQ che gira su di un piano fisso RS, disposto parallelamente all'equatore. Sul contorno della tavola girante vi è un cerchio di rame diviso in 360 gradi, e al disotto, fissato anch'esso alla tavola girante, vi è un ingranaggio circolare nel quale imbocca una vite senza fine V. Facendo muovere questa in un senso o nell'altro mediante la manovella M, si fa girare la tavola PQ e con questa tutto il telescopio. Un verniero A, adattato sul piano fisso RS, dà le frazioni di grado. Finalmente, sull'asse degli orecchioni è montato un cerchio graduato O, corrispondente al circolo orario dell'astro che si osserva, e servendo per conseguenza a misurare la *declinazione* dell'astro, vale a dire la sua distanza angolare all'equatore; mentre che i gradi tracciati intorno alla tavola RS servono a misurare l'*ascensione retta*, vale a dire l'angolo che fa il circolo orario dell'astro con un circolo orario scelto arbitrariamente.

Per fissare il telescopio in declinazione, un pezzo di rame L, applicato al sostegno A, porta una pinzetta nella quale striscia il lembo O, e che si chiude con una vite *r*. Finalmente sul fianco dell'apparecchio vi è l'oculare *o*, montato su di una lastra di rame fatta ad incastro che porta eziandio il piccolo prisma *mn* rappresentato nella figura 321.

Per mettere in sito l'immagine, basta spingere innanzi o ritirare questa lastra, ciò che si eseguisce coll'aiuto di una dentiera e di un bottone *a*.

Quanto alla manovella *n*, essa serve all'adattamento della vite V. Il disegno qui sopra venne eseguito su di un telescopio il cui specchio non ha che 0<sup>m</sup>,16 di diametro, e il cui ingrandimento è di 150 a 200.

Il nuovo telescopio a specchio di vetro inargentato ha già dato luogo ad importanti osservazioni, e devesi con ogni fondamento sperare che quello che si sta ora costruendo di 80 centimetri di diametro darà origine a brillanti scoperte astronomiche.

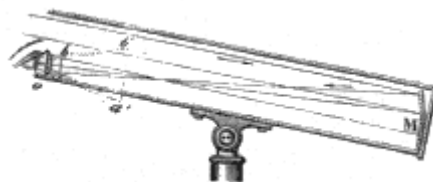


Fig. 328.

3.° *Telescopio di Herschell*. - Il telescopio di Herschell, attribuito anche a Lemaire, è formato da un solo specchio concavo M (fig. 328), e da un oculare *o*. Lo specchio è inclinato all'asse in modo che l'immagine dell'astro che si osserva si forma in *ab*, a fianco del telescopio, vicino all'oculare *o* che dà in seguito l'immagine ingrandita *a'b'*. Siccome in questo telescopio i raggi subiscono una sola riflessione, la perdita di luce è minore che nei due precedenti e l'immagine è più rischiarata. Anche in questo telescopio l'ingrandimento è il rapporto della distanza focale principale dello specchio a quella dell'oculare.

I telescopii a riflessione erano adoperati quando non sapevasi correggere negli obbiettivi l'aberrazione di rifrangibilità: però dacchè si costruiscono obbiettivi acromatici, si usano generalmente i telescopii diottrici, cioè a sola rifrazione, come i cannocchiali suddescritti (472, 473 e 475).

**477. Camera oscura.** - La *camera oscura*, come indica il suo nome, è una camera in cui la luce penetra soltanto per una piccola apertura, come mostra la figura 237 (pag. 290). Allora, tutti gli oggetti esterni, i cui raggi possono giungere all'apertura, si dipingono sulla parete opposta con dimensioni ridotte e coi loro colori naturali; ma le immagini sono rovesciate.

Della Porta, fisico napoletano, fece conoscere, nel 1560, il fenomeno prodotto da un fascio luminoso che penetra in una camera oscura. Poco tempo dopo, lo stesso fisico osservò che, se nell'apertura della camera oscura si fissa una lente biconvessa, e si colloca al foco di questa un diaframma bianco, l'immagine che vi si produce riesce molto più nitida, meglio colorita e di mirabile somiglianza, queste immagini sono tanto più chiare quanto più grande è la lente, e le loro dimensioni aumentano colla distanza focale.

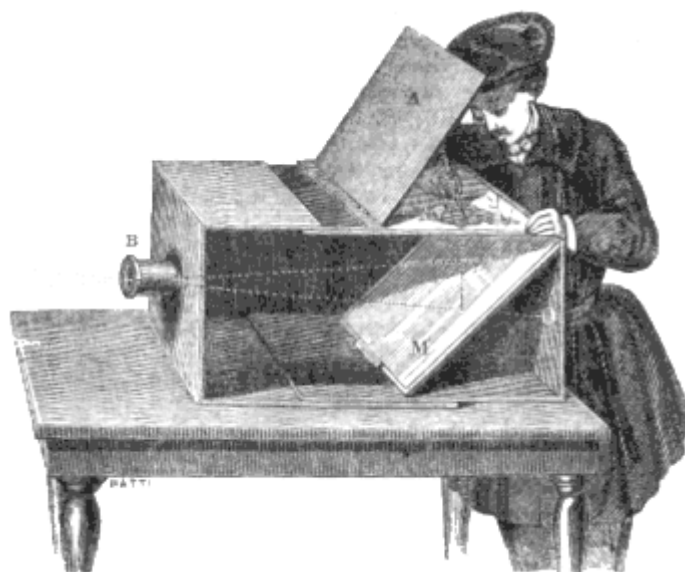


Fig. 329

Si diedero diverse forme alla camera oscura onde adoperarla nell'arte del disegno, renderla portatile e raddrizzar facilmente le immagini. La figura 329 rappresenta la camera oscura a cassetto.

Essa consiste in una cassa parallelepipedica di legno, nella quale i raggi luminosi R penetrano attraverso una lente B e tendono a formare una immagine sulla parete opposta O, la cui distanza dalla lente B deve essere uguale alla distanza focale di quest'ultima. Ma, siccome i raggi incontrano uno specchio di vetro M inclinato di  $45^\circ$ , cambiano direzione, e l'immagine si forma su di una lastra di vetro smerigliato N. Collocando su quest'ultimo un foglio di carta, si ponno copiare fedelmente i contorni dell'immagine. Il diaframma A serve ad intercettare la luce che rischiarebbe l'immagine ed impedirebbe di vederla.

La cassa è formata di due parti che, possono scorrere l'una entro l'altra, in modo che ritirando più o meno la parte anteriore, l'immagine si formi, dopo la riflessione, precisamente sul diaframma N, qualunque sia la distanza dell'oggetto di cui si vuol prendere il disegno.

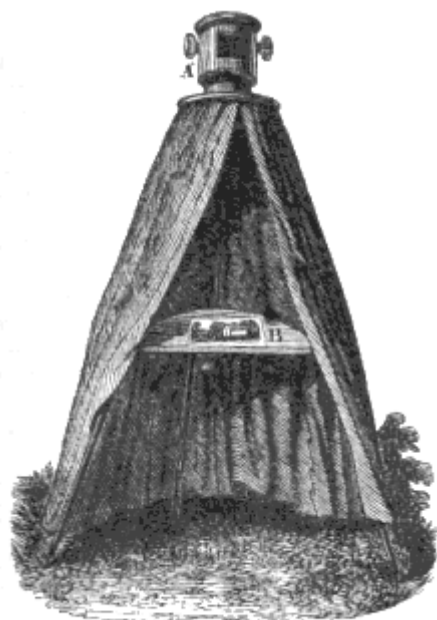


Fig. 330 (a. = 1m.60)

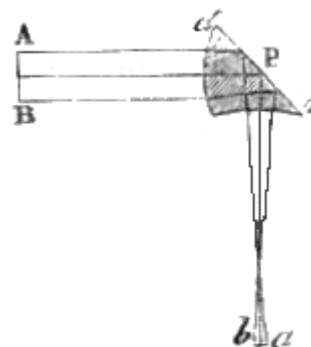


Fig. 331.

La figura 330 rappresenta un'altra specie di camera oscura, conosciuta sotto il nome di *camera oscura a prisma*. In un astuccio di ottone A trovasi un prisma triangolare P (fig. 331), il quale fa contemporaneamente le veci di lente convergente e di specchio; a tale scopo, una delle sue facce è piana, e le altre hanno una curvatura tale che le loro rifrazioni combinate all'ingresso

ed all'emergenza dei raggi, producono l'effetto di un menisco convergente C (fig. 284). Ne risulta che i raggi emessi da un oggetto AB, dopo d'essere penetrati nel prisma ed aver subita sulla faccia

*cd* la riflessione totale, formano in *ab* un'immagine reale di *AB*.

Ciò posto, siccome nella figura 330, la tavoletta *B* corrisponde al foco del prisma contenuto nell'astuccio *A*, l'immagine degli oggetti esterni si forma sopra un foglio di carta collocato su questa tavoletta. L'apparato è cinto da una cortina nera, ed il disegnatore, collocandosi sotto alla medesima, si trova compiutamente nell'oscurità. La tavoletta si toglie ad arbitrio, ed i piedi si piegano per mezzo di cerniere, per cui quest'apparato, dovuto a Chevalier, riesce facilmente portatile.

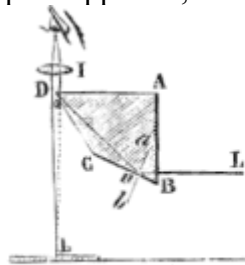


Fig. 332.

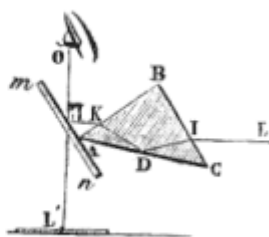


Fig. 333.

**478. Camera chiara.** - La *camera chiara* o *camera lucida*, è un piccolo apparato che si adopera per ottenere una immagine esatta di un paesaggio, di un monumento, o di qualunque altro oggetto. Wollaston pel primo, nel 1804, immaginò un apparato di questo genere. La camera chiara di questo fisico consiste in un piccolo prisma di vetro a quattro facce, di cui la figura 332 rappresenta una sezione perpendicolare agli spigoli. L'angolo *A* è retto, l'angolo *e* è di  $135^\circ$ , e ciascuno degli angoli *B* e *D* è di  $67^\circ$  e mezzo circa. Questo prisma è sostenuto da un piede formato di due pezzi scorrevoli l'uno entro l'altro, per cui si può innalzarlo od abbassarlo a volontà; inoltre, si può farlo girare più o meno intorno ad un asse parallelo ai suoi spigoli. Ciò posto, se si volge la faccia *AB* verso l'oggetto di cui si cerca l'immagine, i raggi partiti da esso cadono quasi perpendicolarmente su questa faccia, vi penetrano senza rifrazione sensibile, e subiscono la riflessione totale sulla faccia *BC*, perchè, essendo *ab* normale alla faccia *BC*, si riconosce facilmente che l'angolo d'incidenza *Lna* e l'angolo *B* sono eguali, perchè aventi i loro lati rispettivamente perpendicolari; e siccome l'angolo *B* è di  $67^\circ$  e mezzo, l'angolo *anL* è maggiore dell'angolo limite del vetro (433), condizione, necessaria perchè avvenga la riflessione totale. Giunti in *o* i raggi subiscono ancora la riflessione totale e sortono vicinissimi allo spigolo *D*, in una direzione sensibilmente perpendicolare alla faccia *DA*, di modo che l'occhio, il quale riceve questi raggi, vede in *L* l'immagine dell'oggetto *L*. Se allora si segue il contorno dell'immagine con una matita, se ne ottiene un disegno esattissimo. Qui però si presenta una difficoltà rilevante, quella cioè di vedere contemporaneamente l'immagine e la punta della matita, perchè i raggi provenienti dall'oggetto danno una immagine che è più lontana dall'occhio che non la matita. Si corregge questo difetto interponendo tra l'occhio ed il prisma una lente *I*, la quale fa convergere ugualmente i raggi partiti dalla matita e quelli provenienti dall'oggetto; bisogna però collocare ancora l'occhio assai vicino al lembo del prisma, ed in modo che la pupilla si trovi divisa in due parti, delle quali l'una vede l'immagine e l'altra la matita.

Chevalier arrecò importanti perfezionamenti alla camera chiara di Wollaston. Siccome l'immagine e la matita cessano d'essere visibili distintamente quando l'intensità della luce che le rischiara è troppo differente, egli adattò all'istrumento alcuni vetri colorati che si interpongono o dalla parte dell'oggetto o dalla parte della matita, ed, intercettando una parte di luce, rendono la sua distribuzione più uniforme.

Amici immaginò una camera chiara preferibile a quella di Wollaston, perchè permette all'occhio di fare movimenti piuttosto estesi, senza che cessino d'essere visibili l'immagine e la matita, ciò che non ha luogo nell'apparato ora descritto. La camera chiara di Amici si compone di un prisma rettangolo *ABC* (fig. 333) di vetro, di cui uno dei lati dell'angolo retto è rivolto verso l'oggetto che si vuol guardare, e l'altro è perpendicolare ad una lastra di vetro inclinata *mn*. I raggi *LI*, emessi dall'oggetto, penetrando nel prisma, subiscono la riflessione totale sul suo lato più grande, e sortono secondo la direzione *KH*. Allora riflettendosi parzialmente sulla lastra di vetro, formano in *L'* una immagine virtuale di *L*. L'occhio che vede questa immagine può benissimo scorgere in pari tempo



la matita attraverso alla lastra di vetro, epperò si possono disegnare gli oggetti con grande precisione.

## FOTOGRAFIA

**479. Daguerrotipo.** - Il *daguerrotipo*, così detto dal nome del suo inventore, è un apparecchio che serve a fissare, sopra sostanze sensibili alla luce, le immagini formate dalle lenti convergenti nella camera oscura (477). L'arte di produrre per tal modo le immagini degli oggetti per mezzo della luce ricevette il nome di *fotografia*. Si distingue la fotografia sulle piastre metalliche, la fotografia sulla carta e la fotografia sul vetro.

Sino dal 1770, il celebre chimico svedese Scheele aveva riconosciuto che il cloruro d'argento, il quale si conserva bianco nella oscurità, annerisce per l'azione della luce. Dietro questa proprietà del cloruro d'argento si potevano già riprodurre delle incisioni esponendo alla luce solare un foglio di carta intonacato di questa sostanza e coperto da un'incisione; siccome la luce solare è intercettata dalle parti nere dell'incisione, la carta preparata col cloruro viene annerita soltanto nelle parti che corrispondono ai chiari dell'incisione e le altre parti restano bianche. Adunque nella copia così ottenuta le tinte sono rovesciate, cioè i neri sono diventati chiari e reciprocamente. Questa copia ha inoltre il difetto di non poter essere conservata che nell'oscurità, perchè, appena esposta alla luce, annerisce in tutte le sue parti e scompare.

Rimaneva adunque a produrre le immagini senza inversione di chiari e di ombre ed a fissarle, cioè a renderle insensibili all'azione della luce una volta formate. Charles in Francia, Wedgwood e Davy in Inghilterra si occuparono della soluzione di questo problema, che fu poi risolto da Niepce e Daguerre. Il primo di questi fisici, dopo pazienti ricerche, continuate dal 1814 al 1829, era pervenuto a formare, sopra una lastra di rame coperta d'argento, un'immagine inalterabile alla luce, alla e nella quale le tinte chiare e scure erano disposte come nell'immagine. Ma nel processo di Niepce, in cui la sostanza sensibile era il bitume di Giudea immerso in seguito in un miscuglio d'olio di lavanda e di petrolio, l'azione della luce doveva essere protratta da 10 a 12 ore, ciò che non si poteva praticare pei ritratti.

Nel 1829, Niepce comunicò il suo processo a Daguerre, già conosciuto per l'invenzione del *diorama*, e che da parecchi anni occupavasi delle medesime ricerche; solo però dopo un lavoro di 10 anni Daguerre fece conoscere, nel 1839, la bella scoperta che fece tanto rumore in Francia e fuori. Niepce, morto tre anni prima, non poté raccogliere quella parte di gloria che ben a ragione gli era dovuta.

Il processo di Daguerre si compone di cinque operazioni principali: 1.<sup>a</sup> il pulimento della lastra di rame, coperta di una lamina sottile d'argento, sopra la quale si deve formare l'immagine; 2.<sup>a</sup> la deposizione su questa piastra dello strato sensibile, cioè della sostanza che la rende atta a ricevere le impressioni della luce; 3.<sup>a</sup> l'esposizione della lastra all'azione della luce nella camera oscura; 4.<sup>a</sup> l'esposizione della lastra ai vapori di mercurio che fanno apparire l'immagine; 5.<sup>a</sup> la fissazione dell'immagine.

La pulitura della lastra è una operazione importante dalla quale dipende il successo dell'esperimento. La si incomincia con fiocchi di cotone leggermente bagnati di alcool e spolverizzati di tripolo, e la si termina con del rosso d'Inghilterra ed un liscioio di pelle.

Pulita la lamina la si espone per due minuti circa su di una piccola cassa rettangolare al vapore di iodio che reagisce sull'argento e ne trasforma la parte superficiale in ioduro d'argento. Si riconosce che la piastra è sufficientemente iodata quando ha preso una bella tinta giallo d'oro, tendente al rosso verso gli orli. La piastra allora è atta a ricevere l'azione della luce, ma solo per riprodurre vedute od oggetti d'arte.

Non potrebbe però ancora essere adoperata per ritratti perchè onde impressionarla bisogna prolungare l'azione della luce per 8 o 10 minuti. Bisogna adunque sottometerla all'azione di sostanze *acceleratrici*, che aumentino cioè la sensibilità dello strato d'ioduro e facciano che l'immagine si produca in pochi secondi. Queste sostanze consistono in una soluzione acquosa di

bromo od in bromuro di calce solido. La lamina si espone al vapore di una di queste sostanze per 30 secondi od 1 minuto circa, fino a che prende una tinta rossa assai intensa, senza passare al violetto. Bromata la piastra la si riporta sulla cassa di iodio, ove la si lascia *esattamente* la metà del tempo che vi era rimasta la prima volta.

La piastra è allora sensibilissima all'azione della luce. Per ciò le operazioni or ora indicate si fanno in un luogo assai poco rischiarato, e quando sono terminate, si rinchiude la piastra in un piccolo telaio di legno e la si copre dal lato ove trovasi l'argento con un diaframma di legno scorrevole nel telaio e che si può togliere a piacere, e dall'altra parte con un'imposta a cerniera che si applica su di essa e la mantiene fissa nel telaio. In questo stato la piastra viene portata in una camera oscura portatile, di legno, che è rappresentata nella figura 334, e che costituisce l'apparato conosciuto generalmente sotto il nome di daguerrotipo.

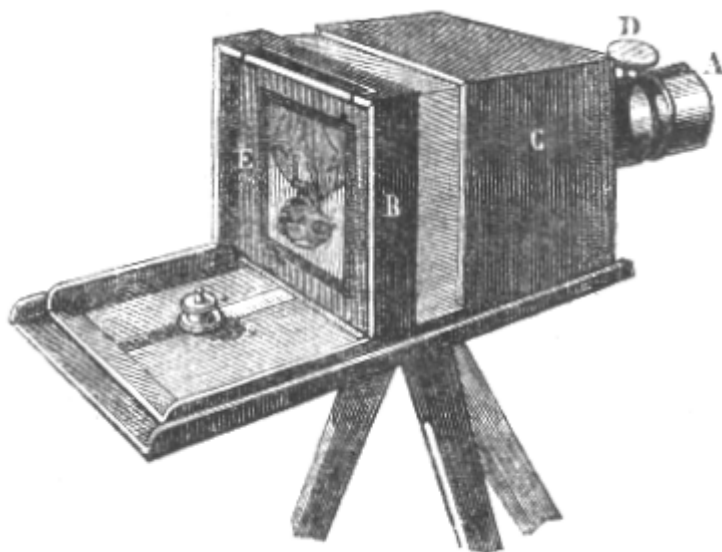


Fig. 334 a. = 28

Quest'apparato, che si compone di una parte fissa C e di una parte mobile B, è una vera camera oscura a cassetto (477). In un tubo di ottone A trovasi l'obbiettivo, il quale è composto di una lente convergente acromatica che si fa avanzare o retrocedere mediante un'asta dentata ed piccolo rocchetto che si fa girare a mano per mezzo di un bottone D.

La parete opposta all'obbiettivo è formata di una lastra di vetro smerigliato fissa in un telaio L, che si toglie a piacere. Ciò posto, se si tratta di ottenere un ritratto, si fa sedere la persona alla distanza di 4 o 5 metri davanti all'obbiettivo, poi si fa avanzare o retrocedere la parte mobile B fintanto che l'immagine, la quale si produce rovesciata sulla lastra di vetro appaisca ben chiara; il che avviene quando la lastra trovasi sensibilmente al foco. Si finisce poi di collocarla nel foco avvicinando od allontanando l'obbiettivo mediante il bottone D. Nei ritratti il foco si determina per rapporto agli occhi della persona, essendo questa la parte più centrale del viso.

Trovato il foco, senza spostare la camera oscura, si leva la cornice E e la lastra di vetro e vi si sostituisce il telaio contenente la lastra iodata; ritirando poi il diaframma scorrevole che copre la superficie d'argento, l'immagine che prima si formava sul vetro, si forma sulla piastra. Allora la luce produce la sua azione misteriosa e disegna sulla lastra un'immagine visibile. Il tempo pel quale la lastra deve restare esposta alla luce varia coll'obbiettivo, colla preparazione dello strato sensibile e coll'intensità della luce, e può essere da 8 a 50 secondi. Se l'esposizione alla luce fu troppo prolungata, l'immagine rimane bianca, ed è nera se l'esposizione fu di troppo breve durata.

Quando, è tempo di troncare l'azione della luce, ciò che non si apprende se non con una lunga pratica, si abbassa il diaframma scorrevole e si ritira il telaio entro il quale la piastra si trova in una perfetta oscurità, ciò che è indispensabile come prima della sua introduzione nella camera oscura. Se si guarda la piastra in questo momento, non si scorge alcuna traccia d'immagine; per renderla

visibile si espone la piastra all'azione dei vapori di mercurio, collocandola sotto un angolo di 45° alla parte superiore di una cassa di legno destinata a quest'uopo, il cui fondo di lamiera di ferro, porta una cavità piena di mercurio. Portando questo liquido ad una temperatura da 60° a 75°, per mezzo d'una piccola lampada ad alcool, i vapori di mercurio si depositano abbondantemente, sotto la forma di goccioline impercettibili, sulle parti che furono fortemente illuminate, e dopo qualche minuto, formano un'amalgama d'argento e mercurio, la quale costituisce i chiari della prova, mentre le altre parti restano nere in causa del brunito della piastra. L'immagine allora è visibile e può rimanere esposta alla luce. Tuttavia, la lamina è ancora coperta, principalmente negli scuri, di uno strato d'ioduro d'argento che dà alla prova una tinta rossastra o violacea. Si fa sparire questa tinta lavando la lamina con una soluzione d'iposolfito di soda. L'immagine però non resiste allo sfregamento anche il più leggero, il che sembra accennare che l'argento ed il mercurio non si sono ben amalgamati.

Appunto per correggere questo difetto rimane ancora l'operazione che serve a fissare l'immagine; a questo effetto si lava la lamina in una soluzione diluita di cloruro d'oro e d'iposolfito di soda. In questa operazione si scioglie un po' d'argento, mentre una piccolissima quantità di oro si combina col mercurio e coll'argento della piastra; allora l'amalgama di mercurio e d'argento, che costituisce i chiari della prova, aumenta di solidità e di lucentezza, combinandosi coll'oro, donde risulta un notevole aumento d'intensità nei chiari della immagine. L'uso del cloruro d'oro, che è il principale perfezionamento portato alla scoperta di Daguerre, deve a Fizeau.

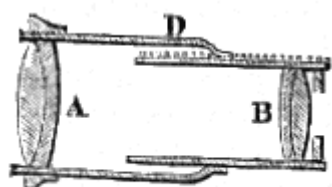


Fig. 335.

La figura 335 rappresenta una sezione dell'obiettivo, cioè dell'apparecchio che serve a concentrare la luce sulla piastra ed a produrvi l'immagine. Esso consisteva dapprima in una sola lente biconvessa acromatica; però non si tardò ad adottare gli obiettivi a due lenti acromatiche, conosciuti sotto il nome di obiettivi a vetri combinati. Essi operano più velocemente che gli obiettivi ad un solo vetro, hanno una distanza focale minore, e permettono di collocare assai facilmente al foco, ciò che si fa avvicinando la lente

B che è rivolta verso l'oggetto alla lente A, od allontanandola per mezzo di un'asta dentata e di un rocchetto D.

**480. Fotografia sulla carta.** - Nel processo di Daguerre, or ora descritto, le immagini vengono prodotte immediatamente sulle lastre metalliche; così non avviene nella fotografia sulla carta, la quale comprende due parti distinte: nella prima si ottiene una immagine le cui tinte sono inverse, cioè le parti più chiare sono divenute sulla carta le più oscure e viceversa: questa è l'*immagine negativa*. Nella seconda si adopera la prima immagine per formarne un'altra in cui le tinte sono rovesciate di nuovo, e si trovano quindi nel loro ordine naturale: questa è l'*immagine positiva*.

La prova negativa si può produrre sul vetro o sulla carta; oggidì si fanno generalmente sul vetro le prove negative per ritratti e sulla carta quelle per paesaggi.

*Prove negative sul vetro.* - Si pulisce una lastra di vetro sfregandola con un panno dapprima cosparso di tripolo stempiato nell'alcool, poi bagnato con alcool solo, indi la si sfrega con una pelle di daino.

La riuscita della prova dipende in gran parte dal pulimento della lastra,

Si dispone la lastra ben pulita in posizione orizzontale, e vi si versa nel mezzo del collodio liquido contenente una soluzione d'ioduro di potassa; indi si inclina la lastra in differenti versi in modo di ottenere uno strato di collodio molto uniforme in tutta la sua superficie, e finalmente la si inclina verso uno dei suoi angoli onde lasciare sgocciolare il liquido eccedente.

L'etere del collodio ben presto vaporizza e la superficie prende un aspetto velato. Allora si immerge la lastra in una soluzione contenente 1 grammo d'azotato d'argento per ogni 10 grammi d'acqua; ivi l'ioduro di potassio si trasforma in ioduro d'argento. Questa operazione deve farsi in luogo oscuro, illuminato soltanto da una candela o da una lampada coperta con vetro giallo-ranciato o con un cilindro di carta dello stesso colore. Si lascia la lastra nel bagno per circa un minuto, indi la si fa sgocciolare e, quando è ben asciugata, la si pone in un telaio chiuso e la si porta nella camera

oscura di Daguerre (fig. 334), nello stesso modo che abbiām già detto per le lastre metalliche (479). Ivi sotto l'influenza della luce, l'ioduro d'argento incomincia a subire una decomposizione (461, 3.°), senza però che l'immagine sia visibile, perchè l'azione non fu prolungata abbastanza. Per rendere visibile l'immagine si immerge la lastra in una soluzione d'acido pirogallico, cui si aggiunge un po' d'acido acetico cristallizzabile, e si riscalda leggermente; in tutti i punti in cui l'ioduro d'argento subì un principio di decomposizione si forma un gallato d'argento che è nero, e l'immagine apparisce all'istante. Le parti ombreggiate dell'immagine che non ricevettero l'azione della luce rimangono bianche perchè l'ioduro d'argento non venne decomposto. Ma siccome questo ioduro annerirebbe per l'azione della luce e per conseguenza l'immagine scomparirebbe, si lava la lastra in una soluzione d'iposolfito di soda, la quale discioglie l'ioduro d'argento, per cui l'immagine si rende inalterabile all'azione della luce<sup>(11)</sup>.

*Immagine positiva sulla carta.* - La prova negativa serve a produrre un numero indeterminato di immagini positive. Per ciò, si colloca su di essa una carta impregnata di cloruro d'argento, e dopo di aver posto il tutto fra due lastre di vetro si espone all'azione della luce, in modo che le parti nere dell'immagine negativa facciano ombra sulla carta preparata col cloruro d'argento. Allora su quest'ultima si produce una copia dell'immagine negativa, in cui le parti rischiarate sono sostituite dalle ombre e viceversa; si ottiene quindi un'immagine positiva. Rimane a fissare questa immagine, ciò che si ottiene lavando la carta, come si disse più sopra, con una soluzione d'iposolfito di soda. Finalmente per dare i tuoni all'immagine, la si tiene immersa per alcune ore in un bagno di cloruro d'oro che contenga un grammo di cloruro per ogni litro d'acqua.

**481. Immagini positive sul vetro.** - Si ottengono prove positive sul vetro preparando da prima le lastre come per le negative, nello stesso modo che si disse nel paragrafo precedente: però l'esposizione alla luce nella camera oscura deve durare circa la metà di quella per le prove negative. Indi, si immergono in una soluzione di solfato di protossido di ferro. Allora si manifesta subito una immagine, la quale però è negativa. Per renderla positiva, si immerge la lastra in un vaso pieno d'acqua a fine di togliere l'eccedente solfato di ferro, poi vi si versa sopra una soluzione di cianuro di potassio che contenga una parte di cianuro per ogni 10 di acqua. L'immagine allora si spoglia delle parti annerite e diventa positiva. Dopo averla lavata, si copre di vernice da quadro, e finalmente si intinge tutta con uno strato di bitume di Giudea. Questa immagine si guarda poi dall'altra faccia della lastra.

**482. Fotografia sulle lastre di vetro albuminate.** - Le lastre di vetro preparate col collodio hanno l'inconveniente che debbono essere adoperate tosto dopo la loro preparazione, mentre le lastre preparate all'albumina possono conservarsi per otto giorni e più prima di sottoporle all'azione della luce; ma l'azione della luce deve per queste lastre essere prolungata molto più che per quelle preparate col collodio. Perciò vengono adoperate soltanto per vedute e non servono per ritratti.

Il processo di fotografia coll'albumina è dovuto a Niepce de Saint-Victor. Per preparare l'albumina si disguazza un certo numero d'albumi d'uova fino a farli spumeggiare, indi si lascia in quiete, si decanta, poi si aggiunge l'uno per cento di ioduro di potassio e il 25 per 100 di acqua. Così si ottiene un liquido che può essere conservato per parecchi giorni in un vaso ben chiuso.

La lastra di vetro sulla quale si vuol stendere l'albumina deve essere accuratamente pulita, come quando si adopera il collodio (480); indi, si scalda moderatamente questa lastra per far aderire sulla faccia opposta a quella che deve servire per la operazione fotografica un'estremità di un tubo di gutta-percha, il quale serve di manico alla lastra.

Pigliando allora questo manico, si versa sulla medesima uno strato del liquido albuminoso preparato come si è detto; indi applicando ambo le mani al manico lo si fa rotare rapidamente tra le

---

<sup>(11)</sup> *Prove negative sulla carta.* - Si pone la carta sopra un bagno di ioduro di potassio contenente per ogni 100 parti d'acqua 4 parti d'ioduro, avendo cura che il liquido non bagni la faccia posteriore della carta; poi la si lascia asciugare. Per renderla sensibile se ne pone il lato iodurato su di un bagno d'argento, che per ogni 100 parti di acqua contiene 8 parti d'azotato d'argento ed altrettante di acido acetico cristallizzabile, e vi si lascia per alcuni secondi; la carta così preparata si colloca nella camera oscura, e si procede come per le prove negative sul vetro.

(Nota del Trad.)

palme insieme colla lastra. La forza centrifuga spinge allora il liquido albuminoso sovrabbondante verso il lembo della lastra d'onde si toglie col mezzo di una pipetta.

La lastra albuminata ed asciutta è collocata per un minuto in un bagno d'argento che contiene 8 parti di azotato d'argento ed 8 parti di acido acetico cristallizzabile per ogni 100 parti d'acqua. Quando si toglie dal bagno, può essere posta nella camera oscura anche umida; se vuolsi adoperarla asciutta, bisogna togliere l'eccesso di argento lavandola con acqua distillata, poi farla asciugare in un luogo oscuro: allora può essere conservata per parecchi giorni prima di farne uso.

Quando la lastra così preparata ha subito l'azione della luce nella camera oscura per circa 20 minuti, si fa apparire l'immagine immergendola in una soluzione di acido gallico scaldata leggermente alla lampada. Aggiungendo al bagno di acido gallico alcune gocce di una soluzione di azotato d'argento, si accelera di molto l'apparizione dell'immagine e si ottengono ombre più intense. Finalmente, lavata la lastra in molta acqua, si fissa l'immagine coll'immergerla per 5 minuti in un bagno di iposolfito di soda che contenga 8 parti di iposolfito per ogni 100 di acqua.

L'immagine così ottenuta è negativa e può servire a dare prove positive sul vetro albuminato o sulla carta (480).

Non potendo qui estenderci di più sull'arte della fotografia, rimandiamo i lettori che volessero averne più dettagliate notizie all'eccellente *Manuale di fotografia* di E. Robiquet, edito recentemente da Labé.

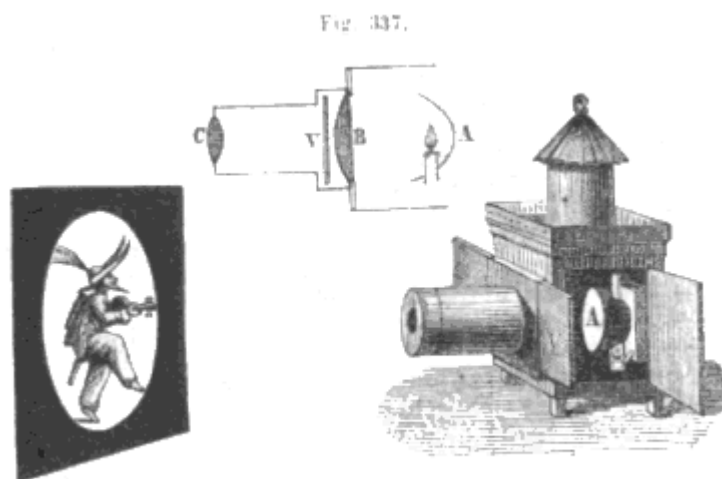


Fig. 336 (a) = 385.

**483. Lanterna magica.** - La *lanterna magica* è un piccolo apparecchio che serve ad ottenere sopra un diaframma bianco, in una camera oscura, le immagini ingrandite di piccoli oggetti. Consiste in una cassa di latta, entro la quale è collocata una lampada nel fuoco di uno specchio concavo A (fig. 336). I raggi riflessi da quest'ultimo sono ricevuti da una lente convergente B (fig. 337) che li concentra sopra diverse figure dipinte su di una lastra di vetro V. Queste figure, che per tal guisa trovansi fortemente rischiarate, sono situate davanti ad una seconda lente di convergenza C, ad una distanza alquanto maggiore della distanza focale principale. In questa posizione la lente produce, sopra un diaframma collocato ad opportuna distanza un'immagine reale, rovesciata e molto ingrandita degli oggetti dipinti sul vetro (450, 1.°). Per vedere dritta l'immagine bisogna aver cura di collocare nella lanterna il vetro dipinto, in modo che i disegni vi sieno rovesciati.

La lanterna magica fu inventata dal padre Kircher, gesuita tedesco, morto a Roma nel 1680.

L'ingrandimento ottenuto colla lanterna magica è uguale a quello delle lenti (455); cioè è il rapporto delle distanze della lente C all'immagine e all'oggetto. Per conseguenza se l'immagine è 100 volte, 1000 volte più lontana dalla lente che l'oggetto, l'ingrandimento è di 100 o di 1000. Si comprende facilmente che con una lente a corto foco si potranno ottenere, sopra un diaframma sufficientemente lontano, le immagini assai ingrandite (450, 1.°).

**484. Microscopio solare.** - Il *microscopio solare* è una vera lanterna magica rischiarata dai raggi solari, che serve ad ottenere le immagini assai ingrandite di oggetti piccolissimi. Questo

apparecchio si adopera in una camera oscura; la figura 338 lo rappresenta fissato all'imposta della camera, e la figura 339 ne mostra la disposizione interna.

Uno specchio piano M, situato al di fuori della camera oscura, riceve i raggi solari e li riflette su di una lente convergente A, indi su di una seconda lente E (fig. 329), chiamata *focus*, che li concentra nel suo foco.

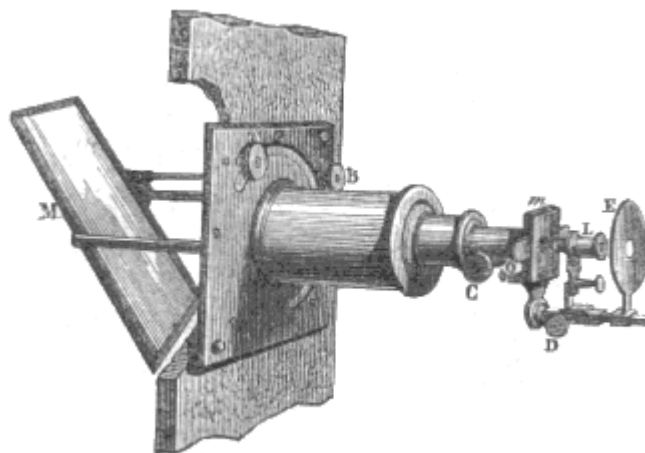


Fig. 338.

In questo punto trovasi l'oggetto di cui si vuole avere l'immagine; esso è collocato fra due lastre di vetro O, che si introducono fra due lamine metalliche KK, le quali le comprimono l'una contro l'altra per mezzo di molle a spirale HH. L'oggetto trovandosi allora fortemente illuminato, e collocato vicinissimo al foco di una piccola lente L assai convergente, questa ne forma un'immagine *ab* rovesciata ed assai ingrandita sopra un muro o sopra un diaframma bianco situato a conveniente distanza. Le viti a bottone D e C servono a regolare le distanze delle lenti E ed L dall'oggetto, in modo che questo sia esattamente al foco della prima, e che l'immagine formata dalla lente L corrisponda esattamente al diaframma.

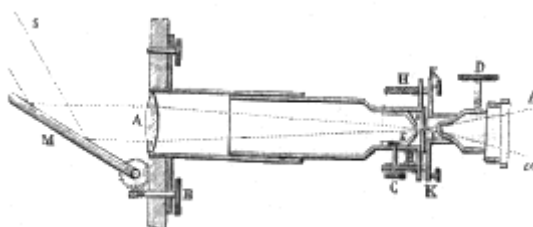


Fig. 339.

Siccome la direzione della luce solare varia continuamente, bisogna che varii anche quella dello specchio posto al di fuori della camera oscura, acciocchè la riflessione si produca costantemente secondo l'asse del microscopio. Il mezzo più esatto sarebbe l'uso dell'eliostato (429); ma siccome questo strumento è assai costoso, vi si supplisce inclinando più o meno lo specchio M per mezzo di una vite perpetua B e di un rocchetto, e facendolo girare attorno alla lente A mediante un bottone A (fig. 338), che si muove entro una scanalatura fissa e trasmette allo specchio un movimento di rotazione attorno all'asse dello strumento.

Il microscopio solare ha l'inconveniente di concentrare sull'oggetto un calore troppo intenso che lo altera prontamente. Vi si rimedia interponendo uno strato d'acqua satura d'allume, che, avendo un debolissimo potere diatermano, arresta una parte del calore (363).

L'ingrandimento del microscopio solare si può determinare sperimentalmente mettendo in luogo dell'oggetto, una lastra di vetro sulla quale sono segnate delle divisioni di 1/10 o di 1/100 di millimetro. Misurando, allora sull'immagine l'intervallo fra queste divisioni, se ne deduce l'ingrandimento. Lo stesso processo può essere adoperato pel microscopio foto-elettrico (485). Secondo l'ingrandimento che si vuol ottenere, l'obbiettivo consta di una, di due o di tre lenti acromatiche.

Col microscopio solare si possono mostrare a numerose adunanze dei curiosissimi fenomeni; per es., la circolazione del sangue nella coda dei girini e nelle zampe delle rane, la cristallizzazione dei sali e specialmente del sale ammoniaco, oppure gli animaletti che vedonsi nell'aceto, nella pasta di farina, nelle acque stagnanti, ecc.

**485. Microscopio foto-elettrico.** - Il microscopio *foto-elettrico* altro non è che un microscopio solare, il quale invece di essere rischiarato dal sole (484) lo è dalla luce elettrica. Questa luce è preferibile a quella del sole perchè è stabile e si può facilmente avere in qualunque tempo.

Qui descriveremo soltanto il microscopio foto-elettrico propriamente detto, riservandoci a parlare della luce elettrica nel trattato dell'elettricità.

Il microscopio foto-elettrico fu immaginato da Foucault e Donné. La figura 340 rappresenta la disposizione data a quest'apparato da Duboscq. Sopra una parete esterna di una cassa parallelepipedica di ottone è fissato un microscopio solare ABD identico a quello descritto nel paragrafo precedente. Nell'interno della cassa si trovano due bacchette di carbone *a* e *c* le quali non sono a contatto, e l'intervallo che esiste tra loro corrisponde esattamente all'asse delle lenti del microscopio. L'elettricità di una potente pila giunge pel filo di ottone *K* al carbone *a* e da questo passa al carbone *c*, il quale perciò deve dapprima trovarsi al contatto col carbone *a*, poi allontanato alquanto; l'elettricità allora è condotta dal carbone che volatilizzandosi passa da *a* in *c*. Infine dal carbone *c*, l'elettricità giunge per mezzo di una colonna metallica o ad un secondo filo di rame che la riconduce alla pila.

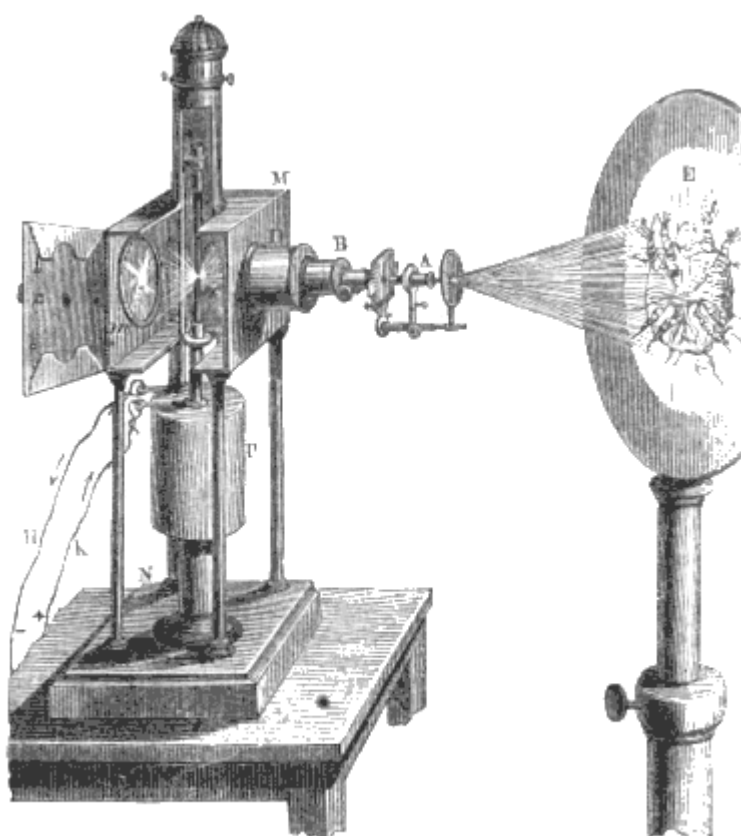


Fig. 340. — Microscopio foto-elettrico.

Ciò posto, durante il passaggio della elettricità, gli estremi dei due carboni diventano incandescenti e spandono una luce assai viva, la quale rischiarava fortemente il microscopio. Per ciò si colloca in *D*, nell'interno del tubo, una lente convergente, il cui foco principale corrisponde all'intervallo dei due carboni. Per tal modo i raggi luminosi che entrano nei tubi *D* e *B* sono paralleli al loro asse, e, come nel microscopio solare ordinario, si forma su di un diaframma *E*, più o meno lontano, un'immagine assai ingrandita dei piccoli oggetti collocati fra due lastre di vetro in capo al tubo *B*. Nel nostro disegno l'oggetto rappresentato sul diaframma è l'acaro della scabbia.

In questo apparato i due carboni si consumano disugualmente, cioè a più rapidamente di *c*; ne risulta che l'intervallo fra i due carboni aumenta, e perciò la luce si indebolisce o cessa anche di prodursi. Trattando, più tardi, della luce elettrica, diremo come funzioni l'apparecchio P che porta i due carboni e serve a mantenere costante il loro intervallo.

L'apparato MN, astrazione fatta dei tubi A, B, D, divenne tra le mani di Duboscq un apparato *fotogenico universale*. Sostituendo successivamente al microscopio ABD alcune figure di fantasmagoria, di poliorama, di megascopio, taluni apparati polarizzatori, si giunge a ripetere, con questo solo apparato, tutte le esperienze dell'ottica, epperò quest'apparato viene oggidi vantaggiosamente sostituito a quello già conosciuto sotto il nome di *microscopio a gas*.

**486. Lenti a gradinate, fari.** - Le lenti di grandi dimensioni sono molto difficili a costruirsi; inoltre producono una forte aberrazione di sfericità e perdono molto della loro trasparenza a motivo della loro grossezza. Per ovviare a questi inconvenienti si costruiscono le *lenti a gradinate*. Queste lenti immaginate da Buffon e perfezionate da Fresnel sono formate al centro da una lente piano-convessa C (fig. 341 e 342) cinta da una serie di segmenti annulari e concentrici A, B, ciascuno dei quali ha una faccia piana situata dallo stesso lato della faccia piana della lente centrale, mentre le facce opposte hanno curvature tali che i fuochi dei vari segmenti si formano nel medesimo punto. Il complesso di questi anelli forma adunque colla lente centrale una lente unica che si scorge in sezione nella figura 342. Quella rappresentata nel nostro disegno venne copiata da una lente di 60 centimetri circa di diametro, i cui segmenti annulari sono formati di un solo pezzo di vetro; nelle lenti più grandi però ciascun segmento è formato di parecchi pezzi.

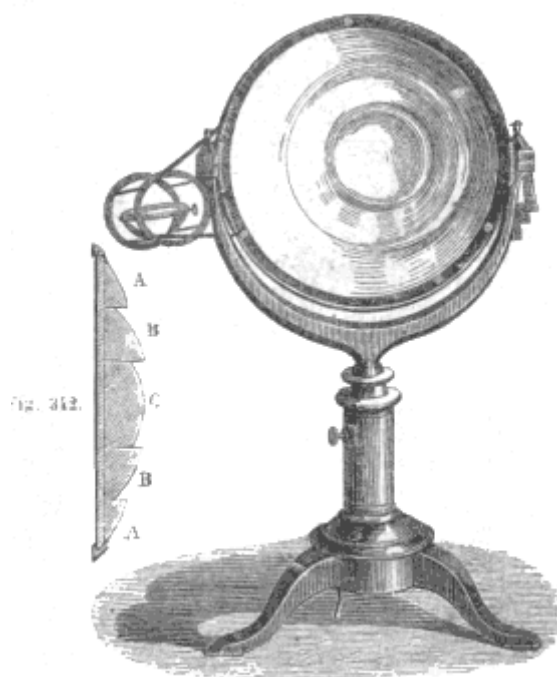


Fig. 341.

Dietro alla lente trovasi un sostegno fissato con tre verghe sul quale si pongono i corpi che vogliansi sottomettere all'azione dei raggi solari che cadono sulla lente. Siccome il centro del sostegno corrisponde al foco, le sostanze che vi si collocano sono fuse e volatilizzate dall'alta temperatura che vi si produce. L'oro, il platino, il quarzo, si fondono rapidamente. Facciamo osservare che queste esperienze dimostrano che il calorico si rifrange secondo le stesse leggi della luce, perchè il foco calorifico si forma allo stesso punto del foco luminoso.

Nei tempi passati, si adoperavano gli specchi parabolici per trasmettere a grandi distanze la luce dei *fari*. Chiamansi così le fiamme che si mantengono accese durante la notte, sulle coste, per servire di guida ai nocchieri. Oggidi si adoperano soltanto le lenti a gradinate. La fiamma è prodotta da una lampada a 3 o 4 lucignoli concentrici, la quale dà tanta luce come 45 lampade Carcel. Questo lume essendo collocato al foco principale di una lente a gradinate dal lato della faccia piana, i raggi emergenti formano un fascio parallelo (fig. 287) che perde la sua intensità soltanto pel passaggio



attraverso all'atmosfera (466), e può essere visibile sino alla distanza di 64 o 70 chilometri. Acciocchè tutti i punti dell'orizzonte siano successivamente rischiarati da uno stesso faro, la lente, per mezzo di un meccanismo d'orologeria, si muove attorno alla lampada e fa le sue rotazioni in un tempo che varia da un faro all'altro. Ne risulta che pei diversi punti dell'orizzonte avvi successivamente, ad intervalli di tempo, eguali apparizione ed eclissamento di luce. Tali eclissi servono ai marinai per distinguere i fari dai fuochi accidentali; inoltre dal numero degli eclissi che si producono in un tempo determinato, possono essi riconoscere il faro e per conseguenza la spiaggia che si trova alla lor vista.

## CAPITOLO VI

# DELL'OCCHIO CONSIDERATO COME STRUMENTO D'OTTICA

**487. Struttura dell'occhio umano.** - L'*occhio* è l'organo della *visione*, di quel fenomeno cioè per quale la luce emessa o riflessa dai corpi fa nascere in noi la sensazione che ci avverte della loro presenza.

L'occhio, situato in una cavità ossea chiamata *orbita*, è trattenuto dai muscoli che servono a muoverlo, dal nervo ottico, dalla congiuntiva, dalle palpebre e dall'aponeurosi orbito-oculare. Tutti questi mezzi, che lo trattengono solidamente, gli permettono di eseguire movimenti molto variati ed estesi: il suo volume è presso a poco lo stesso in tutti gli individui; l'apertura variabile delle palpebre soltanto lo fa sembrare più o meno voluminoso.

La figura 343 mostra una sezione trasversale dell'occhio dall'avanti all'indietro. Si vede che la sua forma generale è quella di uno sferoide la cui curvatura alla parte anteriore è maggiore che alla parte posteriore. L'occhio si compone di membrane e di mezzi che sono: la *cornea*, la *sclerotica*, l'*iride*, la *pupilla*, l'*umore acqueo*, il *cristallino*, l'*umor vitreo*, la *membrana ialoidea*, la *coroide*, la *retina* ed il *nervo ottico*.

*Cornea.* - La cornea *a* è una membrana trasparente situata nella parte anteriore del globo dell'occhio. Essa ha sensibilmente la forma di una piccola calotta sferica avente una base di 11 a 12 millimetri di diametro. La sua circonferenza, tagliata ad ugnatura verso la sua faccia esterna, si incastra nella sclerotica *i*, e l'aderenza di queste due membrane è tale che da alcuni anatomici furono considerate come una membrana unica.

*Sclerotica.* - La sclerotica *i* è una membrana che insieme alla cornea avvolge tutte le parti costituenti l'occhio. Essa presenta sul davanti un'apertura quasi circolare nella quale è incastrata la cornea; alla parte posteriore ed interna ha un foro nel quale passa il nervo ottico.

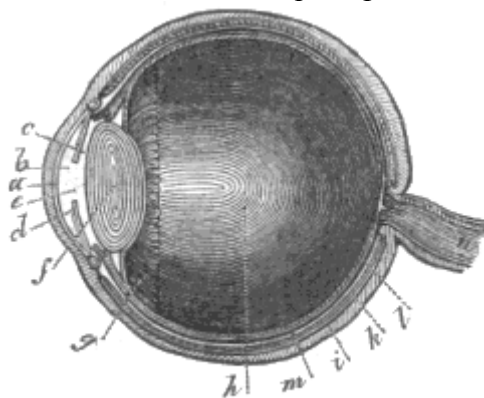


Fig. 343.

*Iride.* - L'iride *d* è un diaframma annulare, opaco, aderente pel suo perimetro esterno e libero al suo margine centrale. Questa membrana è collocata tra la cornea ed il cristallino, e costituisce la parte colorata dell'occhio; essa ha un'apertura che non trovasi al suo centro ma alquanto verso la parte mediana dell'occhio; tale apertura chiamasi *pupilla*, e nell'uomo è circolare. In altri animali essa è stretta ed allungata in direzione verticale, principalmente in quelli del genere *felis*, ed in direzione trasversale nei ruminanti.

I raggi luminosi penetrano nell'occhio per mezzo della pupilla. Il suo diametro, variabile in un medesimo individuo, è in media da 3 a 7 millimetri; questi limiti però sono talvolta oltrepassati. Le alternative di ingrandimento e di restringimento della pupilla si effettuano rapidamente; esse sono frequenti ed hanno una parte importante nel fenomeno della visione. La pupilla si restringe sotto

l'influenza di una viva luce, e si dilata all'incontro nell'oscurità. Sembra che i movimenti dell'iride siano involontari.

Dietro quanto precede, l'iride è un diaframma di apertura variabile, la cui funzione è quella di regolare la quantità di luce che penetra nell'occhio, giacchè la grandezza della pupilla diminuisce al crescere dell'intensità della luce e viceversa. L'iride serve anche a correggere l'aberrazione di sfericità, coll'impedire ai raggi marginali di attraversare i lembi del cristallino, cioè compie rispetto all'occhio l'ufficio d'un diaframma negli strumenti d'ottica (453).

*Umore acqueo.* - Tra la parte posteriore della cornea e la parte anteriore del cristallino evvi un liquido trasparente chiamato umore acqueo.

Lo spazio è occupato da questo umore, è diviso in due compartimenti dall'iride; la parte *b* compresa tra la cornea e l'iride chiamasi *camera anteriore*; la parte *c* che è tra l'iride ed il cristallino chiamasi *camera posteriore*.

*Cristallino.* - Il cristallino è un corpo lenticolare *f* collocato dietro l'iride ed assai vicino a questa membrana. Perfettamente trasparente, il cristallino è avvolto in una membrana di egual trasparenza, che aderisce col suo lembo alla corona annulare formata dai *processi ciliari g*.

La faccia anteriore del cristallino è meno convessa della faccia posteriore. Il suo tessuto è composto di una serie di lamelle quasi concentriche, più dure al centro che alla periferia. Gli strati più superficiali, che sono assai teneri e quasi liquidi vengono distinti col nome di *umore del Morgagni*. Il potere rifrattivo di questi strati diminuisce dal centro alla periferia.

*Umore vitreo, membrana ialoidea.* - Chiamasi umore vitreo o corpo vitreo una massa trasparente, paragonabile all'albumine dell'uovo, la quale occupa tutta la parte *h* del globo dell'occhio situata dietro il cristallino. Il corpo vitreo è avvolto dalla membrana ialoidea *l*, la quale copre tutta la faccia posteriore della capsula cristallina e tutta la faccia interna di un'altra membrana chiamata retina.

*Retina, nervo ottico.* - La retina *m* è una membrana destinata a ricevere l'impressione della luce ed a trasmetterla al cervello per mezzo di un nervo *n*, chiamato nervo ottico, il quale parte dal cervello, penetra nell'occhio e si spande a costituire la retina sotto forma di una rete nervosa.

La retina ed il nervo ottico non godono che la proprietà speciale di ricevere e trasmettere al cervello l'impressione delle immagini; sono affatto insensibili all'azione dei corpi vulneranti; infatti questi organi furono tagliati e punti senza che gli animali sottoposti a questa esperienza abbiano mostrato il minimo dolore.

*Coroide.* - La coroide *k* è una membrana posta tra la retina e la sclerotica. Essa è essenzialmente vascolare e ricoperta, principalmente sulla faccia interna, da una materia nera, simile al pigmento della pelle dei negri, e destinata ad assorbire tutti i raggi che non devono cooperare alla visione.

La coroide si prolunga in avanti, formando una serie di pieghe sporgenti *g*, che si chiamano *processi ciliari*, e che si insinuano tra l'iride e la capsula cristallina, alla quale aderiscono formando intorno ad essa un disco assai somigliante a quello d'un fiore raggiato. La coroide, per mezzo del suo tessuto vascolare serve a trasportare il sangue nell'interno dell'occhio e principalmente ai processi ciliari.

**488. Indici di rifrazione dei mezzi trasparenti dell'occhio.** - Gli indici di rifrazioni delle parti trasparenti dell'occhio furono determinati da Brewster. Essi sono esposti nella tabella seguente, unitamente a quello dell'acqua preso per termine di confronto:

Acqua	1,3358	Involuppo esterno del cristallino	1,3767
Umure acqueo	1,3366	Centro del cristallino	1,3990
Umure vitreo	1,3394	Rifrazione media del cristallino	1,3839

**489. Curvature e dimensioni delle diverse parti dell'occhio umano.** -

Raggio di curvatura della sclerotica	10 a 11 millimetri.
“ della cornea	7 a 8 “
“ della faccia anteriore del cristallino	7 a 10 “
“ della faccia posteriore	5 a 6 “
Diametro dell'iride	11 a 12 “

“ della pupilla	3 a 7	“
“ del cristallino	10	“
Groschezza della lente cristallina	5	“
Distanza della pupilla dalla cornea	2	“
Larghezza dell'asse dell'occhio	22 a 24	“

La curvatura della cornea, secondo Chossat, è quella di un elissoide di rivoluzione attorno il suo asse maggiore, e la curvatura del cristallino quella di un elissoide di rivoluzione attorno al suo asse minore.

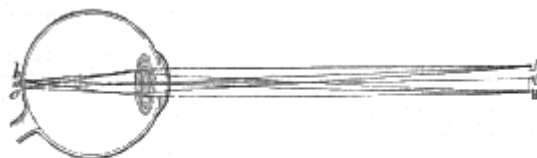


Fig. 344.

**490. Andamento dei raggi nell'occhio.** - Dietro l'esame delle diverse parti che compongono l'occhio, si può paragonare quest'organo ad una camera oscura (477) della quale la pupilla è l'apertura, il cristallino la lente convergente e la retina il diaframma su cui si dipinge l'immagine. L'effetto è adunque uguale a quello pel quale al foco coniugato di una lente bi-convessa si forma l'immagine di un oggetto collocato all'altro foco. Suppongasì infatti un oggetto AB (fig. 344), collocato davanti all'occhio, e si considerino i raggi emessi da un punto qualunque A di questo oggetto. Di tutti questi raggi, quelli che sono diretti verso la pupilla sono i soli che penetrino nell'occhio e che siano utili alla visione. Questi raggi, al loro ingresso nell'umore acqueo, subiscono una piccola rifrazione che li avvicina all'asse Oo condotto dal centro ottico del cristallino; indi incontrano quest'ultimo che li rifrange di nuovo come una lente bi-convessa; e finalmente, dopo aver subita un'ultima rifrazione nell'umore vitreo, concorrono in un punto *a* e vi formano l'immagine del punto A. Siccome i raggi partiti dal punto B formano del pari in *b* l'immagine di questo punto, così ne risulta un'immagine *ab* assai piccola, reale e rovesciata, che si forma esattamente sulla retina quando l'occhio è ben conformato.

**491. Rovesciamento delle immagini.** - Per assicurarsi che le immagini formate sulla retina sono realmente rovesciate, si prende un occhio d'albino, perchè essendo la corioide degli occhi di questi animali priva di pigmento, la luce può attraversarli completamente; si spoglia la parte posteriore di quest'occhio del tessuto cellulare che la involupa. Così preparato lo si fissa ad un'apertura praticata nell'imposta, di una camera oscura, e per mezzo di una lente si vedono dipingersi sulla retina le immagini rovesciate degli oggetti esterni.

Il rovesciamento delle immagini nell'occhio ha occupato molto i fisici ed i fisiologi, e numerose teorie furono proposte per ispiegare come noi non vediamo gli oggetti rovesciati. Alcuni ammisero che l'abitudine ed una vera educazione dell'occhio ci faccia vedere gli oggetti raddrizzati, cioè nella loro posizione relativa rispetto a noi. Altri pensano che noi riferiamo il luogo reale degli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che essi emettono, e siccome questi raggi si incrociano nel cristallino (fig. 344), l'occhio vede i punti A e B rispettivamente nella direzione *aA* e *Bb*; quindi l'oggetto sembra dritto. Tale era l'opinione di d'Alembert. Muller, Volkmann ed altri sostengono che siccome noi vediamo tutti gli oggetti rovesciati e non già un solo, così nessuno di essi ci può sembrare rovesciato, poichè non ci rimane più verun termine di confronto. Nessuna di queste teorie però è abbastanza soddisfacente.

**492. Asse ottico, angolo ottico, angolo visuale.** Si chiama *asse ottico principale* di un occhio il suo asse di figura, cioè la retta rispetto alla quale esso è simmetrico. In un occhio ben conformato, l'asse ottico principale è la retta che passa pel centro della pupilla e pel centro del cristallino; tale è la retta Oo (fig. 344). Le linee *Aa*, *Bb*, che sono sensibilmente rette, sono assi secondari. L'occhio vede gli oggetti colla maggior chiarezza nella direzione dell'asse ottico principale.

L'*angolo ottico* è l'angolo BAC (fig. 345) formato dagli assi ottici principali dei due occhi, quando sono diretti verso uno stesso punto. Quest'angolo è tanto più piccolo quanto più gli oggetti sono lontani.

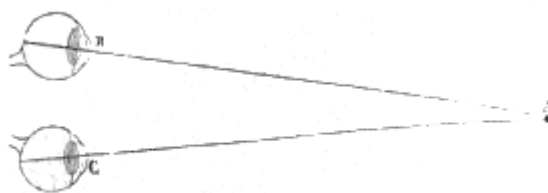


Fig. 345.

L'*angolo visuale* è l'angolo AOB (fig. 346) sotto il quale è veduto un oggetto, cioè l'angolo formato dagli assi secondari condotti dal centro ottico del cristallino alle estremità opposte dell'oggetto. Per una distanza medesima quest'angolo diminuisce colla grandezza dell'oggetto e per uno stesso oggetto diminuisce colla distanza, come avviene quando l'oggetto passa da AB in A'B'. Ne risulta che gli oggetti sembrano tanto più piccoli quanto più sono lontani, perchè siccome gli assi secondari AO, BO si incrociano al centro del cristallino, la grandezza dell'immagine proiettata sulla retina dipende dal valore dell'angolo visuale AOB.



Fig. 346.

**493. Valutazione della distanza e della grandezza degli oggetti.** - La valutazione della distanza e della grandezza degli oggetti dipende dal concorso di parecchie circostanze che sono: l'angolo visuale, l'angolo ottico, il paragone con oggetti la cui grandezza ci è nota, la diminuzione di chiarezza dell'immagine per l'interposizione di un'aria più meno carica di vapori.

Quando si conosce la grandezza di un oggetto, come la statura, l'altezza di un albero o di una casa, se ne valuta la distanza dall'apertura dell'angolo visuale sotto il quale lo si vede. Se la grandezza dell'oggetto è sconosciuta, la si deduce da quella degli oggetti lo circondano.

Le colonne, gli alberi disposti in fila ci sembrano diminuire di grandezza a misura che la loro distanza aumenta, perchè l'angolo visuale diminuisce; ma l'abitudine di vedere colonne, alberi, coll'altezza loro propria, fa sì che il nostro giudizio rettifica l'apparenza prodotta dalla visione. Del pari, quantunque le montagne assai lontane si vedano sotto un piccolissimo angolo e non occupino che poco spazio nel campo della visione, pure abituati agli effetti di prospettiva aerea, noi valutiamo la grandezza loro reale.

L'angolo ottico è pure un elemento essenziale per giudicare della distanza; siccome quest'angolo aumenta o diminuisce all'avvicinarsi od allontanarsi degli oggetti, così i movimenti che imprimiamo ai nostri occhi perchè i loro assi ottici concorrano verso l'oggetto che guardiamo, ci dà l'idea della sua distanza. Tuttavia, solo per una lunga abitudine giungiamo a stabilire per tal modo una relazione fra la distanza che ci separa dagli oggetti ed i movimenti corrispondenti dei nostri occhi. Si osserva infatti che i ciechi dalla nascita, ai quali siasi resa la vista coll'operazione della cataratta, giudicano dapprincipio che tutti gli oggetti si trovino alla medesima distanza.

**494. Distanza della visione distinta.** - Chiamasi *distanza della visione distinta* la distanza alla quale devono essere collocati gli oggetti per essere veduti colla maggiore chiarezza. Questa distanza è varia nei diversi individui e sovente, in un medesimo individuo, varia da un occhio all'altro. Per piccoli oggetti come sono i caratteri di stampa, allo stato normale dell'occhio essa è di 25 o 30 centimetri. Le persone che vedono distintamente solo a distanza minore sono *miopi*, e quelle che vedono solo a distanza maggiore sono *presbiti* (505).

**495. Adattamento dell'occhio a tutte le distanze.** - L'occhio presenta una rimarchevole proprietà che non si trova nel medesimo grado in nessun strumento di ottica, ed è che, quantunque le immagini tendano a formarsi tanto più all'innanzi della retina quanto più gli oggetti sono lontani (450), pure esse si formano sempre su questa membrana, perchè l'occhio vede chiaramente a distanze molto differenti, partendo da quella che corrisponde alla visione distinta. Tuttavia se noi possiamo vedere chiaramente a distanze molto differenti, non lo possiamo però simultaneamente, ciò che indica qualche modificazione nel sistema dell'occhio od almeno la necessità di fissare la nostra attenzione sull'oggetto che vogliamo vedere. Infatti, se si prendono di mira due oggetti

allineati, situati, per es., uno ad un metro di distanza dall'occhio e l'altro a due, fissando il primo oggetto, il secondo sembra torbido, mentre invece fissando il secondo, sembra torbido il primo. Se ne conchiude che quando l'occhio è stato disposto per vedere ad una certa distanza, non può vedere simultaneamente ad altra distanza, ma che può successivamente adattarsi all'una ed all'altra.

Molte ipotesi furono proposte per spiegare come l'occhio possa vedere chiaramente a distanze assai differenti. Mile e Pouillet ne ritengono causa le dilatazioni e le contrazioni della pupilla. Il primo opina che i raggi luminosi provino sui lembi dell'iride una diffrazione od inflessione che può far variare le distanze focali. Pouillet, fondandosi sulla ineguale rifrangibilità del cristallino, la quale decresce dal centro alla circonferenza, ed osservando che ne deve risultare una serie di fochi i più vicini dei quali sono formati dai raggi che attraversano il cristallino più vicino al suo centro, ammette che dilatandosi più o meno la pupilla, gli oggetti allontanati sono veduti attraverso ai lembi del cristallino ed i più lontani attraverso alla parte centrale. Si osserva infatti che le contrazioni e le dilatazioni del foro pupillare sono collegate coll'adattamento dell'occhio alle distanze; ma importa osservare che sono esse collegate anche colle variazioni dell'intensità della luce, o che per una medesima distanza, l'apertura della pupilla può variare di molto.

Rohaut, Olbers ed altri hanno emessa l'opinione che il diametro dell'occhio, dall'innanzi all'indietro, possa variare sotto l'influenza della pressione dei muscoli che lo fanno muovere, in modo di avvicinare la retina al cristallino o di allontanarla nel medesimo tempo che anche l'immagine si avvicina o si allontana, perchè si sa (446, 2.º) che nelle lenti convergenti, l'immagine si avvicina a misura che l'oggetto si allontana.

Hunter e Yung hanno attribuita al cristallino una contrattilità, in virtù della quale prende una forma, più o meno convessa, in modo di far sempre convergere i raggi sulla retina.

Kepler, Camper e molti altri ammisero che per l'azione dei processi ciliari il cristallino possa spostarsi ed avvicinarsi più o, meno alla retina.

Finalmente si ammise che la chiarezza della visione a distanze molto differenti possa provenire non già dagli spostamenti della retina o del cristallino per cui l'immagine venga a formarsi sempre sulla retina, ma bensì dall'essere le variazioni della distanza focale del cristallino, a misura che gli oggetti si allontanano, abbastanza piccole perchè l'immagine conservi sempre una chiarezza sufficiente.

Quest'ultima teoria è confermata dalla esperienza di Magendie e da quelle di Haldat. Il primo ha osservato per mezzo di un occhio di albino, che la chiarezza delle immagini non variava per oggetti collocati a distanze molto differenti; ed Haldat ha trovato che, collocando un cristallino come obbiettivo all'impasto di una camera oscura, si ottengono, sopra un vetro smerigliato, le immagini egualmente chiare degli oggetti esterni, si trovino questi alla distanza di 3 o 4 decimetri od a quella di 20 o 30 metri. Questa proprietà del cristallino allo stato d'inerzia sembra contraria alle leggi della rifrazione; essa deve essere attribuita alla struttura di quest'organo, la quale lo distingue totalmente dalle lenti ordinarie, De Haldat non diede la spiegazione di questi fenomeni; Sturm ne propose la seguente teoria.

**496. Teoria di Sturm sulla visione.** - Per spiegare come l'occhio possa adattarsi a tutte le distanze, Sturm osserva che siccome, secondo gli studi dei fisiologi Yung, Chossat ed altri, le curvature dei differenti mezzi dell'occhio non sono sferiche, quest'organo non deve essere paragonato in modo assoluto ad un sistema di lenti omogenee e sferiche poste l'una accanto all'altra sopra un medesimo asse, e che il cristallino in particolare non è paragonabile ad una lente sferica ordinaria. Egli ammette infine che si debba riguardare l'occhio come formato di molti mezzi inegualmente rifrangenti, separati da superficie che non solo non sono sferiche, ma che inoltre non formano un sistema simmetrico attorno ad un asse comune.

Ciò posto, appoggiandosi sopra considerazioni geometriche relative alle superficie conosciute in matematica sotto il nome di *superficie gobbe*, Sturm cerca la forma che prende un fascio luminoso molto sottile allorchè è rifratto successivamente in differenti mezzi inegualmente rifrangenti. Considerando il caso nel quale il fascio attraversi un diaframma di una piccolissima apertura, il cui piano sia perpendicolare all'asse del fascio, e supponendo i raggi luminosi emessi da un punto

situato su quest'asse, Sturm trova col calcolo che le intersezioni successive di questi raggi formano una superficie caustica (453) la quale incontra l'asse del fascio in due punti, e che fra questi due punti il fascio è più ristretto che in ogni altro luogo, ma che al di là di essi, in avanti ed in addietro, il fascio è sempre più divergente. Sturm denominò questi due punti, che noi indicheremo colle lettere  $F$  ed  $f$ , *fochi* del fascio, e la distanza che li separa, *intervallo focale* del fascio. Applicando alla visione le considerazioni teoriche precedenti, Sturm si esprime in questi termini:

“Si è ammesso generalmente che per avere la visione distinta di un punto, bisogna che i raggi emessi da questo punto vengano a convergere od a formare i loro fochi sulla retina, od almeno assai vicino alla retina. Però le considerazioni precedenti provano, a mio avviso, che non avvi un foco o punto di convergenza unico: ma per un fascio assai sottile che penetrato nell'umore vitreo venga ad incontrare la retina esiste sempre l'*intervallo focale* che può essere più o meno lungo. Questo intervallo non può essere assolutamente nullo nell'occhio, perché l'occhio offre un insieme di differenti mezzi inegualmente rifrangenti (in numero di tre almeno, senza contare la cornea), e questi mezzi sono separati da superficie che non sono rigorosamente sferiche e nemmeno simmetriche rispetto ad un asse comune.

“Io penso adunque che nell'occhio, l'intervallo focale proprio di ciascun fascio proveniente da un punto esteriore, non è nullo, ma soltanto assai piccolo, di 1 o 2 millimetri al più. Io ammetto, secondo l'opinione generale dei fisiologi che la retina sola (o, secondo Mariotte e Brewster, l'inviluppo corioideo che si trova immediatamente al disotto della retina, essendo questa trasparente) riceve l'impressione della luce.

Siccome la direzione del raggio centrale sul quale si trovano i fochi  $F$ ,  $f$ , è quasi perpendicolare alla superficie della retina, il punto da cui emanano i raggi luminosi sarà veduto con chiarezza sufficiente se la linea  $Ff$ , quantunque assai corta, incontra la retina in un punto situato fra  $F$  ed  $f$ , od anche un poco al di là di  $F$  od al di qua di  $f$ , perché allora il sottil fascio luminoso che la pupilla ha lasciato passare intercederà sulla superficie della retina uno spazio estremamente piccolo, incomparabilmente minore della sezione fatta in questo fascio molto vicino al cristallino”.

In breve, nella teoria di Sturm, il luogo ove la luce può agire sulla retina non è un punto unico, ma un foco *lineare*  $Ff$ , in tutta l'estensione del quale il fascio luminoso che penetra nella pupilla è abbastanza ristretto per produrre nell'occhio la sensazione della visione. Per conseguenza, allorché gli oggetti esterni si allontanano o si avvicinano, basta, perchè noi li vediamo distintamente, che la retina sia sempre compresa fra i due fochi  $F$  ed  $f$ , ovvero coincida sensibilmente con uno di essi.

**497. Visione semplice coi due occhi.** - Quando i due occhi si fissano sopra un medesimo oggetto, si forma una immagine sopra ciascuna retina, e tuttavia noi vediamo un solo oggetto. Per ispiegare la visione semplice coi due occhi, Gassendi ammetteva che in un medesimo istante la percezione non ha luogo che per l'una o per l'altra immagine, il che non può ammettersi dopo le esperienze di Wheatstone, che riporteremo più innanzi.

Taylor e Wollaston opinano che due punti omologhi di destra o di sinistra corrispondano sulle due retine ad un medesimo filo nervoso cerebrale destro o sinistro, biforcuto all'incrocciamento dei due nervi ottici.

Questa opinione è d'accordo con un fatto che si osserva in alcuni individui, ed è la paralisi transitoria della retina, per metà e dalla medesima parte per ciascun occhio destro o sinistro simultaneamente, in modo che gli individui affetti da tal malattia non vedono che la metà destra o la metà sinistra degli oggetti. Wollaston ed Arago hanno osservate sopra loro stessi questa affezione della retina.

Brewster attribuisce l'unità di visione all'abitudine che noi acquistiamo di riferire ad un medesimo oggetto le impressioni simultanee prodotte sulle due retine.

Ecco i principali fatti che si osservano nella visione coi due occhi: si vede più chiaro con due occhi che con un solo; guardando un oggetto prima con un solo occhio, poi con due, la differenza di chiarezza è assai sensibile.

Quando i due occhi sono fissati ciascuno sopra un oggetto differente in modo che i due assi ottici concorrano al di là od al di qua, di questi oggetti, possono prodursi delle illusioni ottiche

rimarchevoli. Per es., osservando due oggetti identici e di piccole dimensioni  $a$  e  $b$  col mezzo di due tubi isolanti che diano agli assi ottici dei due occhi le direzioni concorrenti  $aO$  e  $bO$  (fig. 347), non si vede che un oggetto unico, ma più lontano, al punto di incontro  $O$  dei due assi.

Se il punto d'incrociamiento dei due assi è davanti ai punti che si guardano (fig. 348), non si vede ancora che un solo oggetto, ma più vicino, situato in  $O$ .

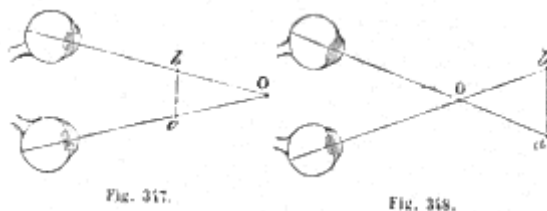


Fig. 347.

Fig. 348.

Se gli oggetti  $a$  e  $b$  sono due piccoli dischi, l'uno rosso e l'altro verde, si vede un disco bianco, perchè il rosso ed il verde sono due colori complementari (460). Queste diverse esperienze dimostrano che le impressioni nei due occhi sono simultanee e si sovrappongono per dare una sensazione unica.

Sono dovute a Wheatstone numerose esperienze che mostrano una differenza essenziale fra la visione coi due occhi, e la visione con un occhio solo. Da queste esperienze risulta che solo coi due occhi si può avere una percezione distinta del rilievo dei corpi, cioè delle loro tre dimensioni. È anzi probabile che anche con un solo occhio noi valutiamo il rilievo soltanto perchè gli oggetti che noi guardiamo ci sono generalmente noti. Infatti, nella visione coi due occhi, quando l'oggetto trovasi a poca distanza, dovendo i due assi convergere verso l'oggetto, ne risulta che la prospettiva cangia per ciascun occhio e che le due immagini sono sensibilmente ineguali. Ciò si può facilmente constatare guardando alternativamente un medesimo oggetto con ciascun occhio.

Ora, dalla percezione simultanea di queste due immagini sembra risultare la percezione del rilievo, come dimostra il seguente apparato.

**498. Stereoscopio.** - Lo *stereoscopio*, immaginato da Wheatstone è un ingegnoso apparato che serve a rendere sensibile l'effetto della visione coi due occhi per l'estimazione del rilievo dei corpi. Quest'apparato, modificato da Brewster, consiste in una piccola scatola di legno, la cui parete superiore porta due tubi che servono a dirigere gli assi ottici. Sul fondo della scatola vi sono due disegni che ciascun occhio vede isolatamente attraverso ad un vetro convergente collocato nel tubo.

Questi disegni rappresentano il medesimo oggetto, ma veduto con una prospettiva differente, che è precisamente quella che corrisponderebbe all'asse ottico di ciascun occhio se esso guardasse l'oggetto da una piccola distanza. Ne segue che guardando attraverso ai due tubi, ciascun occhio riceve la medesima impressione come se guardasse realmente l'oggetto, e ne risulta una percezione talmente distinta e viva del rilievo che l'illusione è completa e veramente sorprendente.

Per mezzo dello stereoscopio, Foucault ed il dottor Regnault hanno constatato che quando le due retine ricevono l'impressione simultanea di due colori differenti, avvi percezione di un colore unico misto. Riconobbero però che l'attitudine a comporre le due tinte in una sola, varia notabilmente da un individuo all'altro, ed in alcuni individui può essere debolissima od anche nulla. Illuminando con due fasci di colori complementari (460) due dischi bianchi collocati sul fondo dello stereoscopio, e guardando ciascun disco con un occhio, si vede un disco bianco unico, il che dimostra come la sensazione della luce bianca può derivare da due impressioni cromatiche complementarie e simultanee sulle due retine.

**499. Parte insensibile della retina.** - La retina non è ugualmente sensibile in tutte le sue parti, come prova la seguente esperienza di Mariotte: si segnano due punti neri sopra una carta bianca, ed alcuni centimetri di distanza l'uno dall'altro; poi avvicinando molto la carta agli occhi si fissa il punto sinistro coll'occhio destro, il che non impedisce di vedere l'altro punto; ma se si allontana lentamente la carta, il punto a destra sparisce ad una certa distanza, per ricomparire ben tosto se si continua ad allontanare la carta. Lo stesso accade se si osserva il punto destro coll'occhio sinistro.



Mariotte ha osservato che al momento in cui il punto cessa di essere visibile, la sua immagine si proietta appunto sulla intersezione del nervo ottico alla parte interna ed inferiore dell'occhio. A questo punto insensibile all'azione della luce si diede il nome di *punto cieco*.

**500. Persistenza dell'impressione sulla retina.** - Quando si fa girare rapidamente un carbone acceso, si vede come un nastro continuo di fuoco: del pari la pioggia che cade sotto forma di grosse gocce ci appare nell'aria come una serie di fili liquidi. Queste varie apparenze sono dovute alla persistenza delle immagini sulla retina anche dopo che l'oggetto che l'ha prodotta è scomparso o si è spostato. La durata di questa persistenza varia colla sensibilità della retina e coll'intensità della luce.

Plateau, di Brusselle, ha trovato con differenti metodi che essa è in media di un mezzo secondo.

L'impressione dei colori persiste quanto quella della forma degli oggetti, perchè se si fanno rotare dei cerchi divisi in settori dipinti a vari colori, questi colori si confondono e danno la sensazione del colore che risulterebbe dalla loro mescolanza. Il turchino ed il giallo danno il verde; il giallo ed il rosso, il ranciato; il turchino ed il rosso, il violetto; i sette colori dello spettro, il bianco, come lo dimostra il disco di Newton (458, 5.°).

Esistono parecchi apparati curiosi i cui effetti si spiegano colla persistenza delle sensazioni sulla retina; tali sono il *taumatropio*, il *fenachisticopio*, la *ruota di Faraday*, il *caleidofono*.

**501. Immagini accidentali.** - Se si guarda attentamente per un certo tempo un oggetto colorato collocato sopra un fondo nero, la vista è ben presto affaticata e l'intensità del colore si indebolisce; dirigendo allora gli occhi sopra un cartone bianco, si scorge un'immagine della stessa forma dell'oggetto ma di un colore complementario (460), cioè, che se fosse riunito con quello dell'oggetto formerebbe il bianco. Per un oggetto verde l'immagine è rossa, e reciprocamente se l'oggetto è giallo, l'immagine è violetta. Queste apparenze colorate furono osservate da Buffon, il quale diede loro il nome di *immagini o colori accidentali*.

I colori accidentali persistono tanto più quanto più l'oggetto era illuminato e quanto più a lungo lo si è osservato. Essi non si estinguono, in generale, in modo progressivo continuo, ma ordinariamente offrono delle sparizioni e delle riapparizioni alternative. Si osserva inoltre che se dopo aver contemplato un oggetto colorato, si chiudono rapidamente gli occhi, difendendoli il meglio possibile da ogni luce col mezzo di una stoffa compatta, le immagini accidentali appaiono egualmente.

Molte teorie furono proposte per spiegare il fenomeno dei colori accidentali. Darwin ammise:

1.° Che la parte della retina affaticata da un colore diventi insensibile ai raggi di questo colore e non sia più impressionata che dal suo colore complementario;

2.° Che questa parte della retina prenda *spontaneamente* un modo di azione *opposto* il quale produce la sensazione del colore complementario.

La prima parte di questa teoria non spiega il fatto suesposto che i colori accidentali appaiono anche nell'oscurità, e la seconda parte non è che l'enunciato medesimo del fenomeno delle immagini accidentali.

**502. Irradiazione.** - L'*irradiazione* è un fenomeno pel quale gli oggetti bianchi o di un colore assai vivo, quando sono veduti sopra un fondo oscuro, sembrano avere dimensioni maggiori di quelle che hanno realmente. Il contrario ha luogo per un oggetto nero veduto sopra un fondo bianco. Si ammette che l'irradiazione provenga dalla estensione maggiore o minore al di là del contorno dell'immagine, che assume l'impressione sulla retina.

L'effetto dell'irradiazione influisce assai sulla grandezza apparente degli astri, i quali ponno sembrare molto più grandi che non siano realmente.

Secondo le ricerche di Plateau, l'irradiazione varia assai da una persona all'altra, ed anche, per una medesima persona, da un giorno all'altro. Questo scienziato constatò inoltre che l'irradiazione cresce colla chiarezza dell'oggetto e la durata della contemplazione. Finalmente essa si manifesta a tutte le distanze, è accresciuta dalle lenti convergenti e diminuita dalle divergenti.

**503. Aureola accidentale, contrasto dei colori.** - Si chiamano *aureole accidentali* quei colori che invece di succedere all'impressione di un oggetto, come i colori accidentali, appaiono attorno all'oggetto stesso quando lo si guarda attentamente. L'impressione dell'aureola è opposta a quella

dell'oggetto, cioè che se questo si disegna in chiaro, l'aureola è oscura, ed è chiara se l'oggetto è oscuro.

Il *contrasto dei colori* è una reazione reciproca che si esercita tra due colori vicini, reazione in forza della quale ciascuno di essi si unisce al colore complementario dell'altro. Questo contrasto fu osservato da Chevreul, il quale ne fece uno studio profondo e ne ha data una legge.

L'influenza reciproca delle aureole accidentali spiega il contrasto dei colori.

Chevreul ha trovato che ponendo accanto l'uno all'altro i colori rosso e ranciato, il rosso tende al violetto ed il ranciato al giallo. Se si esperimenta sul rosso ed il turchino, il primo colore tende al giallo ed il secondo al verde; col giallo ed il turchino il giallo passa al ranciato ed il turchino all'indaco; e così di seguito per un gran numero di combinazioni. Si comprende quanto importi di saper apprezzare l'effetto del contrasto dei colori nella fabbricazione delle stoffe, dei tappeti, ecc.

**504. L'occhio non è acromatico.** - Per molto tempo venne attribuito all'occhio umano un acromatismo perfetto (465); ma questa opinione non può essere ammessa in modo assoluto dopo le diverse esperienze di Wollaston, di Yung, di Fraunhoffer e di Muller.

Fraunhoffer ha osservato che un filo assai sottile collocato entro un cannocchiale a due vetri, al foco dell'obbiettivo, si vede distintamente attraverso all'oculare quando il cannocchiale è illuminato soltanto colla luce rossa, e che il filo cessa d'essere visibile se si rischiara il cannocchiale colla luce violetta restando l'oculare nella medesima posizione.

Ora si osserva che per vedere di nuovo il filo bisogna diminuire la distanza delle lenti molto più di quello che indica il grado di rifrangibilità della luce violetta. Bisogna adunque ammettere che in questa esperienza avvii un effetto dovuto all'aberrazione di rifrangibilità dell'occhio.

Muller contemplando con un occhio solo un disco bianco posto sopra un fondo nero, ha trovato che l'immagine è pura quando l'occhio è adattato alla distanza del disco, cioè quando l'immagine si forma sulla retina, ma che se l'occhio non è adattato a questa distanza, cioè se l'immagine si forma in avanti o in addietro della retina, il disco sembra circondato da una lista turchina assai stretta.

Muller conchiuse dalle sue esperienze che l'occhio è acromatico quando l'immagine è ricevuta alla distanza focale e quando si adatti alla distanza dell'oggetto. Non si potè finora indicare la causa di questo acromatismo apparente dell'occhio; generalmente però la si attribuisce alla tenuità dei fasci luminosi che passano per l'apertura pupillare, ed ai raggi inegualmente rifrangibili che incontrano la superficie dei mezzi coll'occhio sotto incidenze quasi normali, sono poco rifratti, per cui la dispersione è insensibile (464).

Si è già veduto come l'aberrazione di sfericità è corretta dall'iride (487), vero diaframma che arresta i raggi che tendono ad attraversare il cristallino vicino al lembo, e lascia passare soltanto i più vicini all'asse.

**505. Miopia, presbitismo.** - Le affezioni più comuni dell'organo della vista sono la miopia ed il presbitismo. La *miopia* è un adattamento abituale degli occhi ad una distanza minore di quella della visione ordinaria, dinaria, in modo che le persone che ne sono affette vedono distintamente soltanto gli oggetti assai vicini. La causa ordinaria della miopia, è una soverchia convessità della cornea o del cristallino; siccome l'occhio allora è troppo convergente, il foco, invece di formarsi sulla retina si forma davanti ad essa, ciò che rende l'immagine confusa. Si rimedia a questo difetto dell'occhio col mezzo di vetri divergenti i quali allontanando i raggi dal loro asse comune fanno retrocedere il foco e lo portano sulla retina.

La contemplazione abituale di piccoli oggetti, le osservazioni microscopiche ponno produrre la miopia. Questo vizio di conformazione è comune nei giovani e diminuisce coll'età.

Il *presbitismo* è il difetto contrario della miopia. In questa affezione l'occhio vede benissimo gli oggetti lontani, ma non distingue chiaramente gli oggetti vicini. Il presbitismo è prodotto dalla poca convergenza dell'occhio, per cui l'immagine degli oggetti vicini si forma al di là della retina; ma se gli oggetti si allontanano, l'immagine si avvicina alla retina (446, 2.°), e, quando sono ad una distanza conveniente, essa si forma esattamente su questa membrana; allora la visione è distinta.

Il presbitismo si corregge per mezzo di occhiali a vetri convergenti.

Siccome questi vetri avvicinano i raggi prima dei loro ingresso nell'occhio, ne risulta che, quando abbiano una convergenza conveniente, l'immagine può esser ricondotta esattamente sulla retina.

Pochi anni or sono si faceva ancora uso soltanto di vetri bi-convessi pei presbiteri e di bi-concavi pei miopi. Wollaston propose, per il primo, di surrogare a questi vetri le lenti concavo-convexe C ed F (fig. 284), collocate in modo che le loro curvature siano disposte come quella dell'occhio.

Con questi vetri si possono distinguere più chiaramente gli oggetti lontani che circondano l'asse ottico, epperò furono chiamati *vetri periscopici*.

**506. Occhiali.** - I vetri di cui si servono i miopi ed i presbiteri si designano col nome generico di *occhiali*. Sopra questi vetri si incidono ordinariamente dei numeri che indicano in pollici la loro distanza focale.

Si può calcolare il numero conveniente per un presbite o per un miope, quando si conosca la distanza alla quale egli vede distintamente. Per i presbiteri si fa uso della formola  $f=pd/(d-p)$  [1], nella quale  $f$  è il numero del vetro che si deve adottare,  $p$  la distanza ordinaria, la quale è di 30 centimetri od 11 pollici, e  $d$  la distanza della visione distinta della persona affetta da presbitismo.

La formola [1] precedente si deduce dalla equazione  $1/p - 1/p' = 1/f$  (454), sostituendovi  $d$  a  $p'$ . Qui si adopera la formola [6] del paragrafo 454, e non la formola [5], perchè siccome l'immagine che si vede negli occhiali trovasi dalla stessa parte dell'oggetto rispetto alla lente, il segno di  $p'$  deve essere contrario a quello di  $p$ , come accade per le immagini virtuali, secondo ciò che si è detto nel succitato paragrafo.

Per i miopi si calcola  $f$  colla formola relativa alle lenti divergenti (454)  $1/p - 1/p' = 1/f$  la quale dà  $f=pd/(d-p)$  [2].

Sia proposto, per es., di calcolare il numero conveniente per un presbite, pel quale la distanza della visione distinta è di 35 pollici, ritenuto che la distanza della visione distinta ordinaria è di undici pollici. Ponendo  $p = 11$  e  $d = 35$  nella formola precedente [1], si trova  $f=35 \cdot 11 / (35 - 11) = 16$ .

La misura della distanza della visione distinta si ottiene con sufficiente precisione mediante un piccolo apparato detto *ottometro*.

**507. Diplopia.** - La *diplopia* è una affezione dell'occhio per la quale si vedono gli oggetti doppi, ossia si vedono due oggetti in luogo di uno.

In generale le due immagini si sovrappongono quasi interamente, e l'una di esse è molto più appariscente dell'altra. La diplopia può provenire dall'ineguaglianza dei due occhi, ma può anche svilupparsi in un occhio solo. In quest'ultimo caso è senza dubbio dovuta a qualche difetto di conformazione del cristallino e di altre parti dell'occhio, il quale fa sì che il fascio luminoso si bipartisca e formi sulla retina due immagini invece di una. Un sol occhio può essere affetto anche da *triplopia*, ma in questo caso la terza immagine è debolissima.

**508. Acromatopsia.** - Chiamasi *acromatopsia* una affezione singolare che ci rende incapaci di giudicare i colori, od almeno certi colori. Infatti, in alcune persone l'insensibilità è completa, mentre altre distinguono alcuni colori. Le persone affette da questo vizio distinguono benissimo i contorni dei corpi, le parti illuminate o in ombra, ma non distinguono i colori.

D'Hombres-Firmas racconta che una persona affetta d'acromatopsia avea dipinto nel proprio appartamento, al di sopra di una porta, un paesaggio in cui il terreno, gli alberi, le case e le persone erano turchine. Interrogata perchè non avesse dato a ciascun oggetto il rispettivo colore, rispose che avea voluto dare al suo disegno un colore simile quello della sua tappezzeria; ora questa era rossa.

All'acromatopsia si dà il nome anche di *daltonismo*, perchè Dalton che l'ha descritta con cura ne era affetto.

## CAPITOLO VII

### SORGENTI DI LUCE, FOSFORESCENZA

**509. Diverse sorgenti di luce.** - Le diverse sorgenti di luce sono il sole, le stelle, il calorico, le combinazioni chimiche, la fosforescenza, l'elettricità ed i fenomeni meteorici. Di queste due ultime sorgenti di luce tratteremo agli articoli *elettricità* e *meteorologia*.

L'origine della luce emessa dal sole e dalle stelle è sconosciuta; si ammette soltanto che la sostanza infiammata di cui sembra cinto il sole sia gasosa, perchè la luce di questo astro, come quella emessa dalle sostanze gaseose infiammate, non lascia scorgere alcuna traccia di polarizzazione nei cannocchiali polariscopici (528).

Riguardo alla luce sviluppata dal calorico, Pouillet verificò che i corpi incominciano a diventar luminosi nell'oscurità ad una temperatura di 500 a 600 gradi, e che al di là di questo limite, la luce che emettono è tanto più viva quanto più elevata è la loro temperatura.

Un gran numero di combinazioni chimiche danno origine ad uno svolgimento di luce a motivo dell'innalzamento di temperatura da cui sono accompagnate. Tale è la causa delle luci artificiali impiegate per l'illuminazione, perchè, come si è già veduto (388), le fiamme non sono altro che sostanze gaseose scaldate al punto di diventare luminose.

Siccome i corpi divengono luminosi ad una temperatura elevata, sembra che il calorico in tal caso si trasformi in luce, ciò che tenderebbe a provare come questi due agenti debbono essere riferiti ad una sola ed identica causa, principalmente se si osserva che i raggi luminosi sono accompagnati in generale dai raggi calorifici. Tuttavia l'identità non è completa, perchè si conoscono parecchie sostanze le quali ponno essere luminose nell'oscurità senza svolgere calorico, o svolgendone una quantità così piccola che non può essere valutata cogli strumenti termometrici anche i più sensibili. I corpi che splendono in tal guisa nell'oscurità si chiamano *fosforescenti*, perchè questa proprietà si osserva principalmente nel fosforo.

**510. Fosforescenza, sue fonti.** - La *fosforescenza* è la proprietà posseduta da un gran numero di sostanze di emettere la luce quando siano collocate in certe condizioni.

Ed. Becquerel, che ha fatto uno studio profondo sulla fosforescenza e arrivò a notabilissimi risultati, riferisce questo fenomeno a cinque cause:

1.° La *fosforescenza spontanea*, in certi vegetabili e in certi animali; questa, per es., è intensissima nel fulgore (porta-lanterna) e nel lampiro (luciolina), e lo splendore della luce che mandano varia sotto l'impero della loro volontà. Così pure nelle regioni tropicali, il mare è spesse volte coperto da viva luce fosforescente dovuta a dei zoofiti di una estrema piccolezza. Questi animaletti diffondono una materia luminosa così sottile che avendone Quoy e Gaimard, in un viaggio sotto l'equatore, collocati due in un boccale pieno d'acqua, il liquido divenne immediatamente luminoso in tutta la sua massa.

2.° La *fosforescenza per innalzamento di temperatura*, si manifesta principalmente in certi diamanti e nelle varietà di spato-fluore, che, riscaldato a 300 o 400 gradi, diventa tutto a un tratto luminoso e spande una viva luce azzurrastra.

3.° La *fosforescenza per effetti meccanici*, come sono lo sfregamento, la percussione, il clivaggio, ecc.; quando, per es., soffrengansi nell'oscurità due cristalli di quarzo l'un contro l'altro, o che rompasi un pezzetto di zucchero.

4.° La *fosforescenza per elettricità*, come quella che risulta dallo sfregamento del mercurio contro il vetro nell'interno del tubo barometrico e principalmente da scintille elettriche provenienti sia da una macchina elettrica ordinaria, sia da una batteria, o da un rocchetto di Ruhmkorff, apparecchio che verrà descritto trattandosi dell'induzione.

5.° Finalmente, la *fosforescenza per insolazione*, vale a dire per l'azione della luce solare, o della luce diffusa dell'atmosfera. Un gran numero di sostanze, dopo essere state così esposte all'azione

della luce, brillano nell'oscurità di un vivo splendore, la tinta e l'intensità del quale dipendono dalla natura e dallo stato fisico di queste sostanze. Egli è principalmente questo genere di fosforescenza che noi intendiamo far conoscere riassumendo i lavori di Ed. Becquerel.

**511. Fosforescenza per insolazione.** - Questo genere di fosforescenza venne dapprima osservato, nel 1604, nel fosforo di Bologna (solfuro di Bario); ma Ed. Becquerel scoprì questa proprietà in un gran numero d'altre sostanze. Quelle che la presentano al più alto grado sono i solfuri di calcio, di bario e di stronzio. Dopo l'insolazione, queste sostanze quando sono ben preparate, possono risplendere nell'oscurità per parecchie ore. Ora, producendosi questa luce tanto nel vuoto che nei gaz, non si può attribuirle ad un'azione chimica, ma piuttosto ad una modificazione temporaria che ha origine sotto l'influenza della luce.

Dopo i solfuri succitati vengono, secondo il grado di fosforescenza, un gran numero di diamanti (principalmente i gialli) e la più parte delle varietà di spato-fluore; poi l'arragonite, i calcari compatti, la creta, la calce fosfata, arseniata, solfata, il nitrato di calce ed il cloruro di calcio disseccati; il cianuro di calcio, un gran numero di sali a base di stronziana o di barite; la magnesia e il suo carbonato, ecc., ecc.; finalmente, anche un gran numero di sostanze organiche acquistano la fosforescenza per insolazione; per es., la carta secca, la seta, lo zucchero di canna, lo zucchero di latte, il succino, i denti, ecc.

Ed. Becquerel riconobbe che ogni sostanza è inegualmente impressionata dai differenti raggi dello spettro. Il maximum ha luogo nei raggi violetti ed anche un po' al di là, e in generale la tinta emessa

dai corpi fosforescenti corrisponde a raggi di una minore rifrangibilità di quelli della luce attiva.

La tinta che prendono i corpi fosforescenti è variabilissima e cangia, nello stesso composto, secondo il modo di preparazione. Nei composti di stronziana dominano le tinte verdi ed azzurre; nei solfuri di bario, le tinte aranciate, gialle e verdi.

La durata della fosforescenza varia anch'essa moltissimo da un corpo all'altro; essa dipende dalla sensibilità delle materie e dalla temperatura. In generale la durata della fosforescenza è tanto più breve quanto più elevata è la temperatura. Nei solfuri di calcio e di stronzio, alla temperatura ordinaria, la fosforescenza si prolunga fino a trenta ore; in altre sostanze, essa non è che di qualche minuto, di qualche secondo ed anche di una frazione di secondo.

**512. Fosforoscopia.** - Quando si esperimenta sopra corpi la fosforescenza nei quali prolungasi di alcuni minuti ed anche di alcuni secondi, basta esporli per qualche istante alla luce solare o alla luce diffusa, poi rimetterli nell'oscurità; la luce che mandano è allora visibilissima, soprattutto se si ha avuto cura di tenere, per qualche istante, gli occhi chiusi. Ma pei corpi la fosforescenza dei quali non dura che per un intervallo di tempo brevissimo, questo processo è insufficiente. In questo caso, Ed. Becquerel ha immaginato un ingegnoso apparecchio al quale diede il nome di *fosforoscopia* e che permette di osservare il corpo subito dopo l'azione della luce, potendo l'intervallo che separa l'insolazione dall'osservazione essere reso breve quanto si vuole, e misurato con una grande precisione.

Questo apparecchio, costruito da Duboscq, componesi di una cassa cilindrica AB (fig. 349), di lamiera di ferro annerita, e chiusa da ogni parte, meno i due fondi della cassa ove sono praticate due aperture opposte aventi la forma di un settore circolare. Una sola di queste aperture o è visibile nella figura. La cassa è fissa, ma al suo centro è attraversata da un asse mobile al quale sono fissati due diaframmi circolari MM e PP di lamiera nera (fig. 350). Ognuno di questi diaframmi è forato da quattro aperture della stessa forma di quelle praticate sui due fondi della cassa; ma mentre che queste ultime aperture si corrispondono, quelle dei diaframmi alternano, di modo che le parti chiuse

dell'uno corrispondono sempre alle parti aperte dell'altro. Finalmente i due diaframmi sono rinchiusi nella cassa, e sul loro asse vi è un piccolo rocchetto esteriore a questa, che riceve il movimento di una manovella *m* mediante una serie di grandi ruote che agiscono su alcuni rocchetti, in modo da moltiplicare la velocità.

Per istudiare, mediante il fosforoscopia, la fosforescenza di una sostanza qualunque, se ne colloca un frammento *a* sopra un sostegno collocato fra i due diaframmi giranti. Ciò posto, risulta

dalla disposizione di questi diaframmi, che la luce non può mai passare nello stesso tempo per le aperture opposte delle pareti A e B della cassa, perchè vi è sempre fra loro uno dei chiusi del diaframma MM o del diaframma PP.

Per conseguenza, quando la luce che viene dall'altro lato dell'apparecchio cade sul corpo *a*, questo non sarà visibile per l'osservatore che guarderà l'apertura *o*, perchè allora esso sarà coperto da uno dei piani del diaframma PP. Reciprocamente, ogni volta che lo stesso osservatore vedrà il corpo *a*, questo non sarà più rischiarato, essendo la luce intercettata, dai piani del diaframma MM. Vi sarà dunque alternativamente apparizione ed eclisse del corpo *a*; eclisse durante il tempo che esso è rischiarato, e apparizione durante il tempo che esso cessa di esserlo. Quanto al tempo che passa fra l'eclisse e l'apparizione, esso dipende dalla velocità di rotazione dei diaframmi. Supponiamo per es., che essi facciano 150 giri per secondo; una rivoluzione dei diaframmi operandosi in  $1/150$  di secondo, si faranno nello stesso tempo quattro apparizioni e quattro eclissi. Per conseguenza, l'intervallo che separerà l'istante in cui la luce agisce dall'istante in cui si osserva il corpo, sarà  $1/8$  di  $1/150$  di secondo, o circa 0,0008 di secondo.

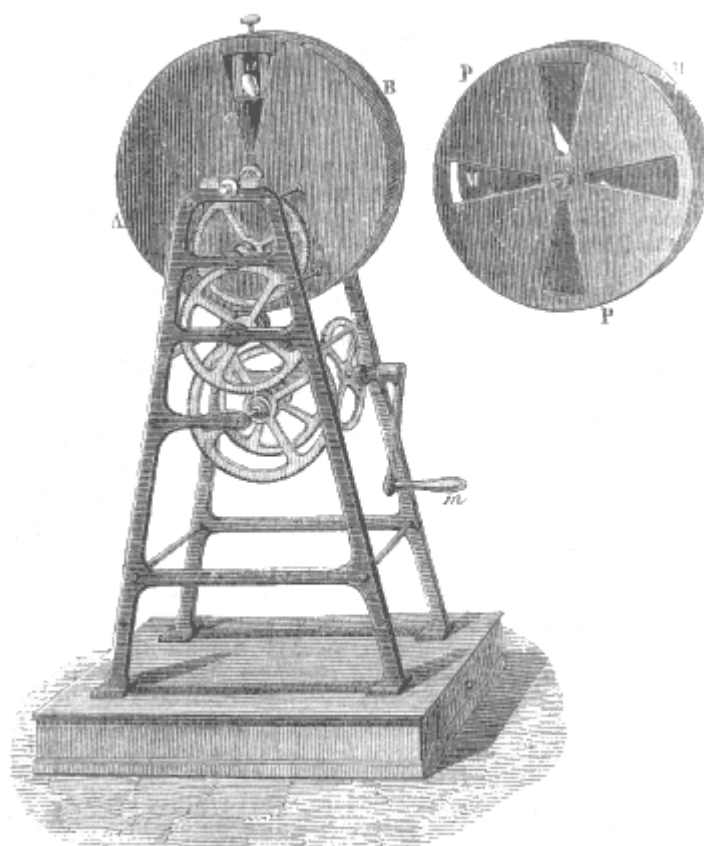


Fig. 349.

Fig. 350.

Conosciuti questi particolari, per sperimentare col fosforoscopio, rinchiudesi in una camera nera, e collocatisi dietro all'apparecchio, dalla parte degli ingranaggi, si fa arrivare dall'altro lato, sulla sostanza *a*, un fascetto di luce solare o di luce elettrica. Imprimendo allora ai diaframmi una rotazione più o meno rapida, il corpo *a* appare luminoso in modo continuo, tosto che l'intervallo fra l'insolazione e l'osservazione è minore della durata della fosforescenza del corpo. Per tal modo sperimentando, Ed. Becquerel trovò che molti corpi che non divengono luminosi col processo ordinario, lo divengono nel fosforoscopio; tale è, per es., lo spato d'Islanda. Le sostanze che in questo apparecchio offrono il più vivo splendore sono i composti d'uranio, che incominciano a spandere una luce verde vivissima quando l'osservatore può vederli 0,003 o 0,004 di secondo dopo l'insolazione. Ma un gran numero di sostanze non presentano alcun effetto nel fosforoscopio; tali sono il quarzo, lo zolfo, il fosforo, i metalli e i liquidi.

## CAPITOLO VIII

# DOPPIA RIFRAZIONE, INTERFERENZE, POLARIZZAZIONE

**513. Doppia rifrazione.** - abbiamo già veduto (431) che la *doppia rifrazione* è la proprietà che posseggono molti cristalli di dare origine, per un sol raggio incidente, a due raggi rifratti, onde risulta che guardando un oggetto attraverso a questi cristalli lo si vede doppio. La doppia rifrazione venne dapprima osservata da Bartholin nel 1647; ma fu Huyghens il primo che nel 1673 ne diede una teoria completa.

I cristalli che posseggono la doppia rifrazione si dicono *birefrangenti*. Questa proprietà si osserva solo nei cristalli che non appartengono al sistema cubico. I corpi cristallizzati in questo sistema e quelli non cristallizzati, come il vetro, non sono dotati della doppia rifrazione, ma possono acquistarla accidentalmente, quando siano inegualmente compressi o per mezzo della tempera, cioè del rapido raffreddamento dopo di essere stati riscaldati. I liquidi ed i gas non sono mai birefrangenti.

Il fenomeno della doppia rifrazione è sensibile specialmente nello spato d'Islanda o calce carbonata dei mineralogisti. Nel quarzo o cristallo di rocca la doppia rifrazione è debolissima, e per renderla sensibile fa bisogno di un cristallo assai grosso e di convenienti apparati.

Fresnel spiegò la doppia rifrazione mediante una disuguale intensità dell'etere (390) nei cristalli birefrangenti; d'onde risulta una velocità, di moto vibratorio più rapida in una certa direzione determinata dallo stato molecolare del cristallo. Questa ipotesi è confermata dalla proprietà che acquista il vetro di divenire birefrangente per la tempra e per la compressione.

**514. Cristalli ad un asse.** - In un cristallo dotato della doppia rifrazione vi sono sempre una o due direzioni, secondo le quali si scorge una sola immagine degli oggetti. Queste direzioni si chiamano *assi ottici* od *assi di doppia rifrazione*. Però quest'ultima denominazione è impropria, perchè precisamente nella direzione di questi assi non avviene la doppia rifrazione.

Si chiamano *cristalli ad un asse* quelli che presentano una sola direzione nella quali la luce non si bipartisce, e *cristalli a due assi* quelli che ne presentano due.

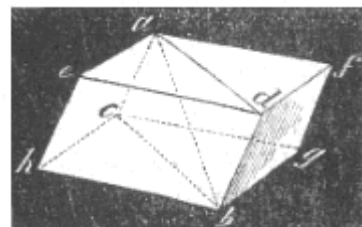


Fig. 351.

I cristalli ad un asse impiegati più spesso negli strumenti di ottica, sono lo spato d'Islanda, il quarzo e la tormalina. Lo spato d'Islanda ha la forma di un romboedro, le cui facce sono inclinate di  $105^{\circ} 5'$  (fig. 351). Le facce, in numero di sei, sono rombi che si uniscono a tre a tre coi loro angoli ottusi agli estremi di una retta *ab*, che è l'*asse di cristallizzazione*.

Brewster ha constatata questa legge generale nei cristalli ad un asse, che *l'asse di doppia rifrazione coincide sempre coll'asse di cristallizzazione*.

Chiamasi *sezione principale* di un cristallo ad un asse il piano che passa per l'asse ottico ed è perpendicolare ad una faccia naturale od artificiale del cristallo.

**515. Raggio ordinario e raggio straordinario.** - Dei due raggi rifratti cui danno origine i cristalli ad un asse, uno segue sempre le leggi della rifrazione semplice (432), ma l'altro non è sottomesso a questa legge, vale a dire che il rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione non è costante, e che il piano di rifrazione non coincide col piano d'incidenza. Il primo di questi raggi chiamasi il *raggio ordinario*, ed il secondo il *raggio straordinario*. Le immagini loro corrispondenti si indicano pure coi nomi di *immagine ordinaria* ed *immagine straordinaria*.

Il raggio ordinario e il raggio straordinario hanno gli indici diversi; in certi cristalli l'indice più grande è quello del raggio ordinario; in altri è quello del raggio straordinario. Fresnel ha chiamato i primi *cristalli negativi* e gli ultimi *cristalli positivi*. Lo spato d'Islanda, la tormalina, lo zaffiro, il rubino, lo smeraldo, la mica, il prussiato di potassa, il fosfato di calce sono negativi. Il quarzo, il zirconio, l'apofillite ad un solo asse, sono positivi. La classe dei cristalli negativi è molto più numerosa di quella dei positivi.

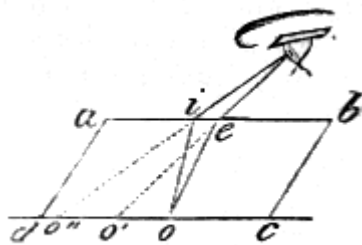


Fig. 352.

La figura 352 mostra l'andamento dei raggi in questo fenomeno; il parallelogrammo *abcd* rappresenta una sezione principale di un romboedro di spato d'Islanda. Collocato questo cristallino sopra un cartone bianco, si guarda attraverso al medesimo un punto nero o segnato sul cartone. Il raggio incidente partito dal punto *o* si divide in due raggi *oi* ed *oe*, che rifrangendosi inegualmente all'emergenza, presentano all'occhio due immagini *o'* ed *o''*.

Se si fa rotare il romboedro, tenendolo sempre applicato sul cartone, l'immagine ordinaria resta fissa, mentre l'immagine straordinaria le gira intorno; ciò indica che il piano del raggio rifratto si sposta relativamente al piano di incidenza, e, per conseguenza, che il raggio straordinario non segue la legge della rifrazione semplice.

**516. Legge della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse.** - Il fenomeno della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse è sottoposto alle seguenti leggi:

1.<sup>a</sup> il raggio ordinario, qualunque sia il suo piano d'incidenza, segue sempre le due leggi della rifrazione semplice (422).

2.<sup>a</sup> In ogni sezione perpendicolare all'asse anche il raggio straordinario. segue queste due leggi al pari del raggio ordinario, ma il suo indice di rifrazione non è uguale a quello di quest'ultimo raggio: d'onde la distinzione di *indice ordinario* ed *indice straordinario*.

3.<sup>a</sup> In ogni sezione principale, il raggio straordinario segue soltanto la seconda legge della rifrazione; cioè i piani d'incidenza e di rifrazione coincidono, ma il rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di rifrazione non è costante.

4.<sup>a</sup> La velocità con cui si propagano il raggio ordinario ed il raggio straordinario in un cristallo non sono eguali, epperò la differenza dei quadrati di queste due velocità è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che il raggio straordinario fa all'asse.

Quest'ultima legge è la traduzione di una formola empirica data da Biot per collegare fra loro le velocità di due raggi. Essa deriva anche dalle formole a cui fu condotto Fresnel da considerazioni puramente teoriche, le quali presentano la rimarchevole proprietà che da esse si può dedurre la formola di Biot.

Huyghens, che pel primo diede una teoria completa della doppia rifrazione, fondata sul sistema delle ondulazioni, fece conoscere una costruzione geometrica assai importante, per mezzo della quale si può costruire il raggio rifratto in tutte le sue posizioni rispetto all'asse, quando non si conosca il raggio incidente; ma la teoria di Huyghens fu respinta dai fisici, finchè Malus non ne constatò l'esattezza per mezzo di numerose esperienze.

**517. Leggi della doppia rifrazione nei cristalli a due assi** - I cristalli a due assi sono assai numerosi; appartengono a questo genere i solfati di nichelio, di magnesite, di basite, di potassa, di ferro, lo zucchero, la mica, il topazzo del Brasile. In questi diversi cristalli, l'angolo dei due assi assume valori assai differenti, perchè varia da 3 sino a 90°.

Fresnel ha scoperto colla teoria ed ha dimostrato coll'esperienza che nei cristalli a due assi, nessuno dei raggi rifratti segue le leggi della rifrazione semplice; ma, chiamando *linea media* e *linea supplementare* le linee che dividono l'angolo dei due assi ed il suo supplemento in due parti eguali, ha trovato che in ogni sezione perpendicolare alla linea media, uno dei raggi rifratti segue le leggi ordinarie della rifrazione, e che, in ogni sezione perpendicolare alla linea supplementare segue queste leggi l'altro dei due raggi.



Quanto prima si vedranno, negli apparecchi di polarizzazione, numerose applicazioni della doppia rifrazione dello spato d'Islanda. Questa proprietà venne utilizzata anche nel cannocchiale micrometrico di Rochon, apparato che serve a misurare il diametro dei corpi, e per mezzo del quale si può determinare la distanza di un oggetto quando se ne conosca la grandezza.

## DIFFRAZIONE, INTERFERENZE ED ANELLI COLORATI

**518. Diffrazione e frange.** - La *diffrazione* è una modificazione che subisce la luce quando rade i contorni di un corpo o quando attraversa una piccola apertura, modificazione per la quale i raggi luminosi sembrano piegarsi e penetrare nell'ombra. Per osservare il fenomeno della diffrazione si fa entrare un fascio di luce solare per un'apertura piccolissima praticata nell'imposta di una camera oscura e lo si riceve sopra una lente convergente  $L$  a corto foco (fig. 353). Un vetro colorato in rosso è fissato all'apertura della camera oscura e lascia passare soltanto la luce rossa. Un diaframma opaco e a margini sottili, collocato dietro alla lente al di là del suo foco intercetta una metà del cono luminoso, mentre l'altra metà va a proiettarsi sopra un diaframma  $b$ , rappresentato di fronte in  $B$ . Ora si osserva al di dentro dell'ombra geometrica limitata dalla retta  $ab$ , una luce rossastra piuttosto viva, che diminuisce di intensità a misura che i punti del diaframma sono più lontani dal limite dell'ombra, e sulla parte del diaframma che dovrebbe essere uniformemente illuminata si osservano delle alternative di frange oscure e di frange luminose che si indeboliscono gradatamente e finiscono collo sparire interamente.



Fig. 353.

Tutti i diversi colori dello spettro producono lo stesso fenomeno, colla differenza però che le frange sono tanto più strette e meno distanti l'una dall'altra, quanto meno rifrangibile è la luce. Da quest'ultima proprietà risulta che quando si esperimenta colla luce bianca, le frange di ciascun colore semplice trovandosi separate a motivo della loro disuguale diffrazione, quelle che si formano sul diaframma  $B$  sono iridescenti.

Se invece di interporre tra la lente  $L$  ed il diaframma  $b$  i lembi di un corpo opaco, vi si colloca un corpo opaco assai stretto, come un capello od un filo metallico sottilissimo, non solo si osservano ancora alcune frange alternativamente oscure e luminose ai due lati dalla parte del diaframma che corrisponde all'ombra geometrica del corpo, ma in quest'ombra istessa si vede l'alternativa di liste oscure e di liste luminose; cioè allora si producono alcune frange esterne e frange interne.

Il padre Grimaldi di Bologna fu il primo, nel 1663, che fece conoscere il fenomeno della diffrazione e delle frange, senza darne però la spiegazione. Newton procurò di spiegare il fenomeno della diffrazione nel sistema dell'emissione, ammettendo un'azione ripulsiva esercitata dai corpi sui raggi luminosi, ciò che non spiegava però le frange interne. Tomaso Young spiegò il fenomeno della diffrazione, nel sistema delle ondulazioni, attribuendolo all'interferenza (519) dei raggi diretti coi raggi riflessi dai lembi dei corpi opachi. Ma da questa teoria risulterebbe che la formazione delle frange dovrebbe dipendere dalla natura dei corpi opachi di cui la luce rade i lembi, il che è contrario all'osservazione. Fresnel spiegò per il primo tutti i fenomeni della diffrazione, fondandosi sempre sulla teoria delle onde luminose.

**519. Interferenze.** - Chiamasi *interferenza* un'azione vicendevole che esercitano l'uno sull'altro due raggi luminosi, allorquando, emessi da una stessa sorgente, si incontrano sotto un angolo piccolissimo. Questa azione può osservarsi assai facilmente per mezzo della seguente esperienza: per due aperture circolari piccolissime, di diametri eguali e poco distanti l'una dall'altra, si fanno penetrare in una camera oscura due fasci di luce omogenea, per es., di luce rossa, il che si ottiene fissando alle due aperture della camera oscura alcuni vetri colorati in rosso, i quali non lasciano passare che questa luce. I due fasci, dopo il loro ingresso nella camera oscura, formando due coni luminosi che si incontrano ad una certa distanza, si ricevono un poco al di là del loro punto di incontro, sopra un cartone bianco, ed allora si osserva nel segmento comune ai due dischi che si formano su questo cartone, delle frange assai scure formate da alternative di rosso e di nero. Ma se si chiude una delle aperture, le frange spariscono e vengono sostituite da una tinta rossa quasi

uniforme. Dallo sparire delle frange oscure quando si intercetta uno dei fasci si conchiude che esse provengono dall'incontro dei due fasci i quali si incrociano obliquamente.

Questa esperienza è dovuta a Grimaldi, il quale ne aveva dedotta la conseguenza che la luce aggiunta a luce produce oscurità. Nell'esperienza ora descritta evvi diffrazione, perchè i raggi luminosi radono i lembi dell'apertura; ma, senza far intervenire questo fenomeno, si può produrre l'interferenza di due raggi per mezzo del seguente apparato dovuto a Fresnel.

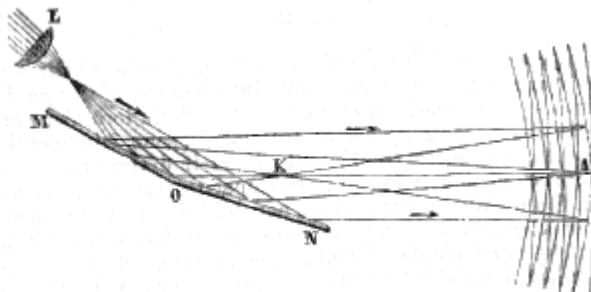


Fig. 354.

Due specchi metallici piani M ed N (fig. 354) sono disposti a fianco l'uno dell'altro in modo che formino un angolo MON assai ottuso. Una lente semicircolare L a corto foco concentra davanti a questi due specchi un fascio di luce rossa introdotto nella camera oscura, il quale cade in parte sopra uno degli specchi ed in parte sull'altro. Le onde luminose dopo d'essersi riflesse, come mostra la figura, vengono ad incontrarsi sotto un piccolissimo angolo, più vicino allo specchio N che allo specchio M, e se allora si ricevono sopra un diaframma bianco, si osservano sopra quest'ultimo alcune liste alternativamente oscure e brillanti, parallele alla linea d'intersezione dei due specchi e disposte simetricamente ai due lati del piano OKA che passa per la linea d'intersezione degli specchi e divide in due parti uguali l'angolo che formano fra loro i raggi riflessi.

Se si intercetta la luce che cade sopra uno degli specchi, le frange spariscono, come nell'esperienza precedente.

Finalmente se si fa passare il fascio già riflesso da uno degli specchi, attraverso ad una lastra di vetro a facce parallele, tutte le frange sono spostate a destra od a sinistra di una quantità che aumenta colla grossezza della lastra. Quest'ultima esperienza dimostra che l'azione vicendevole dei raggi che si incontrano è modificata dalla sostanza che essi attraversano, e se ne deduce che la luce si propaga meno velocemente nel vetro che nell'aria.

**520. Principio delle interferenze.** - Il fenomeno delle interferenze, come quello della diffrazione, non può essere spiegato nel sistema dell'emissione; Fresnel però non diede una spiegazione completa nel sistema delle ondulazioni. In questo sistema essendo le molecole dell'etere animate da un movimento ondulatorio rapidissimo (400), chiamasi *lunghezza d'ondulazione* lo spazio percorso da ciascuna molecola d'etere durante un'andata ed un ritorno, e *semi-ondulazione* lo spazio che corrisponde ad una sola andata o ad un solo ritorno, di modo che una ondulazione completa si compone di due semi-ondulazioni in senso contrario. Ciò posto, allorquando due sistemi di ondulazioni di eguali lunghezze e della stessa intensità si propagano secondo una stessa direzione, se l'uno dei sistemi precede o segue l'altro precisamente di un numero pari di semi-ondulazioni, i due sistemi si uniscono per imprimere all'etere un movimento in un medesimo verso, e l'intensità della luce raddoppia; ma se invece uno dei sistemi è in ritardo rispetto all'altro di un numero dispari di semi-ondulazioni, i movimenti impressi all'etere si distruggono, e ne risulta alquanto oscurità.

Tale è la spiegazione delle frange oscure e luminose osservate nelle esperienze di Fresnel e di Grimaldi. Le frange osservate nella diffrazione si riferiscono alla stessa causa.

Siccome le due esperienze suddescritte si erano fatte colla luce rossa, le frange erano alternativamente nere e rosse; ma ripetendole con luce bianca, le frange sono iridescenti. Per ispiegare questa colorazione, bisogna notare che la larghezza delle frange varia con ciascuno dei colori semplici: ne risulta che quando si fanno interferire due fasci di luce bianca, le frange dovute a

ciascun colore si separano, il che produce l'iridescenza che si osserva in tal caso. Si vede che questa spiegazione è uguale a quella già data pei colori nella diffrazione.

**521. Lunghezza delle ondulazioni, causa dei colori.** - Misurando con precisione l'intervallo fra due frange consecutive nel fenomeno delle interferenze, Fresnel ne dedusse per mezzo del calcolo la lunghezza delle ondulazioni dell'etere, e riconobbe che questa lunghezza non è la stessa, per tutti i raggi colorati, ma va aumentando dal violetto al rosso, come mostra la tavola seguente:

Colori semplici	Lunghezza media dello ondulazioni in millesimi di millimetro
Violetto	423
Indaco	449
Turchino	475
Verde	512
Giallo	551
Ranciato	583
Rosso	620

Siccome la velocità della luce per minuto secondo è di 77000 leghe di 4000 metri (406), cioè di 308 milioni di metri, si avrà il numero delle ondulazioni corrispondenti a ciascun colore, per secondo, cercando quante volte la lunghezza d'ondulazione corrispondente è contenuta nel numero 308 milioni, cioè dividendo quest'ultimo numero pei numeri della tavola superiore, il che dà pel raggio violetto più di 728 milioni di milioni di ondulazioni per secondo, e pel raggio rosso più di 496 milioni di milioni.

A ciascun colore semplice, corrispondendo così un numero di ondulazioni che gli è proprio, si vede che la teoria delle ondulazioni conduce ad ammettere che la natura de' colori è determinata dal numero di vibrazioni che fanno le molecole dell'etere in un tempo dato, nello stesso modo che i diversi suoni sono prodotti dal numero delle onde sonore.

**522. Colori delle lamine sottili, anelli di Newton.** - Tutti i corpi diafani solidi, liquidi o gasosi, quando sono ridotti in lamine abbastanza sottili sembrano tinti di colori assai vivi, principalmente quando sono veduti per riflessione. I cristalli clivabili in foglie assai sottili, quali la mica, il gesso, presentano questo fenomeno; lo stesso avviene della madreperla e del vetro soffiato in bolle assai sottili. Una goccia d'olio espansa rapidamente sopra una grande massa d'acqua, presenta tutte le tinte dello spettro in un ordine costante. Una bolla di sapone dapprima sembra bianca, ma a misura che la si gonfia, presenta brillanti tinte iridescenti, principalmente alla parte superiore ove l'involuppo liquido è più sottile. Questi colori si dispongono in zone orizzontali concentriche intorno al vertice, il quale diventa nero al momento in cui non ha più grossezza sufficiente per riflettere la luce, ed allora la bolla scoppia improvvisamente.



Fig. 355.



Fig. 356.

Newton che poi primo studiò il fenomeno degli anelli colorati nelle bolle di sapone, volendo constatare la relazione che esiste fra la grossezza della lamina sottile, il colore degli anelli ed i loro diametri, produsse questi anelli per mezzo di uno strato d'aria interposto fra due vetri, l'uno piano, l'altro convesso ed a foco assai lungo (fig. 355). Esponendo le due superficie accuratamente asciugate, davanti ad una finestra alla luce del giorno, in modo di vederle per riflessione, si scorge al punto di contatto una macchia nera circondata da sei o sette anelli colorati, le cui tinte vanno indebolendosi gradatamente. Se si guardano i vetri per trasmissione, il centro degli anelli è bianco (fig. 350), ed i colori di ciascuno di essi sono esattamente complementari di quelli degli anelli veduti per riflessione.

Con una luce omogenea, per es., la rossa, gli anelli sono successivamente neri e rossi, e di diametri tanto minori quanto più rifrangibile ne è il colore; ma colla luce bianca, gli anelli sono colorati delle diverse tinte dello spettro, il che proviene dall'essere gli anelli dei vari colori semplici di diametri differenti, per cui non si sovrappongono, ma si separano più o meno.

Se la distanza focale della lente (fig. 355) è di 3 o 4 metri, gli anelli possono vedersi ad occhio nudo, ma se il foco è più vicino bisogna guardarli con una lente.

Calcolando la grossezza dello strato d'aria compreso fra la lastra e la lente, Newton trovò che, *per gli anelli oscuri queste grossezze stanno fra loro come la serie dei numeri pari 0, 2, 4, 6...; e che per gli anelli brillanti queste stesse grossezze variano come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7...;* rapporti che sono indipendenti dalla natura della lente e dai colori dei raggi che gli attraversano. Newton trovò inoltre che la grossezza dello strato d'aria interposto diminuendo a misura che la rifrangibilità aumenta, questa grossezza è di 161 milionesimi di millimetro pel rosso estremo di primo ordine, cioè corrispondente al primo anello brillante, mentre che poi violetto estremo questa grossezza non è più che di 101 milionesimi di millimetro. Infine, per anelli dello stesso ordine, cioè dello stesso rango, i diametri sono tanto maggiori quanto meno rifrangibile è il colore semplice che cade sulla lente.

La colorazione delle lamine sottili e degli anelli di Newton è un fenomeno d'interferenza, che proviene dall'interferenza dei raggi riflessi sulla seconda superficie della lamina con quelli riflessi dalla prima. Gli anelli veduti per rifrazione risultano dall'interferenza dei raggi trasmessi direttamente coi raggi trasmessi soltanto dopo due riflessioni interne sulle facce della lamina.

**523. Fenomeno delle reticelle.** - Si chiama *reticella*, in ottica, una serie di righe opache e di righe trasparenti vicinissime le une alle altre. Tali sono le linee parallele che si segnano sul vetro col diamante per formare i micrometri (470). In questo caso le righe formano la parte opaca della reticella. Se si guarda la luce trasmessa da una candela attraverso ad una reticella di questa sorta contenente 100 linee ogni millimetro, si vede una serie di piccoli spettri i quali hanno il rosso al di fuori ed il violetto al di dentro. Lo stesso accade se si guarda la fiamma d'una candela attraverso alle barbe di una penna collocata vicino all'occhio. Anche questa colorazione è un fenomeno d'interferenza.

## POLARIZZAZIONE

**524. Polarizzazione per riflessione.** - La *polarizzazione* è una modificazione particolare dei raggi luminosi, per la quale, una volta riflessi o rifratti, diventano inetti ad esser di nuovo riflessi o rifratti in certe direzioni. Per indicare questi nuovi fenomeni della luce fu adottato il nome di polarizzazione, perchè per spiegarli, nella teoria dell'emissione, si ammette che le molecole luminose abbiano dei poli e degli assi, i quali, per effetto della riflessione sotto un certo angolo si volgano tutti in una direzione. La polarizzazione fu scoperta nel 1810 da Malus, fisico francese, morto nel 1812.

La luce si polarizza per riflessione o per rifrazione. La luce riflessa sopra una lastra di vetro nero si polarizza quando la riflessione avviene sotto un angolo di  $35^{\circ} 25'$  colla lastra. Ecco alcune proprietà che possiede allora il raggio polarizzato:

1.° Questo raggio non subisce alcuna riflessione quando cade sopra una seconda lastra di vetro, sotto lo stesso angolo  $35^{\circ} 25'$ , se il piano d'incidenza su questa seconda lastra è perpendicolare al piano d'incidenza sulla prima, ed invece si riflette più o meno sopra piani diversamente inclinati.

2.° Trasmesso attraverso ad un prisma birefrangente (528, 3.°), non dà che una immagine, quando la sezione principale è parallela o perpendicolare al piano d'incidenza, mentre in ogni altra posizione, rispetto a questo piano, dà due immagini più o meno intense.

3.° Esso non può trasmettersi attraverso ad una piastra di tormalina (528, 2.°) il cui asse di cristallizzazione sia parallelo al piano di incidenza, e si trasmette invece tanto più facilmente quanto più l'asse della tormalina si accosta ad essere perpendicolare a questo piano.

Tutti i corpi possono, come il vetro nero, polarizzare la luce per riflessione, ma più o meno completamente e sotto angoli di incidenza ineguali. Il marmo nero, per es., polarizza completamente la luce, mentre il diamante, il vetro ordinario, il vetro d'antimonio la polarizza soltanto parzialmente. I metalli sono, fra tutti i corpi, quelli dotati di minor facoltà polarizzante.

**525. Angolo e piano di polarizzazione.** - L'*angolo di polarizzazione* di una sostanza è l'angolo che deve fare il raggio incidente con una superficie piana e levigata di questa sostanza, acciocchè il raggio riflesso sia polarizzato al massimo suo grado possibile. Per l'acqua quest'angolo è di  $37^{\circ} 15'$ ; pel vetro, di  $35^{\circ} 25'$ , pel quarzo, di  $32^{\circ} 28'$ ; pel diamante, di  $22^{\circ}$ ; per l'ossidiana, specie di vetro nero naturale che polarizza assai bene la luce, è di  $33^{\circ} 30'$ .

Brewster fece conoscere, relativamente all'angolo di polarizzazione, la legge seguente, rimarchevole per la sua semplicità. *L'angolo di polarizzazione è l'angolo di incidenza pel quale il raggio riflesso è perpendicolare al raggio rifratto.* Però questa legge non è applicabile alla luce riflessa dai cristalli birefrangenti.

Nella polarizzazione per riflessione chiamasi *piano di polarizzazione* il piano di riflessione nel quale la luce si trova polarizzata; questo piano coincide col piano d'incidenza e contiene quindi l'angolo di polarizzazione. La luce riflessa una prima volta in questo piano non può riflettersi sotto l'angolo di polarizzazione in un piano perpendicolare, ed inoltre non può essere trasmessa attraverso ad una tormalina il cui asse sia parallelo al piano. Anche ogni raggio polarizzato per rifrazione ha un piano di polarizzazione, un piano cioè nel quale presenta i fenomeni ora enunciati.

**526. Polarizzazione per semplice rifrazione.** - Quando un raggio di luce non polarizzata cade sopra una lastra di vetro a facce parallele, sotto l'angolo di polarizzazione, non è riflessa che in parte; la parte non riflessa attraversa la lastra rifrangendosi, e la luce trasmessa è polarizzata parzialmente in un piano perpendicolare al piano di riflessione, e per conseguenza al piano di polarizzazione della luce che è stata polarizzata per riflessione. Arago ha osservato inoltre che il fascio riflesso ed il fascio rifratto contengono una eguale quantità di luce polarizzata, e che la riunione di questi due fasci dà la luce naturale. Si può adunque riguardare la luce ordinaria come formata di due fasci eguali polarizzati ad angolo retto.

Siccome una sola lastra di vetro non polarizza mai completamente la luce, sovrapponendone parecchie le une alle altre, per le riflessioni e le rifrazioni successive, si produce meglio l'effetto. Alcune lastre di vetro così riunite formano l'apparato che si chiama *pila di lamine di vetro*, apparato che si usa frequentemente per ottenere un fascio di luce polarizzata.

**527. Polarizzazione per doppia rifrazione.** - La luce si polarizza per doppia rifrazione quando attraversa un cristallo di spato d'Islanda o di qualunque altra sostanza birefrangente; i due fasci, distinti alla loro emergenza, sono ambedue polarizzati interamente ma in piani differenti, i quali sono esattamente o quasi esattamente perpendicolari fra loro.

Per dimostrarlo, si guarda attraverso ad un romboedro di spato d'Islanda, un punto nero segnato sopra un foglio di carta. Ad occhi nudi si distinguono due immagini di eguale chiarezza; ma se si interpone una tormalina e la si fa rotare nel suo stesso piano, ciascuna immagine sparisce e ricompare due volte in una rotazione della tormalina, per cui si vede che i due raggi emergenti sono polarizzati in piani perpendicolari tra loro (528, 2.°). L'immagine ordinaria sparisce al momento in cui l'asse della tormalina è parallelo alla sezione principale della superficie d'incidenza, e l'immagine straordinaria scompare quando questo asse è perpendicolare a questa sezione; se ne conchiude che il fascio ordinario è polarizzato nel piano della sezione principale, ed il fascio straordinario in un piano perpendicolare a questa sezione.

**528. Polariscopii od analizzatori.** - Chiamansi *polariscopii* od *analizzatori* que' piccoli strumenti che servono a riconoscere quando la luce è polarizzata ed a determinare il suo piano di polarizzazione. Gli analizzatori più usati sono la lastra di vetro nero, la tormalina in lastra sottile, il prisma birefrangente, il prisma di Nicol e le pile di vetro descritte più sopra (526).

1.° *Vetro nero.* - Vedremo più avanti, nell'apparato rappresentato dalla figura 360, che una lastra di vetro nero si serve a riconoscere se la luce è polarizzata, cessando di rifletterla sotto l'angolo di polarizzazione, quando il piano d'incidenza su questa lastra è perpendicolare al piano di polarizzazione; la lastra di vetro *m* è adunque un analizzatore.

2.° *Tormalina.* - L'analizzatore più semplice è una lamina di tormalina bruna tagliata parallelamente al suo asse di cristallizzazione. Questo minerale, che è birefrangente, ha la proprietà di lasciar passare soltanto la luce naturale e la luce polarizzata in un piano perpendicolare al suo

asse; ma si comporta come un corpo opaco riguardo alla luce polarizzata, il cui piano di polarizzazione è parallelo a quest'asse.

Per servirsi di questo analizzatore lo si interpone tra l'occhio ed il fascio luminoso che si vuol osservare, poi si fa rotare lentamente la tormalina nel suo proprio piano; allora se il fascio luminoso presenta sempre la stessa intensità non contiene luce polarizzata; ma se l'intensità decresce e cresce successivamente, il fascio contiene tanto più di luce polarizzata quanto maggiori sono le variazioni d'intensità che presenta. Al momento in cui il fascio ha l'intensità minima, il piano di polarizzazione è determinato dall'asse della tormalina e dal raggio visuale. In una tormalina tagliata parallelamente all'asse, passa il raggio straordinario; il raggio ordinario è completamente assorbito, almeno se la tormalina è sufficientemente colorata.

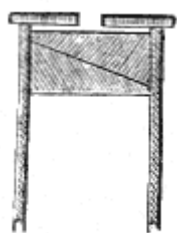


Fig. 357.

3.° *Prisma birefrangente*. - Si costruiscono collo spato d'Islanda prismi birefrangenti che vengono impiegati come analizzatori in parecchi istrumenti di ottica, principalmente nell'apparato di Biot che si adopera per istudiare la polarizzazione circolare (fig. 363). È necessario che questi prismi siano acromatizzati, perchè quando la luce che li attraversa non è semplice, viene decomposta dalla rifrazione. Perciò si unisce al prisma di spato un secondo prisma di vetro, di un angolo tale che rifrangendo la luce in senso contrario, distrugga quasi interamente l'effetto della dispersione. Si ottiene il massimo allontanamento tra l'immagine ordinaria e l'immagine straordinaria tagliando il prisma birefrangente in modo che i suoi spigoli siano paralleli o perpendicolari all'asse ottico del cristallo.

Fissato il prisma birefrangente alla estremità di un tubo di ottone (fig. 357), si riconosce che un fascio luminoso il quale si faccia passare attraverso a questo tubo è totalmente polarizzato, quando facendo girare il tubo sopra sè stesso, si trovano, in una rivoluzione intera, quattro posizioni perpendicolari fra loro, ove non si scorge che una sola immagine. L'immagine ordinaria sparisce quando il piano della sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione, e l'immagine straordinaria si estingue quando il piano di polarizzazione coincide colla sezione principale. In tutte le altre posizioni che prende il prisma birefrangente varia l'intensità delle immagini. Si vede in pari tempo che il prisma birefrangente può servire a determinare la direzione del piano di polarizzazione, perchè basta cercare la posizione della sezione principale del prisma per la quale, quando il fascio incidente è normale, l'immagine straordinaria sparisce.



Fig. 358.

4.° *Prisma di Nicol*. - Il prisma di Nicol è il più prezioso analizzatore perchè è affatto incolore, polarizza completamente la luce e trasmette un solo raggio polarizzato nella direzione del suo asse.

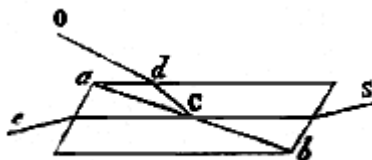


Fig. 359.

Per costruirlo si prende un romboedro di spato d'Islanda di 20 a 30 millimetri di altezza circa e della lunghezza di 8 a 9, e lo si taglia in due con un piano perpendicolare a quello delle due diagonali maggiori delle basi e passante pei vertici degli angoli ottusi più vicini l'uno all'altro, poi si

riuniscono le due metà nello stesso ordine con balsamo del Canada. Il parallelepipedo così costruito costituisce il prisma di Nicol (fig. 358).

Siccome l'indice di rifrazione del balsamo del Canada è minore dell'indice ordinario dello spato d'Islanda, ma maggiore del suo indice straordinario, ne segue che se un raggio luminoso  $SC$  (fig. 359) penetra nel prisma, il raggio ordinario subisce sulla superficie  $ab$  la riflessione totale e prende la direzione  $CdO$ , mentre passa soltanto il raggio straordinario  $Ce$ ; quindi il prisma di Nicol, come la tormalina, lascia passare il solo raggio straordinario. Questo prisma si adopera anche per ottenere un fascio di luce bianca polarizzata. Anche il prisma birefrangente serve a questo scopo.

**529. Apparato di Noremborg.** - Noremborg immaginò un apparecchio semplice e poco dispendioso, per mezzo del quale si può ripetere la maggior parte delle esperienze relative alla luce polarizzata. Quest'apparecchio si compone di due colonne di ottone  $b$  e  $d$  (fig. 360), le quali sostengono una lastra di vetro  $n$ , mobile attorno ad un asse orizzontale. Un piccolo cerchio graduato indica l'angolo che fa la lastra colla verticale. Tra i piedi delle due colonne avvi uno specchio di vetro  $p$  fisso ed orizzontale. Alla loro estremità superiore queste stesse colonne sostengono un anello graduato  $i$  nel quale può girare un disco circolare  $o$ .

Quest'ultimo, al cui centro è praticata un'apertura quadrangolare, porta una lastra di vetro nero  $m$ , la quale fa colla verticale un angolo uguale all'angolo di polarizzazione. Finalmente un disco anulare  $k$  può essere fissato, per mezzo di una vite di pressione, a differenti altezze sulla colonna. Un secondo anello  $a$ , sostenuto dal primo, può, essere diversamente inclinato, e porta un diaframma nero  $e$ , al cui centro è praticata un'apertura circolare.

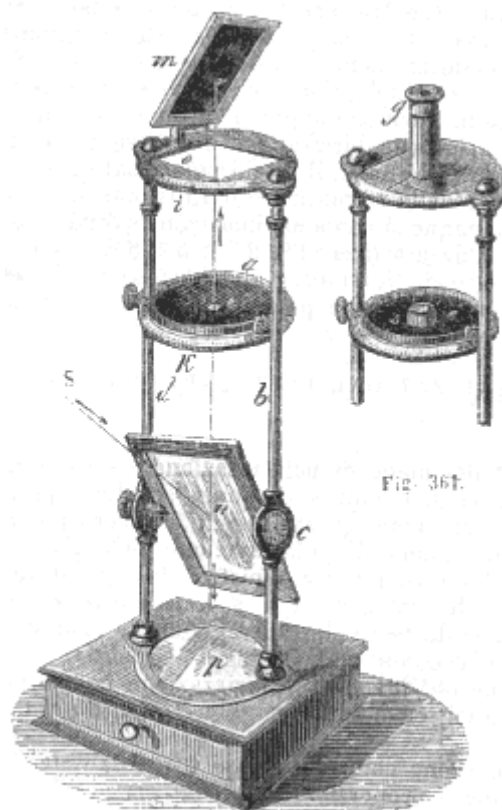


Fig. 360.

Ciò posto, quando il vetro  $n$  fa colla verticale un angolo ai  $35^\circ 25'$  cioè eguale all'angolo di polarizzazione del vetro, i raggi luminosi che, come  $Sn$ , incontrano la lastra sotto questo angolo, si polarizzano (524) riflettendosi nella direzione  $np$  verso lo specchio  $p$  che li rimanda nella direzione  $pnr$ . Dopo avere attraversata la lastra  $n$ , il fascio polarizzato cade sulla lastra di vetro nero  $m$  sotto un angolo di  $35^\circ 25'$ , perchè la lastra fa precisamente quest'angolo colla verticale. Ora, se si fa muovere orizzontalmente l'anello  $o$  al quale è fissata la lastra  $m$ , questa si sposta conservando sempre la stessa inclinazione e si trovano due posizioni nelle quali essa non riflette il fascio incidente  $nr$ ; ciò accade quando il piano d'incidenza, su questa lastra è perpendicolare al piano



d'incidenza  $Snp$  sulla lastra  $e$ . Tale è la posizione rappresentata nella figura 360. In ogni altra posizione il fascio polarizzato è riflesso dalla lastra  $m$  in quantità variabile, e la luce riflessa ha la massima intensità quando i piani d'incidenza sulle lastre  $m$ , ed  $n$  sono paralleli fra loro. Se la lastra  $m$  fa colla verticale un angolo maggiore o minore di  $35^\circ 25'$ ; il fascio polarizzato è sempre riflesso in tutte le posizioni del piano di incidenza.

Se invece di ricevere la luce polarizzata sulla lastra di vetro nero  $m$ , la si riceve sopra un prisma birefrangente ( $528, 3.^\circ$ ) collocato nel tubo  $g$  (fig. 361), si ottiene una sola immagine ogniqualevolta il piano della sezione principale del prisma coincide col piano di polarizzazione sulla lastra  $a$ , ed allora viene trasmesso il raggio ordinario. Si vede una sola immagine anche quando il piano della sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione, ed allora passa il raggio straordinario. Per ogni altra posizione del prisma birefrangente si vedono due immagini, la cui intensità varia colla posizione della sezione principale.

Finalmente, se al prisma birefrangente si sostituisce una tormalina e la si fa girare sopra se stessa, il fascio polarizzato si estingue completamente quando l'asse della tormalina è parallelo al piano d'incidenza  $Snp$ .

Per tal modo adunque si trovano dimostrate le diverse proprietà suesposte della luce polarizzata ( $524, 1.^\circ, 2.^\circ$  e  $3.^\circ$ ). Ora vedremo altre applicazioni dell'apparato di Noremborg all'osservazione dei colori della luce polarizzata ed allo studio della polarizzazione circolare nel quarzo.

## POLARIZZAZIONE CIRCOLARE O ROTATORIA

**530. Rotazione del piano di polarizzazione.** - Allorchè un raggio polarizzato attraversa una lamina di quarzo tagliata perpendicolarmente all'asse di cristallizzazione, questo raggio è ancora polarizzato all'emergenza, ma non nel piano di polarizzazione primitivo. Alcuni pezzi di quarzo deviano il nuovo piano a sinistra del primitivo, altri a destra.

A questo fenomeno fu dato il nome di *polarizzazione circolare*. Esso venne osservato dapprima da Seebeck ed Arago, ma fu studiato principalmente da Biot, il quale fece conoscere le leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> La rotazione del piano di polarizzazione non è la stessa pei diversi colori semplici, ed è tanto maggiore quanto più questi colori sono rifrangibili.

2.<sup>a</sup> Per un medesimo colore semplice e per lamine di uno stesso cristallo, la rotazione è proporzionale alla grossezza.

3.<sup>a</sup> Nella rotazione da destra a sinistra o da sinistra a destra, la stessa grossezza produce sensibilmente la stessa rotazione.

Furono denominate *destrogire* le sostanze che deviano a destra: tali sono lo zucchero di canna sciolto nell'acqua, l'essenza di limone, la soluzione alcoolica di canfora, la destrina e l'acido tartarico; e si chiamarono *levogire* le sostanze che deviano a sinistra, come l'essenza di trementina, quella di lauro, la gomma arabica.

**531. Colorazione prodotta dalla polarizzazione circolare.** - Se si guarda con un prisma birefrangente una lamina di quarzo della grossezza di alcuni millimetri, tagliata perpendicolarmente all'asse ed attraversata da un fascio di luce polarizzata, si scorgono due immagini vivamente colorate, le cui tinte sono complementarie l'una all'altra (fig. 362). Girando allora il prisma birefrangente a destra od a sinistra, le due immagini cangiano di tinta e prendono successivamente tutti i colori dello spettro, continuando sempre ad essere complementari.

Questo fenomeno è una conseguenza della prima legge sulla polarizzazione circolare ( $530, 1.^\circ$ ). Infatti, avendo Biot riconosciuto che il quarzo fa girare, il piano di polarizzazione del raggio rosso di circa  $17^\circ 30'$ , e quello del raggio violetto di circa  $44^\circ 5'$ , dalla grande differenza di questi due angoli che ne risulta allorchando la luce emerge dal quarzo suaccennato, i diversi colori semplici che essa contiene sono polarizzati in piani differenti. Per conseguenza, quando il fascio così trasmesso dal quarzo è ricevuto a traverso un prisma birefrangente che lo decompone in due altri polarizzati ad angoli retti ( $527$ ), i diversi colori semplici si ripartiscono inegualmente fra le due

immagini ordinaria e straordinaria fornite dal prisma, e ne risulta che queste immagini sono necessariamente complementarie, poichè i colori che mancano all'una si ritrovano nell'altra.

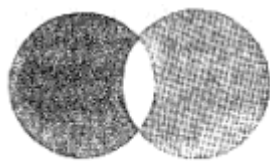


Fig. 362.

Questi fenomeni di colorazione si osservano assai bene per mezzo dell'apparecchio di Noremborg (fig. 360). Perciò si colloca sul diaframma *e* (fig. 361) una lamina di quarzo *s*, tagliata perpendicolarmente all'asse e fissata in un disco di sughero; poi, inclinata la lastra *n* (fig. 336) in modo di far passare nel quarzo un fascio polarizzato, si guarda attraverso ad un prisma birefrangente contenuto nel tubo *g* (fig. 361), e, facendo girare questo tubo, si vedono le immagini complementarie fornite dal passaggio della luce polarizzata nel quarzo (fig. 362).

**532. Facoltà rotatoria dei liquidi.** - Il quarzo è la sola sostanza solida nella quale siasi osservata la polarizzazione circolare; ma Biot ha trovata la stessa proprietà in un gran numero di liquidi e di soluzioni.

Il medesimo scienziato ha osservato inoltre che lo spostamento del piano di polarizzazione può far conoscere le differenze di composizione nei corpi in cui non se ne distingue alcuna coll'analisi chimica. Per es. lo zucchero d'uva fa girare a sinistra il piano di polarizzazione, mentre lo zucchero di canna lo fa girare a destra, quantunque la composizione chimica di questi due zuccheri sia la stessa.

Biot ha trovato che il potere rotatorio dei liquidi è molto minore di quello del quarzo. Nel siroppo concentrato di zucchero di canna il quale è un liquido che possiede la facoltà rotatoria al massimo grado, questa facoltà è trentasei volte minore che nel quarzo, d'onde risulta che bisogna operare sopra colonne liquide della lunghezza di 20 centimetri circa.

La figura 363 rappresenta l'apparato adottato da Biot per misurare il potere rotatorio dei liquidi. In un canale di ottone *p*, fisso ad un sostegno *r*, trovasi un tubo *d* della lunghezza di 20 centimetri circa, ove si rinchiude il liquido sul quale si vuol sperimentare. Questo tubo, che è di ottone, è coperto internamente di stagno, e chiuso alle sue estremità da due lastre di vetro a facce parallele fissate con due viere a vite. In *m* trovasi una lastra di vetro nero, la quale fa coll'asse comune dei tubi *b*, *d*, *a*, un angolo eguale all'angolo di polarizzazione, d'onde risulta che la luce riflessa dalla lastra *m* nella direzione *b*, *d*, *a*, è polarizzata. Al centro del circolo diviso *la*, nel tubo *a* e perpendicolarmente all'asse *bda*, è situato un prisma birefrangente acromatizzato, che si può far girare a volontà attorno all'asse dell'apparecchio per mezzo di un bottone *n*. Quest'ultimo è fisso ad una alidada *c*, che porta un verniero ed indica il numero dei gradi di cui lo si fa girare.

Finalmente, per la disposizione dello specchio *m*, il piano di polarizzazione *Sod* del fascio riflesso è verticale, e lo zero della graduazione sul cerchio *h* trovasi in questo piano.

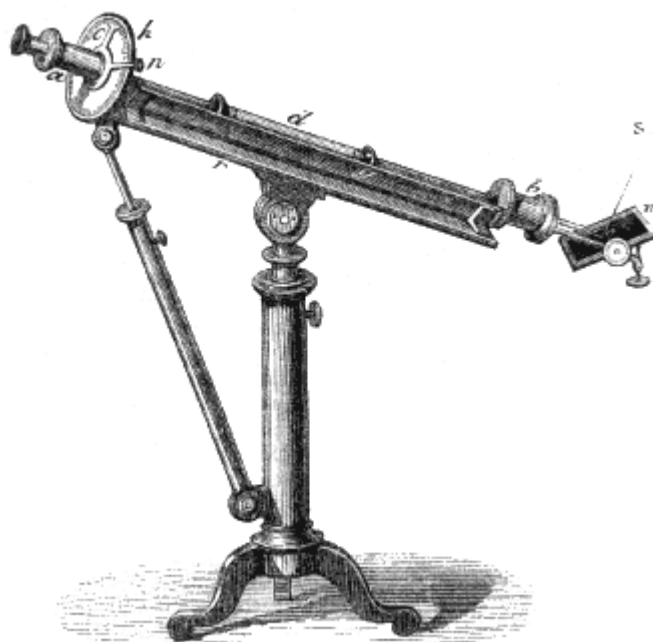


Fig. 363 (il. 50).

Ciò posto, prima di collocare il tubo *d* nel canale *g*, l'immagine straordinaria fornita dal prisma birefrangente si estingue ogniqualvolta l'alidada *c* corrisponde allo zero della graduazione, perchè allora il prisma birefrangente si trova disposto in modo che la sua sezione principale coincide col piano di polarizzazione (528, 3.°). Lo stesso avviene quando il tubo *d* è pieno d'acqua o di un altro liquido inattivo, come l'alcool, l'etere, il che dimostra non essere stato deviato il piano di polarizzazione. Ma se si riempie il tubo di una soluzione di zucchero di canna o di qualunque altro liquido *attivo*, l'immagine straordinaria ricompare, e per estinguerla bisogna girare l'alidada di un certo angolo a destra od a sinistra dello zero, secondochè il liquido è destrorigiro o levogiro, ciò che dimostra che il piano di polarizzazione è stato deviato di questo stesso angolo. Colla soluzione di zucchero di canna la rotazione avviene verso la destra, e se, con una stessa soluzione si adoperano tubi più o meno lunghi, si trova che la rotazione cresce proporzionalmente alla lunghezza, il che è conforme alla seconda legge di Biot (530); finalmente, se con un tubo di lunghezza costante, si adoperano soluzioni sempre più ricche di zucchero, si osserva che la rotazione cresce come la quantità di zucchero disciolta, epperò si vede che dall'angolo di deviazione si può dedurre l'analisi quantitativa d'una soluzione.

Nell'esperienza ora ora descritta bisogna operare colla luce semplice, poichè siccome i diversi colori dello spettro posseggono facoltà rotatorie differenti, ne risulta che la luce bianca attraversando un liquido attivo viene decomposta, e che l'immagine non sparisce completamente in veruna posizione col prisma birefrangente, ma cambia solo di tinta.

Onde ovviare a questo inconveniente, si colloca nel tubo *a*, tra l'occhio ed il prisma birefrangente un vetro colorato in rosso coll'ossido di rame il quale lascia passare sensibilmente la sola luce rossa. L'immagine straordinaria allora si estingue ogniqualvolta la sezione principale del prisma coincide col piano di polarizzazione del fascio rosso.

**533. Saccarimetro di Soleil.** - Soleil approfittò della facoltà rotatoria dei liquidi, scoperta da Biot, per costruire un apparecchio destinato ad analizzare le sostanze saccarifere, d'onde il nome di *saccarimetro* dato a questo apparato.

La figura 364 rappresenta il saccarimetro fissato orizzontalmente sul suo piede, e la figura 365 ne presenta una sezione longitudinale colle recentissime modificazioni introdotte da Duboscq, genero e successore di Soleil. Questo strumento, semplice dal punto di vista pratico, è però complicato dal punto di vista teorico, perchè richiede la cognizione dei principali fenomeni della doppia rifrazione e della polarizzazione.

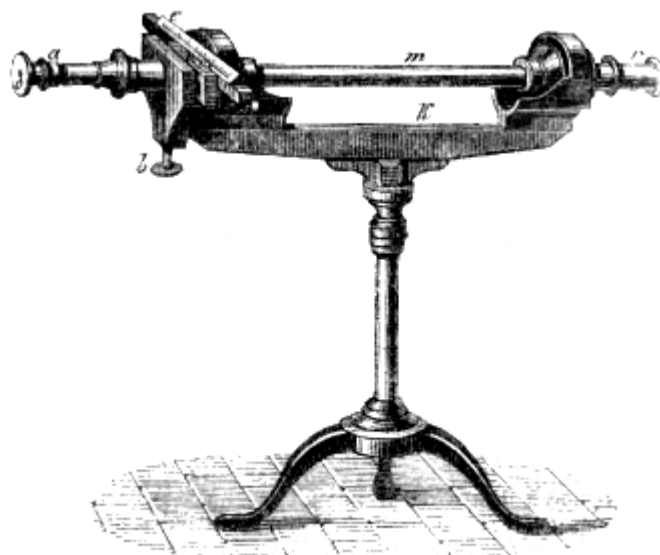


Fig. 364.  $\lambda = 475$ .

Il principio di questo apparecchio non è l'ampiezza di rotazione del piano di polarizzazione come in quello di Biot descritto più sopra (532), ma la *compensazione*, cioè l'uso di una seconda sostanza attiva, la quale agisce in senso contrario di quella che si vuol analizzare, e la cui grossezza può variare fino a tanto che le azioni contrarie delle due sostanze si distruggano completamente; dimodochè invece di misurare la deviazione del piano di polarizzazione si misura la grossezza che deve avere la sostanza compensatrice, la quale è una lamina di quarzo, perché la compensazione sia perfetta.

Ciò posto, si ponno distinguere in questo apparato tre parti principali: un tubo che contiene il liquido da analizzare, un polarizzatore ed un analizzatore.

Il tubo *m*, che contiene il liquido, è di ottone ricoperto internamente di stagno, chiuso ai suoi capi con due lastre di vetro a facce parallele, e collocato sopra un sostegno *k* il quale è terminato alle sue estremità da due tubi *r* ed *a*, nei quali trovansi i cristalli che servono di polarizzazione e di analizzatore rappresentati in sezione nella figura 365.

Davanti all'orifizio S (fig. 365) si colloca una lucerna ordinaria a moderatore. La luce emessa da questa lucerna, nella direzione dell'asse dell'istrumento incontra un prisma birefrangente *r*, il quale serve di polarizzatore (528,  $3^\circ$ ). La sola immagine ordinaria arriva all'occhio, perché l'immagine straordinaria viene proiettata fuori del campo della visione a motivo dell'ampiezza dell'angolo formato dai raggi ordinario e straordinario. Infine, il prisma birefrangente ha una posizione tale che il piano di polarizzazione è verticale e passa per l'asse dell'apparecchio.

Fig. 365

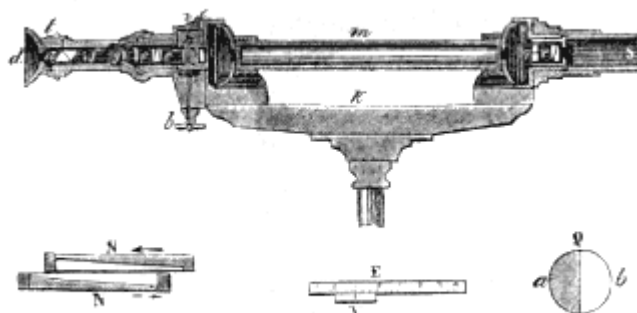


Fig. 366

Fig. 367

Fig. 368

All'uscire dal prisma birefrangente, il fascio polarizzato incontra una lamina di quarzo *q* a doppia rotazione, cioè che può far deviare il piano di polarizzazione a destra od a sinistra. Per ciò essa è formata di due piastre di quarzo di rotazione contraria, poste l'una accanto all'altra, come mostra la figura 368, in modo che la linea di separazione sia verticale ed in uno stesso piano coll'asse dell'apparecchio. Questi quarzi, tagliati perpendicolarmente all'asse, hanno una grossezza di  $3^\circ,75$ , a

cui corrisponde una rotazione di  $90^\circ$ , e danno una tinta rosso-violacea che è la *tinta di passaggio*. Siccome il quarzo si destrogira che levogira ad eguale grossezza fa rotare sempre di una stessa quantità ( $530, 3^\circ$ ), ne risulta che i due quarzi *a* e *b* fanno rotare ugualmente il piano di polarizzazione, l'uno a destra e l'altro a sinistra. Per conseguenza, guardandoli con un prisma birefrangente, presentano sempre la stessa tinta.

Il fascio polarizzato, dopo di aver attraversato il quarzo *q*, passa nel liquido contenuto nel tubo *m*, indi incontra un'altra piastra di quarzo semplice e di grossezza arbitraria, di cui vedremo or ora l'ufficio.

In *n* trovasi il compensatore destinato a distruggere la rotazione della colonna liquida *m*. Esso è formato da due quarzi aventi la stessa rotazione a destra od a sinistra, ma contraria a quella della piastra *i*. Questi due quarzi, rappresentati in sezione dalla figura 366, si ottengono tagliando obliquamente una piastra di quarzi a facce parallele, in modo di formare due prismi *N* ed *N'* di angoli eguali; ponendo in seguito questi due prismi l'uno accanto all'altro, come mostra la figura, ne risulta una sola piastra a facce parallele, la quale offre il vantaggio di poter variare di grossezza. Perciò ciascuno dei prismi è fissato in un pezzo mobile entro una scanalatura, in modo che possa scorrere in un senso o nell'altro, conservando sempre le facce omologhe parallele. Questo movimento si ottiene per mezzo di una doppia asta dentata e di un rocchetto che si fa girare mediante un bottone *b* (fig. 364 e 365).

Quando le lamine si spostano rispettivamente nel senso indicato dalle frecce (fig. 366), è evidente che la somma delle loro grossezze aumenta, e che diminuisce quando le lamine si muovono in senso contrario. Una scala *e* ed un nonio *v* (fig. 364) seguono le lamine nel loro movimento e servono a misurare le variazioni di grossezza del compensatore. Questa scala rappresentata insieme col suo nonio nella figura 367, porta due divisioni aventi uno zero comune, l'una da sinistra a destra pei liquidi destrogiri, l'altra da destra a sinistra pei liquidi levogiri.

Quando il nonio è allo zero della scala, la somma delle grossezze delle piastre *N*, *N'*, è precisamente uguale a quella della piastra *i*, e siccome la rotazione di quest'ultima è contraria a quella del compensatore, l'effetto è nullo. Ma se si fanno muovere in un senso o nell'altro le lamine del compensatore, prevale quest'ultimo od il quarzo *i*, ed avvi rotazione a destra od a sinistra.

Dietro al compensatore trovasi un prisma birefrangente e (fig. 365) che serve di analizzatore per osservare il fascio polarizzato che ha attraversato il liquido e le diverse piastre di quarzo. Onde comprendere più facilmente l'ufficio del prisma *e*, trascureremo per un istante i cristalli e le lenti rappresentati nella figura alla sua destra. Se dapprima si fa coincidere lo zero del nonio *v* con quello della scala, e se il liquido contenuto nel tubo è inattivo, le azioni del compensatore e della piastra *i* si distruggono, e siccome l'azione del liquido è nulla, le due metà della piastra *q*, vedute attraverso al prisma *e*, danno rigorosamente la stessa tinta, come si disse più sopra. Ma se si sostituisce al tubo pieno di liquido inattivo un secondo tubo pieno di una soluzione di zucchero, la facoltà rotatoria di questa soluzione si aggiunge a quella diretta nello stesso senso di uno dei quarzi della piastra a doppia rotazione *q*, e diminuisce d'altrettanto la facoltà rotatoria dell'altro quarzo.

Ne risulta che le due metà della piastra *q* non presentano più la stessa tinta e che la metà *a* (fig. 363), per es., è rossa, mentre la metà *b* è turchina. Allora girando il bottone *b* verso destra o verso sinistra, si fanno muovere i prismi del compensatore fintanto che la differenza d'azione del compensatore e della piastra *i* compensi la facoltà rotatoria della soluzione, ciò che avviene quando le due metà della piastra *q* a doppia rotazione ritornano alla loro tinta primitiva.

La direzione della deviazione e la grossezza del compensatore si misurano collo spostamento relativo della scala *e* e del nonio *v*. Le divisioni della scala sono tali che 10 di esse corrispondono alla variazione di 1 millimetro nella grossezza del compensatore, e siccome il nonio dà i decimi di queste divisioni, ne risulta che misura le variazioni di  $1/100$  di millimetro nella grossezza del compensatore.

Allorchè le tinte delle due metà della piastra *q* sono identiche ed eguali a quelle che avevano prima dell'interposizione della soluzione zuccherina, si legge sulla scala a quale divisione corrisponda il nonio, ed il numero corrispondente dà immediatamente il titolo della soluzione.

Per ciò, si parte dal principio che sciogliendo nell'acqua  $16^{\text{gr}},471$  di questo zucchero, che si fa sciogliere nell'acqua, indi, ridotto il volume della soluzione a 100 centimetri cubici, se ne riempie un tubo lungo 20 centimetri, e si osserva il numero indicato dal nonio quando si è ritrovata la tinta primitiva. Se questo numero è, per es., 42, se ne conchiude che la soluzione contiene 42 per 100 di zucchero cristallizzabile in confronto di quello che conteneva la soluzione di zucchero candito, e che per conseguenza, la quantità effettiva di questo zucchero è  $16^{\text{gr}},471 \cdot 42/100$ , ossia  $6^{\text{gr}},918$ . Questo risultato però non è esatto se non quando si ha la certezza che lo zucchero sottoposto all'esperienza non venne mescolato a zucchero non cristallizzabile o ad altra sostanza levogira. Allora si ricorre all'inversione, cioè si trasforma per mezzo dell'acido cloridrico lo zucchero cristallizzabile che è destrogiro in zucchero non cristallizzabile che è levogiro, e si ripete di nuovo l'operazione, la quale, combinata colla prima, dà la quantità di zucchero cristallizzabile. Non potendo qui dare maggiore sviluppo a questo soggetto, rimandiamo il lettore ad un eccellente libretto pubblicato da Clerget, nel 1850, sull'uso del saccarimetro.

Ci rimane a spiegare l'uso dei cristalli e delle lenti  $o$ ,  $g$ ,  $f$ ,  $a$ , collocate dietro il prisma  $c$  (fig. 365). Il loro insieme forma ciò che Soleil, ha denominato il *produttore delle tinte sensibili*. Infatti, la tinta più sensibile, quella cioè che permette di distinguere una differenza piccolissima nella colorazione delle due metà della piastra di rotazione, non è la stessa per tutti gli occhi; per la maggior parte, è una tinta turchino-violacea che assomiglia a quella del fiore di lino. Importa adunque di produrre facilmente questa tinta o qualunque altra più sensibile all'occhio dell'osservatore. Per ciò, davanti al prisma  $c$ , trovasi collocata una piastra di quarzo o tagliata perpendicolarmente all'asse, indi un piccolo cannocchiale di Galileo (475), formato da un vetro biconvesso  $g$  e da un vetro biconcavo  $f$ , i quali ponno essere avvicinati l'uno all'altro od allontanati a seconda della visione distinta di ciascun osservatore. Finalmente l'apparecchio è completato da un prisma di Nicol a fisso in un tubo  $t$  che può girare sopra sè stesso. Ora siccome rispetto al quarzo o il prisma birefrangente  $c$  agisce come polarizzatore, ed il prisma  $a$ , come analizzatore, ne segue che facendo girare quest'ultimo a destra ed a sinistra, la luce che ha attraversato il prisma  $c$  e la piastra  $o$  cangia di tinta (531), e finisce a dare quella che lo sperimentatore ha adottata per tinta fissa.

**534. Analisi dell'orina dei diabetici.** - Nella malattia conosciuta sotto il nome di *diabete zuccherino*, le orine sono cariche di grande quantità di zucchero fermentabile, detto *zucchero di diabete*. Questo zucchero allo stato naturale nelle orine fa deviare verso destra il piano di polarizzazione. Per valutare la quantità di zucchero contenuta nelle orine dei diabetici si incomincia, se non sono abbastanza limpide, col chiarificarlo per mezzo dell'acetato basico di piombo; si filtra, si riempie il tubo  $m$  di orina così chiarificata, indi si gira il bottone  $b$  fintanto che ottengasi per la piastra a due rotazioni la stessa tinta che si aveva prima dell'interposizione dell'orina. Siccome l'esperienza ha insegnato che 100 parti della scala del saccarimetro rappresentano lo spostamento che si deve dare ai quarzi compensatori quando si trovano nell'orina  $225^{\text{gr}},6$  di zucchero per ogni litro, ne risulta che ogni divisione della scala rappresenta sensibilmente 2 grammi ed  $\frac{1}{4}$  di zucchero. Quindi, per ottenere la quantità di zucchero contenuta in una data orina bisogna moltiplicare  $2^{\text{gr}},256$  pel numero indicato dal nonio al momento in cui si ottiene la tinta primitiva.

## COLORI PRODOTTI DALL'INTERFERENZA DEI RAGGI POLARIZZATI

**535. Legge dell'interferenza dei raggi polarizzati.** - Dopo la scoperta della polarizzazione, Arago e Fresnel cercarono se i raggi polarizzati presentavano fra loro gli stessi fenomeni d'interferenza dei raggi non polarizzati, e per tal modo giunsero a scoprire le seguenti leggi sull'interferenza della luce polarizzata, ed in pari tempo i fenomeni della colorazione descritti qui in seguito (536 al 541).

1.<sup>a</sup> legge. - Due raggi polarizzati in uno stesso piano interferiscono fra loro assolutamente come due raggi naturali.

2.<sup>a</sup> legge. - Due raggi polarizzati in due piani perpendicolari non interferiscono nel caso in cui interferirebbero due raggi naturali.

3.<sup>a</sup> legge. - Due raggi polarizzati dapprima in piani perpendicolari possono essere condotti nello stesso piano di polarizzazione senza acquistare per ciò la proprietà di interferire fra loro.

4.<sup>a</sup> legge. - Due raggi polarizzati in piani perpendicolari e condotti in seguito allo stesso stato di polarizzazione, interferiscono come la luce ordinaria, se furono primitivamente polarizzati in uno stesso piano.

5.<sup>a</sup> legge. - Nei fenomeni d'interferenza di raggi che hanno subito la doppia rifrazione, il sito delle frange colorate non è determinato unicamente dalla differenza delle direzioni o delle velocità, perchè, in certe circostanze, bisogna tener conto di una semi-ondulazione in più o in meno.

Queste leggi sono di una grande importanza perchè indicano le diverse circostanze nelle quali i raggi polarizzati danno o no luogo ai fenomeni di colorazione che ora descriveremo.

**536. Tinte prodotte dalla luce polarizzata attraversando le lamine sottili birefrangenti.** - Studiando le proprietà della luce polarizzata (524) abbiamo veduto che un fascio di luce polarizzata per la sua riflessione su di un primo specchio, non si riflette più sopra un secondo se i due piani di riflessione sono perpendicolari fra loro; che la luce polarizzata non può attraversare una piastra di tormalina il cui asse sia parallelo al piano di polarizzazione, e finalmente che la luce polarizzata pel suo passaggio attraverso ad un prisma birefrangente dà una sola immagine quando il piano della sezione principale di questo prisma è perpendicolare o parallelo al piano di polarizzazione. Ora, in queste diverse esperienze basta che la luce, dopo essere polarizzata, attraversi una lamina sottile di mica, di solfato di calce, di cristallo di rocca, di calce carbonata, o di qualunque altra sostanza birefrangente, perchè i fenomeni siano interamente cangiati.

L'apparato più comodo per osservare gli effetti che allora si producono è, quello di Noremberg (fig. 360 e 361). In *g* (fig. 361) avvi un prisma birefrangente od una tormalina od un prisma di Nicol, La piastra sottile cristallizzata è collocata sul diaframma *e* od in *p*, sulla lastra di vetro coperta di stagno; però bisogna notare che in quest'ultimo caso la luce polarizzata sulla lastra non coperta di stagno *n* attraversa due volte la lamina cristallizzata collocata in *p*, e che per conseguenza si ottiene lo stesso effetto che se la piastra, essendo attraversata una sol volta dalla luce polarizzata, avesse una grossezza doppia.

Ora, se l'analizzatore collocato in *g* è un prisma birefrangente, abbiamo veduto (528) che il fascio polarizzato sulla lastra *n*, finchè non è collocata sull'apparato alcuna lastra cristallizzata, è rinviato verso il prisma, lo attraversa subendo doppia rifrazione, d'onde risulta che l'occhio situato al di sopra vede due immagini attraverso all'apertura e praticata al centro del diaframma *a*. Queste due immagini sono bianche e di intensità disuguale, e facendo ruotare il prisma sopra un sostegno, ciascuna di esse si indebolisce successivamente e si estingue ogniqualvolta la sezione principale del prisma diviene perpendicolare o parallela al piano di polarizzazione.

Ciò posto, quando si interpone al disotto una lamina birefrangente tagliata parallelamente all'asse, si osservano i seguenti fenomeni:

1.° Se la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio, l'occhio scorge sempre due immagini bianche che subiscono, quando si fa ruotare il prisma birefrangente, le stesse variazioni di intensità che subirebbero qualora non vi fosse la lamina.

2.° Quando la sezione principale della lamina non è parallela nè perpendicolare al piano di polarizzazione, le due immagini sono colorate ed i loro colori sono complementari, giacchè quando i loro lembi si sovrappongono, la parte comune è bianca.

3.° Se restando fissa la lamina, si fa ruotare il prisma, le tinte delle immagini non cangiano, ma la loro intensità varia, ed il massimo di splendore ha luogo quando la sezione principale del prisma fa con quella della lamina un angolo di 45 o di 135 gradi, cioè nella posizione intermedia a quelle che corrispondono al caso in cui le due immagini sono bianche; inoltre le immagini cangiano successivamente fra loro i propri colori, passando pel bianco, il che avviene quando le sezioni principali dei prismi e della lamina sono perpendicolari fra loro.

Adoperando per analizzatore, invece di un prisma birefrangente, una tormalina od un prisma di Nicol, si osservano ancora gli stessi fenomeni di colorazione, ma si scorge una sola immagine.

**537. Influenza pella grossezza delle lamine.** - Per lamine della stessa sostanza le tinte cangiano colla grossezza e diminuiscono di intensità a misura che le lamine sono più grosse. Avvi anche un limite di grossezza oltre il quale non si ottiene alcuna colorazione. Per la mica questo limite è di 88 centesimi di millimetro; per solfato di calce ed il cristallo di rocca di 45 centesimi, e per lo spato d'Islanda di 25 millesimi. La difficoltà di tagliare questa sostanza in lamine abbastanza sottili rende difficilissimo l'ottenere la colorazione per mezzo di essa. Al contrario, colla mica e col solfato di calce che si dividono benissimo in lamine sottilissime, l'esperienza riesce assai bene.

Si ottengono con una stessa lamina differenti tinte inclinandola più o meno rispetto al fascio polarizzato che la attraversa. Ciò infatti corrisponde a farne variare la grossezza.

Per lamine di una stessa sostanza ma di grossezza crescente, le tinte variano secondo le stesse leggi degli anelli colorati di Newton corrispondenti a strati d'aria sempre più grossi (522); soltanto la grossezza della lamina cristallizzata deve superare di molto quella dello strato d'aria. Infatti, per una tinta dello stesso ordine, la grossezza della mica deve essere 440 volte quella dello strato d'aria; pel cristallo di rocca ed il solfato di calce, 230 volte; e per lo spato d'Islanda, 13 volte soltanto.

**538. Teoria della colorazione prodotta dalla luce polarizzata.** - Fresnel, fondandosi sempre sulla teoria delle ondulazioni, diede una spiegazione semplice e completa delle tinte prodotte dalla luce polarizzata quando attraversa le lamine birefrangenti, facendo vedere che queste tinte hanno per causa l'ineguale velocità dei raggi ordinario e straordinario dopo che hanno attraversata la lamina birefrangente, ineguaglianza d'onde risultano, fra i due sistemi di ondulazioni, dei ritardi o degli avanzamenti che li pongono nelle condizioni convenienti per interferire e quindi per isviluppare dei colori (520).

Per comprendere la formazione dei colori per l'interferenza dei raggi polarizzati che hanno attraversata una lamina birefrangente, consideriamo ciò che avviene nell'esperienza dell'apparato di Noremborg, descritto superiormente (536), e supponiamo che la lamina cristallizzata sia ad un sol asse e che questo asse faccia un angolo di 45 gradi col piano di polarizzazione del fascio incidente. Al suo passaggio attraverso alla lamina birefrangente questo fascio si divide in due, ordinario e straordinario, di eguale intensità, e polarizzati ciascuno in piani che fanno coll'angolo di polarizzazione primitivo degli angoli di  $+45^\circ$  e  $-45^\circ$ , d'onde risulta che questi due fasci sono polarizzati in due piani rettangolari fra loro, e per conseguenza non può esservi interferenza, giusta la seconda legge di Arago e Fresnel (535). Ciò posto siano O ed E i due fasci ordinario e straordinario che, sortendo dalla lamina sottile, cadono sul prisma birefrangente, la cui sezione principale supporremo collocata nel piano di polarizzazione primitivo; ciascuno dei fasci O ed E attraversando il prisma, si divide rispettivamente in due altri che noi indicheremo con  $O_o$  e con  $O_e$  pel primo, e con  $E_o$  ed  $E_e$  pel secondo, i quali quattro fasci hanno del resto la stessa intensità. Ora, i fasci  $E_e$  ed  $O_e$  sono paralleli siccome aventi lo stesso indice di rifrazione, e non differiscono tra loro che per un certo intervallo  $d$ ; i fasci  $E_o$  ed  $O_o$  sono pure paralleli, ma differiscono per un intervallo  $d \pm 1/2$  ondulazioni, giusta il principio che passando dal raggio ordinario al raggio straordinario bisogna tener conto di una mezza ondulazione in più od in meno (535, 5.<sup>a</sup>).

Ora, siccome i raggi di ciascuna coppia sono ricondotti in uno stesso piano di polarizzazione, cioè i raggi ordinari  $O_o$  ed  $E_o$  nel piano della sezione principale del prisma, ed i raggi  $O_e$  ed  $E_e$  in un piano perpendicolare al primo, non avvi più ostacolo all'interferenza dei raggi di una stessa coppia e si vedono apparire dei colori complementari nei fasci che corrispondono agli intervalli  $d$  e  $d +$  un numero dispari di mezze ondulazioni.

Se ora si immagina che la lamina cristallizzata sia attraversata da un secondo fascio polarizzato in un piano perpendicolare al piano di polarizzazione del primo fascio, questo nuovo fascio subirà le stesse divisioni e suddivisioni del precedente, ma gli intervalli di ritardo saranno differenti. Infatti, siccome il piano di polarizzazione del nuovo fascio si riduce ora a quello della rifrazione ordinaria, mentre quello del primo fascio si riportava al piano della rifrazione straordinaria ne risulta una differenza di mezza ondulazione nella posizione relativa dei due sistemi di onde O ed E alla loro emergenza, cioè l'intervallo che nel caso precedente era  $d$ , ora sarà  $d$  meno un numero dispari di mezze oscillazioni; e dopo la trasmissione attraverso al prisma gli intervalli di ritardo dei due fasci



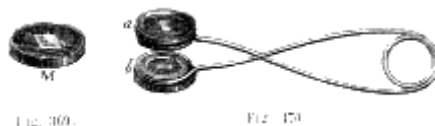
saranno rispettivamente  $d-n/2$  e  $d$ , invece di  $d$  e  $d+n/2$  come erano dapprima,  $n$  rappresentando un numero dispari.

Ciò spiega come i due fasci cangino di colore quando si fa ruotare il piano di polarizzazione di 90 gradi.

Rimane a conoscere perchè nell'esperienza precedente non si producano dei colori quando la lamina cristallizzata invece di essere attraversata dalla luce polarizzata, lo è dalla naturale. Ora si è veduto (526) che la luce naturale può sempre essere considerata siccome formata di due fasci uguali polarizzati ad angolo retto, d'onde risulta, secondo quello che abbiamo detto superiormente, che allorquando la lamina cristallizzata è attraversata da luce naturale, ciascun fascio emergente O ed E dà origine a due colori complementari che si sovrappongono e che, essendo di uguale intensità, producono della luce bianca.

### 539. Anelli colorati prodotti dalla luce polarizzata attraversando le lamine birefrangenti. -

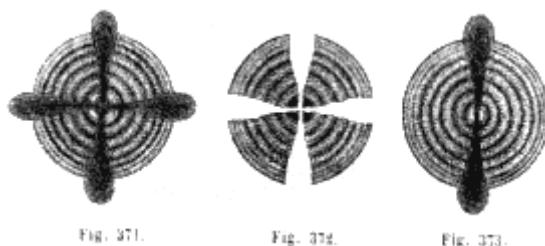
Siccome nell'esperienza istituita coll'apparato di Noremberg e descritta precedentemente (536), la lamina cristallizzata è attraversata perpendicolarmente alle sue facce da un fascio di luce parallelo, tutte le parti della lamina agiscono nello stesso modo, e si ha dovunque la stessa tinta. Ora non si ottengono più gli stessi effetti quando i raggi incidenti attraversano la lamina sotto obliquità differenti, perchè ciò corrisponde a grossezze disuguali, d'onde risultano anelli affatto simili agli anelli di Newton (522).



L'apparato migliore per osservare questi nuovi fenomeni è la *pinzetta a formalina*. Chiamasi così un piccolo istrumento il quale si compone di due tormaline tagliate perpendicolarmente all'asse ed incastrate ciascuna in un disco di sughero. Questi due dischi forati al loro centro ed anneriti sono montati entro due anelli di filo di rame inargentato, il quale si avvolge sopra sè stesso, come mostra la figura 370, in modo da formare una molla e di far applicare l'una contro l'altra le due tormaline. Siccome queste girano coi dischi, si dispongono ad arbitrio in modo che i loro assi siano paralleli o perpendicolari fra loro.

Ciò posto, fissato al centro di un disco di sughero il cristallo sul quale si vuole sperimentare (fig. 369), lo si colloca fra le due tormaline, indi si applica la pinzetta davanti all'occhio in modo di ricevere la luce diffusa dal cielo. Se il cristallo che così si osserva, essendo ad un solo asse e tagliato perpendicolarmente all'asse, è illuminato da luce semplice, per es., dalla luce rossa, si scorge una serie di anelli circolari alternativamente rossi ed oscuri. Con altro colore semplice si ottengono anelli simili, ma il loro diametro aumenta colla rifrangibilità del colore.

Al contrario, il diametro degli anelli diminuisce quando la grossezza della lamina aumenta, ed oltre una certa grossezza non se ne produce più. Se invece di illuminare le lamine con luce omogenea si rischiarano con luce bianca, siccome gli anelli di differenti tinte che allora si producono non hanno lo stesso diametro, si sovrappongono in parte, formando anelli iridescenti assai brillanti.



La posizione del cristallo non ha influenza sugli anelli, altrimenti però deve dirsi della posizione relativa delle due tormaline. Per es., sperimentando sullo spato d'Islanda tagliato perpendicolarmente all'asse e della grossezza di 1 a 30 millimetri, quando gli assi delle tormaline sono perpendicolari fra loro, si osserva una bella serie di anelli vivamente colorati ed attraversati da una croce nera come mostra la figura 371; se gli assi delle tormaline sono paralleli, gli anelli si

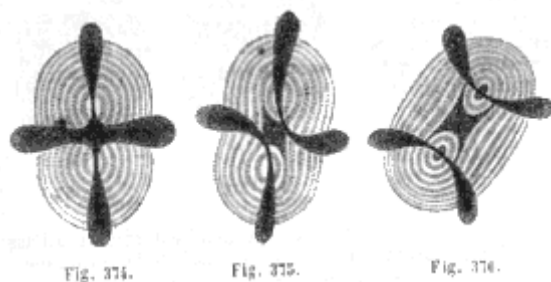
colorano da tinte complementarie a quelle che avevano prima, ed allora sono attraversati da una croce bianca (fig. 372).

Per comprendere la formazione degli anelli a mezzo della luce polarizzata attraversando le lamine birefrangenti, bisogna osservare che nel caso che noi consideriamo queste lamine sono attraversate da un fascio conico convergente, il cui vertice è l'occhio dell'osservatore. Ne segue che la grossezza della lamina, che i raggi debbono attraversare, aumenta colla loro divergenza, ma che per raggi ugualmente obliqui questa grossezza è la stessa, d'onde risultano differenze di velocità fra il raggio ordinario e il raggio straordinario che spiegano la formazione dei colori e la loro disposizione circolare attorno all'asse del fascio e del cristallo. La croce nera è dovuta all'essere la luce polarizzata assorbita nel piano della sezione principale della tormalina e nel piano perpendicolare.

Si osservano effetti analoghi con tutti i cristalli ad un asse, come la tormalina, lo smeraldo, il corindone, il berillo, la mica, il solfato di piombo, il prussiato di potassa, il cristallo di rocca. Però con quest'ultimo la croce sparisce per effetto di polarizzazione rotatoria (531).

**540. Anelli nei cristalli a due assi.** - Anche nei cristalli a due assi si producono anelli colorati, ma di forma più complicata. Allora le liste colorate, invece di essere circolari e concentriche, presentano la forma di curve a due centri, e il centro di ciascun sistema corrisponde ad uno degli assi del cristallo. Le figure 374, 375 e 376 rappresentano le curve che dà colla pinzetta a tormalina l'azotato di potassa tagliato perpendicolarmente all'asse. Quando gli assi delle due tormaline sono rettangolari si ha l'anello rappresentato dalla figura 374; indi, facendo girare lentamente il cristallo, senza cambiare la disposizione delle tormaline, si passa a quello rappresentato dalla figura 375 per giungere a quello rappresentato dalla figura 376 quando il cristallo venne fatto girare di 45 gradi. Se gli assi delle tormaline sono paralleli, si ottengono le stesse curve colorate, ma le loro tinte sono complementarie e la croce si cambia in croce bianca. Se l'angolo dei due assi del cristallo oltrepassa 20 a 25 gradi non si ponno vedere contemporaneamente i due sistemi di curve: ciò accade, per es., per l'argonite la quale dà la figura 373.

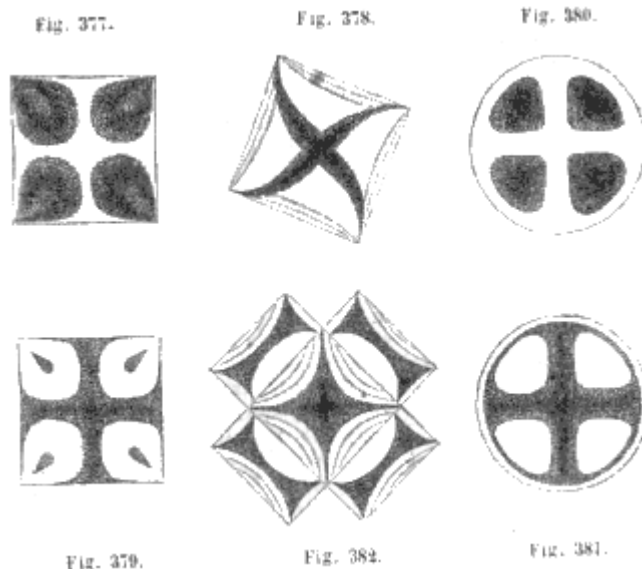
Herschell, il quale misurò con cura gli anelli forniti dai cristalli a due assi, li assomiglia al genere di curve conosciute in geometria sotto il nome di *lemniscate*.



**541. Colorazioni prodotte dal vetro temperato o compresso.** - Il vetro ordinario non è dotato di doppia rifrazione, ma acquista questa proprietà quando, per una causa qualunque, la sua elasticità viene modificata, in una direzione più che nell'altra. Per ciò basta comprimerlo fortemente in un senso, curvarlo o temperarlo, cioè raffreddarlo rapidamente dopo averlo riscaldato. Se allora il vetro è attraversato da un fascio di luce polarizzata, si ottengono effetti di colorazione affatto analoghi a quelli testè osservati nei cristalli birefrangenti, ma assai più variati, secondo la forma circolare, quadrata, rettangolare, triangolare che si diede alle piastre di vetro, e secondo il grado di tensione delle loro particelle.

Se il polarizzatore è una piastra di vetro nero sul quale si riceve la luce del cielo, e l'analizzatore un prisma di Nicol, attraverso il quale si guardano le piastre di vetro attraversate dalla luce polarizzata, le figure 377, 378 e 379 rappresentano i disegni che si osservano facendo ruotare successivamente, sul suo proprio piano, una piastra quadrata di vetro temprato. Le figure 380 e 381 rappresentano i disegni, che dà nello stesso caso una piastra circolare, e la figura 382 il disegno dato da due piastre rettangolari sovrapposte; disegno che varia esso pure facendo ruotare il sistema di piastre.

I vetri compressi o ricurvi presentano effetti analoghi e che variano per le stesse condizioni.



**542. Polarizzazione del calorico.** - Il calorico, come la luce, può essere polarizzato per riflessione e per rifrazione (524); ma le ricerche a tal uopo presentano grandi difficoltà. Le prime furono fatte nel 1810 da Bérard e Malus; morto quest'ultimo, Bérard le continuò da solo.

Nelle esperienze di questo scienziato, i raggi calorifici riflessi da una prima lastra di cristallo erano ricevuti sopra una seconda lastra come nell'apparato di Noremburg (fig. 360), e di là cadevano su di un piccolo specchio metallico che li concentrava sul bulbo di un termometro differenziale. Bérard per tal modo osservò un minimo d'intensità quando il piano di riflessione sulla seconda lamina era perpendicolare al piano di riflessione sulla prima. Questo fenomeno essendo eguale a quello che presenta la luce nel medesimo esperimento (529), Bérard ne conchiuse che il calorico riflettendosi sulla prima lastra si polarizzava.

Melloni applicò il suo termo-moltiplicatore allo studio della polarizzazione del calorico, e, facendo passare i raggi calorifici attraverso a due tormaline parallele od attraverso a due pile di mica, constatò che si polarizzavano per rifrazione. Egli trovò inoltre che l'angolo di polarizzazione è sensibilmente uguale pel calorico e per la luce.

# LIBRO VIII

## DEL MAGNETISMO

### CAPITOLO I

#### PROPRIETÀ DELLE CALAMITE

**543. Calamite naturali e calamite artificiali.** - Chiamansi *calamite* certi corpi che hanno la proprietà di attrarre il ferro ed altri metalli, quali il nichelio, il cobalto ed il cromo. Però citeremo più innanzi alcuni esperimenti i quali comprovano che le calamite agiscono realmente su tutti i corpi, in modo però assai debole, ora per attrazione ora per ripulsione (551).

Le calamite si distinguono in naturali ed artificiali. La *calamita naturale* o *pietra di calamita* è un ossido di ferro conosciuto in chimica sotto nome di *ossido magnetico*.

La sua formula è  $Fe^3O^4 = FeO + Fe^2O^3$ .

vale a dire che è formato di un equivalente di protossido e di un equivalente di sesquiossido. L'ossido magnetico è assai abbondante in natura, lo si rinviene nei terreni antichi principalmente in Isvezia ed in Norvegia, ove lo si impiega come minerale di ferro, e fornisce la miglior qualità di ferro che si conosca. Cionullostante tutte le masse d'ossido di ferro magnetico non attraggono il ferro; solo accidentalmente esse godono di tale proprietà.

Le *calamite artificiali* sono spranghe od aghi di acciaio temperato (75), le quali non possiedono naturalmente le proprietà delle calamite naturali, ma le acquistarono mediante lo strofinamento con una calamita o mediante processi elettrici che descriveremo in seguito. Si formano le calamite artificiali anche con ferro *dolce*, cioè con ferro sensibilmente privo di ogni sostanza eterogenea; ma la loro magnetizzazione non è durevole come quella delle spranghe d'acciaio.

Le calamite artificiali sono più potenti delle calamite naturali, ma fruiscono di proprietà affatto identiche.

La facoltà attrattiva delle calamite si esercita a qualunque distanza ed attraverso tutti i corpi; decresce rapidamente quando la distanza aumenta, e varia colla temperatura. Coulomb dimostrò che l'intensità magnetica di una spranga diminuisce a misura che se ne eleva la temperatura, e riprende il suo valore primitivo quando ritorna alla primitiva temperatura, purchè non sia oltrepassato un certo limite; giacchè alla temperatura rossa le calamite perdono interamente la loro facoltà attrattiva.

L'attrazione tra la calamita e il ferro è reciproca, il che del resto avviene in ogni sorta di attrazione. Si può constatarlo presentando una massa di ferro ad una calamita, la quale ne viene attratta.

La forza attrattiva delle calamite ricevette il nome di *forza magnetica*, la loro teoria fisica distinguesi pure col nome di *magnetismo*<sup>(12)</sup>, espressione che non si deve confondere con quella di magnetismo animale che viene adottata per esprimere l'influenza che una persona eserciterebbe su di un'altra mediante l'impero della sua volontà, influenza che non è ancora stata sufficientemente dimostrata.

---

<sup>(12)</sup> La parola magnetismo deriva dal greco μάγνης nome dato dagli antichi alla pietra da calamita, minerale che, a quanto dicesi, fu da essi trovato per la prima volta, presso Magnesia, città della Lidia.



Fig. 383.

**544. Poli e linea neutra.** - Le calamite non possiedono in tutti i loro punti la stessa forza magnetica. Infatti facendo rotolare una spranga magnetizzata nella limatura di ferro, si vede quest'ultima aderire in grande quantità verso le estremità della spranga sotto forma di filamenti raddrizzati (fig. 383); ma l'aderenza della limatura decresce rapidamente dalle estremità verso il mezzo della spranga, ove è nulla. La parte della superficie della calamita ove la forza magnetica è insensibile ricevette il nome di *linea neutra*, ed i due punti vicini alle estremità, ove si manifesta l'attrazione massima chiamansi *poli*. Ogni calamita naturale od artificiale presenta due poli ed una linea neutra: tuttavia nella magnetizzazione delle spranghe e degli aghi si producono qualche volta delle alternative di poli contrari situati tra i poli estremi. Questi poli intermedi si chiamano *punti conseguenti*. Noi supporremo sempre il caso ordinario, cioè che le calamite abbiano due soli poli.

I poli si distinguono l'uno col nome di *polo australe*, l'altro con quello di *polo boreale*, espressioni desunte dall'azione che i poli terrestri esercitano sui poli delle calamite (552). Nelle nostre figure, il polo australe sarà sempre rappresentato dalla lettera *a* od *A*, il polo boreale dalla lettera *b* o *B*, e chiameremo poli dello *stesso nome* quelli che sono rappresentati dalle stesse lettere.

**545. Azioni mutue dei poli.** - I due poli di una calamita sembrano identici quando si presentano alla limatura di ferro; questa identità però non è che apparente. Infatti, se si sospende un piccolo ago magnetizzato *ab* (fig. 384) ad un sottil filo e si avvicina al polo australe *A* di un altro ago, si osserva una viva ripulsione; avvicinando invece il polo *A* al polo boreale dell'ago mobile, si produce una forte attrazione. Adunque i poli *a* e *b* non sono identici, giacchè l'uno d'essi è respinto e l'altro è attratto dallo stesso polo *A* della calamita che si tiene in mano.

Si verifica del pari che i due poli di quest'ultima differiscono fra loro presentandoli successivamente allo stesso polo *a* dell'ago mobile. Con uno d'essi avviene ripulsione e coll'altro attrazione. Si può quindi stabilire questa legge semplice sulle azioni reciproche che si esercitano fra due calamite:

*I poli dello stesso nome si respingono ed i poli di nome contrario si attraggono.*

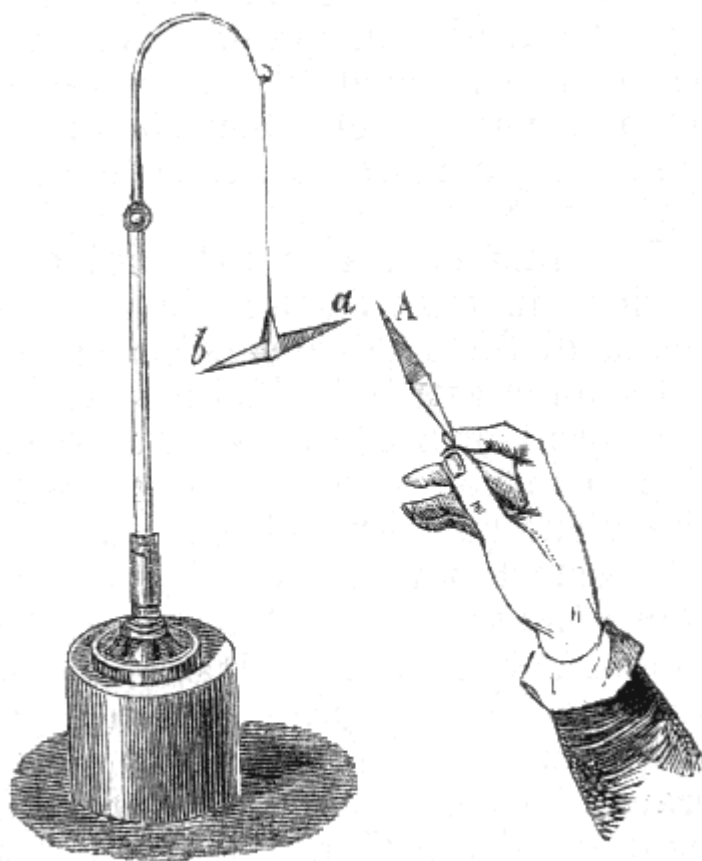


Fig. 384.

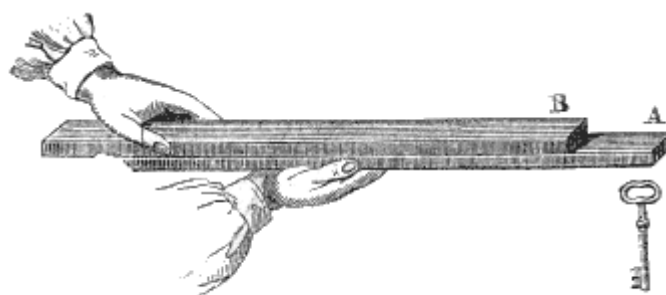


Fig. 385.

Le azioni contrarie del polo boreale e del polo australe si dimostrano anche per mezzo dell'esperienza seguente: si fa sostenere ad una spranga magnetizzata un oggetto di ferro, per esempio, una chiave; poi sopra questa spranga se ne fa scorrere una seconda sensibilmente della stessa forza, avendo cura di mettere a riscontro i poli contrari (fig. 385). La chiave continua ad essere sostenuta finchè i due poli sono lontani, ma, tosto che essi sono sufficientemente ravvicinati, cade come se la spranga che la sosteneva avesse perduta ad un tratto la sua facoltà magnetica; il che però non è, perchè può di nuovo sostenerla appena si ritiri la seconda spranga.

**546. Ipotesi dei due fluidi magnetici.** - Per ispiegare i fenomeni che abbiamo fatti conoscere, i fisici furono indotti ad ammettere l'ipotesi di due *fluidi magnetici*, ciascuno dei quali agisca per ripulsione sopra sè stesso e per attrazione sull'altro. Questi due fluidi furono detti l'uno *fluido australe*, l'altro *fluido boreale*, dai nomi dei poli delle calamite ove le loro azioni sono prevalenti.

Si ammette che prima della magnetizzazione questi due fluidi si trovino nell'acciaio combinati intorno a ciascuna molecola e si neutralizzino reciprocamente; ma che possano essere separati sotto l'influenza di una forza superiore alla loro mutua attrazione, e spostati attorno alle molecole senza uscire dalla sfera di attività che loro è assegnata attorno a ciascuna di esse. I fluidi sono allora *orientati*, cioè, nella sfera magnetica che avvolge ciascuna molecola, il fluido boreale è costantemente rivolto in una stessa direzione, ed il fluido australe in una direzione opposta, d'onde provengono due risultati di direzione contraria, di cui i poli della calamita sono i punti di applicazione. Ma appena che l'orientazione dei fluidi cessa, si stabilisce di nuovo l'equilibrio attorno a ciascuna molecola e la risultante finale è nulla, cioè non vi è più nè attrazione nè ripulsione.

L'ipotesi dei due fluidi magnetici si presta in modo semplicissimo alla spiegazione dei fenomeni; epperò è generalmente adottata come mezzo di dimostrazione. Tuttavia, vedremo in seguito che i fenomeni magnetici sembrano risultare non dalle azioni opposte di due fluidi speciali, ma da correnti particolari del fluido elettrico nei corpi calamitati; questa ipotesi presenta il vantaggio di collegare la teoria del magnetismo con quella dell'elettricità.

**547. Differenze fra le sostanze magnetiche e le calamite.** - Si dicono *sostanze magnetiche* le sostanze che vengono attratte dalla calamita, come il ferro, l'acciaio, il nichelio. Queste sostanze contengono i due fluidi, ma allo stato di neutralizzazione. I composti ferruginosi sono generalmente magnetici e tanto più quanto più abbondanti di ferro. Alcuni però, come il persolfuro di ferro, non sono attratti dalla calamita.



Fig. 386.

Egli è facile il distinguere una sostanza magnetica da una calamita. La prima non ha poli; presentata successivamente alle due estremità di un ago mobile *ab* (fig. 384) le attrae ambedue, mentre la calamita ne attrarrebbe una e ne respingerebbe l'altra, qualora la si presentasse collo stesso polo.

**548. Magnetizzazione per influenza.** - Quando una sostanza magnetica vien messa a contatto con una spranga calamitata, i due fluidi contenuti in essa sostanza sono separati, ed essa diviene, finchè dura il contatto, una vera calamita avente i suoi due poli e la sua linea neutra. Per es., se si fa sostenere da uno dei poli d'una calamita (fig. 386) un piccolo cilindro *ab* di ferro dolce, questo cilindro può alla sua volta portarne un secondo simile, questo un terzo, e così via, fino a 7 od 8, secondo la forza della spranga. Dunque ciascuno di questi piccoli cilindri è una calamita, ma solamente fino a che dura l'influenza della spranga calamitata, poichè interrompendosi il contatto di questa col primo cilindro, immediatamente, od almeno in brevissimo tempo, gli altri cilindri si staccano e più non conservano traccia alcuna di magnetismo. La separazione dei due fluidi fu adunque solamente momentanea, ciò che mostra come la calamita nulla abbia ceduto al ferro. Il nichelio pure si magnetizza benissimo sotto l'influenza d'una forte calamita.

La magnetizzazione per influenza spiega la formazione dei filamenti di limatura che s'attaccano ai poli della calamita (fig. 383). Le particelle in contatto colla calamita agiscono per influenza sulla particella vicina, questa sulla successiva, e così di seguito; ciò che dà origine alla disposizione filamentosa della limatura.

**549. Forza coercitiva.** - Dicesi *forza coercitiva*, la forza più o meno intensa che, in una sostanza magnetica, si oppone alla separazione dei due fluidi ed alla loro ricomposizione, quando essi furono separati. Dalla precedente esperienza risulta essere minima questa forza nel ferro dolce, poichè questo metallo si calamita istantaneamente per l'influenza di una calamita. All'incontro nell'acciaio temperato questa forza è grande e tanto più quanto più forte è la tempera. Infatti, una spranga d'acciaio, messa a contatto con una calamita, non si magnetizza che lentamente; anzi bisogna strofinarla con uno dei poli della calamita, onde acquisti tutta la forza di cui è capace. In questo caso adunque la separazione dei due fluidi offre una resistenza che non riscontrasi nel ferro dolce. Lo stesso si verifica nella ricomposizione, poichè una spranga d'acciaio, una volta calamitata, perde difficilmente le sue proprietà magnetiche. Fra poco si vedrà che mediante l'ossidazione, la pressione e la torsione, anche il ferro dolce può acquistare una certa forza coercitiva, ma di poca durata.

**550. Esperienza delle calamite spezzate.** - La presenza dei due fluidi in tutte le parti di una calamita si dimostra col seguente esperimento: si prende un lungo ago di acciaio e lo si magnetizza strofinandolo con uno dei poli di una calamita; indi, constatata l'esistenza dei poli e della linea neutra colla limatura di ferro, si spezza l'ago nel suo mezzo, cioè nella direzione della sua linea neutra. Ora, presentando successivamente le due metà ai poli di un ago mobile (fig. 384), si osserva che invece di contenere un solo fluido, hanno ciascuna due poli contrari ed una linea neutra. Parimenti se si rompono queste nuove calamite in due parti, si trova ancora che ciascuna di esse è una calamita completa avente i suoi due poli e la sua linea neutra, e così di seguito finchè si ponno continuare le divisioni; per analogia, se ne conchiude che le più piccole parti di una calamita contengono i due fluidi.

**551. Azione delle calamite su tutti i corpi; corpi diamagnetici.** - Coulomb, pel primo nel 1802, osservò che le calamite agiscono su tutti i corpi in gradi più o meno marcati; egli constatò questo fenomeno facendo oscillare alcune piccole aste di diverse sostanze prima fra i poli opposti di due forti spranghe calamitate, poi lungi dall'influenza di qualsiasi calamita, e paragonando i numeri delle oscillazioni eseguite nell'uno e nell'altro caso, in tempi eguali. Dapprima questi fenomeni furono attribuiti alla presenza di materie ferruginose nei corpi sottoposti all'esperienza; ma Lehaillif, e più tardi Becquerel dimostrarono che le calamite esercitano realmente un'azione su tutti i corpi. Inoltre si constatò che questa azione ora è attrattiva ora repulsiva; i corpi che vengono attratti ricevettero il nome di corpi magnetici e quelli che vengono respinti furono detti *corpi diamagnetici*. A questi ultimi appartengono il bismuto, il piombo, il solfo, la cera, l'acqua, ecc. Il rame ora è magnetico era diamagnetico, il che probabilmente dipende dal suo grado di purezza.

Faraday, nel 1847, riconobbe che le calamite potenti esercitano sulle fiamme un'azione ripulsiva, che egli attribuì ad una differenza di diamagnetismo fra i gas. In seguito, Edmondo Becquerel, il quale fece alcuni lavori importanti su questa materia, riconobbe che, fra tutti i gas, l'ossigeno è

quello che ha la maggior facoltà magnetica, e che un metro cubico di questo gas condensato agirebbe sopra un ago magnetizzato come 5<sup>gr</sup>,5 di ferro.

Alcuni fisici riguardarono il diamagnetismo siccome proprietà distinta dal magnetismo. Edmondo Becquerel collega fra loro i fenomeni del magnetismo e del diamagnetismo mediante un'ipotesi ingegnosa; egli non ammette che vi siano due generi di azione fra i corpi e le calamite, ma solo una magnetizzazione per influenza, e che la ripulsione esercitata sopra certe sostanze sia dovuta all'essere queste ultime circondate da un mezzo più magnetico di loro.

Nella teoria dell'elettricità, parlando dei fenomeni d'induzione, faremo conoscere un'azione reciproca che si esercita fra le calamite ed i metalli in movimento.



## CAPITOLO II

# MAGNETISMO TERRESTRE, BUSSOLE

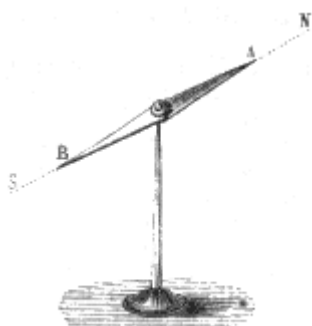


Fig. 387.

**552. Azione direttrice della terra sulle calamite.** - Se si sospende ad un filo un ago magnetizzato, come lo rappresenta la figura 384, o se lo si appoggia su di un perno, intorno al quale possa facilmente muoversi (fig. 387), si osserva che l'ago, invece di arrestarsi in una posizione qualunque, finisce sempre col fermarsi in una posizione che è sensibilmente quella dal nord al sud. Lo stesso accade quando in un vaso pieno d'acqua si colloca un piccolo disco di sughero e su di questo una piccola spranga magnetizzata; dapprima il sughero oscilla, e quando si arresta, la linea retta che congiunge i due poli della calamita è ancora sensibilmente nella direzione da nord a sud. Ma bisogna notare che in questa esperienza il sughero e la spranga non si avanzano nè

verso il nord nè verso il sud. L'azione dei poli terrestri sulle calamite non è dunque attrattiva, ma *soltanto direttrice*.

Siccome su tutti i punti del globo furono fatte analoghe osservazioni, si paragonò la terra ad un'immensa calamita, i cui poli sarebbero vicini ai poli terrestri, e la cui linea neutra coinciderebbe sensibilmente coll'equatore. Fu dietro questa ipotesi che venne denominato fluido boreale quello che predomina al polo boreale del globo, e polo australe quello che predomina al polo opposto. In questa supposizione la terra agendo sugli aghi come una calamita, i poli dello stesso nome si respingono, e quelli di nome contrario si attraggono (545). Per conseguenza, quando un ago magnetizzato si ferma nella direzione da nord a sud, il polo rivolto verso il nord contiene il fluido australe, e quello rivolto verso il sud contiene il fluido boreale; perciò il polo che guarda il nord chiamasi polo australe, e quello che guarda il sud, polo boreale<sup>(13)</sup>.

**553. Coppia magnetica terrestre.** - Dietro quanto abbiamo detto è facile il vedere che l'azione magnetica della terra sopra un ago magnetizzato può essere paragonata ad una *coppia*, cioè ad un sistema di due forze uguali, parallele e contrarie, applicate alle due estremità dell'ago. Infatti, siccome il polo boreale del globo agisce per attrazione sul polo australe dell'ago, e per ripulsione sul polo boreale, ne risulta che i due poli dell'ago sono sollecitati da due forze contrarie, uguali e parallele, giacchè il polo terrestre è abbastanza lontano, e l'ago abbastanza piccolo perchè si possano ammettere come rigorosamente parallele le due rette che in una posizione qualunque dell'ago congiungono i suoi due poli al polo nord del globo; questo polo adunque produce l'effetto di una coppia. Ora, siccome il polo australe terrestre agisce assolutamente in modo identico sui poli dell'ago, ne risulta una seconda coppia, ed è la coppia risultante delle due prime, che sollecita l'ago a prendere una posizione determinata.

**554. Meridiano magnetico, declinazione.** - Si sa che il *meridiano astronomico* di un luogo è il piano che passa per questo luogo e pei due poli terrestri, e che il *meridiano* è la traccia di questo piano sulla superficie del globo. Parimenti, chiamasi *meridiano magnetico* di un luogo il piano che passa per questo luogo e poi due poli di un ago magnetizzato mobile, in equilibrio su di un asse verticale.

Ciò posto, siccome il meridiano magnetico, in generale, non coincide col meridiano astronomico, chiamasi *declinazione dell'ago magnetizzato*, in un luogo, l'angolo che in questo luogo fa il meridiano magnetico col meridiano astronomico, o, ciò che torna lo stesso, l'angolo che fa la direzione dell'ago col meridiano. La declinazione dicesi *orientale* od *occidentale*, secondochè il polo australe dell'ago trovasi all'est o all'ovest del meridiano astronomico.

<sup>(13)</sup> Alcuni però chiamano polo *nord* quello che si volge a settentrione e polo *sud* l'altro. Nota del Trad.

**555. Variazione della declinazione.** - La declinazione dell'ago magnetizzato, variabilissima da un luogo ad un altro, è occidentale in Europa ed in Africa, orientale in Asia e nelle due Americhe. Inoltre, essa presenta numerose variazioni anche in uno stesso luogo; alcune, che si ponno considerare come regolari, sono secolari, annue o diurne; altre, che sono irregolari, si indicano col nome di perturbazioni.

*Variazioni secolari.* - Per uno stesso luogo la declinazione varia col tempo, e sembra che l'ago faccia all'est ed all'ovest del meridiano astronomico, alcune oscillazioni la cui durata è di parecchi secoli. La tavola seguente fa conoscere le variazioni che subì la declinazione a Parigi dopo il 1850:

Anni	Declinazioni	Anni	Declinazioni
1580	11° 30' all'est	1825	22° 22' all'ovest
1663	0	1830	22° 12' “
1700	8° 10' all'ovest	1835	22° 4' “
1780	19° 55' “	1850	20° 30' “
1785	20° 00' “	1855	19° 57' “
1814	22° 34' “	1859 (12 novembre)	19° 42' “

Questa tavola mostra che dopo il 1580, la declinazione a Parigi variò di oltre 34 gradi, e che il massimo di deviazione occidentale ebbe luogo nel 1814; d'allora in poi l'ago ritorna verso l'oriente.

*Variazioni annue.* - Le variazioni annue furono verificate da Cassini, il quale, nel 1784, osservò che dall'equinozio di primavera al solstizio d'estate, l'ago, a Parigi, retrocedeva verso l'est, e che al contrario avanzava verso l'ovest nei nove mesi successivi. La massima ampiezza osservata durante lo stesso anno fu di 20 minuti. Del resto le variazioni annue sono poco conosciute e non sembrano costanti.

*Variazioni diurne.* - Oltre le variazioni secolari ed annue la declinazione subisce alcune variazioni diurne assai deboli e che si ponno osservare soltanto sopra lunghi aghi e mediante strumenti assai sensibili. Nei nostri climi, l'estremità nord dell'ago si muove tutti i giorni dall'est all'ovest dal levare del sole fin verso un'ora dopo mezzogiorno; indi ritorna verso l'est con un movimento retrogrado in modo da riprendere presso a poco, verso le dieci ore di sera, la posizione che occupava alla mattina. Durante la notte l'ago presenta soltanto piccolissime variazioni, però si sposta di nuovo assai debolmente verso l'ovest.

A Parigi l'ampiezza media della variazione diurna è, pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre, di 13 a 15 minuti, e per gli altri mesi, di 8 a 10 minuti<sup>(14)</sup>. Sonvi alcuni giorni in cui essa si eleva a 25 minuti, e alcuni altri in cui non oltrepassa 5 minuti. La massima deviazione non ha luogo dovunque alla stessa ora. L'ampiezza delle variazioni diurne decresce dai poli verso l'equatore, ove è piccolissima. Vicino all'equatore avvi una linea senza variazione diurna.

*Variazioni accidentali o perturbazioni.* - La declinazione dell'ago magnetizzato è disturbata accidentalmente nelle sue variazioni diurne da parecchie cause, quali sono le aurore boreali, le eruzioni vulcaniche, lo scoppio del fulmine. L'effetto delle aurore boreali si fa sentire a grandi distanze. Alcune aurore visibili soltanto nel nord dell'Europa, agiscono sull'ago a Parigi, ove si osservarono delle variazioni accidentali di 20 minuti. Nelle regioni polari l'ago alcune volte oscilla di parecchi gradi; il suo moto irregolare, nel giorno che precede l'aurora boreale, serve di pronostico al fenomeno.

**556. Bussola di declinazione.** - La *bussola di declinazione* è uno strumento che serve a misurare la declinazione magnetica di un luogo, quando se ne conosce il meridiano astronomico. Si compone di una scattola di rame AB (fig. 388), il cui fondo è munito di un cerchio graduato MI. Al centro avvi un perno sul quale si appoggia un ago magnetizzato *ab*, assai leggero e foggato a guisa di rombo allungato. Alla scattola sono applicati due sostegni, i quali portano un asse orizzontale X, su cui è fissato un cannocchiale astronomico L, mobile in un piano verticale. La scattola AB è sostenuta da un piede P sul quale può liberamente girare in senso orizzontale, trasferendo seco il cannocchiale. Un cerchio fisso QR, chiamato *cerchio azimutale*, serve a misurare il numero dei gradi di rotazione del cannocchiale, per mezzo di un verniero V fissato alla scattola. Finalmente

<sup>(14)</sup> A Milano l'ampiezza media della variazione diurna è pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre dai 12 ai 14 minuti, e per gli altri mesi dai 4 ai 6'. (Nota del Trad.)

l'inclinazione del cannocchiale coll'orizzontale viene misurata da un verniero K che vien mosso dall'asse del cannocchiale, e gira sopra un arco di cerchio fisso  $x$ .

Ciò posto, conoscendosi il meridiano astronomico di un luogo per determinarne la declinazione magnetica, si incomincia dal disporre la bussola orizzontalmente per mezzo delle viti di livello SS e della livelletta  $n$ , indi si fa girare la scattola AB, in modo che il cannocchiale si trovi nel piano del meridiano astronomico. Leggendo allora sul cerchio graduato M, l'angolo che fa l'ago magnetico col diametro N, che corrisponde allo zero della graduazione e si trova esattamente nel piano del cannocchiale, si ha la declinazione, la quale è occidentale od orientale, secondo che il polo a dell'ago si ferma all'occidente od all'oriente del diametro N.

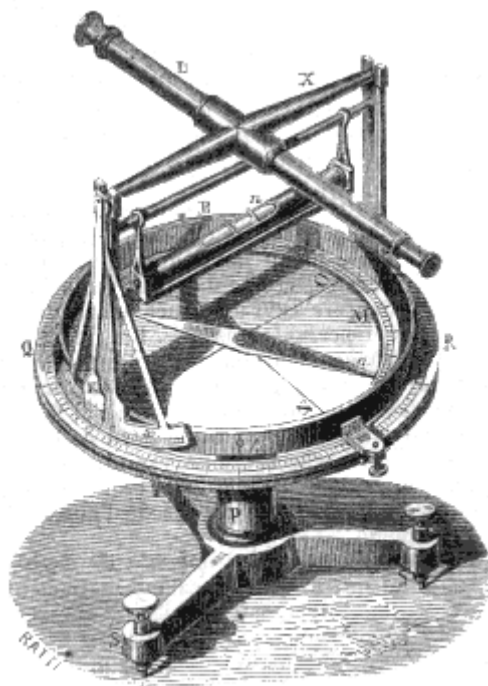


Fig. 388

Nel caso in cui il meridiano astronomico del luogo non fosse conosciuto, si può determinarlo per mezzo della stessa bussola. Per ciò si fa uso del cerchio azimutale QR e dell'arco di cerchio  $x$ , osservando un astro conosciuto prima e dopo il suo passaggio al meridiano, ed adoperando il *metodo delle altezze eguali* descritto nei trattati di cosmografia per determinare la meridiana.

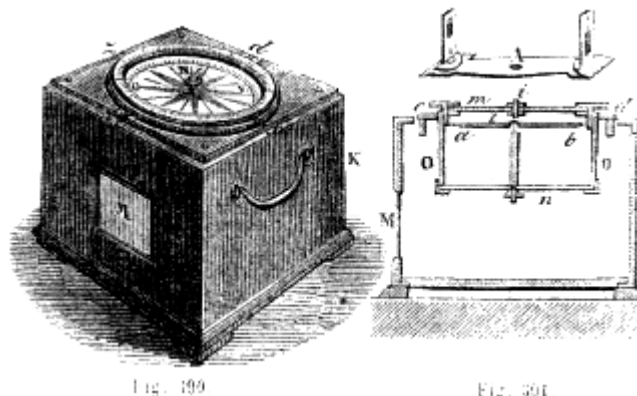
**557. Metodo del rovesciamento.** - Le applicazioni della bussola di declinazione ora ora indicate, non sono esatte se non quando l'asse magnetico dell'ago, cioè la retta che passa pei suoi due poli, coincide coll'asse di figura, vale a dire colla retta che congiunge le sue due estremità. Siccome questa condizione, in generale, non è soddisfatta, si corregge questa causa d'errore col metodo del rovesciamento. Per ciò, l'ago non è fissato al cappelletto, ma gli è soltanto sovrapposto, onde si possa toglierlo e rivolgerlo, collocandolo di nuovo sul cappelletto, in modo che la faccia inferiore diventi superiore e viceversa. Prendendo la media fra la declinazione che indica allora l'ago e quella che indicava dapprima, si ha la declinazione esatta.



Fig. 389.

Infatti, se la retta  $ce$  (fig. 389) rappresenta l'asse di figura dell'ago, e la retta  $ab$  il suo asse magnetico, la vera declinazione non è indicata dall'arco  $cN$ , il quale è troppo grande, ma dall'arco  $aN$ . Ora, se si rivolge l'ago, l'asse magnetico  $ab$  non prende la posizione  $a'b'$ , ma ritorna esattamente alla sua direzione primitiva, mentre l'estremità  $c$ , passando allora fra i punti  $a$  ed  $N$ , segna un arco troppo piccolo, e minore della vera declinazione precisamente di una quantità eguale a quella di cui il primo arco era maggiore. La media fra i due archi osservati dà la declinazione vera.

**558. Bussola marina.** - L'azione direttrice della terra sull'ago magnetico ricevette una importante applicazione nella *bussola marina*, conosciuta anche sotto i nomi di *compasso di variazione* o di *compasso di mare*. È una bussola di declinazione destinata a dirigere il corso delle navi. La figura 390 la rappresenta chiusa in una cassa parallelepipedica che si colloca essa pure in una cassa più grande chiamata *abitacolo*, e che è fissata sul ponte, alla parte posteriore del vascello. La figura 391 ne dà una sezione trasversale. In queste due figure, le stesse lettere indicano gli stessi pezzi.



L'ago *ab* (fig. 391), mobilissimo su di un perno, è fissato alla superficie inferiore di una foglia di talco *t*, sulla quale è segnata una stella o rosa a 32 raggi, la quale segna gli otto rombi dei venti, i semi-rombi ed i quarti. Affinchè la bussola possa conservar sempre la sua posizione orizzontale; malgrado l'ondulazione trasversale e longitudinale della nave, è a *sospensione di Cardano*, cioè sostenuta da due anelli concentrici mobili, l'uno intorno all'asse *cd*, l'altro intorno all'asse *cz* perpendicolare al primo (fig. 391).

Un'apertura *M*, chiusa da una lastra di vetro smerigliato, serve a rischiarare la bussola durante la notte. Per ciò, una lampada collocata fuori della cassa, davanti alla lastra, proietta la sua luce nell'interno. Il fondo *n* della cassa cilindrica *O*, nella quale trovasi l'ago, è una lastra di vetro, la quale lascia passare la luce per rischiarare la foglia di talco *t*, che porta la rosa ed è trasparente. Una seconda lastra di vetro *m* ricopre la bussola ed un perno *i*, fissato al centro di questa lastra, serve a collocare una diottra *A* che si adopera soltanto quando si vogliono riconoscere le spiagge.

Per dirigere una nave mediante la bussola, si osserva dapprima, sopra una carta marina, secondo qual rombo di vento debba dirigersi il vascello, onde recarsi alla sua destinazione. Allora, tenendo gli occhi sempre rivolti alla bussola, il timoniere gira il timone, fintanto che il rombo determinato, segnato dalla rosa, venga a coincidere con una *linea fiduciale* passante pei due punti *c* e *d* segnati sui lembi della cassa (fig. 390) e nella direzione della chiglia della nave. Però, le variazioni che subisce la declinazione nei diversi punti del globo obbligano i navigatori a correggere continuamente le osservazioni che fanno con la bussola.

Non si conosce l'inventore della bussola nè l'epoca della sua invenzione. Guyot de Provins, poeta francese del dodicesimo secolo, parla, pel primo, dell'uso della calamita per la navigazione. Gli antichi navigatori, i quali non conoscevano la bussola, non avevano altra guida che il sole o la stella polare; quindi erano costretti a navigare sempre in vista alle spiagge, arrischiando di smarrirsi quando il cielo era annuvolato.

**559. Inclinazione; equatore magnetico** - Attesa la direzione verso nord che assume la bussola di declinazione, si potrebbe supporre che la forza da cui è sollecitata provenga da un punto dell'orizzonte; però così non è, giacchè se si dispone l'ago in modo che si possa muovere liberamente in un piano verticale, attorno ad un asse orizzontale, si osserva che quantunque il centro di gravità dell'ago coincida esattamente coll'asse di sospensione, il suo polo australe, nei nostri paesi, inclina costantemente verso il polo boreale della terra. Nell'altro emisfero, invece, il polo boreale dell'ago inclina verso il polo australe del globo.

Chiamasi *inclinazione* l'angolo che fa l'ago coll'orizzonte quando il piano verticale in cui si muove coincide col meridiano magnetico. In un piano diverso dal meridiano magnetico l'inclinazione aumenta, ed è di  $90^\circ$  in un piano perpendicolare al meridiano magnetico. Infatti,

siccome allora l'azione magnetica della terra si scompone in due forze, una verticale e l'altra orizzontale, la prima fa prendere all'ago la sua posizione verticale, mentre l'altra, agendo nella direzione dell'asse di sospensione, non può far girare l'ago.

L'inclinazione, al pari della declinazione, varia da un luogo all'altro, ma secondo una legge meglio determinata. Infatti si osserva che vicino al polo boreale della terra evvi un luogo in cui l'inclinazione è di  $90^\circ$ , e che partendo da questo punto decresce colla latitudine fino all'equatore, ove è nulla, ora sotto questo medesimo circolo, ora in punti che ne sono poco distanti. Nell'emisfero australe ricompare l'inclinazione, ma in senso contrario; cioè si abbassa al disotto dell'orizzonte il polo boreale dell'ago.

Chiamasi *equatore magnetico* la curva che passa per tutti i punti in cui l'inclinazione è nulla, e *poli magnetici* i punti in cui l'inclinazione è di  $90^\circ$ . Secondo le osservazioni di Duperrey, l'equatore magnetico taglia l'equatore terrestre in due punti quasi diametralmente opposti, uno nel grande Oceano, l'altro nell'oceano Atlantico. Questi sembrano animati da un moto di traslazione da oriente ad occidente. Sembra pure che esistano due poli magnetici, situati uno al nord dell'America settentrionale, l'altro al nord della Nuova-Olanda; il primo a  $70^\circ 10'$  di latitudine N. e  $100^\circ 40'$  di longitudine O., il secondo a  $75^\circ$  di latitudine S. e  $136^\circ$  di longitudine E.

L'inclinazione varia anche in uno stesso luogo da un'epoca ad un'altra. Nel 1671, a Parigi, era di  $75^\circ$ . In seguito andò sempre decrescendo ed il 20 novembre 1859 era di  $66^\circ 14'$ . Secondo le osservazioni fatte all'Osservatorio, la diminuzione annua dell'inclinazione è sensibilmente di 3 minuti.

Parlando dell'elettricità faremo conoscere la causa probabile del magnetismo terrestre (681).

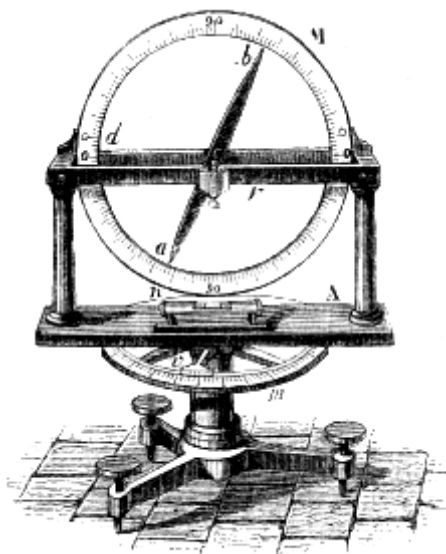


Fig. 392. Bussola di inclinazione.

**560. Bussola di inclinazione.** Chiamasi *bussola di inclinazione* uno strumento che serve a misurare l'inclinazione magnetica. Questa bussola, tutta in ottone, ad eccezione dell'ago, si compone di un cerchio orizzontale *m*, graduato e sostenuto da tre viti da livello (fig. 392). Al disopra di questo cerchio avvi una piastra *A*, mobile intorno ad un asse verticale e che sostiene, per mezzo di due colonne, un secondo cerchio graduato *M*, il quale misura l'inclinazione; un telaio *r* sostiene l'ago *ab*, ed un livello *n* serve a far conoscere quando il diametro che passa pei due zeri del cerchio *M* venne, per mezzo delle tre viti da livello, disposto orizzontalmente.

Ciò posto, per osservare l'inclinazione si incomincia dal determinare il meridiano magnetico, il che si ottiene facendo ruotare la piastra *A* sul cerchio *m* finchè l'ago si dispone in direzione verticale, posizione che assume quando trovasi in un piano perpendicolare al meridiano magnetico (559). In seguito facendo ruotare la piastra *A* di  $90^\circ$  sul cerchio *m*, si conduce il cerchio verticale *M* nel meridiano magnetico. L'angolo *dca* che fa allora l'ago magnetizzato col diametro orizzontale, è l'angolo di inclinazione.

Però, qui si incontrano due cause di errore, delle quali bisogna tener conto: 1.<sup>a</sup> può accadere che l'asse magnetico dell'ago non coincida col suo asse di figura; da ciò un errore che si corregge col metodo del rovesciamento, come per la bussola di declinazione (557); 2.<sup>a</sup> può darsi che il centro di gravità dell'ago non coincida coll'asse di sospensione, ed allora l'angolo  $dca$  è troppo piccolo o troppo grande, secondo che il centro di gravità trovasi al disopra od al disotto del centro di sospensione; giacchè nel primo caso l'azione della gravità è contraria a quella del magnetismo terrestre per far inclinare l'ago, mentre nel secondo le è concorrente. Si corregge questo errore invertendo i poli dell'ago, ciò che si ottiene strofinandolo coi poli contrari di due spranghe magnetizzate, in modo che ciascun polo dell'ago sia strofinato da un polo dello stesso nome. Siccome allora la direzione dell'ago è invertita, se il suo centro di gravità trovavasi al disopra del punto di sospensione, ora trovasi al disotto, e l'angolo d'inclinazione, che prima era minore del vero, ne diventa maggiore. Adunque si avrà il suo vero valore prendendo la media dei risultati ottenuti nelle operazioni or ora indicate.

**561. Ago e sistema astatici.** - Chiamasi *ago astatico* quello che è sottratto all'azione magnetica della terra. Tale sarebbe un ago mobile attorno ad un asse situato nel piano del meridiano magnetico parallelamente all'ago di inclinazione, perchè siccome allora la coppia magnetica terrestre agisce secondo l'asse, non può imprimere all'ago alcuna direzione determinata.

Un *sistema astatico* è la riunione di due aghi della stessa forza congiunti parallelamente coi poli contrari dirimpetto, come mostra la figura 393. Se i due aghi sono rigorosamente della stessa forza, le azioni contrarie del globo sui poli  $a'$  e  $b$  e sui poli  $a$  e  $b'$ , si distruggono, ed il sistema è completamente astatico. Vedremo nel galvanometro una importante applicazione del sistema magnetico astatico.

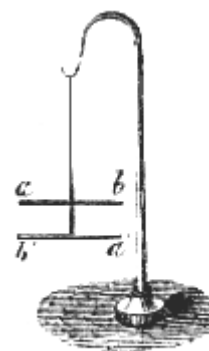


Fig. 393.

# CAPITOLO III

## MAGNETIZZAZIONE, LEGGI DELLE AZIONI MAGNETICHE

**562. Sorgenti di magnetizzazione; saturazione.** - Le diverse sorgenti di magnetizzazione sono l'influenza delle calamite potenti, il magnetismo terrestre e l'elettricità. Quest'ultima sorgente di magnetizzazione verrà da noi fatta conoscere più tardi; la magnetizzazione colle calamite si può operare con tre metodi: quello del contatto semplice, quello del contatto separato e quello del doppio contatto.

Qualunque di questi tre metodi si adoperi per magnetizzare una spranga d'acciaio, la potenza magnetica che questo può acquistare ha sempre un limite, il quale dipende dalla sua tempera e dalla forza delle calamite che si adoperano per magnetizzarlo. Si esprime che questo limite venne raggiunto dicendo che la spranga è calamitata a *saturazione*. Quando venne oltrepassato il punto di saturazione, la spranga tosto vi ritorna, e tende anche a discendere al disotto di questo punto, se non si trattiene la sua forza magnetica per mezzo di armature, come vedremo quanto prima (567).

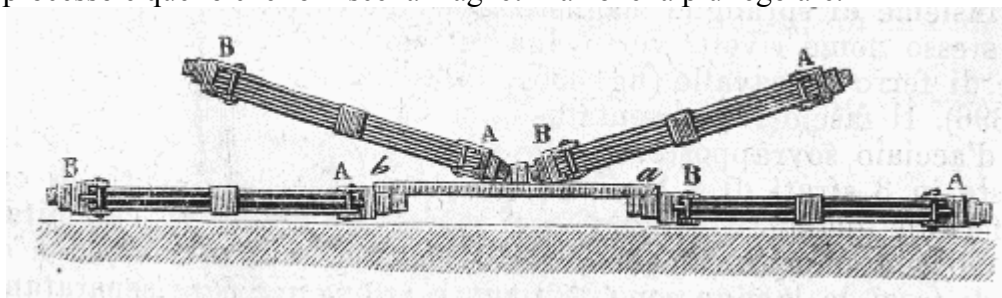
**563. Metodo del contatto semplice.** - Il metodo del contatto semplice consiste nel far scorrere il polo di una forte calamita da un capo all'altro della spranga che si vuol magnetizzare, e nel ripetere parecchie volte lo strofinamento, sempre nello stesso senso. Per tal modo il fluido neutro si trova decomposto successivamente in tutta la lunghezza della spranga, e l'ultima estremità toccata dalla calamita mobile presenta un polo contrario a quello con cui venne operato lo strofinamento.

Siccome questo processo comunica all'acciaio poca forza magnetica, non può essere adoperato che per piccole spranghe; avvi inoltre l'inconveniente di sviluppare frequentemente dei punti conseguenti (544).

**564. Metodo del contatto separato.** - Il metodo del contatto separato, adottato da Knight, in Inghilterra, nel 1745, consiste nel collocare i due poli contrari di due calamite d'egual forza nel mezzo della spranga che si vuol magnetizzare e nel farli scorrere simultaneamente ciascuno verso le estremità opposte della spranga, tenendoli in posizione verticale. In seguito, si porta di nuovo ciascuna calamita nel mezzo della spranga, e si ripete lo strofinamento. Dopo parecchie consimili frizioni, praticate sulle due facce della spranga, questa è magnetizzata.

Duhamel perfezionò questo metodo collocando le due estremità della spranga che si vuol magnetizzare sui poli contrari di due calamite fisse, la cui azione concorre con quella delle calamite mobili che servono ad operare lo strofinamento; la posizione relativa dei poli deve essere quale la mostra la figura 394.

Questo processo è quello che fornisce la magnetizzazione la più regolare.



**565. Metodo del doppio contatto.** - Nel metodo del doppio contatto dovuto a Mitchell, le due calamite che servono ad operare lo strofinamento sono ancora collocate al mezzo della spranga che si vuol magnetizzare, coi poli opposti l'uno rimpetto all'altro, ma invece di scorrere in sensi contrari sono mantenuti ad una distanza fissa per mezzo di un piccolo pezzo di legno collocato fra loro (fig.

394), e scorrono insieme dal mezzo ad una delle estremità, poi da questa all'altra, e così di seguito, in modo che ciascuna metà della spranga riceva lo stesso numero di frizioni.

Epino, nel 1758, perfezionò questo metodo collocando, come nel processo del contatto separato, due forti spranghe magnetizzate sotto quella che si vuol magnetizzare, ed inclinando le calamite mobili di un angolo di 15 a 20° (fig. 394). In tal modo si ottengono delle spranghe fortemente magnetizzate, ma si producono sovente dei punti conseguenti. Osserviamo inoltre che nei diversi processi di magnetizzazione colle calamite, queste non perdono della loro forza, il che dimostra che i fluidi magnetici non passano da una spranga all'altra.

**566. Magnetizzazione per mezzo dell'azione della terra.** - Siccome l'azione della terra sulle sostanze magnetiche è paragonabile a quella delle calamite, così il magnetismo terrestre tende costantemente a separare i due fluidi che si trovano allo stato neutro nel ferro dolce e nell'acciaio. In quest'ultimo corpo però, essendo assai grande la forza coercitiva (549), l'azione della terra è insufficiente a magnetizzarlo. Così non avviene di una spranga di ferro dolce, principalmente se la si colloca nel meridiano magnetico parallelamente all'ago di inclinazione.

I due fluidi sono allora separati, portandosi il fluido australe verso il nord ed il fluido boreale verso il sud. Però questa magnetizzazione è instabile, perchè invertendo la posizione della spranga si invertono tosto anche i suoi poli, d'onde si deduce che la forza coercitiva del ferro dolce è nulla.

Tuttavia, si giunge a far acquistare al ferro dolce una forza coercitiva piuttosto sensibile, sottoponendolo, mentre trovasi sotto l'influenza della terra e nella direzione suindicata, ad una forte torsione o battendolo a freddo sopra un'incudine col martello. Ma la forza coercitiva così sviluppata è debole e si perde ben presto completamente, il che non avviene per l'acciaio.

L'influenza prolungata del magnetismo terrestre spiega la formazione delle calamite naturali e la magnetizzazione che osservasi frequenti volte nei vecchi oggetti di ferro o di acciaio. Le specie comuni di ferro in commercio, le quali non sono pure, possiedono poca forza coercitiva; epperò presentano quasi sempre tracce di magnetizzazione, come si osserva nei chiodi, nelle palette, nelle molle da fuoco, ecc. La ghisa in generale ha molta forza coercitiva e si magnetizza assai bene.

**567. Fasci magnetici: armature delle calamite.** - Un *fascio magnetico* è un insieme di spranghe magnetizzate riunite parallelamente, coi poli dello stesso nome rivolti verso una estremità. Tuttavolta si dà loro la forma di ferro di cavallo (fig. 395), tal'altra una forma parallelepipedica (fig. 396). Il fascio rappresentato dalla figura 395 è composto di 5 lamine d'acciaio sovrapposte; quello della figura 396 risulta di 12 lamine disposte in 3 strati di 4 lamine ciascuno. La forma di ferro di cavallo è preferibile quando si voglia far portare un peso alla calamita, perchè sono contemporaneamente utilizzati i due poli. In ambedue queste sorta di fasci, le lamine sono temperate e magnetizzate separatamente, indi sovrapposte e riunite per mezzo di viti o di viere.

La forza di un fascio non è eguale alla somma delle forze di ciascuna spranga, il che proviene dall'azione ripulsiva che esercitano i poli vicini gli uni sugli altri; si aumenta la forza di una spranga facendo le lamine laterali più corte da 1 a 2 centimetri della lamina di mezzo (fig. 395 e 396).

Chiamansi *armature* delle calamite quei pezzi di ferro dolce A e B (fig. 396) che si pongono a contatto coi poli per conservarne od anche aumentarne la potenza magnetica, in seguito di un'azione per influenza.



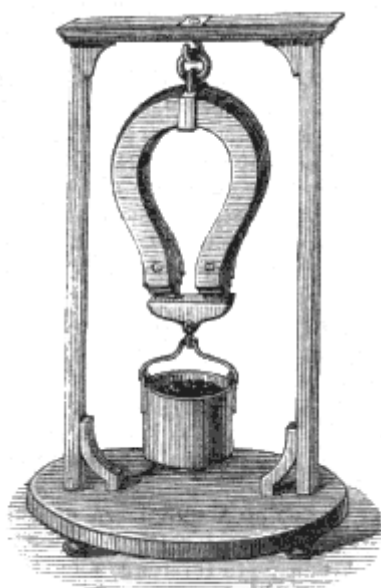


Fig. 395 (a. = 61°).

La fig. 397 rappresenta una pietra di calamita naturale colle sue armature; sulle facce che corrispondono ai poli sonvi due lamine di ferro dolce, terminate da un piede massiccio. Sotto l'influenza della calamita naturale queste lamine si magnetizzano, e rappresentando con A e B i poli della calamita naturale, è facile l'intendere che i poli delle armature si troveranno rispettivamente in *a* e *b*. Ora queste armature, una volta magnetizzate, reagiscono alla loro volta sul fluido neutro della calamita naturale, lo decompongono ed accrescono così la sua potenza magnetica. Senza armatura le calamite naturali sono assai deboli, ma armate diventano capaci di portare pesi che si ponno aumentare progressivamente fino ad un certo limite che non si può oltrepassare.

L'ancora *a'b'*, che è di ferro dolce, serve essa pure come una seconda armatura, giacché magnetizzandosi per influenza, i suoi poli *a'* e *b'* reagiscono sui poli *a* e *b* della prima.

Per armare le calamite artificiali si dispongono a paia, come mostra la figura 398, collocando rimpetto i poli contrari, poi si chiude il circuito con due piccole barre di ferro dolce AB; siccome



Fig. 396.

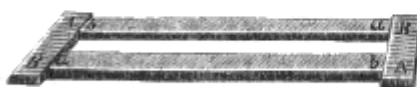


Fig. 398.

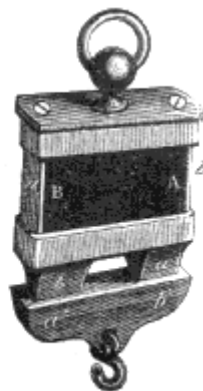


Fig. 397.

queste ultime magnetizzano per influenza, i loro poli reagiscono sulle spranghe magnetizzate onde conservare la loro forza magnetica. Quanto agli aghi mobili (fig. 387), siccome si dirigono verso i poli magnetici del globo, l'influenza di quest'ultimo tiene luogo di armatura.

### 568. Legge delle attrazioni e delle ripulsioni magnetiche.

- Coulomb, per primo, constatò la legge che *le attrazioni e le ripulsioni magnetiche si esercitano in ragione inversa del quadrato della distanza*, e la dimostrò con due metodi, quello della bilancia di torsione e quello delle oscillazioni.

1.° *Metodo della bilancia di torsione.* - La bilancia di torsione consiste in una cassa di vetro (fig. 399), il cui coperchio, pure di vetro, può togliersi a volontà, ed ha vicino ai lembi un'apertura destinata ad introdurvi una calamita *ab*. Al centro di questo coperchio avvi una seconda apertura alla quale è adattato un tubo di vetro che può ruotare a sfregamento dolce sugli orli dell'apertura stessa. Questo tubo alla sua parte superiore porta un *micrometro*. Chiamasi così un sistema di due pezzi, uno dei quali D, fisso, ha il suo contorno diviso in 360 gradi, e l'altro E, mobile, porta un punto *a* che serve ad indicare di quanti gradi lo si fa ruotare sul pezzo D. A sinistra della figura, in *e* ed in *d*, sono rappresentati sopra una scala più grande i due pezzi del micrometro. Al disco e sono fissati due

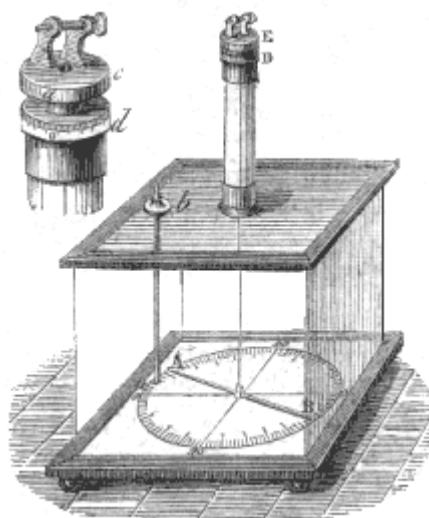


Fig. 399 (a. = 30°).

montanti attraversati da un asse orizzontale sul quale si avvolge un filo sottilissimo d'argento che sostiene un ago magnetizzato AB. Finalmente, sul fondo della cassa evvi una graduazione che serve a misurare gli spostamenti dell'ago AB, e, per conseguenza, la torsione del filo d'argento.

Ciò posto, si fa corrispondere il punto *a* del disco *e* allo zero del quadrante *d*, indi si incomincia dal disporre la cassa in modo che il centro e lo zero della graduazione inferiore si trovino nel meridiano magnetico; ritirato allora l'ago AB dal suo cappelletto, vi si sostituisce un ago simile di rame o di qualsiasi altro metallo non magnetico, indi si fa ruotare il tubo di vetro e con esso i pezzi E e D, in modo che quest'ago si fermi allo zero del quadrante inferiore. Prima di collocare al suo posto l'ago *ab*, si toglie l'ago non magnetizzato che trovasi sul cappelletto, e vi si rimette l'ago magnetizzato AB: quest'ultimo trovasi allora precisamente nel meridiano magnetico e la torsione del filo è nulla.

Disposto così l'apparato, prima di introdurvi l'ago magnetizzato *ab*, è necessario conoscere l'azione della terra sull'ago mobile AB, allorché quest'ultimo è deviato dal meridiano magnetico di un certo numero di gradi. Per ciò si fa girare il pezzo E fintanto che l'ago AB si sposti di 1 grado nello stesso senso. Il numero di gradi meno uno, di cui si fece girare il micrometro, rappresenta evidentemente la torsione totale del filo. Nelle esperienze di Coulomb questo numero era 35; esso però varia colla lunghezza e col diametro del filo e colla intensità della spranga AB. Ora, siccome l'ago rimane in equilibrio, è evidente che la forza di torsione del filo è precisamente uguale e contraria all'azione direttrice della terra. Quindi questa azione, nelle esperienze di Coulomb, era rappresentata da 35 per una deviazione di un grado; ma siccome la forza di torsione è proporzionale all'angolo di torsione ( $70, 2^\circ$ ), e l'azione direttrice della terra, una volta stabilito l'equilibrio, le è uguale, ne risulta che quest'ultima forza, per deviazioni di 2, 3... gradi, è rappresentata da 2 volte, 3 volte 35 gradi.

Determinata l'azione della terra, si fa entrare nella cassa la calamita *ab*, avendo cura di situare rimpetto i poli dello stesso nome. Il polo A dell'ago mobile è respinto, e se si rappresenta con N il numero di gradi che misura l'angolo di deviazione, quando l'ago AB è in equilibrio, la forza con cui questo ago tende a ritornare verso il meridiano magnetico è rappresentata dalla somma  $N+35\cdot N$ , la parte N essendo dovuta alla torsione del filo, e la parte  $35N$  all'azione della terra; e siccome esso non vi ritorna, bisogna che la forza ripulsiva che si esercita fra i poli *a* ed A sia essa pure uguale ad  $N+35\cdot N$ . Ciò posto, si gira il disco E in modo che l'angolo di deviazione N diventi la metà; per ciò se l'ago AB fosse disposto come nella nostra figura, bisognerebbe girare il disco E da destra a sinistra. Rappresentando con *n* lo spostamento del disco E, si vede che il filo di sospensione è torto alla sua estremità superiore di *n* gradi a sinistra, ed alla sua estremità inferiore di  $n/2$  gradi a destra; adunque la sua torsione totale è  $n + N/2$ . Per conseguenza, la forza reale che tende a ricondurre l'ago verso il meridiano magnetico è  $(n + N/2)+35\cdot N/2$ , in cui la parte  $n + N/2$  rappresenta la forza di torsione, e la parte  $35\cdot N/2$  l'azione della terra. Ora, siccome l'ago non ritorna verso il meridiano, bisogna che la forza ripulsiva che si esercita fra i due poli *a* ed A sia essa pure rappresentata da

$$(n + N/2)+35\cdot N/2$$

Ciò posto, facendo i calcoli, cioè sostituendo ad *n* ed N i numeri forniti dall'esperimento, si trova che la quantità  $(n + N/2)+35\cdot N/2$  è precisamente quadrupla della quantità  $N+35\cdot N$ , ottenuta nella prima esperienza: adunque è dimostrata la legge di Coulomb, giacché si esperimenta con archi N ed  $N/2$  abbastanza piccoli perchè si confondano sensibilmente colle loro corde, tali cioè che quando l'arco diventa la metà, lo stesso sensibilmente accade anche della distanza *aA* dei poli.

**2.º Metodo delle oscillazioni.** - Questo metodo consiste nel far oscillare per tempi eguali un ago magnetizzato, dapprima sotto l'influenza soltanto della terra, indi sotto l'influenza combinata della terra e del polo attraente di una calamita collocata successivamente a due distanze diverse. Dai tre numeri delle oscillazioni osservate si deduce poi la legge di Coulomb per mezzo del calcolo.

**569. Misura del magnetismo terrestre.** - Un gran numero di fisici e di navigatori si occuparono di misurare l'intensità magnetica del globo in differenti luoghi ed in diverse epoche. A tale intento furono adottati parecchi metodi, i quali si riducono a far oscillare un ago d'inclinazione o di

declinazione per un dato tempo, ed a dedurre dai numeri delle oscillazioni le intensità relative. Le osservazioni condussero alle leggi seguenti:

1.<sup>a</sup> L'intensità del magnetismo terrestre aumenta colla distanza dell'equatore magnetico e sembra essere una volta e mezzo maggiore ai poli che all'equatore; la linea senza inclinazione è adunque nello stesso tempo la linea di minore intensità.

2.<sup>a</sup> L'intensità magnetica del globo diminuisce colla distanza dalla superficie del suolo, e questo decremento segue probabilmente la legge del rapporto del quadrato delle distanze.

3.<sup>a</sup> L'intensità magnetica della terra varia colle ore del giorno; raggiunge il suo minimo fra le dieci e le undici ore del mattino, ed il suo massimo fra le quattro e le cinque dopo mezzogiorno.

4.<sup>a</sup> L'intensità magnetica presenta alcune variazioni irregolari, e, come la declinazione e l'inclinazione, subisce delle perturbazioni accidentali per l'influenza delle aurore boreali.

Chiamansi linee *isodinamiche* certe linee che sulla superficie del globo presentano in tutti i loro punti la stessa intensità magnetica; linee *isogone* quelle che presentano ovunque la stessa declinazione, e linee *isocline* quelle di eguale inclinazione. Duperrey costruì nove curve isodinamiche al nord ed altrettante al sud dell'equatore magnetico, e trovò che queste linee, per la loro curva e direzione, hanno grande analogia colle linee *isoterme* cioè di eguale temperatura.

# LIBRO IX

## ELETTRICITÀ STATICA

### CAPITOLO I

### PRINCIPII FONDAMENTALI

**570. Elettricità, ipotesi sulla sua natura.** - L'elettricità<sup>(15)</sup> è un agente fisico potente, la di cui presenza si manifesta mediante attrazioni e ripulsioni, mediante apparenze luminose, violenti scosse, decomposizioni chimiche e finalmente per mezzo di un gran numero d'altri fenomeni. Le cause che sviluppano elettricità sono lo strofinamento, la pressione, le azioni chimiche, il calore, il magnetismo e l'elettricità stessa.

Il filosofo Talete, 600 anni avanti l'era cristiana, aveva già rimarcata la proprietà che ha l'ambra gialla sfregata di attrarre i corpi leggeri. Parlando di questa sostanza, Plinio dice: "Quando lo strofinamento le ha dato calore e vita, essa attira i fuscellini di paglia come la calamita il ferro". Ma a ciò si limitavano le cognizioni degli antichi sull'elettricità. Non fu che alla fine del sedicesimo secolo che Gilbert, medico della regina Elisabetta, a Londra, richiamò di nuovo l'attenzione dei fisici sulla proprietà dell'ambra gialla, facendo altresì vedere come altre sostanze potevano acquistare mediante lo strofinamento la proprietà di attrarre. Data la spinta, le scoperte si succedettero altrettanto numerose che rapide. Gli scienziati che, dopo Gilbert, hanno in ispecial modo contribuito ai progressi dell'elettricità, sono Ottone di Guericke, Dufay, Epino, Franklin, Coulomb, Volta, Davy, Ørsted, Ampère, Schweigger,

Seebeck, De la Rive, Faraday e Becquerel. A quest'ultimo è dovuta quasi tutta l'elettro-chimica.

Malgrado i numerosi lavori di cui l'elettricità fu oggetto, pure non si conosce nè l'origine nè la natura di questo agente. I fisici dovettero rimaner paghi di ipotesi, come fecero pel calorico, per la luce e pel magnetismo. Newton ritenne che la produzione della elettricità fosse il risultato di un principio etereo, posto in movimento dalle vibrazioni delle particelle dei corpi. L'abbate Nollet, fondandosi sugli effetti luminosi e calorifici dell'elettricità, la riguardò come una modificazione particolare del calorico e della luce. Noi faremo conoscere fra breve (576) la teoria di Symmer, nella quale si ammette l'esistenza di due fluidi elettrici, e quella di Franklin, in cui si ammette l'esistenza di un solo fluido.

**571. Elettricità statica ed elettricità dinamica.** - Fatta astrazione da tutte le ipotesi, lo studio della elettricità si divide in due grandi parti: nell'una si comprendono i fenomeni che presenta l'*elettricità statica* ossia allo stato di quiete; nell'altra i fenomeni che presenta l'*elettricità dinamica* ossia allo stato di movimento. L'elettricità statica ha per causa principale lo strofinamento; allora essa si accumula sulla superficie dei corpi, e vi si mantiene in equilibrio ad uno stato di *tensione* che si manifesta per mezzo di attrazioni e scintille. Allo stato dinamico l'elettricità risulta in ispecial modo da azioni chimiche, ed attraversa i corpi sotto forma di *corrente*, con una velocità paragonabile a quella della luce. In questo caso essa si distingue dall'elettricità statica principalmente per gli effetti chimici e pei suoi rapporti col magnetismo.

Noi tratteremo primieramente dell'elettricità statica, considerando più particolarmente quella che si sviluppa per mezzo dello strofinamento, e diremo che un corpo è *elettrizzato* allorchè possiede la proprietà di attrarre i corpi leggeri, o di produrre effetti luminosi.

---

<sup>(15)</sup> La parola *elettricità* deriva dal greco ἤλεκτρον che significa succino od ambra gialla, perchè su questa sostanza venne per la prima volta osservata la proprietà di sviluppare l'elettricità per strofinamento. L'ambra gialla che oggidì si trova soltanto allo stato fossile, ha molti rapporti colla gomma *copale*. La si rinviene principalmente sulle rive del mar Baltico, ove è rigettata dai flutti, e sulle coste della Sicilia.

**572. Sviluppo dell'elettricità per mezzo dello strofinamento.** - Un gran numero di sostanze, allorchè vengono strofinate con un pezzo di panno o con una pelle di gatto, acquistano immediatamente la proprietà di attrarre i corpi leggeri, come le barbe di penna, i pezzettini di paglia. Questa proprietà si osserva specialmente nell'ambra gialla, nella cera lacca, nella resina, nella gutta-perka, nel solfo, nel vetro, nella seta ed in molte altre sostanze.

Si riconosce che un corpo è elettrizzato col mezzo di piccoli strumenti detti *elettroscopii*, il più semplice dei quali è il *pendolo elettrico* (fig. 400). Questo apparato consiste in una piccola palla di midollo di sambuco, sospesa mediante un filo di seta ad un sostegno a base di vetro. Allorquando le si accosta un corpo elettrizzato, la piccola palla viene subito attratta, e quindi respinta tosto che ebbe luogo il contatto (fig. 401).

Un corpo solido può elettrizzarsi mediante lo strofinamento con un liquido o con un gas: nel vuoto barometrico, il movimento del mercurio elettrizza il vetro; un tubo vuoto d'aria, nel quale siansi racchiusi alcuni globetti di mercurio, diviene luminoso nell'oscurità allorchè venga agitato il mercurio. Quanto ai gas, Wilson aveva trovato che una corrente d'aria, diretta sulla tormalina, sul vetro, sulla resina, elettrizzava queste sostanze positivamente; ma Faraday riconobbe dappoi, che non si ottengono effetti elettrici che allorchè l'aria è umida o tiene sospese delle polveri secche.

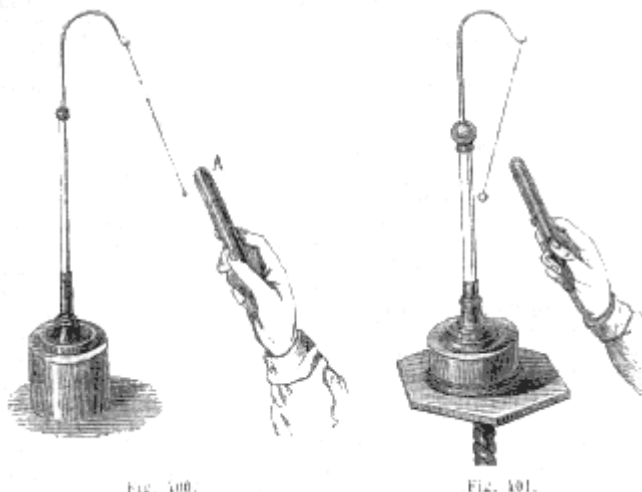


Fig. 400.

Fig. 401.

Lo strofinamento, a tutta prima, sembra che non produca effetti elettrici sopra molte sostanze, e particolarmente sui metalli, perchè se, tenendo con una mano una barra di metallo, la si strofina con un pezzo di panno, non si scorge alcuna traccia di attrazione allorchè venga presentata ad un pendolo elettrico. Non bisogna però concludere per questo che i metalli non si elettrizzano mediante strofinamento; questa è una proprietà generale di tutti i corpi, ma che per molti di essi non si manifesta, come si vedrà in seguito (574), che allorchè sono posti in condizioni convenienti.

S'ignora la cagione dello sviluppo dell'elettricità per istrofinamento. Wollaston la attribuì ad una ossidazione, ma Gray aveva già dimostrato prima di lui che lo strofinamento sviluppa elettricità nel vuoto, e Gay-Lussac riconobbe che si può sviluppare anche nell'acido carbonico secco.

**573. Corpi conduttori e corpi non conduttori.** - Se si presenta ad un pendolino elettrico un bastone di cera lacca strofinato ad una delle sue estremità, si osserva che la palla non viene attratta che dalla estremità strofinata; la parte che non venne strofinata non dà alcun segno d'attrazione o ripulsione. Lo stesso avviene con una canna di vetro, con un bastone di solfo, sino a tanto che non siano stati strofinati per tutta la loro lunghezza. Da ciò si conchiude, che in questi corpi la proprietà elettrica non si propaga da una parte all'altra, ciò che si esprime col dire che non conducono l'elettricità. Al contrario, l'esperienza dimostra che, appena un corpo metallico ha acquistata la proprietà elettrica sur uno de' suoi punti, essa si propaga istantaneamente su tutta la superficie del corpo, qualunque sia la sua estensione: il che si esprime col dire che i metalli *conducono* bene l'elettricità.

Da ciò la distinzione dei corpi in *buoni conduttori* e *cattivi conduttori*. I conduttori migliori sono i metalli, l'antracite, la piombaggine, il coke, il carbone di legna ben riscaldato, le piriti, la galena; in seguito le soluzioni saline, che hanno però una facoltà conduttrice parecchie migliaia di volte

minore di quella dei metalli, l'acqua allo stato di vapore ed allo stato liquido, il corpo umano, i vegetabili e tutti i corpi umidi. I corpi cattivi conduttori sono il solfo, la resina, la gomma lacca, la gutta-perka, la seta, il vetro, le pietre preziose, il carbone non fortemente riscaldato, gli olii e i gas asciutti; ma l'aria ed i gas sono tanto meno isolanti (574) quanto più sono umidi. Del resto, il grado di conducibilità dei corpi non dipende solamente dalla sostanza di cui sono formati, ma ben anche dalla loro temperatura e dal loro stato fisico. Per es., il vetro che alla temperatura ordinaria è cattivissimo conduttore, conduce allorchè è arroventato. L'acqua, che allo stato liquido conduce assai bene, allo stato di ghiaccio è cattivo conduttore.

**574. Corpi isolanti, serbatoio comune.** - I corpi cattivi conduttori hanno ricevuto il nome di *corpi isolanti* o *isolatori*, perché si impiegano come sostegni quando si voglia conservare ad un corpo conduttore la sua elettricità. Questa condizione è indispensabile, perché essendo la terra formata di sostanze che conducono l'elettricità, appena che un corpo conduttore elettrizzato comunica con essa mediante un altro corpo conduttore, l'elettricità si sparge immediatamente nel suolo, che, appunto per questo vien detto *serbatoio comune*. Si isola un corpo sostenendolo su piedi di vetro, od appendendolo a cordoncini di seta, od appoggiandolo sur un piatto di resina. Tuttavia, anche i più cattivi conduttori non isolano giammai completamente, onde ne viene che tutti i corpi elettrizzati perdono sempre più o meno lentamente la loro elettricità attraverso i sostegni su cui son situati; inoltre ve ne ha dispersione pel vapore di acqua contenuto nell'aria, e questa, ordinariamente, è la perdita più abbondante.



Fig. 402. (1 = 50.)

A cagione della grande conducibilità dei metalli, non si può sui medesimi ottenere elettricità collo strofinamento, se non si ha l'avvertenza di isolarli e di strofinarli con un corpo non conduttore, come la seta od il taffetà coperto di cera. Ma adempiendo a queste condizioni, i metalli collo strofinamento si elettrizzano assai bene. Per dimostrarlo, si fissa un tubo di ottone ad un manico di vetro (fig. 402), e, tenendo in mano quest'ultimo, si strofina il tubo metallico con un pezzo di seta o di taffetà cerato; avvicinato in seguito al pendolino elettrico, si osserva un'attrazione, che dimostra essere il metallo elettrizzato. Se si tiene in mano il metallo, avvi parimenti sviluppo di elettricità, ma si sparge immediatamente nel suolo.

Si dava anticamente ai corpi isolanti il nome di corpi *idio-elettrici* (propri all'elettricità), perché si credevano i soli dotati della proprietà di elettrizzarsi collo sfregamento, e ai corpi buoni conduttori, il nome di corpi *anelettrici* (privi d'elettricità). Al giorno d'oggi che si sa che tutti i corpi si elettrizzano collo sfregamento, queste denominazioni non devono più essere usate.

**575. Distinzione di due specie di elettricità.** - Abbiamo veduto che allorquando si presenta al pendolino elettrico una canna di vetro strofinata con un pezzo di panno, dapprima vi è attrazione e, subito dopo il contatto, ripulsione. Gli stessi effetti si producono con un bastone di cera lacca egualmente strofinato; sembra quindi a primo vedere che l'elettricità sviluppata col vetro sia eguale a quella sviluppata colla cera lacca. Ma, spingendo più lontano l'osservazione, si riconosce che non è così. In fatti, trovandosi il tubo di vetro ed il bastone di cera lacca elettrizzati come abbian detto, se, allorquando il pendolino elettrico è respinto dal vetro, si avvicina la resina, questa attira vivamente la pallottola di sambuco; egualmente, se al pendolino respinto dalla resina dopo il contatto, si presenta il tubo di vetro, si osserva una forte attrazione: vale a dire che *un corpo respinto dall'elettricità del vetro viene attratto dall'elettricità della resina*; ed a vicenda, che *un corpo respinto dall'elettricità della resina è attratto da quella del vetro*.

Fondandosi sui fatti che abbiamo descritto, Dufay, fisico francese, ammise pel primo, nell'anno 1734, l'esistenza di due elettricità di natura differente: l'una che si sviluppa sul vetro allorchè è strofinato colla lana, l'altra che si sviluppa sulla resina o sulla cera lacca quando vengono strofinate con un pezzo di panno o con una pelle di gatto; la prima fu chiamata *elettricità vitrea*, la seconda *elettricità resinosa*.

**576. Teorie di Symmer e di Franklin.** - Per ispiegare gli effetti contrari che presenta l'elettricità allo stato di elettricità vitrea e di elettricità resinosa, Symmer, fisico inglese, ammise due *fluidi*

*elettrici*, ciascuno dei quali agisce per ripulsione sopra sè stesso e per attrazione sopra l'altro. Secondo questo fisico, questi fluidi esistono in tutti i corpi allo stato di combinazione, formando quello che vien detto *fluido neutro*, o *fluido naturale*. Diverse cause, che sono specialmente lo strofinamento e le azioni chimiche, possono separarli, ed è allora che appariscono i fenomeni elettrici; ma questi fluidi hanno grande tendenza a riunirsi per formare di nuovo il fluido neutro.

I due fluidi elettrici si chiamano col nome di *fluido vitreo* e *fluido resinoso*. Venne loro altresì dato il nome di *fluido positivo* e di *fluido negativo*, espressioni tolte dalla teoria di Franklin. Questo fisico, non considerando che un solo fluido agente per ripulsione sulle sue proprie molecole, e per attrazione su quelle della materia, ammise che tutti i corpi contengono una quantità determinata di questo fluido allo stato latente: allorquando esso aumenta, i corpi sono elettrizzati *positivamente*, possiedono le proprietà della elettricità vitrea; quando diminuisce, i corpi sono elettrizzati *negativamente*, e presentano la proprietà della elettricità resinosa. La denominazione adunque di *elettricità positiva* o di *fluido positivo*, equivale a quella di *elettricità vitrea*; la denominazione di *elettricità negativa* o di *fluido negativo*, a quella di *elettricità resinosa*. L'elettricità positiva si rappresenta col segno + (*più*), e l'elettricità negativa col segno - (*meno*), perché siccome in algebra aggiungendo +a a -a si ha zero, così, comunicando, ad un corpo che possiede già una certa quantità di elettricità positiva, una quantità eguale di elettricità negativa, si ottiene lo stato neutro, ossia zero elettricità.

La teoria di Symmer sui due fluidi elettrici si presta con grande facilità alla spiegazione dei fenomeni; per cui viene generalmente ammessa nelle scuole, almeno in Francia. Ciononpertanto non bisogna dimenticare che questa è soltanto un'ipotesi. D'altronde, fa pur d'uopo confessare tutto ciò che ha di vago questa denominazione di *fluido* applicata ai principii del calorico, della luce, del magnetismo, dell'elettricità. In fatti, cos'è un fluido? Qual è la sua natura? Nessun fisico ci diede indizi su questo proposito. Bisogna adunque limitarsi a riguardare l'ipotesi dei due fluidi elettrici, come esprimente due stati, nei quali l'elettricità si presenta sotto l'aspetto di due forze uguali e contrarie tendenti ad equilibrarsi. “È probabilissimo, dice De la Rive nel suo esteso *Trattato di elettricità* testé pubblicato, che l'elettricità, invece di consistere in due fluidi speciali, non sia che il risultato di una modificazione particolare nello stato dei corpi, modificazione che dipende probabilmente dalla mutua azione che esercitano le une sulle altre le particelle ponderabili della materia ed il fluido sottile che le circonda da tutte le parti, che chiamasi etere, e le cui ondulazioni costituiscono la luce ed il calorico”. Più oltre, lo stesso fisico aggiunge: “Tutti i fenomeni della elettricità positiva e negativa ponno probabilmente essere spiegati mediante l'azione e la reazione di una forza capace di manifestarsi in differenti gradi nelle diverse sostanze. più semplicemente che per mezzo dell'ipotesi dei fluidi imponderabili. Infatti, le due forze opposte dell'elettricità rassomigliano all'azione ed alla reazione in questo che non vanno mai disgiunte”.

**577. Azioni dei corpi elettrizzati gli uni sugli altri.** - Ammessa l'ipotesi delle due specie di elettricità, gli effetti di attrazione e di ripulsione che presentano i corpi elettrizzati (575) si riassumono nel seguente principio, che serve di base alla teoria di tutti i fenomeni che ci presenta l'elettricità statica.

*Due corpi carichi della medesima elettricità si respingono, e due corpi carichi dell'elettricità contraria si attraggono*; ma queste attrazioni non hanno luogo che in forza dell'azione delle due elettricità tra loro, e non in forza della loro azione sulle molecole della materia.

**578. Legge dell'elettrizzazione per strofinamento.** - Allorchè si strofinano insieme due corpi di qualunque natura, il fluido neutro di ciascuno viene decomposto, e sempre *l'uno dei corpi prende il fluido positivo, e l'altro il fluido negativo*.

Per dimostrarlo, si comunica al pendolino elettrico una elettricità conosciuta, e gli si presentano separatamente i due corpi strofinati, i quali, nel caso che siano conduttori, devono essere isolati: ora uno dei due attrae la palla di sambuco, e l'altro la respinge, ciò che dimostra come essi siano carichi di elettricità contrarie. Di più essi lo sono in quantità eguali, perché se si presentano al pendolino quando sono in contatto, non vi ha nè attrazione nè ripulsione, ciò che prova che le due elettricità si

fanno equilibrio. Queste esperienze si fanno ordinariamente con due dischi di vetro che si sfregano l'uno contro l'altro, e che rapidamente si separano.

L'elettricità sviluppata su di un corpo col mezzo dello strofinamento, varia secondo la natura del corpo strofinato. Il vetro strofinato colla lana si elettrizza positivamente se è liscio; se smerigliato, si elettrizza negativamente. La specie di elettricità sviluppata dipende altresì dalla natura del corpo che si adopera per istrofinare. Le sostanze qui sotto enunciate si elettrizzano positivamente allorchè vengono strofinate da quelle che le seguono, negativamente allorchè lo sono da quelle che le precedono: pelle di gatto, vetro liscio, lana, piuma, legno, carta, seta, gomma-lacca, vetro smerigliato.

La specie di elettricità, che si sviluppa collo strofinamento, dipende anche dal grado di levigatezza, dal senso secondo cui avviene lo strofinamento e dalla temperatura. In fatti, se si strofinano l'un contro l'altro due dischi di vetro inegualmente lisci, il più liscio prende l'elettricità positiva, l'altro si elettrizza negativamente. Se si strofinano in croce l'una sull'altra, due fettucce di seta bianca, prese dalla medesima pezza, quella che fu strofinata trasversalmente si elettrizza negativamente, l'altra positivamente. Quando si strofinano l'un contro l'altro due corpi della medesima sostanza, la di cui superficie è egualmente liscia, ma la di cui temperatura è differente, la sostanza più calda è quella che prende il fluido negativo. In generale il corpo le di cui particelle ponno più facilmente spostarsi, è quello che si elettrizza negativamente.

**579. Diverse fonti di elettricità.** - Oltre allo strofinamento, le cause che possono sviluppare dell'elettricità sono la pressione, il clivaggio, le azioni chimiche e il calore.

Epino, pel primo, constatò lo sviluppo della elettricità mediante la pressione; Libes, in seguito, dimostrò che premendo leggermente su di un disco di legno ricoperto di taffetà gommato, un disco di metallo isolato per mezzo di un manico di vetro, questo disco si elettrizzava negativamente. Haiiy dappoi fece osservare che lo spato d'Islanda si elettrizza positivamente allorquando vien compresso un istante fra due dita, e che il cristallo conserva lo stato elettrico per parecchi giorni.

Egli riconobbe la medesima proprietà in parecchie specie di minerali; ma Becquerel ritrovò che essa appartiene a tutti i corpi, ed anche a quelli che sono conduttori, purché siano isolati. Il sughero e la gomma elastica, compressi l'un contro l'altro, prendono, il primo l'elettricità positiva, il secondo l'elettricità negativa. Un disco di sughero compresso sur una melarancia, porta seco una quantità considerevole di fluido positivo, allorchè si interrompe vivamente il contatto; ma se il disco di sughero non vien levato che lentamente, la quantità di elettricità è assai debole, e questo dipende da ciò che i due fluidi, separati su i due corpi dalla pressione, in parte si ricompongono al momento in cui essa cessa. È per questo motivo che l'effetto è nullo quando ambedue le sostanze compresse sono conduttrici dell'elettricità.

Becquerel osservò anche che il *clivaggio*, ossia la divisione naturale delle sostanze minerali cristallizzate, può essere una sorgente di elettricità. Se si divide rapidamente una foglia di mica nell'oscurità, si osserva una debole fosforescenza. Per assicurarsi che il fenomeno è cagionato dall'elettricità, Becquerel fissò prima della loro separazione ciascuna lamina ad un manico di vetro; separandole in seguito rapidamente presentandole al pendolo elettrico, o ad un elettroscopio a foglie d'oro (591), ritrovò che esse possedevano una elettricità contraria.

Il talco lamellare, e tutte le sostanze cristallizzate poco conduttrici si elettrizzano egualmente mediante il clivaggio. In generale tutte le volte che si separano due molecole, ciascuna di esse prende una specie di elettricità diversa, a meno che il corpo, cui appartengono, non sia buon conduttore, perché allora la separazione non può essere abbastanza rapida per opporsi alla ricomposizione delle due elettricità. Ai fenomeni suddescritti si deve attribuire la luce che sponde lo zucchero quando vien rotto nella oscurità.

L'elettricità che sviluppa in causa di reazioni chimiche o pel calore sarà studiata più tardi.



## CAPITOLO II

### MISURA DELLE FORZE ELETTRICHE

**580. Legge delle attrazioni e ripulsioni elettriche.** - Le mutue azioni che si esercitano fra i corpi elettrizzati sono soggette alle due leggi seguenti

1.<sup>a</sup> *Le attrazioni e le ripulsioni fra due corpi elettrizzati sono in ragione inversa del quadrato della distanza.*

2.<sup>a</sup> *La distanza rimanendo la stessa, queste medesime forze sono in ragione diretta della quantità di elettricità che possiedono i due corpi.*

*Prima legge.* - Queste due leggi furono dimostrate da Coulomb mediante la bilancia di torsione già adoperata per dimostrare le leggi delle attrazioni e ripulsioni magnetiche (568). La sola modificazione che bisogna fare in questo caso alla detta bilancia si è di sostituire all'ago calamitato sospeso al filo metallico un bastone di gomma lacca terminato da un piccolo disco di talco *n* (fig. 403) ed all'ago calamitato verticale un tubo di vetro *i*, terminato da una sfera di ottone *m*. La figura 403 presenta pure altre modificazioni se la si confronta colla figura 399, ma esse sono arbitrarie: la cassa è cilindrica invece di essere rettangolare, il quadrante è segnato sul contorno della cassa, invece di esserlo sul fondo; infine il micrometro si compone di un piccolo disco graduato e mobile indipendentemente dal tubo *d*, e di un punto a fisso che serve a marcare di quanti gradi vien girato il disco *e*. Al centro di quest'ultimo avvi un piccolo bottone che gira seco lui, ed il piede del quale trattiene l'estremità del filo metallico che porta l'ago *on*.

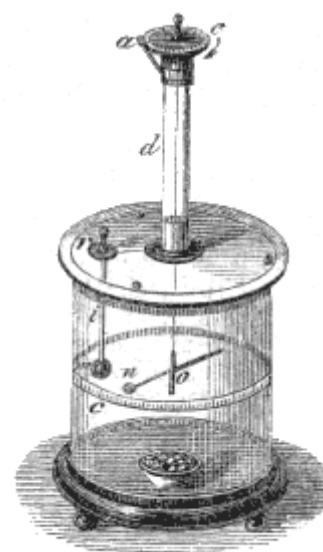


Fig. 403 (a. = 58°).

Ciò posto, per dimostrare la prima legge suenunciata, si incomincia dal disseccare l'aria che trovasi nell'apparecchio, affine di diminuire la dispersione dell'elettricità; ciò che si ottiene ponendo sul fondo della cassa una capsula riempita di calce viva e lasciandovela per vari giorni. Allorché l'aria è completamente disseccata e che lo zero del micrometro corrisponde al punto *a*, si gira il tubo *d*, che è mobile, finché l'ago *on*, sia diretto verso lo zero del circolo *c*, posizione alla quale corrisponde la sfera *m*, quando è situata nella cassa. Ritirando allora questa sfera, avendo la cura di tenerla pel tubo isolatore *i*, si elettrizza ponendola in contatto con una sorgente di elettricità, per es., colla macchina elettrica; indi si pone nuovamente nella cassa per mezzo dell'apertura *r*, praticata nel piatto che la ricopre. Tosto il disco *n*, è attratto, poi, elettrizzandosi per contatto della sfera, viene respinto, e dopo varie oscillazioni si arresta allorquando la torsione del filo fa equilibrio alla forza ripulsiva che si esercita tra il disco e la sfera. Supponiamo che la torsione allora marcata dall'ago sul quadrante *c* sia di 20 gradi; siccome la torsione del filo è proporzionale alla forza di torsione (70, 2.<sup>o</sup>), questo numero 20 può riguardarsi come rappresentante la ripulsione elettrica alla distanza cui si trova l'ago. Per misurare questa forza ad una distanza minore, si gira il disco e nel senso della freccia, fino a che la distanza fra la laminetta *n* e la sfera *m* non sia che di 10 gradi, vale a dire due volte minore. Ora, per condur l'ago a questo punto, si trova che bisogna girarlo di 70 gradi. Il filo metallico è adunque torto, alla sua estremità superiore di 70 gradi nel senso della freccia, e di 10 gradi nel senso contrario alla sua parte inferiore. Per conseguenza, le due torsioni si uniscono per dare una torsione totale di 80 gradi, vale a dire quadrupla di quella che corrisponde ad una distanza doppia; d'altronde la forza di torsione essendo sempre uguale e contraria alla ripulsione, bisogna che questa sia divenuta quattro volte maggiore per una distanza due volte minore. Parimenti si verifica che per una distanza tre volte minore la ripulsione è nove volte maggiore, ciò che dimostra la legge delle ripulsioni.

La legge delle attrazioni si può dimostrare coll'egual metodo, con dare alla sfera ed al disco elettricità contrarie, facendo equilibrio alla loro attrazione mercè bastante torsione del filo.

*Seconda legge.* - Per dimostrare che le forze elettriche sono proporzionali alla quantità di elettricità che possiedono i corpi, si elettrizza ancora la sfera di ottone *m*, indi, notando la ripulsione impressa all'ago *on*, si ritira la sfera *m*, e la si tocca con un'altra sfera di ottone del medesimo diametro, allo stato neutro ed isolata mediante un manico di vetro. La sfera *m* cede allora metà della sua elettricità all'altra, perchè le superficie sono eguali (584). Ora riponendo la prima nella cassa, si trova che la ripulsione non è che la metà di quella che era prima. Se si leva di nuovo alla sfera *m* la metà dell'elettricità che le resta, la ripulsione non è che un quarto della primitiva, e così di seguito; ciò che dimostra la legge.

In queste esperienze si prende per l'intervallo dei corpi elettrizzati l'arco che misura la torsione, vale a dire, si prendono gli archi invece delle loro corde, il che non è esatto; ma l'errore non influisce in modo sensibile nel risultato, essendo gli archi abbastanza piccoli perchè si possano sostituire alle loro corde<sup>(16)</sup>.

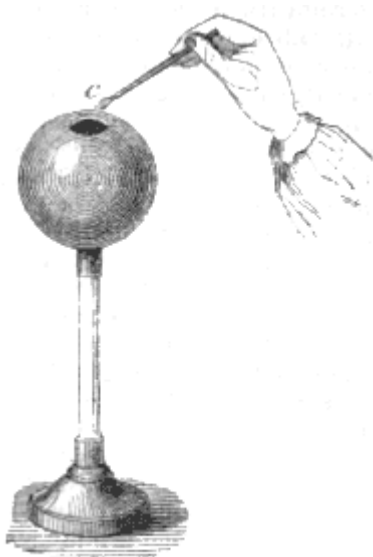


Fig. 404 (a. = 68).

**581. L'elettricità si porta alla superficie dei corpi.** - Allorchè un corpo isolato, di forma qualunque, è elettrizzato, sia positivamente, sia negativamente, il fluido elettrico si porta alla sua superficie, ove forma uno strato di uno spessore assai sottile. Questa accumulazione di tutta l'elettricità alla superficie, si dimostra colle seguenti esperienze, di cui le prime due sono dovute a Coulomb:

1.<sup>a</sup> Si prende una sfera cava di ottone, isolata su di un piede di vetro, ed avente alla sua parte superiore un'apertura circolare (fig. 404). Dopo averla elettrizzata ponendola in contatto con una sorgente elettrica, si tocca successivamente all'interno ed all'esterno con un *piano di prova*; chiamasi così un bastone di gomma-lacca, all'estremità del quale è fissato un piccolo disco metallico che serve a raccogliere l'elettricità. Ora, toccando esternamente col piano di prova la sfera elettrizzata, Coulomb raccolse dell'elettricità, perchè presentando questo piano all'ago *on* della bilancia di torsione (fig.

<sup>(16)</sup> Harris, in Inghilterra, istituì, da parecchi anni numerose esperienze onde constatare le leggi di Coulomb. Il fisico inglese fece uso di un apparato avente qualche analogia colla bilancia di Coulomb, ma che ne differisce perchè l'ago mobile, invece di essere sospeso ad un solo filo, è sostenuto, come avea già operato Gauss nel suo *magnetometro* da due fili di seta non torti, paralleli, assai vicini l'uno all'altro e ad egual distanza dal centro di gravità dell'ago; onde il nome di *bilancia bifilare* applicato a questo apparato. Da questo modo di sospensione risulta che allorchè l'ago mobile è respinto od attratto, i due fili, non potendo più conservare la loro posizione verticale, si inclinano più o meno secondo l'intensità della forza che agisce sull'ago, e che, per conseguenza, quest'ultimo si eleva fintanto che siasi stabilito l'equilibrio fra la gravità che tende ad abbassarlo e la forza elettrica che tende a farlo rimontare per effetto della deviazione del filo. Ora Harris constatò che in tal caso le oscillazioni dell'ago sono isocrone, e che la forza che lo mantiene ad una certa distanza angolare della sua posizione d'equilibrio è proporzionale a questa distanza.

Harris sperimentò anche con una semplice bilancia ordinaria assai sensibile, facendo equilibrio, per mezzo di pesi collocati in uno dei piatti, alle attrazioni elettriche che si esercitavano su di un disco fissato all'altro piatto.

Ora, sperimentando con questi due apparati, Harris trovò che la prima legge di Coulomb, più non si verifica quando i due corpi elettrizzati sono carichi di quantità disuguali di elettricità; quando la tensione elettrica è assai debole, e finalmente quando la distanza angolare fra i due corpi è minore di 9 a 10 gradi. Harris inoltre osservò che anche la seconda legge di Coulomb, nelle medesime circostanze, più non si verifica.

De la Rive, nell'opera già citata, osserva che queste eccezioni alle leggi di Coulomb sono soltanto apparenti; che esse provengono dall'influenza che i due corpi elettrizzati esercitano l'uno sull'altro, influenza che tende a decomporre il fluido neutro, ma che cessa di essere valutabile quando i due corpi sono abbastanza lontani, che finalmente le leggi di Coulomb sono rigorosamente applicabili soltanto a punti matematici, e che esse possono verificarsi solo per corpi di piccole dimensioni.

Questo è confermato anche dalle esperienze di Marié Davy, il quale, avendo ripetute quelle di Harris, riconobbe che la legge delle distanze si verifica assai approssimativamente per due sfere uguali, distanti l'una dall'altra più di 9 a 10 volte il loro raggio.

403), vi era attrazione. Toccando la superficie interna, Coulomb non osservò alcuna traccia di elettrizzazione, donde egli conchiuse che non vi era elettricità libera che alla superficie esterna della sfera.

Tuttavia, questa conseguenza non sembra rigorosa, perchè Bourbouze avendo ripetuta recentemente l'esperienza suddescritta, facendo comunicare le due facce della sfera cava ciascuna con un elettrometro a foglie d'oro (591), trovò che esse erano cariche amendue della medesima elettricità, ed in quantità eguali; ciò che mostra che l'elettricità si porta non solo sulla superficie esterna, ma ben anche sulla interna. Si ha pure spiegata l'elettricità che possiede il piano di prova, dopo aver toccato l'interno della sfera, come proveniente dal bastone gomma lacca, nel quale il fluido neutro sarebbe decomposto per l'influenza dell'elettricità che trovasi sui margini dell'apertura della sfera cava.

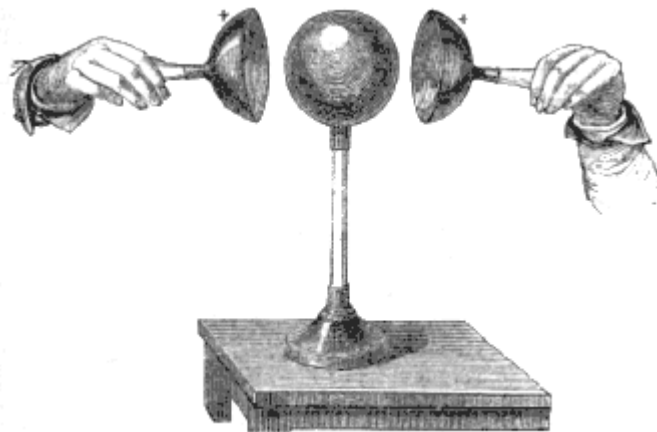


Fig. 405.

2.<sup>a</sup> Si prende una sfera di ottone isolata sur un piede di vetro: su questa sfera si applicano due emisferi cavi, pure di ottone del medesimo diametro della sfera, tali che la possan coprire, e si possano togliere a piacere col mezzo di manici di vetro. Dopo di aver elettrizzata la sfera, le si applicano i due emisferi che si tengono pei manici di vetro, quindi si ritirano rapidamente e simultaneamente (fig. 405). Ora, si osserva che essi sono allora elettrizzati ambedue, ma che la sfera non ha conservata alcuna traccia di elettricità. Il fluido comunicato alla sfera era adunque tutto alla sua superficie; poichè venne esportato completamente nel medesimo tempo che si tolsero i due involuppi che la toccavano,

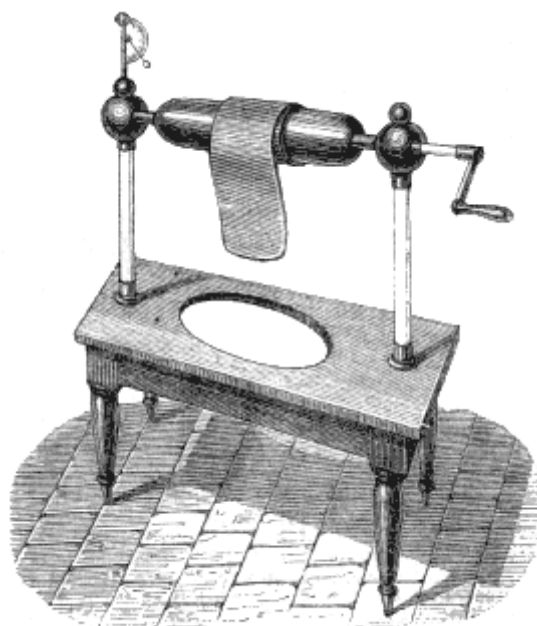


Fig. 406.

3.<sup>a</sup> Si può ancora constatare che l'elettricità si porta alla superficie dei corpi, mediante l'apparato rappresentato dalla figura 406. Esso consiste in un cilindro di ottone isolato, sul quale si avvolge una foglia metallica assai flessibile che si può svolgere ed avvolgere a piacere facendo girare il cilindro a mezzo di una manovella. Infine, sur una sfera metallica comunicante col cilindro, avvi un piccolo elettrometro composto di un quadrante d'avorio, al centro del quale si muove una leggera astina terminata da una pallina di sambuco. Ciò posto, comunicando dell'elettricità al cilindro, si vede il piccolo elettrometro divergente in forza di ripulsione elettrica. Ora, se si gira allora il cilindro in modo di svolgere la foglia metallica che lo ricopre, la divergenza diminuisce; avvolgendola di nuovo, la divergenza aumenta. Si conchiude da ciò che, rimanendo costante la quantità totale di elettricità posseduta da un corpo, la ripulsione esercitata dall'elettricità, in ciascun punto della superficie, è tanto minore, quanto la superficie maggiore è più grande, ciò che dimostra che il fluido elettrico si porta alla superficie.

4.<sup>a</sup> Una quarta esperienza dovuta a Faraday consiste nel fissare ad un cerchio metallico isolato una piccola bisaccia di mussolina simile a quelle che si adoperano per prendere le farfalle (fig. 407) Per mezzo di due fili di seta attaccati all'interno ed all'esterno al vertice del cono, si può rovesciarlo ad arbitrio. Ciò posto si elettrizza la mussolina toccandola con un corpo elettrizzato, poi tirando a sè il filo interno si rovescia la bisaccia in modo che la sua superficie interna divenga esterna, e viceversa; allora si riconosce che trovasi ancora elettrizzata la sola superficie esterna.

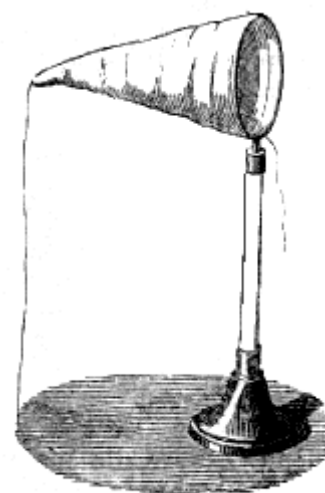


Fig. 407.

5.<sup>a</sup> Finalmente, l'esperienza dimostra che una sfera di metallo massiccia non acquista maggior elettricità d'una sfera di legno del medesimo diametro, ricoperta da una foglia di metallo assai sottile. La proprietà che ha l'elettricità di accumularsi alla superficie dei corpi, è riguardata come una conseguenza della forza ripulsiva che ciascun fluido esercita sopra sè stesso. Infatti, sottomettendo al calcolo l'ipotesi dei due fluidi, ed ammettendo che essi si attraggono vicendevolmente in ragione inversa dei quadrati delle distanze, e che respingono le loro proprie molecole seguendo la medesima legge, Poisson giunse alla medesima conseguenza di Coulomb sulla distribuzione della elettricità dei corpi. Siamo adunque condotti a considerare l'elettricità libera come accumulata sotto forma di uno strato assai sottile alla superficie dei corpi elettrizzati, da cui ella tenda sempre a sfuggire, non essendovi trattenuta che dalla resistenza che le presenta la poca conducibilità

dell'aria<sup>(17)</sup>.

Lo sforzo che fa l'elettricità per liberarsi dai corpi si chiama *tensione*; si vedranno in seguito le cause che la fanno variare.

**582. Influenza della forma dei corpi sull'accumulazione dell'elettricità.** - Sopra una sfera metallica, lo spessore dello strato elettrico è lo stesso su tutti i punti della superficie. È evidente infatti, che deve essere così a cagione della forma simmetrica del corpo. Ciò si verifica col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione (fig. 403). A tale intento, si elettrizza una sfera isolata simile a quella che rappresenta la fig. 404, e toccandola successivamente in differenti punti col piano di prova, si presenta quest'ultimo ciascuna volta all'ago della bilancia. Si osserva costantemente la medesima torsione, ciò che dimostra che dovunque il piano di prova ha raccolta la medesima quantità di elettricità.

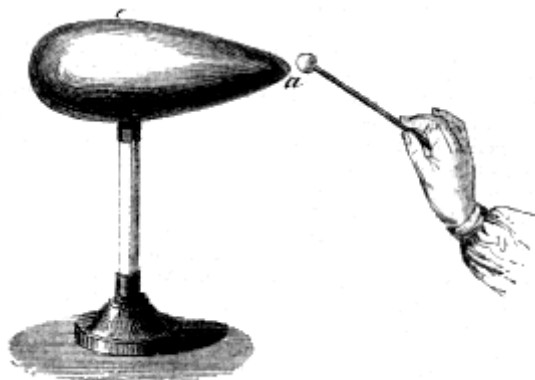


Fig. 408 (a. = 55°).

Se il corpo elettrizzato è un elissoide allungato (fig. 408), lo spessore dello strato elettrico cessa di essere uniforme; il fluido elettrico, obbedendo sempre alla sua propria ripulsione si accumula verso le parti più acute, sulle quali l'elettricità acquista così un massimo di spessore. Per dimostrarlo, si tocca l'elissoide in differenti punti col piano di prova, e portandolo nella bilancia di Coulomb, si riconosce che il massimo di torsione si produce allorché si tocca l'estremità *a* dell'elissoide, ed il minimo allorché il piano di prova ha toccato la regione media *e*. Poisson mediante il calcolo ritrovò che la tensione, in ciascun punto, è proporzionale al quadrato della grossezza dello strato elettrico.

**583. Potere delle punte.** - Si dice *potere delle punte*, sui corpi conduttori, la proprietà che esse possiedono di lasciar sfuggire il fluido elettrico. Questa proprietà, scoperta da Franklin, si spiega colla legge della distribuzione di questo fluido alla superficie dei corpi. Infatti, l'elettricità accumulandosi verso le parti acute (582), lo spessore elettrico cresce verso le punte, e la tensione crescendo nel medesimo tempo, la vince ben presto sulla resistenza dell'aria; allora il fluido si disperde nell'atmosfera. Se si accosta la mano alla punta, si sente come un leggero soffio che

(17) “Secondo Faraday, la tendenza dell'elettricità a portarsi alla superficie dei corpi conduttori è più apparente che reale, e le esperienze per mezzo delle quali si riconosce che vi è elettricità libera soltanto alla loro superficie si spiegano facilmente in un altro modo. Secondo la sua teoria nessuna carica elettrica può manifestarsi nell'interno di un corpo a motivo delle direzioni opposte dell'elettricità in ciascuna delle particelle interne, donde risulta un effetto nullo; mentre l'induzione (587) esercitata dai corpi esterni rende sensibile l'elettricità alla superficie. Secondo questa teoria l'elettricità deve mostrarsi soltanto alla superficie di un involuppo conduttore, qualunque sia la conducibilità o la facoltà isolante delle sostanze collocatevi nell'interno, e questo appunto venne dimostrato da Faraday elettrizzando fortemente l'olio essenziale di trementina situato in un vaso di metallo, giacché anche allora era vi elettricità apparente soltanto alla superficie del vaso. Lo stesso Faraday costruì anche una camera cubica avente per lato un metro, le cui pareti di legno erano esternamente ricoperte di foglie di piombo; dopo averla isolata ed avervi collocati degli elettroscopii elettrizzò l'aria interna con una forte macchina elettrica. Nessuna traccia di elettricità si manifestò nell'interno, mentre forti scintille e piume luminose partivano da tutta la superficie esterna.

“Queste esperienze, completando quelle di Coulomb, nelle quali si trattava soltanto di corpi conduttori, rendono poco probabile la spiegazione datane, stante che essa era basata sulla libera propagazione dell'elettricità nella massa conduttrice, donde risultava che questa elettricità portavasi tutta alla superficie. Siccome il fenomeno accade del pari collocando nell'interno alcuni corpi isolanti, questa spiegazione non è più sostenibile”.

De la Rive, *Traité d'Electricité*, tom. I, pag. 143.

sembra sorto dalla stessa, e, quando la dispersione dell'elettricità ha luogo nella oscurità, si osserva sulla punta una piccola piuma luminosa.

**584. Comunicazione e distribuzione della elettricità sui corpi in contatto.** - Allorché si pongono in contatto due corpi conduttori, l'uno elettrizzato e l'altro allo stato naturale, succede che l'elettricità si divide fra i due corpi in un rapporto, che dipende da quello delle loro superficie; ed allorché si separano, l'uno ha guadagnato elettricità, l'altro ne ha perduta su tutti i suoi punti. Se non sono conduttori, vi è perdita o guadagno sui soli punti in contatto.

Col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione, Coulomb fece numerose esperienze sulla distribuzione dell'elettricità alla superficie dei corpi in contatto. Mediante sfere metalliche isolate, poste a contatto, ed elettrizzate in questo stato, trovò che il fluido elettrico si distribuisce diversamente sulle loro superficie, secondo i rapporti dei diametri. Se questi sono eguali, lo spessore elettrico è nullo al punto di contatto, non divien sensibile che a 20 gradi, da questo punto, cresce rapidamente dai 20 ai 30 gradi, più lentamente dai 60 ai 90, e resta presso a poco il medesimo dai 90 ai 180.

Allorché i diametri sono disuguali nel rapporto da 2 a 1, lo spessore elettrico, che è ancor nullo al punto di contatto, è dapprima più considerevole sulla sfera grande; ma esso aumenta in seguito più rapidamente sulla piccola, ed a 180 gradi dal pulito di contatto, su quest'ultima ha luogo il massimo spessore.

**585. Dispersione dell'elettricità nell'aria.** - I corpi elettrizzati, quantunque isolati, perdono sempre più o meno rapidamente la loro elettricità. Questa dispersione dipende da due cause: 1.° dalla conducibilità dell'aria e dei vapori che avvolgono i corpi; 2.° dalla conducibilità degli isolatori che lor servono di sostegni.

La dispersione nell'aria varia a seconda della tensione elettrica, del rinnovamento dell'aria e del suo stato igrometrico. L'aria secca conduce male l'elettricità: ma se essa è umida, diviene conduttrice, e tanto più è conduttrice quanto maggiore è la quantità di vapore che contiene. Coulomb dimostrò che, *in un'aria calma, e ad uno stato igrometrico costante, la dispersione in un tempo brevissimo è proporzionale alla tensione*; legge analoga a quella di Newton sul raffreddamento (349).

Coulomb aveva sperimentato in un'aria umida, ma Matteucci trovò che nei gas perfettamente secchi, la dispersione dell'elettricità non segue la legge di Coulomb, e che, entro certi limiti di tensione, la perdita è indipendente dalla quantità di elettricità e proporzionale ai tempi, cioè che in tempi uguali, le perdite successive sono eguali.

Secondo lo stesso fisico a temperatura, e pressione uguali la perdita nell'aria, nell'idrogeno e nell'acido carbonico perfettamente secchi, è uguale; per corpi fortemente elettrizzati, la dispersione è maggiore quando sono elettrizzati negativamente che non allorché sono elettrizzati positivamente; nei gas secchi, a pressione costante, la dispersione aumenta colla temperatura; finalmente, sempre nei gas secchi, la perdita è indipendente dalla natura dei corpi elettrizzati, cioè è la stessa, sieno questi corpi conduttori od isolanti.

Quanto alla perdita per mezzo dei sostegni, non solo questi non isolano giammai completamente, ma Coulomb trovò che essi sono la sorgente di un'abbondante dispersione nei corpi fortemente elettrizzati.

Questa dispersione diminuisce gradatamente, e diviene costante allorché la tensione elettrica è assai debole. Allora si può anche trascurarla, perchè si dia all'isolatore una lunghezza sufficiente, lunghezza che secondo Coulomb deve aumentare proporzionatamente ai quadrati della tensione elettrica del corpo che si vuol isolare. La gomma-lacca, isola allora presso a poco completamente; ma il vetro, che è igrometrico, deve essere disseccato con cura.

**586. Dispersione dell'elettricità nel vuoto.** - Essendo l'elettricità trattenuta alla superficie dei corpi per la cattiva conducibilità dell'aria, quando questa si rarefa, la dispersione aumenta; e nel vuoto, ove la resistenza è nulla, tutta l'elettricità si disperde. Questa almeno è la conseguenza a cui conduce la teoria matematica relativa all'equilibrio dell'elettricità sulla superficie dei corpi; ma Hawksbee, Gray, Harris e Becquerel, hanno dimostrato che deboli tensioni elettriche possono

mantenersi nel vuoto. Becquerel ha pure osservato che nel vuoto ad un millimetro (165) un corpo conservava ancora elettricità dopo 15 giorni; ed è probabile che se un corpo elettrizzato, si trovasse nel vuoto perfetto, lontano da tutte le materie che possono esercitare su di esso un'azione per influenza (587), conserverebbe indefinitamente una certa tensione elettrica.

## CAPITOLO III

# AZIONE DEI CORPI ELETTRIZZATI SUI CORPI ALLO STATO NEUTRO; MACCHINE ELETTRICHE

**587. Elettrizzazione per influenza o per induzione.** - Un corpo elettrizzato agisce su di un corpo allo stato neutro, nel medesimo modo che una calamita agisce sul ferro dolce (548); vale a dire che, decomponendo il fluido neutro, attrae l'elettricità di nome contrario a quella che possiede, e respinge quella del medesimo nome. Per esprimere questo effetto, che è una conseguenza dell'azione vicendevole delle due elettricità, si dice che il corpo che dapprima era allo stato neutro, è *elettrizzato per influenza o per induzione*.

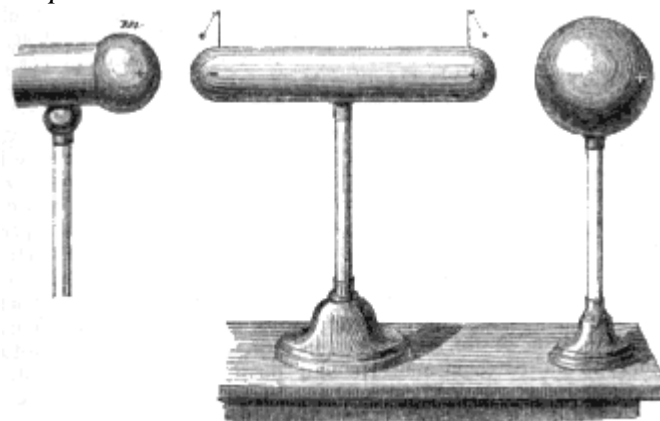


Fig. 409 ( $\alpha = 55$ ).

Si dimostra l'elettrizzazione per influenza mediante un cilindro di ottone, isolato sopra un piede di vetro, e portante alle sue estremità due piccoli pendolini elettrici, formati di palle di sambuco sospese a fili di canapo che sono conduttori (fig. 409). Ponendo questo cilindro alla distanza di qualche centimetro da uno dei conduttori  $m$  della macchina elettrica, quest'ultimo che, come vedremo in seguito, è carico di elettricità positiva, attrae il fluido negativo e respinge il positivo; di modo che i fluidi, distribuendosi allora come lo indicano i segni + e - marcati nel disegno, ciascun pendolo si trova respinto.

Per riconoscere la specie di elettricità di cui sono cariche le estremità del cilindro, si strofina un bastone di cera-lacca, e presentandolo al pendolino più vicino alla macchina elettrica, si osserva una ripulsione, ciò che dimostra che questo pendolo è carico della medesima elettricità della resina, vale a dire di fluido negativo. Presentando parimenti al secondo pendolino un tubo di vetro sfregato, avvi egualmente ripulsione; adunque il pendolo è elettrizzato positivamente. Per conseguenza, un corpo elettrizzato per influenza possiede nel medesimo tempo, sopra due punti opposti, le due specie di elettricità allo stato libero. Fra queste parti elettrizzate in senso contrario, si trova necessariamente una zona allo stato neutro. Questo si verifica disponendo vari pendolini a palle di sambuco lungo il cilindro: la loro divergenza decresce rapidamente allontanandosi dalle estremità, e diviene nulla in un certo punto, che è il *punto neutro*. Questo punto non trovasi mai in mezzo al cilindro; la sua posizione dipende dalla quantità di elettricità e dalla distanza del cilindro dal corpo che agisce su lui per influenza: ma è sempre più presso all'estremità che trovasi situata più vicino a questo corpo.

Un corpo elettrizzato per influenza agisce alla sua volta sui corpi vicini per separare i loro due fluidi, come lo si vede sulla sfera rappresentata in seguito al cilindro secondo la disposizione relativa dei segni + e -.



Tutti i corpi elettrizzati per influenza presentano i due seguenti fenomeni: 1.° appena che l'influenza cessa, i due fluidi si ricompongono, ed i corpi non conservano alcuna traccia di elettricità. Questo principio si verifica col cilindro della figura 409, perchè i pendolini ricadono tostochè si allontana la sorgente elettrica, o che la si riduce allo stato neutro toccandola col dito. 2.° Allorchè un corpo conduttore è elettrizzato per influenza, se lo si tocca, *sopra uno de' suoi punti qualunque*, sia con un'astina metallica, sia con un dito, è sempre il fluido del medesimo nome di quello della sorgente elettrica quello che si disperde nel suolo, essendo il fluido di nome contrario trattenuto per l'attrazione del fluido della sorgente. Per es., nel cilindro della figura 409, è sempre il fluido negativo che rimane, sia che si tocchi l'estremità positiva, sia che si tocchi la negativa o la parte media.

È per effetto dell'elettrizzazione per influenza, che una macchina elettrica non si può caricare se si trova in vicinanza ad una punta metallica comunicante col suolo; infatti, agendo il fluido positivo della macchina per influenza sulla punta, scorre da quest'ultima parte (583) una corrente continua di fluido negativo che neutralizza l'elettricità della macchina.

**588. - Teoria di Faraday sull'elettrizzazione per influenza.** - La teoria dell'elettrizzazione per influenza quale noi l'abbiam fatta conoscere, è quella finora ammessa da tutti i fisici; ma alcuni recenti lavori di Faraday sulla polarità elettrica tendono a modificarla, e fors'anche rovesciarla totalmente. Infatti, sinora nei fenomeni che abbiamo considerati, non si tenne conto del mezzo che separa il corpo elettrizzato da quello sul quale si agisce per influenza. Ora, le nuove esperienze di Faraday conducono piuttosto ad ammettere che è appunto per l'intermissione di questo mezzo che si operano tutti i fenomeni per influenza, e non per un'azione a distanza, o per lo meno ad una distanza che non eccede l'intervallo fra due molecole adiacenti. Faraday ammette che allora si produce nel mezzo intermediario una serie di strati molecolari alternativamente negativi e positivi, che costituiscono ciò che egli chiama la polarizzazione di questo mezzo. Sarebbe adunque, secondo la nuova teoria, alla polarizzazione delle molecole dell'aria, o di un altro mezzo, che si dovrebbe l'azione che sembrano esercitare a distanza i corpi elettrizzati sui corpi allo stato neutro, invece che, nella teoria finora ammessa, l'aria non rappresenta che una parte passiva, e per la sua inconducibilità, non fa che opporsi alla ricomposizione delle elettricità contrarie. In breve, la nuova teoria tende a sopprimere l'azione a distanza, per sostituirvi l'azione continua e costante d'un mezzo, d'una materia intermedia, propria a trasmettere l'azione di un corpo ad un altro<sup>(18)</sup>.

Chiamando *potere induttore* la proprietà che hanno i corpi di trasmettere attraverso le loro masse l'influenza elettrica, Faraday trova che non tutti i corpi isolanti hanno il medesimo potere induttore. Per confrontare il potere induttore delle differenti sostanze, egli fece uso dell'apparato rappresentato dalla figura 411, e di cui la figura 410 rappresenta una sezione verticale. Questo apparato si compone di un involuppo sferico PQ, formato di due emisferi di ottone, che si separano come quelli di Magdebourg (fig. 76), e che, come quelli, si adattano agli orli in modo di chiudere ermeticamente. Nell'interno di questo involuppo avvi una sfera di ottone C, d'un diametro minore di quello dell'involuppo, e che comunica con una palla esterna B, mediante un'asta metallica, isolata dall'involuppo PQ per mezzo di un grosso strato di gomma-lacca A. Lo spazio *mn*, è destinato a ricevere la sostanza di cui si vuol misurare il potere induttore. Infine il piede dell'apparato porta un canale a robinetto, che si può unire a vite sulla macchina pneumatica allorchè si vuole rarefare l'aria situata nello spazio *mn*.

(18) “La teoria di Faraday, dice De la Rive, quantunque abbia ancora bisogno di essere studiata, pure merita già di fermare l'attenzione dei fisici. Sembra che essa si appoggi ad un giusto principio, quello cioè che le azioni elettriche si manifestano soltanto per l'intermediario di particelle materiali; essa tende ad operare un notevole avvicinamento tra le forze elettriche e le altre forze della natura. Finalmente dalle esperienze di Faraday risulta già un fatto importante per la scienza, quale si è quello della polarizzazione molecolare nei corpi isolanti, modo probabile di propagazione dell'elettricità dei corpi egualmente conduttori”.

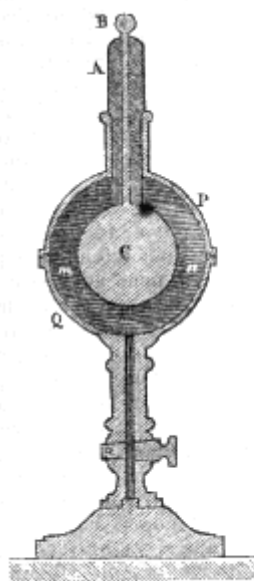


Fig. 410.



Fig. 411.

Ciò posto, si hanno due apparati simili a quello da noi descritto, identici fra loro, ed ambedue non contenenti dapprima nello spazio *mn* che aria; fatti comunicare gli emisferi PQ col suolo, si pone la palla B di uno degli apparati in comunicazione con una sorgente elettrica. La sfera C si carica allora come l'armatura interna della bottiglia di Leyda, servendo lo strato d'aria *mn* di corpo isolatore che separa le due armature. Una volta caricato l'apparecchio, si misura la tensione dell'elettricità rimasta libera sulla sfera C, toccando la palla B con un piano di prova, e portandolo nella bilancia di Coulomb. Nella sua esperienza, Faraday ottenne in questo modo una torsione di  $250^\circ$  che rappresentava la tensione sulla sfera C. Ponendo infine la palla B dell'apparecchio così caricato in comunicazione colla palla B del secondo apparato non ancora carico, si trova col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione, che la tensione sulle due sfere C è sensibilmente 125, vale a dire che l'elettricità si è egualmente distribuita nei due apparati; ciò che si poteva prevedere anche dapprima, poichè sono ambedue identici ed ambedue contengono solo aria nell'intervallo *mn*.

Eseguita questa prima esperienza, la si ripete, ma riempiendo preventivamente l'intervallo *mn* nel secondo apparato della sostanza di cui si vuol studiare il potere induttore, poniamo di gomma-lacca. Dopo, caricato l'altro apparato, quello cioè in cui l'intervallo *mn* è pieno di aria, si misura la tensione sulla palla C; supponiamo che sia 290, numero trovato da Faraday. Ora, se attualmente si fa comunicare la palla B dell'apparato carico colla palla B dell'apparato in cui evvi la gomma-lacca, non si trova più, come sopra che ciascun apparato possiede la metà di 290, ossia 145. Infatti, l'apparato ad aria, segna solo una tensione di 114, e quello a gomma-lacca una tensione di 113. L'apparato ad aria, che aveva 290 e non ne ha più che 114, ha dunque perduto 176; per conseguenza, si dovrebbe trovare, sull'apparato a gomma-lacca, 176 invece di 113. Non trovandosene che 113, ciò dimostra che è stata neutralizzata una maggior quantità di elettricità attraverso lo strato di gomma-lacca, che non attraverso lo strato d'aria del medesimo spessore nella prima esperienza; da questo si conchiude che il potere induttore della gomma-lacca è maggiore di quello dell'aria.

Operando come sopra, si trova che rappresentando con 1 il potere induttore dell'aria, i poteri delle sostanze seguenti sono:

Aria	1,00
Flint	1,76
Resina	1,77
Pece	1,80
Cera gialla	1,86
Vetro	1,90
Gomma lacca	2,00

Riguardo ai gas, Faraday ha trovato che essi hanno tutti sensibilmente il medesimo potere induttore, e che questo potere non è modificato nè dalla temperatura, nè dalla pressione del gas.

Faraday, attesa la capacità induttrice che posseggono i corpi isolanti, diede loro il nome di *dielettrici*, per opposizione ai corpi conduttori che non fruiscono della stessa proprietà. Lo stesso fisico, avendo fatto studi profondi sulla parte che hanno i corpi dielettrici nell'induzione, giunse a questi due risultati:

1.° *Che non avvii induzione attraverso ai corpi conduttori quando questi sono in comunicazione col suolo.*

2.° *Che l'induzione di un corpo sopra un altro può esercitarsi in linea curva, quando fra i due corpi se ne trovi interposto uno dielettrico.*

Questi principii non sono ammessi da tutti i fisici, ed inoltre bisogna riconoscere che le esperienze da cui Faraday li dedusse ponno ricevere una spiegazione diversa da quella data da questo fisico.

Matteucci, che ha studiato anch'egli con diligenza l'induzione dei corpi elettrizzati sopra i corpi cattivi conduttori, giunse recentemente a mettere fuor di dubbio la polarizzazione elettrica molecolare; egli ha provato, inoltre, che il potere isolante di una sostanza è tanto più grande quanto la sua polarizzazione molecolare è più debole.

Risulta dunque dai lavori di Faraday e Matteucci che i corpi cattivi conduttori possono trasmettere lentamente l'elettricità non solo per la loro superficie, ma anche per la loro massa. Quando, per es., si lascia per qualche tempo un bastone di resina a contatto di una macchina elettrica carica, rimarcasi che esso è elettrizzato positivamente su di una estensione più o meno grande. Strofinandolo allora con della lana, esso si elettrizza negativamente, indi poco a poco passa allo stato neutro, e finalmente ricompare l'elettricità positiva, il qual fenomeno risulta da ciò che avendo l'elettricità della macchina polarizzata le molecole sino ad una certa profondità, queste reagendo, in seguito, sulla superficie, la riconducono dapprima allo stato neutro, poscia allo stato positivo.

**589. Comunicazione dell'elettricità a distanza.** - Nell'esperienza rappresentata dalla figura 409, le elettricità contrarie del conduttore *m* e del cilindro isolato, tendono a riunirsi, e non sono mantenute alla superficie di questi due corpi che dalla resistenza dell'aria, ma se la resistenza diminuisce, o la tensione aumenta, la forza attrattiva delle due elettricità vince l'ostacolo che le separa, ed allora si ricompongono attraverso l'aria producendo una scintilla più o meno viva, accompagnata da un rumore secco. Essendo così l'elettricità negativa del cilindro neutralizzata dall'elettricità positiva che gli cedette la macchina, sul primo rimane soltanto elettricità positiva che esso conserva, benchè cessi l'influenza.

Lo stesso fenomeno ha luogo allorchè si presenta il dito ad un corpo elettrizzato. Quest'ultimo decompone per influenza l'elettricità naturale della mano, attrae con scintilla il fluido contrario e respinge nel suolo il fluido del medesimo nome.

Quanto alla distanza dell'esplosione, essa varia secondo la tensione del fluido elettrico, la forma dei corpi, la loro forza conduttrice, e la maggiore o minor resistenza dei mezzi che li circondano.

Tutto ciò che dicemmo si applica all'elettrizzazione per influenza dei corpi buoni conduttori: quelli che sono cattivi conduttori si elettrizzano difficilmente per influenza, ma una volta elettrizzati, lo stato elettrico dura moltissimo tempo dopo cessata la causa che lo produsse; ciò che si spiega per la loro polarizzazione molecolare (553).

**590. Movimenti dei corpi elettrizzati.** - La teoria dell'elettrizzazione per influenza dà la spiegazione dei movimenti di attrazione e di ripulsione reciproca che presentano i corpi elettrizzati.

Infatti, dato un corpo fisso *M* (fig. 412), che noi supporremo elettrizzato positivamente, ed un corpo mobile *N*, posto ad una piccola distanza dal primo, si possono considerare tre casi.

1.° *Che il corpo mobile sia allo stato naturale e conduttore.* - In questo caso, il corpo *M*, agendo per influenza sul fluido neutro del corpo *N*, attrae il fluido negativo e respinge il fluido positivo, di

modo che il massimo di tensione dei due fluidi ha luogo rispettivamente ai punti *a* e *b*. Ora, esercitandosi le attrazioni e le ripulsioni elettriche in ragione inversa dei quadrati delle distanze, l'attrazione fra i due punti *a* e *c* supera la ripulsione tra i due punti *b* e *c*, ed il corpo mobile si accosta al corpo fisso per effetto di una risultante uguale all'eccesso della forza attrattiva sulla forza ripulsiva.

2.° *Che il corpo mobile sia elettrizzato e conduttore.* - Se il corpo mobile è carico di elettricità contraria a quella del corpo M, avvi ancora attrazione; se è carico della medesima elettricità, vi è ripulsione per una certa distanza, ma più vicino vi può essere attrazione senza che vi sia stato contatto. Per ispiegare questa anomalia, basta osservare che il corpo mobile, oltre il fluido libero che contiene, contiene altresì del fluido naturale, e che venendo questo decomposto per l'influenza del fluido positivo del corpo M, l'emisfero *b* riceve una nuova quantità di fluido positivo, intanto che l'emisfero *a* si carica di fluido negativo; avvi adunque, come nel caso precedente, attrazione e ripulsione. La seconda forza supera da principio la prima, perchè la quantità di fluido positivo sul corpo N è maggiore della quantità di fluido negativo; ma, diminuendo l'intervallo *ac*, la forza attrattiva cresce più presto che la forza ripulsiva, e può finire col superar quella.

3.° *Che il corpo mobile sia cattivo conduttore.* - Se il corpo mobile è cattivo conduttore ed elettrizzato viene respinto od attratto secondochè è o no carico della stessa elettricità del corpo fisso. Se è allo stato naturale, siccome una forte sorgente elettrica la cui azione sia prolungata, può sempre, anche nei corpi peggiori conduttori, decomporre più o meno il fluido naturale, quest'ultimo viene infatti decomposto sotto l'influenza del corpo M, purchè quest'ultimo sia sufficientemente elettrizzato, ed allora vi è attrazione.

**591. Elettroscopio a foglie d'oro.** - Si chiamano *elettroscopii* o *elettrometri* alcuni piccoli apparati che servono a riconoscere se un corpo sia elettrizzato e qual sia la natura della sua elettricità. Il pendolino elettrico già descritto (569) è un elettroscopio. Di tali apparati se ne immaginarono vari; noi per ora non descriveremo che l'elettroscopio a foglie d'oro, ma più tardi faremo conoscere un altro apparecchio di questo genere assai più sensibile, quale è l'*elettrometro condensatore* di Volta (fig. (312).



Fig. 413 (a. - 21 .

L'*elettrometro a foglie d'oro* o *elettrometro di Benet* consiste in una boccia B di vetro (fig. 413), giacente su di un piatto di ottone, ed il cui collo è chiuso da un turacciolo ricoperto di una vernice isolante, della quale è pur ricoperta tutta la parte superiore della boccia. Nel turacciolo passa un'astina di ottone, terminata da una palla C del medesimo metallo ed internamente da due piccole foglie d'oro battute *n* assai leggere.

Allorchè si accosta a quest'apparato un corpo carico di una elettricità qualunque, per es., negativa, come lo indica il disegno, quest'elettricità agendo per influenza sul fluido neutro della palla e dell'astina, il fluido positivo viene attratto dalla palla, ed il fluido negativo respinto verso le foglie d'oro. In tal modo trovandosi queste cariche della medesima elettricità si respingono, ed è ciò appunto che dimostra che il corpo A presentato all'apparato è elettrizzato.

Se si ignora la specie di elettricità di cui è carico il corpo presentato all'elettrometro, è facile il riconoscerla. Per ciò fare, intanto che l'istrumento è sotto l'influenza del corpo A si tocca la palla C col dito. Allora l'elettricità dello stesso nome di quella di cui è carico il corpo A viene respinta nel suolo, e tanto la palla che l'astina rimangono cariche dell'elettricità contraria a quella del corpo (587). Le foglie d'oro ricadono dapprima; ma ritirando il dito, ed in seguito il corpo A, esse divergono di nuovo. Per constatare allora la specie di elettricità che conserva l'apparato, si avvicina lentamente alla palla C un bastone di vetro strofinato con lana; se la divergenza delle foglie d'oro

aumenta, ciò indica che la elettricità dell'elettroscopio è respinta alla parte inferiore, dal che si conchiude che essa è della medesima specie di quella del vetro, ossia positiva. Se la divergenza diminuisce, ciò dipende dall'essere l'elettricità dell'apparato attratta da quella del vetro; sarà adunque di nome contrario, ossia negativo.

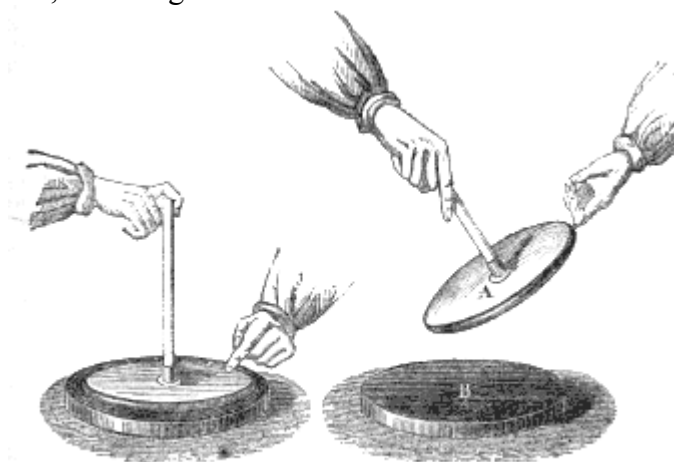


Fig. 414.

Fig. 415.

**592. Elettroforo.** -. Si chiamano *macchine elettriche* quegli apparati che servono ad ottenere un maggiore o minore sviluppo di elettricità statica. La macchina elettrica più semplice è l'*elettroforo*. Questo apparato, inventato da Volta, si compone di un disco di resina B (fig. 415), applicato ad un piatto di legno, e di un disco pure di legno A, ricoperto di una foglia di stagno e munito di un manico isolante di vetro. Per ottenere l'elettricità col mezzo di quest'apparato si comincia dal disseccare il piatto di resina ed il disco di legno riscaldandoli dolcemente, quindi si batte fortemente la resina con una pelle di gatto, che la elettrizza negativamente. Appoggiando allora il disco di legno ricoperto di stagno sulla resina (fig. 414), questa che è conduttore assai cattivo, conserva la sua elettricità negativa, e per la sua influenza sul disco attrae il fluido positivo verso la faccia che con essa è a contatto; intanto che respinge sull'altra il fluido negativo. Toccando adunque la foglia di stagno col dito, il fluido negativo viene sottratto, ed il disco resta elettrizzato positivamente. Infatti, se con una mano lo si alza pel manico di vetro e gli si presenta l'altra mano (fig. 415), scocca una viva scintilla dovuta alla ricomposizione del fluido positivo del disco col fluido negativo della mano.

In un'aria secca, il piatto di resina dell'elettroforo, una volta elettrizzato, può conservare la propria elettricità per parecchi mesi, e durante tutto questo tempo si ponno ottenere tante scintille quante se ne vogliono senza battere di nuovo la resina colla pelle di gatto, basta che si abbia la cura ciascuna volta di toccare prima il disco ricoperto di stagno, intanto che è in contatto colla resina, indi una seconda volta, quando lo si tiene pel manico di vetro.

L'elettroforo serve in chimica per far detonare nell'eudiometro alcune mescolanze gaseose mediante la scintilla elettrica (620).

**593. Macchina elettrica di Ramsden.** - La prima macchina elettrica è dovuta ad Ottone de Guéricke, quello stesso che inventò la macchina pneumatica. Essa consisteva in una sfera di solfo fissa ad un asse che si faceva ruotare con una mano, mentre l'altra appoggiata alla sfera serviva di strofinatore. Ben presto alla sfera di solfo si sostituì un cilindro di resina, cui Hawksbee sostituì un cilindro di vetro; ma la mano serviva sempre di strofinatore. Verso il 1740, Winkler, fisico tedesco, pel primo, fece uso come strofinatore di un cuscino di crine ricoperto di seta. Alla stessa epoca, Bose, professore nel ducato di Wurtemberg, raccolse sopra un tubo di latta isolato l'elettricità sviluppata dallo strofinamento. Finalmente, nel 1766, Ramsden, a Londra sostituì al cilindro di vetro un piatto circolare di vetro, strofinato da quattro cuscini. Da quell'epoca la macchina elettrica prese la forma che le si dà generalmente anche oggi.

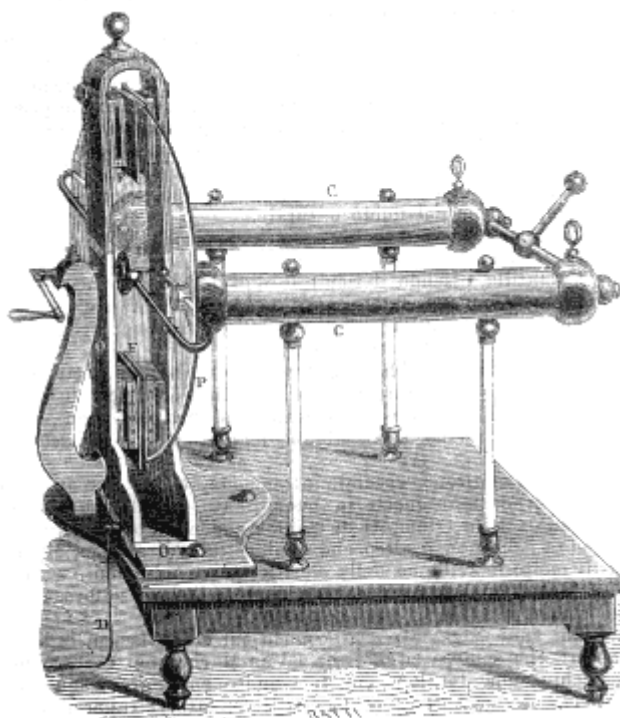


Fig. 416 (R. = 100,70).

Fra due sostegni di legno (fig. 416) avvi un disco P, di vetro, fisso pel suo centro ad un asse che si fa ruotare mediante una manovella.

Questo disco è compresso fra quattro *strofinatori* o *cuscinetti* F, di cuoio o di seta, posti a seconda del suo diametro verticale. Nella direzione del suo diametro orizzontale, vi sono due tubi di ottone, ricurvi a ferro di cavallo, detti *pettini*, perché armati di punte situate dinanzi alle due facce del disco. Questi pettini sono fissi a tubi più grossi C che si dicono i *conduttori*. Questi ultimi sono isolati su quattro piedi di vetro, e comunicano fra loro per mezzo d'un tubo di diametro più piccolo r.

Ciò posto, la teoria della macchina elettrica, fondata sulla elettrizzazione per istrofinamento e per influenza, è semplicissima. Nel suo movimento di rotazione, il disco di vetro si elettrizza positivamente, ed i cuscini negativamente. Ora, comunicando questi col suolo per mezzo dei sostegni di legno ai quali sono fissati, perdono immediatamente la loro elettricità a misura che si produce. L'elettricità positiva del disco agisce per influenza sui conduttori ed attrae il fluido negativo che, sfuggendo per le punte, viene a combinarsi colla elettricità positiva del vetro e la neutralizza. I conduttori, che perdono così la loro elettricità negativa, rimangono adunque elettrizzati positivamente. Per conseguenza, nella macchina elettrica, il disco nulla cede ai conduttori: esso, al contrario, non fa che sottrarre il fluido negativo proveniente dalla decomposizione del fluido naturale.

Una volta caricata la macchina, se le si accosta la mano, se ne trae una forte scintilla, che rinnova ogni qual volta si faccia ruotare il disco; perciò la scintilla, essendo il risultato della combinazione del fluido negativo della mano col fluido positivo della macchina, questa tende sempre a ciascuna scintilla a ritornare allo stato neutro; ma tosto l'influenza del disco la elettrizza di nuovo.

**594. Riguardi che si debbono avere colle macchine elettriche, cuscinetti di Steiner.** - Per dare ad una macchina elettrica tutta l'attività di cui è suscettibile, bisogna disseccare con cura i sostegni, il disco ed i cuscinetti. Per far ciò, si riscaldano leggermente, e si asciugano con un panno caldo.

I cuscinetti meritano speciale attenzione, tanto per la loro posizione, quanto per mantenerli in buono stato. Quelli che più si usano sono di pelle sottile, riempiti di crini e coperti d'*oro musivo*, materia polverulenta, che non è altro che deutosolfuro di stagno, il quale aumenta di molto lo

sviluppo della elettricità, probabilmente a cagione di una decomposizione chimica, come lo indica l'odore solforoso che spandono i cuscini durante lo strofinamento.

Da pochi anni, Steiner, a Francoforte sul Meno, rimise in uso antichi strofinatori, che sembra si debbano a Van-Marum, nel 1788, e che danno alle macchine una tensione elettrica molto superiore a quella che si ottiene coi cuscinetti di crine. Questi strofinatori, rappresentati nella figura 404, consistono in una piastra di legno ben liscia, compressa sul disco da una doppia molla o da due viti di pressione, il che è preferibile. Questa piastra di legno è ricoperta in tutta la sua estensione da quattro pezzi di stoffa di lana grossa come quella delle coperte da letto. Sul primo pezzo di stoffa è applicata una foglia di stagno che si ripiega al disotto per passare tra il primo pezzo di lana ed il secondo, indi fra il secondo ed il terzo, e così di seguito finchè arriva alla tavola, ove è posta in comunicazione con un foglio di carta indorata, applicato dietro alla stessa e comunicante col suolo per mezzo di foglie di stagno e di catene metalliche fisse ai sostegni che portano i cuscini.

Ciò posto, il tutto è ricoperto d'una stoffa di cotone attaccata al contorno della tavola. Questa stoffa di cotone, leggermente unta di sego vien ricoperta con un'amalgama di stagno, zinco, bismuto e mercurio, amalgama di cui Steiner non fece conoscere le proporzioni. Sulla stoffa di cotone è in seguito applicato un pezzo di forte taffetà unito al cotone all'alto ed al basso, e lateralmente da una parte soltanto. Dall'altra si prolunga, nel senso della rotazione del disco, per circa 6 centimetri, in modo da ricoprire in parte il disco stesso. Finalmente sul taffetà, avvi un intonaco di sego, poi uno strato dell'amalgama stessa che trovasi applicata sul cotone. Lo strato d'amalgama applicato al taffetà è quello che strofina il disco e lo elettrizza positivamente, mentre l'amalgama, elettrizzandosi negativamente, trasmette la sua elettricità all'amalgama del cotone, indi alla foglia di stagno, e da questa al suolo.

Steiner osservò che il colore del taffetà non è senza influenza sullo svolgimento dell'elettricità. Il taffetà giallo è quello che fornisce maggior quantità di elettricità; poi il verde, il turchino, il rosso e il bianco, indi il bruno e il violaceo, e finalmente il nero che non ne fornisce punto.

Coi cuscinetti or ora descritti si ottiene, specialmente in tempo asciutto, uno sviluppo di elettricità considerevole. Con macchine aventi disco del diametro di 80 centimetri, forti scintille partono continuamente dai cuscini, e vanno fino ai pettini seguendo il lembo del disco A; ciò che probabilmente si deve allo spigolo pronunciato di questo e all'amalgama che vi resta aderente. Il solo inconveniente degli strofinatori che abbiamo descritti, si è che il taffetà si loda in breve tempo, ed allora bisogna cambiarlo, altrimenti l'effetto è indebolito di molto.

Affine d'evitare la dispersione dell'elettricità del piatto nell'aria, qualche volta si usa fissare, ai sostegni di legno, due quarti di circolo di taffetà gommato, che circondano il vetro senza toccarlo, l'uno da *a* in P, e l'altro dalla parte opposta. Questi taffetà non sono rappresentati nel nostro disegno.

La macchina elettrica di Ramsden, disposta come rappresenta la figura 416, dà necessariamente dell'elettricità positiva; si può però con essa ottenere anche dell'elettricità negativa. Per ciò si isolano i quattro piedi della tavola mediante grossi sostegni di vetro o di resina, quindi si fa comunicare il conduttore C col suolo. Facendo ruotare in seguito il disco, l'elettricità positiva dei conduttori si disperde nel terreno, intanto che l'elettricità negativa dei cuscini si spande nei sostegni che portano il disco e nella tavola. Avvicinando allora la mano ai sostegni, e principalmente alle liste di stagno O, si risente una puntura più viva di quella che dà la scintilla ordinaria dei conduttori.

**595. Tensione massima; elettrometro a quadrante.** - Anche osservando tutte le precauzioni che abbiamo fatto conoscere, la tensione della macchina elettrica ha un limite che non si può oltrepassare, qualunque siasi la velocità di rotazione del disco, ed il tempo pel quale lo si faccia ruotare. Questo limite, che ha luogo allorchando la somma delle dispersioni è uguale alla produzione, proviene da tre cause che sono: 1.<sup>a</sup> la perdita che avviene a motivo dell'aria e del vapore acqueo in essa contenuto, la quale è proporzionale alla tensione (585); 2.<sup>a</sup> la perdita nei sostegni; 3.<sup>a</sup> la ricomposizione delle due elettricità dei cuscini e del vetro.

Abbiamo già considerate le prime due cause di dispersione (585); per rendersi conto della terza, basta osservare che la tensione elettrica, crescendo colla velocità di rotazione, giunge un momento in cui essa supera la resistenza che presenta la inconducibilità del vetro. Da questo istante una

porzione delle due elettricità sviluppate sul vetro e sui cuscini si ricompone, e la tensione diviene costante. Per conseguenza essa finisce ad essere sempre indipendente dalla velocità di rotazione.

La tensione dell'elettricità sulle macchine elettriche si misura coll'*elettrometro a quadrante* o *elettrometro di Henley*. Chiamasi così un piccolo pendolo elettrico consistente in un'astina di legno, alla quale è fissato un quadrante d'avorio *c* (fig 417). Al centro di questo quadrante avvi un piccolo asse, attorno al quale ruota un ago di balena terminato da una palla di sambuco *a*. Trovandosi lo strumento attaccato a vite all'uno dei conduttori, come mostra il disegno, di mano in mano che la macchina si carica, l'ago diverge, e cessa di ascendere quando il massimo di tensione è raggiunto. Se allora si cessa di far ruotare il disco, l'ago ricade rapidamente nell'aria umida: ma nell'aria secca non ricade che lentamente, d'onde si deduce che in questo caso la dispersione è debole.

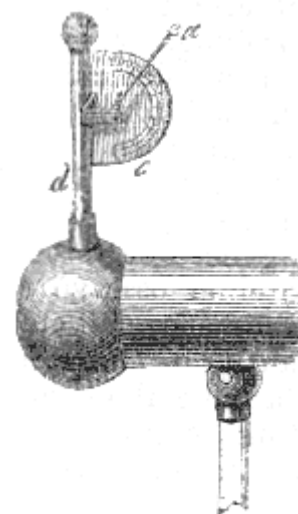


Fig. 417.

**596. Conduttori secondari.** - Diconsi *conduttori secondari* alcuni grossi cilindri di ottone, di latta o di legno ricoperto di stagno, che si isolano mediante piedi di vetro, o sospingendoli a cordoni di seta, e che in seguito si mettono in comunicazione col conduttore C della macchina elettrica (fig. 416). Trovandosi così aumentata la superficie sulla quale si accumula l'elettricità, la tensione non cresce, ma la quantità di elettricità raccolta aumenta, a tensione uguale, proporzionalmente alla superficie. Infatti, se si scarica allora la macchina facendola comunicare col suolo, se ne traggono scintille assai più intense e che producono viva luce nell'aria.

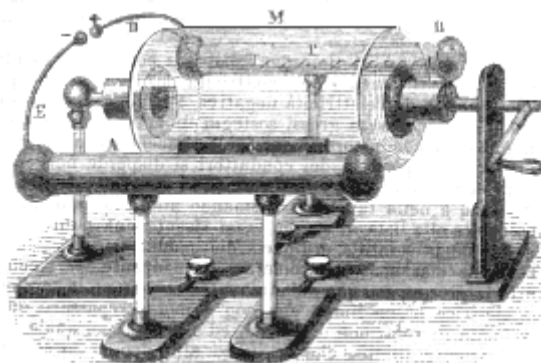


Fig. 418 (a. = 70°).

**597. Macchina elettrica di Nairne.** - Colla macchina elettrica da noi descritta non si può raccogliere che l'elettricità positiva. Nairne, in Inghilterra, allo scopo di elettrizzare gli ammalati, immaginò una macchina elettrica che porta il suo nome, ed a mezzo della quale si raccolgono simultaneamente le due elettricità. Questa macchina, rappresentata dalla figura 418, si compone di due conduttori isolati, che non comunicano fra loro. L'uno porta un cuscino C, di pelle riempito di crini, e l'altro un pettine P, munito di varie punte. Fra questi due conduttori vi è un cilindro di vetro M che ruota mediante una manovella, e che da una parte tocca il cuscinetto e dall'altra passa assai vicino alle punte.

Ciò posto, allorchè si fa ruotare il cilindro di vetro, il cuscino C, e il conduttore A si elettrizzano negativamente, ed il vetro positivamente. Ora questo, rasentando le punte del conduttore B, decompone il suo fluido naturale e gli sottrae il fluido negativo, dal che risulta che questo conduttore rimane elettrizzato positivamente. Due aste ricurve D ed E terminate da due palle di ottone sono situate abbastanza vicine perchè si abbia costantemente una serie di scintille provenienti dalla ricomposizione delle due elettricità dei conduttori.

**598. Macchina di Van-Marum.** - Van-Marum costruì una macchina elettrica, colla quale si può ottenere a piacere l'una o l'altra elettricità.



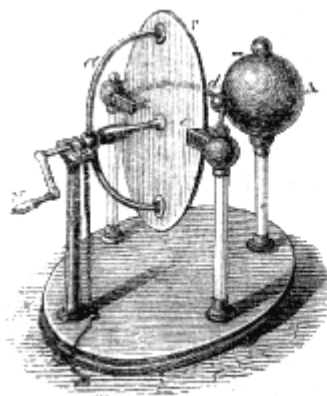


Fig. 419.

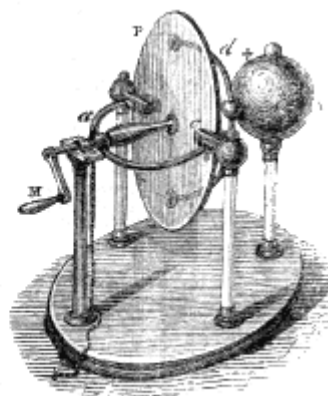


Fig. 420.

Questa macchina, rappresentata dalle figure 419 e 420, si compone di una ruota di vetro P, che gira fra quattro cuscini e, fissi a due palle di ottone isolate mediante piedi di vetro. Sul davanti della ruota evvi un arco di ottone *a*, a due braccia, sostenuto dal piede che porta l'asse della ruota stessa, e che può esser posto verticalmente (fig. 419) od orizzontalmente (fig. 420). Finalmente, dall'altra parte della ruota evvi una grossa sfera di ottone A, isolata sopra un sostegno di vetro, ed alla quale è unito un arco *d*, simile al primo, e che, come quello, può essere diretto orizzontalmente (fig. 419) o verticalmente (fig. 420).

Ciò posto, allorchè i due archi *a* e *d* son disposti come lo mostra la figura 419, i due rami dell'arco *d* toccano i cuscini, ma quelli dell'arco *a* si trovano solamente assai vicini alla ruota di vetro, senza toccarla. Per conseguenza, se, mediante la manovella M si fa girare la ruota, i cuscini, che si elettrizzano negativamente, cedono la loro elettricità all'arco *d* ed alla sfera A, che trovasi così carica di elettricità negativa. Quanto all'elettricità positiva del disco P, agisce per influenza sull'arco *a*, e sottrae al suolo il fluido negativo che la riconduce allo stato neutro.

Al contrario, se i due rami *a* e *d* sono disposti come nella figura 420, i cuscini comunicando allora col suolo mediante l'arco *a*, perdono tutta la loro elettricità, intanto che la ruota che è elettrizzata positivamente, agendo per influenza sull'arco *d* e sulla palla A, ne sottrae il fluido negativo, di modo che in questo caso la sfera A resta elettrizzata positivamente.

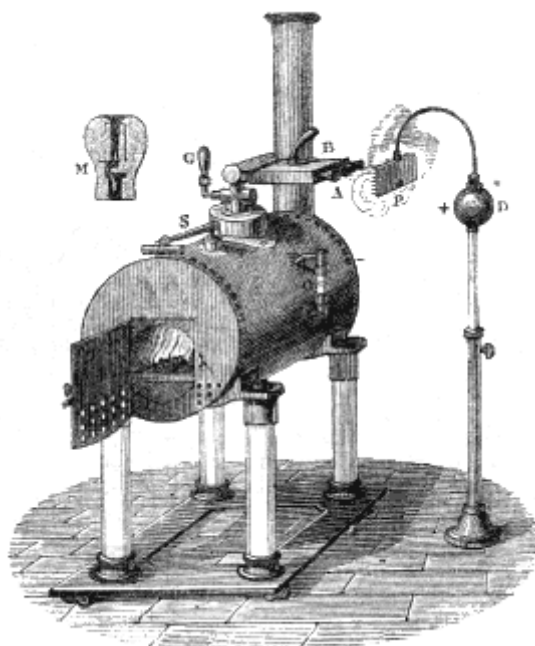


Fig. 421 (n. = 2m.).

**599. Macchina idro-elettrica d'Armstrong.** - La macchina *idro-elettrica* è una macchina nella quale lo sviluppo dell'elettricità è dovuto allo sfuggire del vapore acqueo da piccoli orifizi. Questa macchina fu inventata da Armstrong, fisico inglese, dopo la scoperta di un nuovo fatto osservato,

nel 1840, presso Newcastle, sulla caldaia di una macchina a vapore. Essendosi aperta la valvola di sicurezza, il macchinista che aveva una mano vicina al getto del vapore, allungando l'altra per afferrare la leva della valvola, ricevette una forte scossa, e vide una viva scintilla tra la leva e la propria mano.

Informato di questo fenomeno, Armstrong lo riprodusse su di un'altra caldaia e riconobbe che il vapore che sfuggiva era carico di elettricità positiva. sperimentando su di una locomotiva che egli aveva isolata, osservò che essa si elettrizzava negativamente allorchè si sottraeva, mediante punte metalliche, al vapor d'acqua che sfuggiva nell'atmosfera la sua elettricità positiva, ed ottenne così delle fortissime scintille. Fu allora ch'ei fece costruire la macchina rappresentata dalla figura 421.

È una caldaia di latta, a focolare interno, isolata su quattro piedi di vetro. La sua lunghezza è circa di 1<sup>m</sup>,50, ed il suo diametro di 0<sup>m</sup>,60. Un tubo di cristallo O, posto verticalmente sulla parte destra della caldaia e comunicante con essa per le due estremità, indica il livello dell'acqua nell'interno. Un piccolo manometro ad aria compressa, che non è rappresentato nel disegno, indica la pressione. Al disopra della caldaia evvi un robinetto C, che si apre allorchè il vapore ha acquistata sufficiente tensione. Su questo robinetto è situato un serbatoio B, nel quale circolano i tubi da cui sfugge il vapore. Questi tubi sono terminati da tubi di aggiunta A di forma particolare, rappresentati più in grande dalla sezione M posta a sinistra del disegno. L'interno di questi tubi d'aggiunta è di legno duro, e ripiegato come mostra la freccia, ciò che aumenta lo strofinamento. Infine, la cassetta B è riempita d'acqua onde raffreddare i tubi di efflusso. Il vapore, prima di giungere ai tubi d'aggiunta, prova così un principio di condensazione e sorte mescolato a goccioline d'acqua; condizione necessaria, perchè, secondo le esperienze di Faraday, non si sviluppa elettricità pel passaggio del vapore secco.

Dapprima erasi attribuito lo sviluppo dell'elettricità nella macchina idro-elettrica alla condensazione del vapore; ma Faraday, che fece numerose esperienze su questa macchina, trovò che lo sviluppo dell'elettricità è dovuto unicamente allo strofinamento dei globuli d'acqua contro le pareti dei tubi di sortita. Infatti, restando ferme le altre condizioni, se si cangiano i piccoli cilindri di legno che muniscono l'interno dei tubi A, la specie di elettricità che prende la caldaia è cangiata; con tubi d'avorio non si ottiene alcuna elettricità. Lo stesso avviene se si introduce nella caldaia una materia grassa qualunque, ed inoltre i tubi adoperati in questo caso più non servono. Tuttavia, non vi è sviluppo di elettricità che allorquando l'acqua è pura, ed in tal caso la caldaia è elettrizzata negativamente, ed il vapore positivamente. L'introduzione d'una soluzione salina o di un acido fa tosto cessare tutto lo sviluppo d'elettricità. Faraday osservò inoltre alcuni effetti consimili con una corrente d'aria umida; ma coll'aria secca non si ottiene alcun effetto.

## ESPERIENZE DIVERSE COLLA MACCHINA ELETTRICA

**600. Scintilla, sgabello elettrico.** - Uno dei primi fenomeni che si osservano sperimentando con una macchina elettrica, è la viva scintilla che si trae dai conduttori avvicinandovi la mano. Già vedemmo (589) che la causa di questo fenomeno è l'azione per influenza che esercita il fluido positivo della macchina sul fluido neutro della mano. Essendo questo decomposto, l'attrazione tra il fluido positivo della macchina ed il fluido negativo della mano supera la resistenza dell'aria, ed allora i due fluidi si ricompongono con rumore e luce; la scintilla appare viva, istantanea, a zig-zag come il lampo che precede il fragore del fulmine. Questa scintilla è accompagnata da una puntura assai viva, principalmente con macchine possenti.

La scintilla elettrica si presenta sotto un aspetto rimarchevole e che fa stupire quelli che veggono questa esperienza per la prima volta, allorchè la si fa sortire dal corpo umano. Per ciò fare, si pone la persona che si vuol elettrizzare sopra uno sgabello a piedi di vetro, che chiamasi *sgabello elettrico*; questa persona, così isolata, pone una mano sull'uno dei conduttori della macchina elettrica. Siccome il corpo umano è buon conduttore dell'elettricità, a misura che la macchina si carica, il fluido si distribuisce sul corpo della persona isolata nello stesso tempo che sui conduttori;

di modo che se si tocca la mano, il corpo o gli abiti di questa persona, se ne traggono scintille come dalla macchina stessa.

Fintanto che non si accosta la mano alla persona isolata, essa non prova alcuna commozione, per quanto fortemente sia elettrizzata; solo i suoi capelli si rizzano e si dirigono verso i corpi che lor vengono presentati, ed essa risente come un leggier soffio sulle mani e sulla persona.

Si può anche elettrizzare una persona isolata sullo sgabello a piedi di vetro battendola con una pelle di gatto; essa attrae allora il pendolino elettrico, e dà scintille accostandovi la mano. Se la persona che tiene la pelle di gatto sale essa pure sopra un secondo sgabello isolante, i due sperimentatori restano elettrizzati, l'uno positivamente, l'altro negativamente.

Fa Dufay, fisico francese, che pel primo, nel 1734, trasse una scintilla dal corpo umano.

**601. Scampanio elettrico, apparato per la grandine.** - Lo scampanio elettrico è un piccolo apparato che si compone di tre campanelli sospesi ad una verga orizzontale comunicante colla macchina elettrica (fig. 422).

I campanelli AB sono attaccati a catene metalliche che stabiliscono la comunicazione colla verga, ed il campanello di mezzo è sospeso ad un filo di seta che lo isola dalla macchina, ma comunica col suolo mediante una catena metallica. Finalmente fra il campanello di mezzo e gli altri due, vi sono due palle di ottone sospese a fili di seta. Ciò posto, allorquando si carica la macchina, i campanelli A e B si elettrizzano

positivamente, attraggono le palle di ottone e le respingono dopo avvenuto il contatto. Ora trovandosi queste elettrizzate positivamente, si portano verso il campanello C, che, sebbene comunicante col suolo, è carico di elettricità negativa per effetto dell'influenza degli altri due. Subito dopo il contatto, le palle sono adunque respinte verso i campanelli A e B, ed eseguono così un rapido movimento oscillatorio con percosse successive che fanno risuonare i tre campanelli per tutto il tempo che la macchina è carica.

Per ispiegare come la gragnuola possa sovente pervenire a grossezza considerevolissima prima di cadere, Volta immaginò un apparato fondato, come il precedente, sulle attrazioni e ripulsioni elettriche. Questo apparato consiste in una campana di vetro collocata sopra un piatto di rame, nel quale si porgono alcune piccole palle di midollo di sambuco (fig. 423). Nel collo della campana passa, a dolce sfregamento, un'asta di ottone, che alla parte inferiore termina con una palla dello stesso metallo, ed alla parte superiore comunica colla macchina elettrica. Appena che questa si carica, la palla che è nell'apparato si elettrizza, attrae le palle di sambuco, ed in seguito le respinge, di modo che esse si agitano con grande rapidità, andando dal piatto alla palla e dalla palla al piatto, cedendo a questo l'elettricità che prendono da quella. Fondandosi su questa esperienza Volta ammise, che allorquando la gragnuola si trova fra due nubi cariche di elettricità contraria, va successivamente dall'una all'altra e condensa alla sua superficie il vapore d'acqua che la circonda, il quale, congelandosi, le fa acquistare quel volume che si osserva talvolta; ma questa teoria, che non è sufficiente a render conto della grossezza della grandine, non è ammessa oggidì.

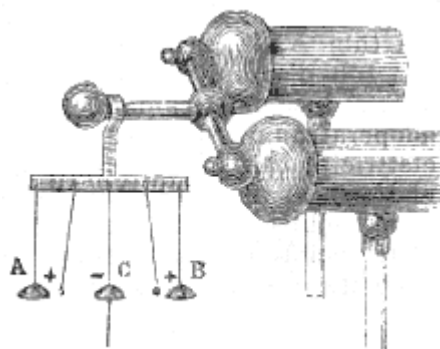


Fig. 422.

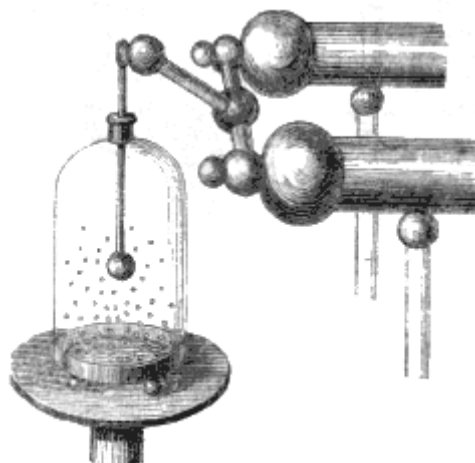


Fig. 423.

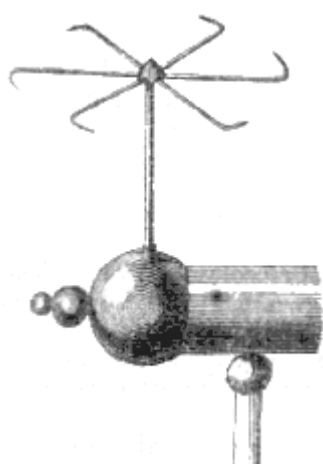


Fig. 424.

**602. Arganetto elettrico; insufflazione.** - Dicesi *arganetto elettrico* un piccolo apparato composto di cinque o sei raggi metallici ricurvi tutti nello stesso senso, terminati in punte, e fissi ad un cappelletto comune, mobile su di un perno (fig. 424). Posto quest'apparato sulla macchina elettrica, tosto che questa si carica, i raggi ed il cappello prendono un movimento di rotazione nella direzione opposta alle punte. Questo movimento non è già l'effetto di una reazione paragonabile a quella dell'arganetto idraulico (84), come lo ammisero parecchi fisici, ma è un effetto della ripulsione tra l'elettricità delle punte e quella che essa comunica all'aria. Il fluido elettrico accumulandosi verso le punte, sfugge nell'aria, e siccome questa allora trovasi caricata della stessa elettricità delle punte, le respinge nello stesso tempo che essa pure ne è respinta. Si riconosce infatti che l'arganetto elettrico non si pone in moto che nel vuoto, e se vi si accosta la mano intanto che gira nell'aria, si sente un legger soffio dovuto allo spostamento dell'aria elettrizzata.

Quando l'elettricità sfugge così da una punta, l'aria elettrizzata è respinta abbastanza fortemente per dare origine ad una corrente che non solo è sensibile alla mano, ma fa piegare, e con una macchina possente può anche spegnere la fiamma d'una candela. La figura 425 mostra come si dispone questa esperienza. Si ottiene lo stesso effetto anche ponendo la candela sull'uno dei conduttori e presentandovi colla mano una punta metallica (fig. 426). La corrente, in quest'ultimo caso, proviene dal fluido contrario che si sprigiona dalla punta per l'influenza della macchina.

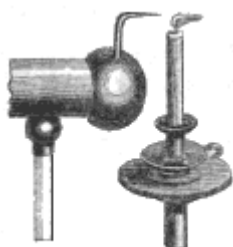


Fig. 425.

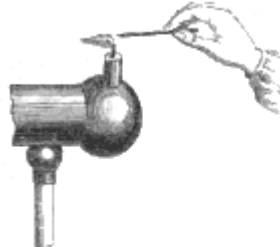


Fig. 426.

## CAPITOLO IV

# CONDENSAZIONE DELL'ELETTRICITÀ

**603. Condensatori, loro teoria.** - Si dà il nome generale di condensatori agli apparecchi che servono ad accumulare, su superficie relativamente piccole, delle quantità considerevoli di elettricità. Se ne costruiscono di diverse sorta, fondati tutti sul principio dell'elettrizzazione per influenza (587), e composti essenzialmente di due corpi conduttori separati da un corpo non conduttore. Noi descriveremo dapprima il *condensatore di Epino*.

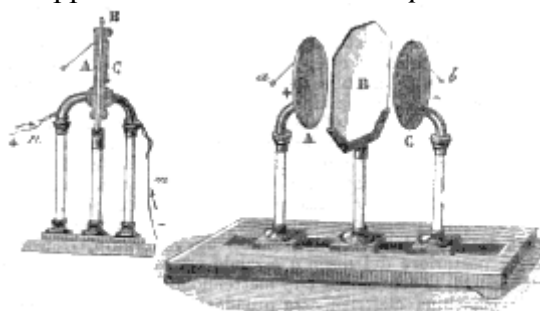


Fig. 427.

Fig. 428 (a. = 521).

Questo apparecchio è formato da due dischi circolari di rame A e C, e da una lastra di vetro B, che li separa (fig. 428). Questi dischi, muniti ciascuno di un pendolino elettrico *a* e *b*, sono isolati sopra piedi di vetro che possono scorrere in una scanalatura sopra una tavoletta di legno che porta tutto l'apparato. Si possono così avvicinare od allontanare i dischi a volontà.

Per accumulare le due elettricità sui dischi di rame, si pongono in contatto colla lastra di vetro, come vedesi nella figura 427; quindi, mediante fili metallici, si fa comunicare l'uno d'essi, A, per es., colla macchina elettrica, e l'altro col suolo. Il disco A si elettrizza allora positivamente, come la macchina e, se fosse solo, prenderebbe, a superficie uguale, la stessa quantità di elettricità, salvo l'influenza della forma; ma la presenza del disco C cangia completamente il fenomeno, ed è causa dell'accumulazione delle due elettricità. Infatti, il fluido positivo del disco A, agendo per influenza attraverso il vetro sul disco C, attrae il fluido negativo e respinge nel suolo il fluido positivo. Ora, il fluido negativo del disco C reagisce alla sua volta sul fluido positivo del disco A e lo neutralizza, ma soltanto in parte, atteso l'intervallo che li separa. La tensione elettrica, sul disco A, non fa dunque più equilibrio alla tensione della macchina, d'onde risulta che questa somministra al disco A una nuova quantità di fluido positivo, il quale agisce, come la prima volta, sul disco C, e così di seguito; di modo che si accumulano sui due dischi quantità considerevoli di elettricità contraria, sino però a un limite determinato, come vedremo qui sotto.

Caricato il condensatore, se interromponsi le comunicazioni col suolo e colla macchina elettrica, ritirando i fili metallici *m* ed *n* (fig. 427), rimarcasi che il solo pendolo A diverge, mentre il pendolo C resta verticale. La divergenza del primo pendolo si spiega per l'eccesso di elettricità del disco A. Per ispiegare la non ripulsione del pendolo C, si ammette in generale che l'elettricità negativa del disco C è interamente neutralizzata, a distanza, dall'elettricità positiva del disco A; ciò si esprime dicendo che, sul disco C, l'elettricità è *dissimulata* o *allo stato latente*. Non devesi però intendere con ciò che l'elettricità non abbia alcun che perduto delle sue proprietà ordinarie, ma soltanto che gli effetti di ogni fluido sono controbilanciati, a distanza, da quelli del fluido contrario.

Del resto, si incomincia ad abbandonare questa denominazione di *elettricità dissimulata*, di *elettricità latente*, perchè, infatti, la dissimulazione dell'elettricità è piuttosto apparente che reale, come vedrassi nella teoria seguente.

**604. Altra teoria dei condensatori.** - Consideriamo ancora il condensatore di Epino (fig. 428) e chiamiamo, sui due dischi, facce *anteriori* quelle che guardano la lastra di vetro B, e facce

*posteriori* quelle che sono ad essa opposte. Di più, supponiamo dapprima il disco C abbastanza lontano dal disco A per non riceverne alcuna influenza.

Ciò posto, se si fa comunicare il disco A colla macchina elettrica, esso prende una carica *maximum* che si distribuisce ugualmente sopra le due sue facce; ed il pendolo *a* diverge fortemente. Sopprimendo la comunicazione, nulla vien cangiato; ma se si avvicina lentamente il disco C, che noi supporremo dapprima isolato dal suolo, il suo fluido neutro essendo decomposto per l'influenza di A, l'elettricità negativa portasi sulla faccia anteriore e la positiva sulla faccia posteriore, e vedesi infatti divergere il pendolo *b*. Ora, l'elettricità negativa del disco C agendo alla sua volta per attrazione sull'elettricità positiva del disco A, il fluido di questo cessa di essere ugualmente distribuito sulle due sue facce e si accumula in gran parte su quella che guarda l'altro disco, e infatti il pendolo *a* incomincia ad abbassarsi.

Facendo ora comunicare col suolo il disco C, tutta la sua elettricità positiva disperdesi, e non contiene più che fluido negativo; ma nello stesso tempo producesi su questo disco una nuova decomposizione di fluido neutro, che somministra alla faccia anteriore una maggiore quantità di fluido negativo. Per conseguenza, l'elettricità positiva passa di nuovo dalla faccia posteriore del disco A sulla sua faccia anteriore, ciò che indica il pendolo A abbassandosi d'avvantaggio.

La faccia posteriore del disco *a* essendo per tal modo quasi ritornata allo stato neutro, si concepisce che mettendola di nuovo in comunicazione colla macchina elettrica, essa prenderà una seconda carica di elettricità positiva, che dividesi ancora in due parti: l'una che si condensa sulla faccia anteriore del disco, l'altra che resta sulla sua faccia posteriore e fa aumentare la divergenza del pendolo *a*. Il fluido che si accumula così sulle due facce aumentando progressivamente, questo pendolo finisce per raggiungere la stessa divergenza di quando il disco A venne dapprima caricato senza essere sottoposto all'influenza, del disco C. A questo punto, stabilendosi l'equilibrio fra la tensione dell'elettricità sulla faccia posteriore del disco e sulla macchina elettrica, il limite di carica è raggiunto.

In questo modo di considerare la teoria dei condensatori, vedesi che senza aver ricorso all'ipotesi dell'elettricità dissimulata, la condensazione elettrica si spiega benissimo per l'accumulazione del fluido sulla faccia anteriore del disco collettore, accumulazione che permette ad una nuova carica elettrica di portarsi sulla sua faccia posteriore.

**605. Limite di carica dei condensatori.** - La quantità di elettricità che può accumularsi su ogni faccia del condensatore è, tutte le altre cose pari, proporzionale alla tensione della sorgente e alla superficie dei dischi, ma essa diminuisce quando lo spessore della lastra isolante aumenta. In tutti i casi, due cause limitano la quantità di elettricità che può accumularsi sulle facce del condensatore. La prima, come abbiamo veduto più sopra, si è che la quantità di elettricità libera sul suo disco collettore crescendo gradatamente, la tensione su questo disco finisce necessariamente ad eguagliare la tensione sulla macchina, e questa, partendo da questo momento, può cedere nulla al condensatore.

La seconda causa è la resistenza limitata che presenta alla ricombinazione delle due elettricità la lastra isolante collocata fra i due dischi; infatti, quando la tensione dei due fluidi per ricombinarsi la vince sulla resistenza di questa lastra, essa vien forata, ed i fluidi contrari si riuniscono.

**606. Calcolo della forza condensante.** - Chiamasi *forza condensante* il rapporto fra la carica totale che prende il disco collettore quando è influenzato dal secondo disco, e quella che riceverebbe se fosse solo; o, ciò che torna lo stesso, il rapporto fra la quantità totale di elettricità del disco collettore e quello che ci si trova libera; perché si ammette che l'elettricità che resta libera sul disco collettore è precisamente quella che esso prende essendo solo.

Ciò posto, per calcolare la forza condensante, sieno *P* la quantità totale di elettricità positiva sul disco collettore, *N* la quantità totale di elettricità negativa sul secondo disco, ed *a* l'elettricità libera sul primo, si ha

$$N = mP [1],$$

*m* essendo una frazione il cui valore è tanto più vicino all'unità quanto più sottile è la lastra isolante fra i due dischi. Ora, se si tocca il disco collettore, gli si leva la sua elettricità libera *a*. Le

parti sono dunque cangiate; ora la carica più grande è quella del secondo disco, ma in un rapporto ancora eguale ad  $m$ , la lastra isolante essendo la stessa; si ha cioè

$$P-a = mN \quad [2], \text{ o } P-a = m^2P \quad [3],$$

sostituendo ad  $N$  il suo valore quale è somministrato dall'equazione [1].

Dall'equazione [3] si ha

$$P/a = 1/(1-m^2),$$

rapporto che non è altro che la forza condensante cercata. Quanto al valore di  $m$ , esso determinasi coll'esperienza mediante il piano di prova e la bilancia a torsione.

**607. Scarica lenta e scarica istantanea.** - Allorchè il condensatore è caricato, vale a dire allorchè le elettricità contrarie sono accumulate sulle due facce, si rompe la comunicazione colla macchina elettrica e col suolo, togliendo le due catene metalliche. Secondo quello che abbiamo detto superiormente una sola parte dell'elettricità del disco  $A$  è allora neutralizzata, mentre quella del disco  $C$  lo è completamente. Infatti, il solo pendolo  $A$  diverge (fig. 427) ed il pendolo  $C$  rimane verticale. Ma se si allontanano i dischi (fig. 428), allora i due pendoli divergono, perchè le elettricità più non si neutralizzano.

Trovandosi i dischi a contatto colla lamina isolante (fig. 427), ed essendo tolte le catene, si può scaricare il condensatore ossia ricondurlo allo stato neutro in due maniere, cioè con una scarica lenta o con una scarica istantanea. Per scaricarlo lentamente, si tocca col dito prima il piatto  $A$ , vale a dire quello che contiene un eccesso di elettricità; tutto il fluido positivo che non è ritenuto dal fluido negativo del disco  $C$  si sponde allora nel suolo, e siccome il disco  $C$  non neutralizza che una quantità di elettricità minore della sua, è il disco  $C$  che, dopo questo primo contatto, possiede la carica più forte; si vede infatti il pendolo  $A$  ricadere ed il pendolo  $C$  divergere. Se al presente si tocca il disco  $C$ , il suo pendolo ricade intanto che il pendolo  $A$  diverge, e così di seguito continuando a toccare alternativamente i due dischi.

La scarica non si opera che assai lentamente, e se l'aria è secca, non è completa che dopo parecchie ore. Se si tocca pel primo il disco  $C$ , che è il meno elettrizzato, non gli si toglie alcuna elettricità, perchè tutta quella che possiede è neutralizzata dal disco  $A$ .

Allorchè si vuol scaricare istantaneamente il condensatore, si pongono in comunicazione i due dischi mediante l'*eccitatore*. Chiamasi così un sistema di due archi di ottone terminati da sfere del medesimo metallo e riuniti a cerniera. Quando questi archi sono muniti di manici isolanti in vetro, come lo mostra la figura 429, l'apparato si chiama *eccitatore a manici di vetro*; se gli archi non sono muniti di manici (fig. 432), gli si dà il nome di *eccitatore semplice*. Per fare uso dell'eccitatore si applica una delle sue sfere sull'uno dei dischi del condensatore, e si avvicina l'altra al secondo disco, allora scocca una viva scintilla proveniente dalla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate sulle due facce del condensatore. Tuttavia la ricomposizione non è completa perchè si possono ancora trarre allo stesso modo una o due scintille, ma sempre di più in più deboli. Si conchiude da ciò che allorquando i dischi comunicano fra loro, le due elettricità non si ponno riunire totalmente. Questo fenomeno proviene da ciò che le due facce della lastra di vetro elettrizzate per l'influenza dei dischi metallici reagiscono alla loro volta sopra questi per elettrizzarli di nuovo (588).

Quando si scarica il condensatore coll'eccitatore, anche semplice, sebbene lo si tenga in mano non si risente nessuna scossa. Causa di questo si è che siccome il fluido elettrico di due conduttori sceglie sempre il migliore, la ricomposizione si opera per l'arco metallico e non pel corpo dell'esperimentatore. Ma se, toccando con una mano l'una delle facce del condensatore, si avvicina l'altra mano alla seconda faccia, la ricomposizione si opera attraverso le braccia ed il corpo e si risente una commozione tanto più viva quanto maggiore è la superficie del condensatore e più forte la carica elettrica.



Fig. 429 (a. = 11).

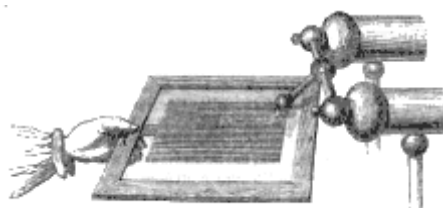


Fig. 430 (a. = 42).

**608. Quadro fulminante.** - Il *quadro fulminante* è un condensatore più semplice di quello di Epino, e più atto a dare vive scintille e forti scosse. Esso si compone di una lastra di vetro ordinario circondata da una cornice di legno. Sulle due facce di questa lastra sono applicate due foglie di stagno l'una rimpetto all'altra, in modo che fra i loro lembi e la cornice rimanga un intervallo di sei centimetri circa. Le due foglie non comunicano fra loro, ma l'una di esse comunica colla cornice mediante una piccola lista di stagno che si ripiega in A (fig. 430), in modo di toccare il pollice della persona che tiene in mano l'apparato. Per caricare il quadro fulminante, si presenta alla macchina elettrica la foglia di stagno isolata, vale a dire quella che non comunica colla cornice di legno. Siccome quest'ultima poi mediante la mano è posta in comunicazione col suolo, le due foglie si comportano precisamente come i dischi del condensatore di Epino, e sull'una e sull'altra si accumulano in grande quantità le elettricità contrarie.

Il quadro fulminante si scarica come il condensatore (608), coll'eccitatore semplice. Per far questo, tenendo in mano il quadro, si applica una delle sfere dell'eccitatore sull'estremità A della lista di stagno appartenente alla foglia inferiore, quindi, curvando l'eccitatore, si avvicina l'altra sfera alla foglia superiore. Scaturisce allora viva e rumorosa scintilla, dovuta alla ricomposizione delle due elettricità, ma senza che l'esperimentatore risenta la menoma scossa, perchè la ricomposizione si opera interamente per mezzo dell'arco metallico. Se al contrario, tenendo sempre l'apparato allo stesso modo, si tocca dapprima la foglia isolata, si riceve una fortissima scossa, operandosi la ricomposizione delle elettricità attraverso le braccia ed il corpo.

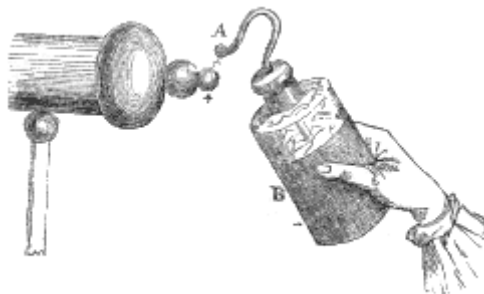


Fig. 431 (a. = 25).

**609. Bottiglia di Leyda.** - La *bottiglia di Leyda*, così chiamata dal nome della città ove fu inventata, è dovuta all'olandese Musschenbroek (alcuni dicono a Cuneo suo allievo), che la scoprì per caso nel 1746.

Avendo fissata un'asta metallica nel turacciolo di una bottiglia riempita d'acqua, presentolla alla macchina elettrica nell'intenzione di elettrizzare il liquido. Ora, siccome la mano che teneva la bottiglia faceva l'ufficio di un disco del condensatore, intanto che l'acqua nell'interno faceva le funzioni dell'altro, si accumulò sulla parete interna del fluido positivo, e sulla parete esterna, che trovavasi in contatto colla mano, del fluido negativo. In fatti, avendo accostata una mano all'asta metallica, intanto che l'altra teneva ancora la bottiglia, Musschenbroek ricevette nelle braccia e nel petto una scossa così forte che scrivendo a Réaumur, poco tempo dopo, disse che non avrebbe ripetuta l'esperienza per tutto il regno di Francia.

Ciò non ostante, una volta conosciuta tale esperienza, si affrettarono a ripeterla da tutte le parti. L'abbate Nollet, professore di fisica a Parigi, pel primo, sostituì all'acqua che trovavasi nella bottiglia delle foglie spiegazzate di stagno, di rame, d'argento o d'oro. Un fisico inglese aveva già riconosciuto che coprendo l'esterno della bottiglia con una foglia di stagno, le scosse erano più vive. La bottiglia di Leyda prese adunque poco a poco la forma che le si dà oggi giorno, ma se ne



ignorava ancora la teoria; Franklin fu il primo che la fece conoscere, dimostrando che la bottiglia di Leyda altro non è che un vero condensatore come il quadro fulminante.

Rappresentata dalla figura 431 al momento della carica, la bottiglia di Leyda si compone di una boccia di vetro sottile, la di cui grandezza varia secondo la quantità di elettricità che si vuol accumulare. L'interno è riempito di foglie di rame o di ferro battuto. Sulla parete esterna è applicata una foglia di stagno B che ricopre anche il fondo, ma che deve lasciar scoperto il vetro fino ad una certa distanza del collo. Vi si adatta un turacciolo di sughero, nel quale passa a duro attrito, un'asta di rame ricurva a guisa di uncino, e terminata da un bottone A; all'interno, questa verga comunica colle foglie d'oro o di rame che riempiono la bottiglia; a queste foglie si dà il nome di *armatura interna*, ed alla foglia di stagno B quello di *armatura esterna*.

La bottiglia di Leyda si carica, come il condensatore di Epino ed il quadro fulminante, facendo comunicare l'una delle armature col suolo e l'altra con una sorgente elettrica; per ciò, si tiene in mano l'armatura esterna, e si presenta l'armatura interna alla macchina elettrica: il fluido positivo si accumula allora sulle foglie interne ed il fluido negativo sulla esterna. Il contrario avrebbe luogo se si tenesse la bottiglia per l'uncino e si presentasse l'armatura esterna alla macchina.

Del resto, la teoria della bottiglia di Leyda è identicamente la stessa di quella già data pel condensatore, e tutto ciò che si disse di quello (603) si applica alla bottiglia di Leyda, sostituendo le sue due armature ai dischi A e C della figura 427.



Fig. 432.

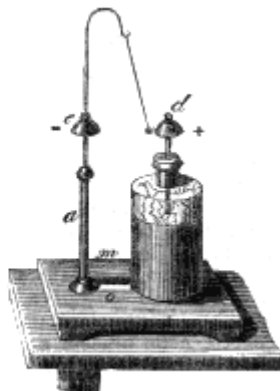


Fig. 433.

Come il condensatore essa si scarica lentamente od istantaneamente. Per iscaricarla istantaneamente la si tiene colla mano, come rappresenta la figura 432, e si pongono in comunicazione le due armature mediante l'eccitatore semplice, avendo cura di toccare *prima* l'armatura che si tiene in mano, altrimenti si riceverebbe la scossa. Per iscaricarla lentamente la si isola sopra un piatto di resina e si toccano alternativamente colla mano, o con un'asta di metallo prima l'armatura interna, poi l'esterna, e così di seguito, traendo a ciascun contatto una debole scintilla.

Per rendere più sensibile la scarica lenta, si dispone la bottiglia di Leyda come rappresenta la fig. 433. L'asta è diritta, e munita di un piccolo campanello; vicino alla bottiglia evvi un'asta metallica, che porta un secondo campanello simile al primo ed un pendolino elettrico, formato da una palla di ottone sospesa ad un filo di seta. Ciò posto, non essendo la bottiglia fissata alla tavoletta *m*, la si prende in mano per l'armatura esterna, e la si carica presentandola alla macchina elettrica, ed in seguito la si rimette sulla tavoletta. Siccome allora l'armatura interna contiene un eccesso di fluido positivo non neutralizzato, il pendolo è attratto e viene ad urtare contro il campanello della bottiglia.

respinto in seguito, va a battere contro il secondo campanello e gli cede la sua elettricità; ma, ritornato allo stato neutro, è attratto di nuovo dal primo campanello, e così di seguito per più ore, se l'aria è secca e la bottiglia un po' grande.

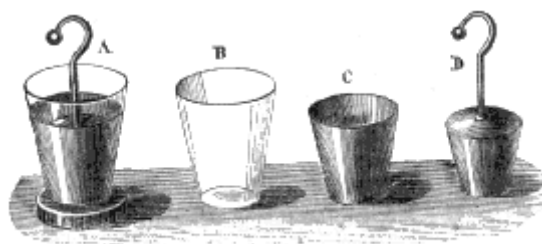


Fig. 434 a. = 201.

**610. Bottiglia ad armature mobili.** - La *bottiglia ad armature mobili* serve a dimostrare che nella bottiglia di Leyda ed in tutti i condensatori, in generale, non è solo sulle armature che risiedono le due elettricità contrarie, ma principalmente sulle facce del vetro che le separa. Questa bottiglia, i differenti pezzi della quale si ponno separare, si compone di un gran vaso conico di vetro B (fig. 434), di una armatura esterna C di latta, e di una armatura interna D della stessa materia. Questi pezzi collocati gli uni negli altri, come mostra la fig. A, costituiscono una bottiglia di Leyda completa. Dopo di averla elettrizzata come la bottiglia ordinaria ed isolata sopra un piatto di resina (fig. A), se ne toglie colla mano l'armatura interna, in seguito il vaso di vetro, e finalmente l'armatura esterna, e si dispongono questi pezzi gli uni accanto agli altri, come rappresenta la figura. Ora, le due armature si trovano così evidentemente ricondotte allo stato neutro. Tuttavia, se rimettendo l'armatura C sul piatto di resina, le si ripone dentro il vaso di vetro, ed in questo l'armatura D, si ricostruisce una bottiglia di Leyda che dà una scintilla quasi tanto forte come se non si fossero scaricate le due armature.

Per render conto di questo fenomeno, si ammette ordinariamente che le due elettricità, obbedendo alla loro attrazione reciproca, abbandonino le armature per portarsi sulle due facce del vetro, dalle quali esse ripassano in seguito su queste stesse armature nel momento che si mettono in comunicazione; ma, come si è già veduto per la scarica dei condensatori (607), il fenomeno deve spiegarsi piuttosto coll'elettrizzazione per influenza che prendono le pareti interne ed esterne del vetro in presenza delle armature, elettrizzazione in virtù della quale queste pareti reagiscono alla loro volta sulle armature per elettrizzarle di nuovo, appena si rimettono in sito.

**611. Giare e batterie elettriche.** - Una *giara* è una grande bottiglia di Leyda a collo abbastanza largo perchè si possa applicare alla sua parete interna una foglia di stagno che serve di armatura interna.

L'asta che attraversa il turacciolo è diritta, e terminata, alla parte inferiore, da una catena metallica che la pone in comunicazione colla foglia di stagno che forma l'armatura interna.

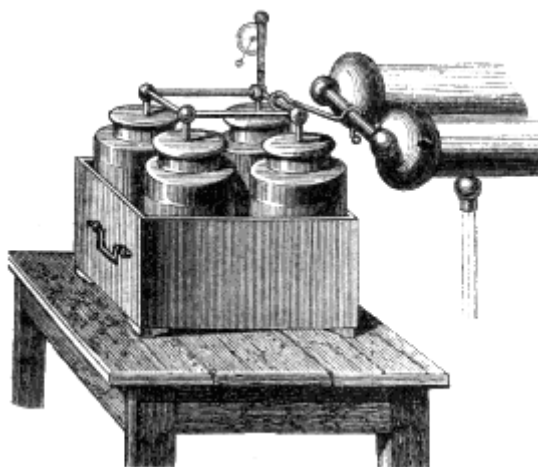


Fig. 435.

Una *batteria* è una riunione di parecchie giare poste in una cassa di legno (fig. 435), e che comunicano insieme, all'interno, mediante aste metalliche, ed all'esterno mediante una foglia di stagno che riveste il fondo della cassa e si trova a contatto colle armature esterne delle giare. Questa stessa foglia di stagno si prolunga facilmente fino ad incontrare due impugnature metalliche fisse sulle pareti della cassa. La batteria si carica, come mostra la figura 435, facendo comunicare le

armature interne colla macchina elettrica e le armature esterne col suolo mediante il legno stesso della cassa e della tavola su cui è collocata la batteria, o meglio ancora, mediante una catena metallica attaccata ad una delle impugnature della cassa. Un elettrometro a quadrante fisso ad una delle giare, serve ad indicare la carica della batteria. Malgrado la grande quantità di elettricità accumulata nell'apparato, l'elettrometro non diverge che assai lentamente e di un piccolo numero di gradi, ciò che non deve punto arrecar meraviglia, poichè la divergenza non ha luogo che in forza della differenza di tensione fra le due armature. Il numero delle giare, in generale, è di quattro, sei, o nove. Quanto più esse sono grandi e numerose, tanto maggiore è il tempo che bisogna impiegare per caricare la batteria, ma i suoi effetti sono più possenti.

Allorché si vuol scaricare una batteria si fanno comunicare fra loro le due armature mediante l'eccitatore, avendo cura di toccar prima l'armatura esterna. In questo caso bisogna far uso dell'eccitatore a manici di vetro, ed usare tutte le precauzioni necessarie per evitare la scossa, perchè con una forte batteria essa può produrre gravi accidenti e fin anche la morte.

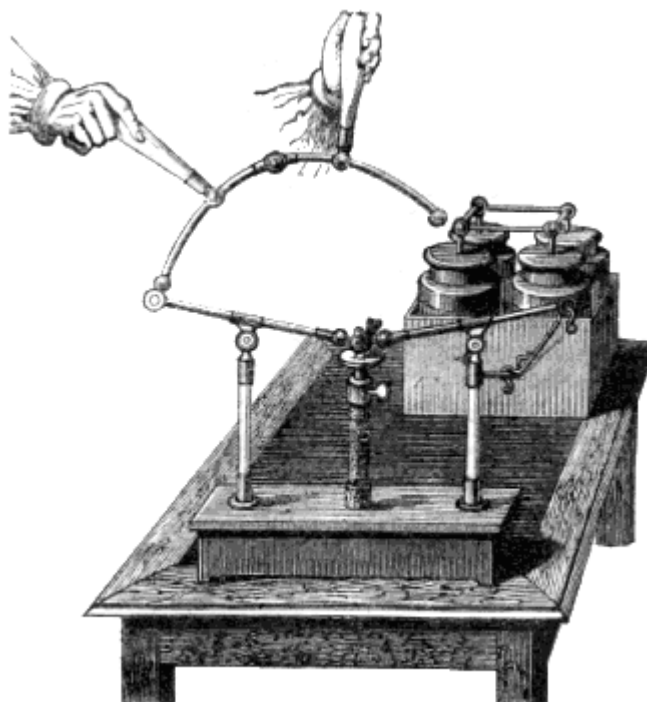


Fig. 436.

Quando si vuol fulminare un animale od un oggetto qualunque, si fa uso dell'*eccitatore universale*, disegnato nella parte anteriore della figura 436. È una piccola cassa di legno che porta due colonnette di vetro sulle quali sono fermate a cerniera alcune aste di ottone. Fra queste colonne avvi un sostegno di legno che porta un piccolo disco su cui si colloca l'oggetto o l'animale sul quale si vuol sperimentare. Trovandosi le due aste di rame dirette verso l'oggetto, si fa comunicare l'una di esse coll'armatura esterna della batteria, e l'altra con una delle sfere dell'eccitatore a manici di vetro. Avvicinando allora l'altra sfera di quest'ultimo all'armatura interna, parte una scintilla fra questa sfera e l'armatura, ed un'altra fra le due braccia dell'eccitatore universale: quest'ultima fulmina l'oggetto o l'animale posto sul disco.

**612. Elettrometro condensatore di Volta.** - L'*elettrometro condensatore*, immaginato da Volta, altro non è che l'elettrometro a foglie d'oro già descritto (591), reso assai più sensibile per l'aggiunta di due dischi condensatori. L'asta di rame che porta le piccole foglie d'oro, invece di essere terminata alla parte superiore da una sfera di ottone, è terminata da un disco dello stesso metallo, sul quale si pone un secondo disco simile, ma a manico di vetro. I due dischi sono ricoperti d'una vernice di gomma-lacca che gli isola.

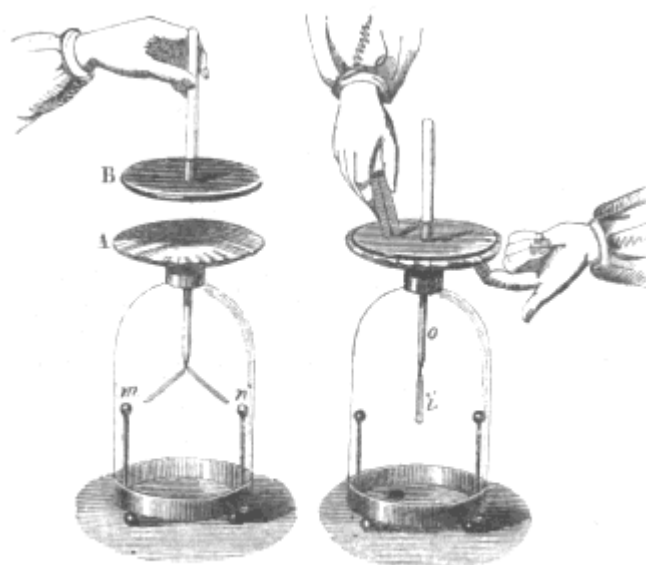


Fig. 437.

Fig. 438 (a. = 48).

Per rendere sensibile, mediante quest'elettrometro, alcune quantità di elettricità anche debolissime, si fa comunicare il corpo sul quale si vuol riconoscere la presenza dell'elettricità stessa coll'uno dei dischi, che allora prende il nome di *disco collettore*, e si pone in comunicazione col suolo l'altro disco, toccandolo col dito leggermente umettato (fig. 437). L'elettricità del corpo sottoposto all'esperienza, si spande allora sul disco collettore, agisce attraverso il taffetà sul secondo disco e sulla mano respingendo nel suolo l'elettricità dello stesso nome ed attraendo quella di nome contrario. I due fluidi si accumulano adunque sui due dischi, assolutamente come sul condensatore di Epino (603), ma senza che vi sia divergenza delle fogliette d'oro, perché le due elettricità sono dissimulate. Caricato così l'apparato, si ritira dapprima il dito, quindi la sorgente elettrica, senza che si osservi ancora alcuna divergenza: ma se si toglie il disco superiore (fig. 438), la dissimulazione cessa, e l'elettricità del secondo disco, distribuendosi egualmente sull'asta e sulle foglie d'oro, fa divergere moltissimo queste ultime. Si aumenta la divergenza adattando al piede dell'apparato due aste di rame terminate da due sfere dello stesso metallo; perché queste elettrizzandosi per l'influenza delle foglie d'oro, reagiscono su quelle. Si aumenta ancora la sensibilità dell'apparato sopprimendo il pezzo di taffetà e separando i due dischi solo con uno strato assai sottile di vernice di gommalacca che vi si stende sopra. Finalmente, invece di prendere a disco collettore il disco superiore, come mostra la nostra figura, è preferibile scegliere il disco inferiore, perché è sempre il disco che comunica colla sorgente quello che si carica di più. Come tutti gli apparati elettrici, l'elettrometro condensatore deve essere disseccato con cura ed anche riscaldato prima dell'esperienza.

## EFFETTI DIVERSI DELL'ELETTRICITÀ STATICA

**613. Effetti fisiologici.**— Gli effetti dell'elettricità statica si dividono in effetti fisiologici, luminosi, calorifici, meccanici e chimici.

Gli effetti *fisiologici* sono quelli che l'elettricità produce sugli esseri viventi, od anche recentemente privati della vita; essi consistono, riguardo ai primi, in una violenta eccitazione che esercita il fluido elettrico sulla sensibilità e contrattibilità dei tessuti organici che attraversa, e riguardo ai secondi, in istantanee contrazioni muscolari, che simulano il ritorno alla vita. Per ora ci limiteremo a parlare degli effetti fisiologici esercitati dall'elettricità statica a forte tensione; più tardi descriveremo gli effetti fisiologici dell'elettricità dinamica.

Già si conosce la scossa che dà la scintilla della macchina elettrica (600). Questa scossa acquista assai maggiore intensità e carattere particolare quando si trae la scintilla da una bottiglia di Leyda, toccando con una mano la sua armatura esterna e coll'altra l'interna. Con una piccola bottiglia la

scossa si fa sentire fino al gomito; con una bottiglia della capacità di un litro la si risente fino alle spalle, e si debbono evitare le scosse più forti.

La bottiglia di Leyda può dare la scossa simultaneamente ad un gran numero di persone. Per far ciò, queste debbono *formare la catena*, vale a dire darsi la mano l'una coll'altra senza interruzione; quindi, toccando la prima armatura esterna di una bottiglia già carica, e l'ultima il bottone dell'armatura interna, ricevono tutte simultaneamente la scossa, che si può graduare a volontà caricando più o meno la bottiglia. L'abbate Nollet diede così la scossa a trecento uomini che la risentirono nello stesso tempo in modo violento nelle braccia e nel petto.

Si osserva in quest'esperienza che gli uomini che trovansi in mezzo alla catena provano una scossa meno viva di quelli vicini alla bottiglia.

Colle grandi bottiglie di Leyda e le batterie, la scossa non si può più ricevere impunemente. Priestley uccise dei topi con batterie di cui ciascuna armatura aveva una superficie totale di 63 decimetri quadrati, e dei gatti con armature la cui superficie era di 3 metri e mezzo quadrati.

**614. Effetti luminosi.** - La ricomposizione delle due elettricità a forte tensione si opera sempre con uno sviluppo di luce più o meno intenso: questo avviene quando si traggono scintille dalla macchina elettrica, dalla bottiglia di Leyda e dalle batterie. Lo splendore della luce elettrica è tanto più vivo quanto più i corpi fra cui succede l'esplosione sono buoni conduttori, ed il suo calore varia, non solo secondo la natura dei corpi, ma anche secondo l'atmosfera ambiente e la pressione.

La scintilla che scocca tra due pezzetti di carbone è gialla; fra due palle di rame inargentato è verde; fra due sfere di legno o d'avorio è cremesi. Nell'aria, alla pressione ordinaria, la luce elettrica è bianca e brillante; nell'aria rarefatta è rossastra; nel vuoto è violacea, ciò che proviene dall'essere tanto minore la tensione che acquista quanto più debole è la resistenza che si oppone alla ricomposizione dei due fluidi. Nell'acido carbonico la scintilla è bianca come nell'aria; nell'idrogeno è rossastra, e nel vapore di mercurio è verde. In generale, la scintilla è tanto più splendente quanto maggiore è la tensione. Avendo Fusinieri dimostrato che nell'esplosione della scintilla elettrica evvi sempre trasporto di particelle materiali allo stato di estrema tenuità, bisogna concludere che le modificazioni che presenta la luce elettrica sono dovute alla materia ponderabile trasportata.

Gli effetti della pressione dell'aria sulla vivacità della luce elettrica si studiano mediante l'uovo elettrico. Chiamasi così un globo di vetro sostenuto da un piede di ottone, nel quale vi sono due aste pure di ottone terminate da due sfere (fig. 439). L'asta inferiore è fissa, e la superficie scorre a sfregamento in una scatola a cuoio, in modo che può essere avvicinata alla prima od allontanata a volontà. Ciò posto, fatto il vuoto nel globo mediante la macchina pneumatica alla quale può essere unito a vite, si fa comunicare l'asta superiore con una forte macchina elettrica, ed il piede col suolo. Se allora si carica la macchina, si osserva da una palla all'altra una luce violacea, poco intensa e continua, che è dovuta alla ricomposizione del fluido positivo della palla superiore col fluido negativo dell'inferiore. Se si lascia rientrare l'aria a poco a poco mediante un robinetto adattato al piede dell'apparato, la tensione aumenta coll'aumentar della resistenza, e la luce, che ritorna bianca e brillante, non appare più che sotto forma di scintilla ordinaria.

**615. Tubo scintillante, quadro magico, bottiglia scintillante.** - Il *tubo scintillante* è formato da un tubo di vetro della lunghezza di circa un metro, sul quale si applicò una serie di piccole fogliette di stagno tagliate in forma romboidale e disposte ad elice lunghesso tutto il tubo, in modo da non lasciare fra esse che alcune soluzioni di continuità assai piccole. Alle estremità vi sono viere di ottone con un'uncino, che comunicano coi due capi dell'elice. Ciò posto, se, tenendo il tubo per una estremità, si presenta l'altra ad una macchina elettrica, come mostra la figura 440, ad ogni soluzione di continuità scoccano simultaneamente delle scintille che producono una brillante striscia luminosa specialmente nell'oscurità.

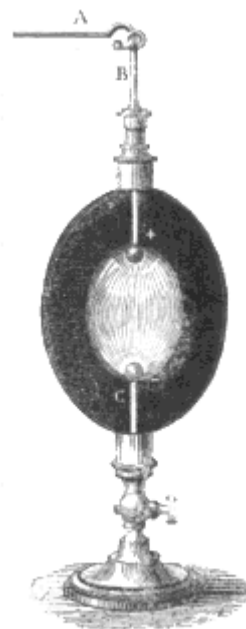


Fig. 439 (A. = 60)



Fig. 440.

Il *quadro magico*, fondato sullo stesso principio del tubo scintillante, si compone di una lastra di vetro comune, sulla quale si fece aderire una lista di stagno assai stretta, ripiegata un gran numero di volte parallelamente a se stessa, come mostra il segno nero rappresentato nella figura 441. Sopra questa si praticano, mediante un istrumento tagliente, delle soluzioni di continuità assai piccole, disposte in modo da rappresentare un oggetto determinato, per es., un portico, un fiore, ecc.; quindi fissando il quadro fra due colonne di vetro, si pone l'estremità superiore della lista di stagno in comunicazione colla macchina elettrica e l'altra estremità col suolo. Facendo ruotare allora il disco della macchina, la scintilla scocca a ciascuna soluzione di continuità, e riproduce in tratti luminosi l'oggetto che si disegnò sul vetro.

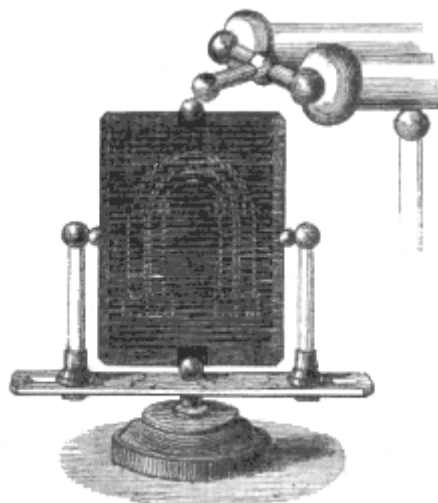


Fig. 441. a = 41°.

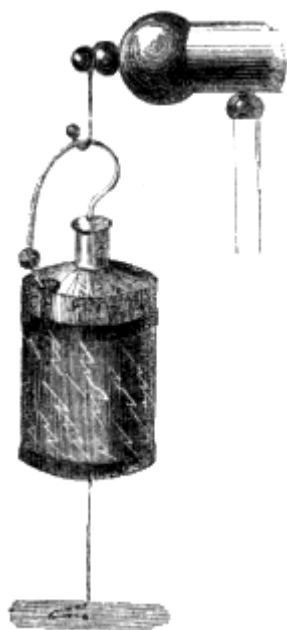


Fig. 442.

La *bottiglia scintillante* è una bottiglia di Leyda, la cui armatura estrema è formata da uno strato di vernice ricoperta da polvere metallica. Una lista di stagno applicata all'orlo inferiore della bottiglia è in comunicazione col suolo mediante una catena di metallo (fig. 442): una seconda lista posta più in alto porta un'appendice, che arriva alla distanza di due centimetri circa dall'uncino, il quale è assai curvo. Di mano in mano che si carica la macchina elettrica alla quale è sospesa questa bottiglia, come si vede nella figura, la scintilla scocca fra l'uncino e l'armatura, e su tutto il contorno dell'apparato risplendono lunghe e brillanti scintille.

**616. Effetti calorifici.** - La scintilla elettrica non è soltanto luminosa, ma è anche una sorgente assai intensa di calore. Attraversando liquidi combustibili come l'alcool, l'etere, essa li infiamma; nello stesso modo agisce sulla polvere da cannone, sulla resina polverizzata, e fonde persino i metalli; in quest'ultimo caso però è necessaria una batteria potente. Una bottiglia di Leyda ordinaria basta per infiammare l'alcool o l'etere mediante un piccolo apparato rappresentato dalla fig. 443. Esso è un piccolo vaso di vetro, il fondo del quale è attraversato da un'astina di rame a bottone, fissa

ad un piede dello stesso metallo. Versato il liquido nel vaso in modo che il bottone ne sia interamente ricoperto, si presenta a questo l'uncino di una bottiglia di Leyda carica, avendo cura di

far comunicare il piede di rame coll'armatura esterna mediante filo metallico. Siccome questo filo ed il piede del vaso fanno l'ufficio di eccitatore, la scintilla scocca attraverso il liquido e l'infiama. Coll'etere, l'esperienza riesce assai bene; ma per riescirvi coll'alcool bisogna dapprima riscaldarlo un poco.

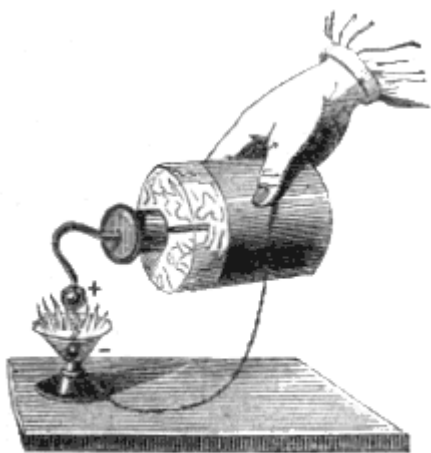


Fig. 443.

Allorchè si fa passare la scarica di una batteria attraverso un filo di ferro o di acciaio, esso diviene incandescente ed abbrucia con una luce abbagliante. I fili di platino, d'oro e d'argento vengono fusi e volatilizzati. Van-Marum, con una forte macchina a due dischi, e con una possente batteria, fuse un filo di ferro della lunghezza di 16 metri.

Se si sottopone alla scarica di una batteria una foglia d'oro isolata fra due lastre di vetro, o fra due nastri di seta, l'oro è volatilizzato, e si ha per residuo una polvere violetta, la quale non è altro che oro diviso. In tal guisa si fanno i *ritratti elettrici*.

**617. Effetti meccanici.** - Gli effetti meccanici sono lacerazioni, rotture, espansioni violente che risultano nei corpi poco conduttori per passaggio di una forte scarica elettrica. Il vetro è forato; il legno, le pietre sono spezzate; i gas ed i liquidi vengono fortemente scossi. Gli effetti meccanici della scintilla elettrica si dimostrano mediante differenti apparati, che sono il *buca-vetro*, il *buca-carta*, il *termometro di Kinnersley* e l'*eccitatore universale*.

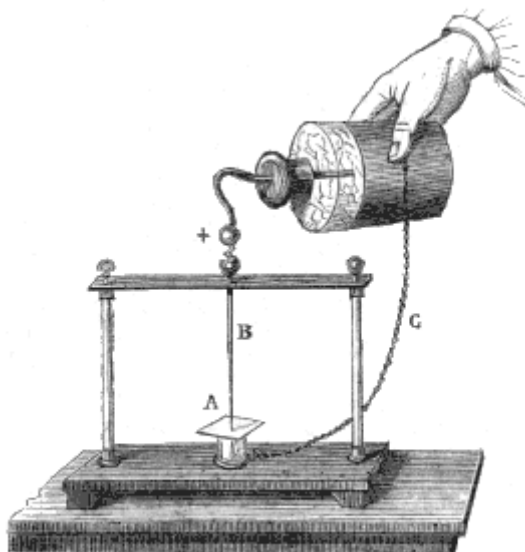


Fig. 444 (a. = 23).

Il *buca-vetro*, rappresentato dalla figura 444, si compone di due colonne di vetro, le quali mediante un traverso orizzontale sostengono un conduttore B che termina in punta. La lastra di vetro A che si vuol bucare riposa sopra un cilindro isolante di vetro, nel quale trovasi un secondo conduttore pure terminato in punta. Posto quest'ultimo in comunicazione coll'armatura esterna di una forte bottiglia di Leyda, si accosta l'uncino della bottiglia stessa al bottone del conduttore B. La scintilla scocca allora fra i due conduttori, ed il vetro vien forato. Tuttavia questa esperienza riesce con una bottiglia di Leyda non molto ampia, solo quando la lastra di vetro è assai sottile. Lo stesso apparato serve assai bene anche come buca-carta.

Lo scuotimento e l'espansione istantanea che la scintilla elettrica fa nascere nei gas si dimostra mediante il termometro Kinnersley. Quest'apparato si compone di un grosso tubo di vetro fissato alle sue estremità mediante mastice a due viere di ottone, che lo chiudono esattamente, e che

sostengono due conduttori terminati a sfera, l'uno fisso e l'altro scorrevole ed arbitrario in una scattola a cuoio (fig. 445). Dalla base dell'apparato si diparte un altro tubo laterale aperto alla sua parte superiore.

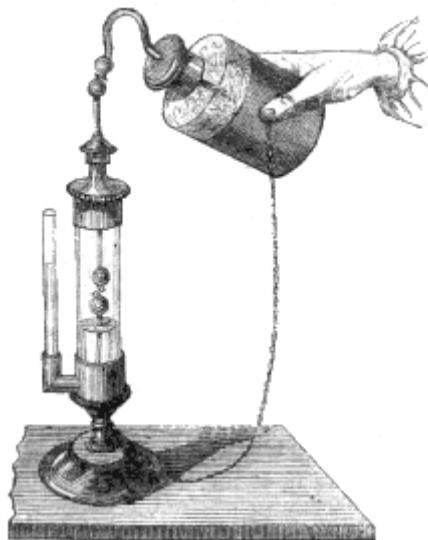


Fig. 445 (a. = 28).

Ciò posto, levata la scattola a cuoio, si versa dell'acqua nel tubo più grosso, fintanto che il livello di essa si trovi un poco al disotto della sfera inferiore; chiudendo allora la scattola a cuoio si fa passare la scarica di una bottiglia di Leyda fra le due sfere, operando come mostra la figura. L'acqua, istantaneamente respinta fuori del tubo più grosso, si innalza di due centimetri circa nel tubo piccolo; ma il livello tosto si ristabilisce, ciò che dimostra, che il fenomeno non è dovuto ad una elevazione di temperatura, e che la denominazione di termometro data a quest'apparato è falsa.

L'eccitatore universale, già descritto parlando delle batterie, e rappresentato dalla figura 436, serve pure ad ottenere degli effetti meccanici. Se, per es., si vuol rompere un pezzo di legno, lo si pone sul

piccolo disco ove si è rappresentato un uccello, in modo che tocchi le due sfere dei conduttori. Se allora si fa passare la scarica, il pezzo di legno vola in ischeggie.

**618. Effetti chimici.** - Gli effetti chimici dell'elettricità sono combinazioni e decomposizioni prodotte nei corpi dalla ricomposizione delle due elettricità. Per es., allorquando due gas sono mescolati presso a poco nel rapporto, secondo il quale si forma la loro combinazione, una sola scintilla basta a determinarla; ma se la mescolanza è lontana da questo rapporto, la combinazione esige una lunga serie di scintille. Priestley, per il primo, riconobbe che allorquando si fan passare per lungo tempo delle scintille elettriche attraverso ad una data quantità d'aria atmosferica, il suo volume diminuisce, e la tintura di tornasole introdotta nel vaso che la contiene arrossa. Cavendish, avendo ripetuta questa esperienza con cura, trovò che in presenza dell'acqua o delle basi si formava dell'acido azotico, risultante dalla combinazione dell'ossigeno coll'azoto dell'aria.

Un gran numero di gas vengono decomposti dall'azione continua della scintilla elettrica. L'idrogeno carbonato, l'acido solfidrico, l'ammoniaca si decompongono compiutamente; l'acido carbonico si decompone solo in parte risolvendosi in ossigeno ed in ossido di carbonio. La scintilla della macchina decompone anche gli ossidi, l'acqua ed i sali; tuttavia, l'elettricità statica è lungi dal presentare gli effetti chimici così energici e svariati che offre l'elettricità dinamica.

**619. Pistola di Volta.** - La *pistola di Volta* è un piccolo apparato che serve a dimostrare gli effetti chimici della scintilla elettrica. Essa si compone di un vaso di latta (fig. 446) nel quale si introduce una mescolanza detonante composta di due volumi di idrogeno e di un volume di ossigeno, poi lo si chiude esattamente con un turacciolo di sughero. Sulla parete laterale avvi una tubulatura nella quale passa un'asta metallica terminata da due piccole sfere A e B, e fissata con mastice in un tubo di vetro che la isola da tutto il resto dello strumento.



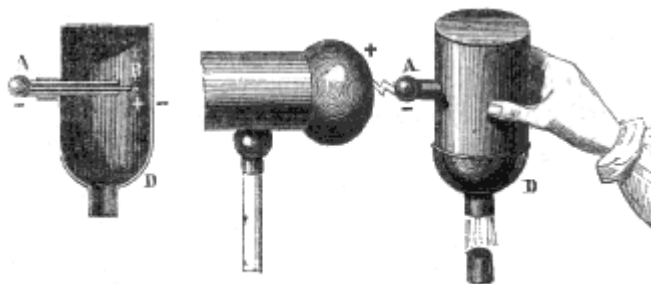


Fig. 446.

Fig. 447 (a. = 11).

Ciò posto, tenendo il vaso in mano, come mostra la figura 447, lo si avvicina alla macchina elettrica. Il bottone A elettrizzandosi allora negativamente per influenza, ed il bottone B positivamente, la scintilla scocca fra il bottone A e la macchina: nel medesimo istante una seconda scintilla scocca pure fra il bottone B e la parete del vaso che comunica col suolo mediante la mano. È quest'ultima scintilla che determina la combinazione dei due gas. Essendo questa combinazione accompagnata da vivo sviluppo di calorico (388), il vapore di acqua che vi si forma acquista una forza espansiva tale, che il turacciolo viene slanciato con detonazione analoga a quella di un colpo di pistola.

**620. Eudiometro.** - Gli *eudiometri*, di cui si servono in chimica per fare l'analisi dei gas, sono essi pure apparati fondati sugli effetti chimici dell'elettricità.

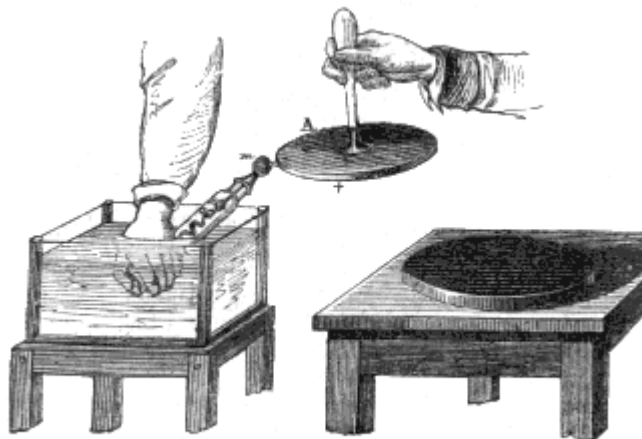


Fig. 448.

Questi apparati ricevettero diverse modificazioni: la figura 448 rappresenta l'eudiometro più semplice. Esso si compone di una provetta di cristallo a pareti assai grosse. L'estremità chiusa della provetta è attraversata da un'asta di ferro o di ottone, terminata da due sfere *m* ed *n*, l'una esterna, l'altra interna. Vicino alla sfera interna *n* avviene una seconda *a*, alla quale è fissato un filo di ferro o di ottone ripiegato ad elice, che si prolunga fino alla parte aperta dell'eudiometro.

Ciò posto, per fare con questo strumento l'analisi di un gas, per es., dell'aria, lo si riempie prima di acqua, quindi, così riempito, lo si capovolge sopra una vaschetta ad acqua, e vi si fanno passare mediante un imbuto, 100 parti d'aria e 100 parti di idrogeno già misurato con un tubo graduato. Si chiude in seguito l'eudiometro col pollice, come mostra la figura, avendo cura di porlo in comunicazione col filo ad elice che trovasi nell'interno dell'eudiometro. Se un'altra persona avvicina allora il disco dell'elettroforo (592) alla sfera *m*, una scintilla scocca fra quest'ultima ed il disco *A* nel tempo istesso che un'altra scintilla scocca fra le due sfere *n* ed *a*. Quest'ultima scintilla è quella che determina, con viva luce, la combinazione dell'ossigeno e dell'idrogeno che si trovano nell'eudiometro, e forma l'acqua. Se allora si misura, facendolo passare in un tubo graduato, il gas che rimane nell'istrumento, si trova che il suo volume è 137; sono adunque sparite 63 parti di mescolanza gasosa, e siccome si sa che l'acqua è formata da 2 volumi di idrogeno per 1 di ossigeno, ne segue che il terzo di 63, ossia 21, è il volume di ossigeno contenuto in 100 parti d'aria.



# LIBRO X

## ELETTRICITÀ DINAMICA

### CAPITOLO I

### PILA VOLTIANA, SUE MODIFICAZIONI

**621. Esperienza e teoria di Galvani.** – È dovuta a Galvani, professore d'anatomia a Bologna, l'esperienza fondamentale che condusse alla scoperta dell'elettricità dinamica (571), o del *galvanismo*, nuovo ramo della fisica tanto importante per le applicazioni che se ne fecero da un mezzo secolo a questa parte.

Galvani studiava da parecchi anni l'influenza della elettricità sulla irritabilità nervosa degli animali e principalmente della rana, quando nel 1786 avendo posti in comunicazione per mezzo di un circuito metallico i nervi lombari di una rana morta coi muscoli della coscia, osservò che questi si contrassero con violenza.

Per ripetere l'esperienza di Galvani, si scortica una rana ancor viva e la si taglia al disotto delle estremità anteriori (fig. 449); poi, dopo aver posti a nudo i nervi lombari, i quali sono situati ai lati della colonna vertebrale ed hanno la forma di cordoncini bianchi, si prende un conduttore metallico formato di due archi, l'uno di zinco e l'altro di rame, ed introducendone uno fra i nervi e la colonna vertebrale, si mette l'altro a contatto coi muscoli di una coscia o di una gamba. Ad ogni contatto i muscoli si contraggono e si agitano, e sembra che questa mezza rana riacquisti la vita e voglia saltare.

Galvani, il quale aveva già riconosciuto nel 1780 che l'elettricità delle macchine elettriche produceva sulle rane morte analoghe contrazioni, attribuì il fenomeno ora descritto all'esistenza di una elettricità inerente all'animale, e considerando il muscolo come una bottiglia di Leyda ed il nervo come un semplice conduttore, ammise che al momento della contrazione il fluido positivo circolasse dal nervo al muscolo attraverso il circuito metallico, e dal muscolo al nervo nel corpo della rana.

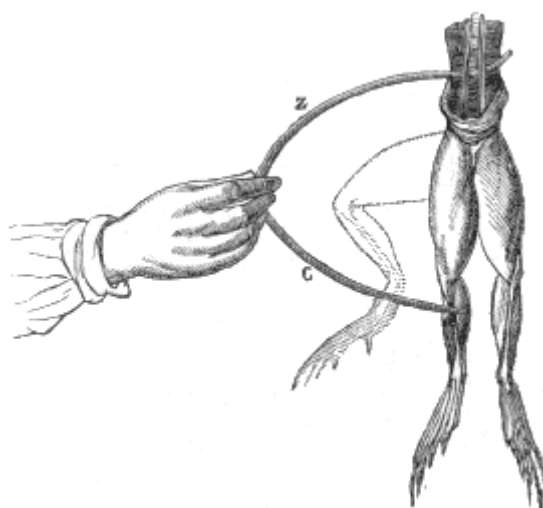


Fig. 449.

Molti scienziati e specialmente i fisiologi adottarono la teoria di Galvani sotto il nome di *elettricità animale* o *fluido galvanico*. Sorsero però molti oppositori, tra i quali il più ardente fu Volta, professore di fisica a Pavia, già conosciuto per l'invenzione dell'elettroforo, dell'elettrometro condensatore e dell'eudiometro.

**622. Esperienza di Volta.** - Galvani aveva portata la sua attenzione soltanto sui nervi e sui muscoli della rana, Volta la portò anche sui metalli che servono a stabilire la comunicazione. Fondandosi sul fatto osservato anche da Galvani, che la contrazione muscolare è molto più energica quando l'arco consta di due metalli, che non allorché è composto di un solo, Volta attribuì ai metalli la parte attiva nel fenomeno della contrazione. Egli ammetteva che per effetto del loro contatto si sviluppasse dell'elettricità e che le parti animali servissero soltanto di conduttore ed in pari tempo di elettroscopio assai sensibile.

Parve infatti che Volta, per mezzo dell'elettrometro condensatore, poco prima da esso inventato, dimostrasse con numerose esperienze lo svolgimento di elettricità col contatto dei metalli. Noi citeremo soltanto la seguente facile a ripetersi: si colloca il dito bagnato sul piatto superiore dell'elettrometro condensatore (fig. 437), poi si tocca il piatto inferiore con una lastra di zinco pulita che si tiene coll'altra mano; interrompendo in seguito le comunicazioni e togliendo il piatto superiore, (fig. 438), le foglie d'oro divergono, e si riconosce che sono elettrizzate negativamente, ciò che induce ad ammettere che il rame e lo zinco, pel loro contatto, si sono caricati il primo di elettricità negativa ed il secondo di elettricità positiva. Del resto in questa esperienza l'elettricità non può essere attribuita allo strofinamento od alla pressione, perchè se si tocca il piatto del condensatore, che è di rame, con una lamina dello stesso metallo, non si ottiene alcuna traccia di elettricità.

Allora si impegnò una memorabile lotta tra Volta e Galvani. Questi sostenendo con profonda convinzione la sua teoria dell'elettricità animale, mostrò che la presenza dei due metalli non era indispensabile alla produzione del fenomeno, e che si ottengono delle contrazioni collocando sopra un bagno di mercurio purissimo una rana morta e preparata di fresco. Finalmente mostrò che avvicinando i nervi lombari della rana ai muscoli crurali, si produce, al momento del contatto, una viva contrazione. Ora, in quest'ultima esperienza i metalli non avevano più alcuna parte, e la teoria di Galvani sembrava vittoriosa; ma Volta allora la combattè dando maggiore estensione alla sua teoria del contatto, e ponendo per principio generale che *due sostanze eterogenee quali si vogliano, poste in contatto si costituiscono sempre l'una allo stato di elettricità positiva, l'altra allo stato di elettricità negativa.*

Tuttavia Galvani fece un'ultima esperienza nella quale era impossibile ammettere un effetto di contatto, perchè poneva a contatto soltanto sostanze omogenee. Collocò sopra un disco di vetro una coscia di rana munita del suo nervo lombare, ed accanto ad essa una seconda coscia disposta nello stesso modo: avendo posto il nervo della seconda su quello della prima in modo che si toccassero i soli nervi, pose a contatto le due cosce ed ottenne una forte contrazione. Galvani era giunto adunque a dimostrare l'esistenza della elettricità animale, posta in evidenza ai nostri giorni da Matteucci sotto il nome di *corrente propria* della rana.

**623. Teoria di Volta.** - Volta, fisico innanzi tutto, non considerando che le condizioni fisiche del problema, rigettò la teoria dell'elettricità animale, ed ammise esclusivamente la teoria del contatto, la quale può formularsi nei due principii seguenti:

1.° Il contatto di due corpi eterogenei dà sempre origine ad una forza che Volta chiamò *forza elettro-motrice*, e che ha per carattere non solo di decomporre una parte della loro elettricità naturale, ma ben anche di opporsi alla ricomposizione delle due elettricità contrarie accumulate sui due corpi in contatto.

2.° Quando due sostanze eterogenee si trovano in contatto, la differenza del loro stato elettrico è costante, per gli stessi corpi, in qualunque condizione vengano posti, ed uguale alla forza elettro-motrice.

Vale a dire che se si toglie ai due corpi o si comunica loro una quantità qualunque di elettricità, la differenza fra i loro stati elettrici relativi non è modificata: nel primo caso la forza elettro-motrice riproduce immediatamente una quantità di elettricità eguale a quella che venne sottratta; nel secondo caso, l'eccesso di elettricità comunicata si distribuisce ugualmente sui due corpi, d'onde risulta che la differenza fra i due stati elettrici rimane la stessa. Se, per es., si pongono a contatto due dischi l'uno di zinco, l'altro di rame, isolati ambedue, e si rappresenta con +1 l'elettricità

positiva del zinco e con -1 l'elettricità negativa del rame, comunicando a questo sistema una quantità d'elettricità positiva 20, si avrà sullo zinco  $20+1$ , ossia 21, e sul rame  $20-1$ , ossia 19. Ora, la differenza fra gli stati elettrici +1 e -1, che era 2, è ancora 2 fra gli stati elettrici 21 e 19.

Siccome la forza elettro-motrice ammessa da Volta sembra che non sviluppi l'egual quantità di elettricità pel contatto di ogni sostanza, questo fisico divise i corpi in *buoni elettro-motori* e *deboli elettro-motori*. Alla prima classe appartengono i metalli ed il carbone sottoposto ad una temperatura molto elevata; alla seconda appartengono i liquidi ed in generale i corpi non metallici. Gli stessi metalli non sono tutti egualmente buoni elettro-motori, lo zinco ed il rame saldati insieme sono i migliori. Finalmente la specie di elettricità sviluppata cambia colla natura delle sostanze poste a contatto. Lo zinco, il ferro, lo stagno, il piombo, il bismuto e l'antimonio si elettrizzano positivamente pel contatto col rame; nello stesso caso, l'oro, l'argento ed il platino si elettrizzano negativamente.

Volta, fondandosi sulla teoria del contatto, fu condotto ad inventare il meraviglioso apparato che ha immortalizzato il suo nome. Questa teoria però non tardò molto ad incontrare essa pure, al pari di quella di Galvani, numerosi oppositori, e lo svolgimento di elettricità che Volta attribuiva unicamente al contatto, viene oggidì, come faremo conoscere in seguito, attribuito principalmente alle azioni chimiche.

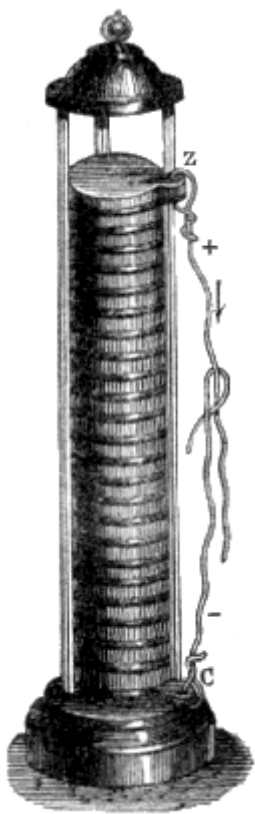


Fig. 450.

**624. Pila di Volta.** - Si dà il nome generale di *pila* ad ogni apparato che serve a svolgere dell'elettricità dinamica. Il primo apparato di questo genere, inventato da Volta nel 1800, si compone di una serie di dischi sovrapposti gli uni agli altri nell'ordine seguente: un disco di rame, un disco di zinco ed una rotella di panno bagnata in acqua acidulata, poi ancora un disco di rame, un

disco di zinco ed una rotella di panno, e così di seguito sempre nello stesso ordine, come mostra la figura 450. Da ciò la denominazione di pila che si conservò quantunque quest'apparato abbia ricevute disposizioni affatto differenti. Ordinariamente si saldano insieme a due a due i dischi di zinco e di rame in modo da formare delle *coppie* separate da rotelle umide e mantenute in posizione verticale da tre cilindri di vetro, come mostra la figura. Questo apparato, a motivo della sua forma, venne detto *pila a colonna*.

La distribuzione dell'elettricità in questa pila è diversa secondo che trovasi in comunicazione col suolo con uno de' suoi capi, ovvero è isolata, ciò che si ottiene collocandola sopra un disco di vetro o di resina.

Nel primo caso l'esperienza mostra che l'estremità posta in comunicazione col suolo trovasi allo stato naturale, e che il resto della pila ha una sola specie di elettricità la quale è positiva se l'estremità della pila che comunica col suolo è di rame, negativa se di zinco. La tensione, secondo la teoria di Volta (623, 2.°), dovrebbe crescere proporzionalmente al numero delle coppie; l'esperienza però dimostra che l'incremento è minore.

La distribuzione dell'elettricità è differente nella pila isolata. In questo caso, per mezzo dell'elettrometro si riconosce che la parte media trovasi allo stato naturale, che le estremità della pila sono cariche l'una di elettricità positiva, l'altra di elettricità negativa, e che la tensione cresce partendo dal mezzo fino alle estremità. La metà terminata da uno zinco è carica di elettricità positiva, e quella terminata da un rame è carica di elettricità negativa. Vedremo nella teoria chimica (635), quale sia la causa di questa distribuzione dell'elettricità nella pila.

**625. Tensione della pila.** - La *tensione* di una pila è la tendenza della elettricità, accumulata alle estremità, a svilupparsi ed a vincere gli ostacoli che si oppongono alla sua diffusione. Non si deve confondere la tensione di una pila colla quantità di elettricità ch'essa può sviluppare. La tensione dipende principalmente dal numero delle coppie, mentre la *quantità* di elettricità, quando le altre circostanze siano eguali, cresce colla superficie delle coppie. Quanto più questa superficie è grande, tanto maggiore, a tensione uguale, è la quantità di elettricità che circola nella pila. Questa quantità cresce anche colla conducibilità del liquido, interposto fra le coppie. La tensione, al contrario, è indipendente dalla natura di questo liquido.

Se la pila non è composta di un numero di coppie assai grande, la tensione alle sue estremità è sempre molto più debole che nelle macchine elettriche. Infatti, ciascuna estremità presa separatamente, non solo [non] dà scintilla<sup>(19)</sup>, ma non attrae nemmeno i corpi leggeri. Soltanto per mezzo dell'elettrometro condensatore a foglie d'oro, si giunge a rendere sensibile la tensione. Per ciò, si fa comunicare uno dei piatti dell'elettrometro con una delle estremità della pila e l'altro coll'altra estremità o col suolo.

Allora l'apparato si carica istantaneamente, ed interrompendo le comunicazioni si vedono divergere le foglie d'oro. Si può anche caricare una bottiglia di Leyda facendo comunicare l'armatura interna con una delle estremità della pila e l'armatura esterna coll'altra; ma questa carica, è molto più debole di quella fornita dalla macchina elettrica.

**626. Poli, elettrodi, correnti.** - In una pila chiamasi *polo positivo* l'estremità ove tende ad accumularsi il fluido positivo, e *polo negativo* quella ove tende ad accumularsi il fluido negativo. L'ultimo zinco tende ad essere il polo positivo e l'ultimo rame il polo negativo; ma siccome abbiamo veduto (624) che nella pila a colonna si può sopprimere l'ultimo zinco senza cangiare la distribuzione dell'elettricità, in modo che ciascun polo allora corrisponda ad un rame, e siccome lo stesso avverrà nelle diverse pile che ci restano a far conoscere, ne risulta che indicando i poli coi nomi dei metalli ai quali essi corrispondono ne potrebbe nascere confusione. Insomma i poli non devono essere determinati dalla natura dei metalli che terminano la pila, ma dall'ordine in cui sono disposti questi metalli, cioè il polo positivo è sempre situato all'estremità verso la quale sono rivolti gli zinchi di ciascuna coppia, ed il polo negativo all'estremità verso la quale sono rivolti tutti i rami.

Chiamansi *elettrodi* o *reofori* due fili metallici fissati ai poli della pila (450) e destinati a farli comunicare fra loro, in modo che le estremità di questi fili diventano esse medesime i poli.

Finalmente, indicasi col nome di *corrente* la ricomposizione delle elettricità contrarie che si opera da un polo all'altro della pila quando comunicano fra loro per mezzo di elettrodi o di un corpo conduttore qualunque. Gli effetti delle pile dimostrano che le correnti sono continue, donde si desume che a misura che le due elettricità si riuniscono per mezzo del filo congiuntivo, la forza elettromotrice, o piuttosto l'azione chimica, decompone una nuova quantità di elettricità naturale nella pila.

Ordinariamente si ammette in una corrente una direzione determinata, supponendo che essa si porti dal polo positivo al negativo negli elettrodi, e dal polo negativo al positivo nell'interno della pila; questa però non è che una convenzione, perchè la ricomposizione si opera egualmente dal polo positivo al polo negativo, e dal polo negativo al polo positivo. In ogni caso la corrente non incomincia che al momento in cui i due poli sono posti in comunicazione per mezzo di un corpo conduttore, ciò che si esprime col dire che la corrente è chiusa. Allora cessano tutte le proprietà dell'elettricità allo stato di tensione, ma se ne manifestano delle nuove che caratterizzano le correnti e che verranno descritte parlando degli effetti della pila.

## DIVERSE MODIFICAZIONI DELLA PILA

---

<sup>(19)</sup> Nel testo " non solo dà scintilla". Corretto dopo confronto con l'originale francese, disponibile du gallica.bnf.fr.  
[Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

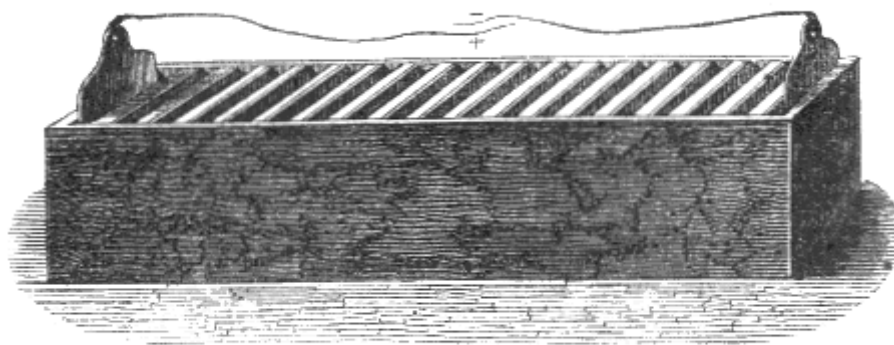


Fig. 451 (l. = 54).

**627. Pila a truogoli.** - La pila di Volta venne disposta diversamente. Quella da noi testè descritta (624), presenta l'inconveniente che le rotelle di stoffa, compresse dal peso dei dischi, lasciano effluire il liquido di cui sono inzuppate. Perciò fu tosto adottata la *pila a truogoli*, la quale è, per così dire, una pila a colonna orizzontale. Essa si compone di una cassa rettangolare di legno intonacata internamente di un mastice isolante (fig. 451). Le lastre di zinco e di rame, saldate tra loro a due a due, formano delle coppie che hanno una grandezza uguale alla sezione interna della cassa, e sono fissate nel mastice in modo che fra una coppia, e l'altra vi sia un piccolo intervallo, onde risultano altrettanti compartimenti o *truogoli*. In questi ultimi si versa una mescolanza d'acqua e d'acido solforico, la quale produce l'effetto delle rotelle nella pila a colonna; i due poli comunicano fra loro per mezzo di fili metallici fissati alle due lastre di rame immerse nei due ultimi truogoli. La teoria di questa pila è identicamente la stessa di quella della pila a colonna.

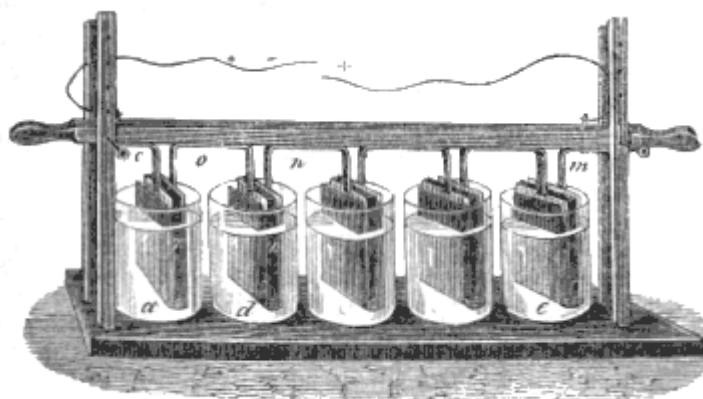


Fig. 452 (n. = 85).

**628. Pila di Wollaston.** - La *pila di Wollaston* o *pila a tazze*, è un'altra modificazione della pila di Volta. Le lastre di zinco e di rame sono saldate soltanto ai loro lembi, od anche per una parte dei loro lembi, al quale effetto le piastre di rame son terminate da una linguetta che si salda collo zinco. Queste piastre sono ripiegate in modo che si immergono verticalmente in tazze di vetro riempite in parte di acqua acidulata; ma le piastre di zinco e di rame immerse in una stessa tazza appartengono a coppie differenti (fig. 452). Partendo dalla sinistra della figura, una piccola lamina di rame *c* è saldata ad una grossa piastra *Z* di zinco, e queste due lastre formano la prima coppia. Una seconda lamina di rame *a*, grande come quella di zinco, la circonda senza toccarla, e va a riunirsi ad una linguetta di rame *o*, saldata ad un secondo zinco *Z'*, e forma con esso una seconda coppia. Lo zinco di questa coppia è parimenti circondato da una piastra di rame *d*, la quale è saldata ad un terzo zinco, e così di seguito, in modo da riunirne quante coppie si vogliono. La figura qui sopra rappresenta una pila di 16 coppie unite parallelamente in due serie di 8. Il primo rame *c*, essendo saldato ad uno zinco, rappresenta il polo negativo. Il polo positivo corrisponde all'ultimo rame *m*, il quale non essendo a contatto con verun zinco, non fa che togliere al liquido il fluido positivo che gli è fornito dall'ultima coppia. Siccome tutte le coppie sono fissate ad una traversa di legno, la quale può essere innalzata od abbassata a volontà fra quattro sostegni, la si solleva tosto che si vuol far

cessare l'azione della pila. Ordinariamente l'acqua delle tazze contiene 1/16 d'acido solforico ed 1/20 di acido azotico: quest'ultimo rende la corrente più costante cedendo dell'ossigeno all'idrogeno che proviene dalla decomposizione dell'acqua, ed opponendosi così a un deposito nocivo sul rame delle coppie (637).

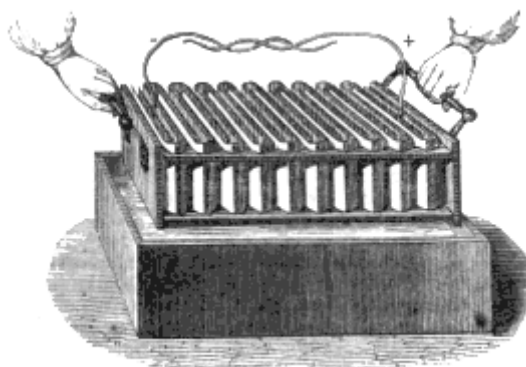


Fig. 453 1 - 61

**629. Pila di Munch.** - Munch, professore di fisica a Strasburgo, diede alla pila di Wollaston una disposizione più semplice, facendo immergere tutte le coppie in un sol truogolo di legno rivestito internamente di mastice. La figura 453, la quale rappresenta una pila di 20 coppie, mostra come le piastre di queste coppie siano unite verticalmente. Questa pila, sotto piccolo volume, dà effetti energici ma poco costanti.

Nelle diverse pile or ora descritte si dà alle piastre di zinco maggior grossezza che non a quelle di rame, perchè il primo di questi metalli è il solo che vien intaccato dall'acido solforico.

**630. Pile secche.** - Le *pila secche* sono vere pile a colonna, nelle quali le rotelle inzuppate d'acqua acidulata sono sostituite da una sostanza solida igrometrica. Se ne costrussero di diverse specie; nella pila di Zamboni, che è la più usitata, i metalli elettro-motori sono lo stagno o l'argento ed il biossido di manganese. Per costruire questa pila si prende un foglio di carta inargentata o coperta di stagno ad una delle due facce, e sull'altra si fissa, per mezzo di un corpo grasso, del biossido di manganese ben lavato. Sovrapposti sette od otto di questi fogli, se ne tagliano dei dischi di 25 millimetri di diametro circa, e si sovrappongono questi dischi nello stesso ordine in modo che l'argento o lo stagno di ciascun disco si trovi a contatto col manganese del disco successivo. Sovrapposte così 1200 a 1800 coppie, si termina la pila a ciascuna estremità con un disco di rame, e si lega strettamente con fili di seta tutto il sistema per istabilir meglio il contatto. Allora, al disco di rame che trovasi a contatto col manganese, corrisponde il polo positivo, ed all'altro disco, che trovasi in contatto coll'argento o collo stagno, corrisponde il polo negativo.

Le pile secche sono notabili per la durata della loro azione, la quale può prolungarsi per parecchi anni. La loro energia dipende molto dalla temperatura e dallo stato igrometrico dell'aria. Essa è maggiore in estate che in inverno, e l'azione di un forte calore può ravvivarla quando sembra estinta. Una pila di Zamboni di 2000 coppie non dà nè scossa nè scintilla, ma può caricare la bottiglia di Leyda e gli altri condensatori. A tal uopo però richiedesi un certo tempo perchè l'elettricità nel suo interno non si muove che lentamente. Lo svolgimento dell'elettricità in queste pile è generalmente attribuito ad una lenta azione chimica prodotta dalla decomposizione delle materie organiche della carta.

**631. Elettrometro di Bohnenberger.** - Bohnenberger costruì un elettrometro a pila secca di un'estrema sensibilità. È un elettrometro condensatore (fig. 438) la cui asta porta una foglia d'oro sospesa ad eguali distanze dai poli contrari di due pile secche collocate in posizione verticale nell'interno della campana sul piatto che serve di base all'apparecchio. Appena che la foglia d'oro possiede dell'elettricità libera, è attratta da una delle pile e respinta dall'altra, e la sua elettricità è evidentemente contraria a quella del polo verso cui si dirige.



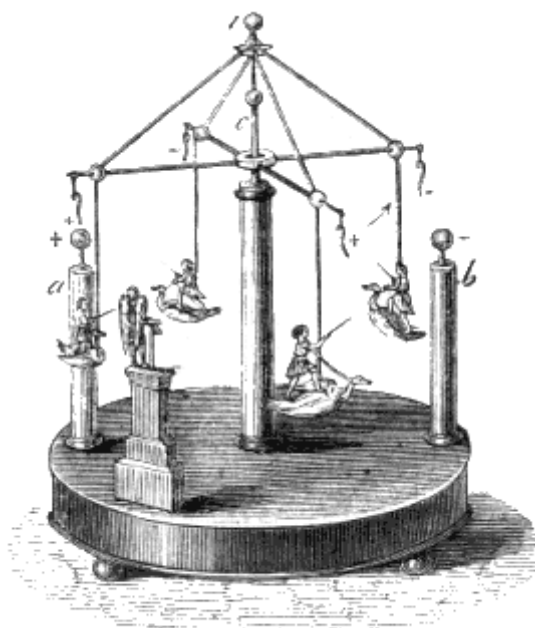


Fig. 454.

**632. Apparatì a rotazione.** - Si costruiscono, sotto nome di *giuochi d'anello*, dei piccoli apparati a rotazione continua, il cui movimento persiste per parecchi anni. La figura 454 rappresenta un apparato di questo genere. Due colonne di rame *a* e *b*, fissate sopra uno zoccolo di legno, comunicano per le loro basi, l'una col polo positivo, l'altra col polo negativo di una forte pila secca collocata orizzontalmente al disotto dello zoccolo. Questa pila è ordinariamente composta di sei pile più piccole comunicanti fra loro e formate complessivamente da 1800 coppie.

Sopra un perno *c*, collocato ad ugual distanza dalle due colonne *a* e *b*', trovasi un cappelletto d'avorio *i* al quale sono attaccati quattro sostegni che portano delle figurine dipinte sopra un cartone assai leggero, e che sono terminati da quattro banderuole di talco fissate con gomma lacca onde isolarle. Queste banderuole, attratte dapprima dalla elettricità delle sfere che terminano le colonne, le toccano e si caricano di elettricità della stessa specie. Allora, respinte, si mettono a girare, e le due banderuole positive, per es., che sono respinte dalla colonna *a*, vengono attratte dalla colonna *b*, e, dopo toccatala, ne sono del pari respinte, e così di seguito; donde risulta un movimento continuo che dura finchè la pila agisce, cioè per parecchi anni.

## TEORIA CINETICA DELLA PILA

**633. Elettricità che si sviluppa nelle azioni chimiche.** - La teoria del contatto, proposta da Volta per ispiegare la produzione dell'elettricità nella pila, non tardò ad essere attaccata da parecchi fisici. Fabroni, compatriota di Volta, avendo osservato che, nella pila, i dischi di zinco a contatto delle rotelle acidulate, si ossidavano, pensò che questa ossidazione era la causa principale dello sviluppo dell'elettricità. In Inghilterra Wollaston manifestò ben presto la stessa opinione, e Davy l'appoggiò con ingegnose esperienze.

Egli è bensì vero che nell'esperienza da noi più sopra citata (622), Volta aveva ottenuto alcuni segni sensibili di elettricità; ma De la Rive ha fatto vedere che, tenendo lo zinco con una pinzetta di legno, scompare ogni segno di elettricità, e che lo stesso succede se si colloca lo zinco in certi gas, come sono l'idrogeno, l'azoto che non esercitano su di esso alcuna azione. De la Rive conchiuse da ciò che lo sviluppo di elettricità, nell'esperienza di Volta, è dovuto alle azioni chimiche risultanti dalla traspirazione cutanea della mano e dall'ossigeno dell'aria.

Dimostrasi lo sviluppo dell'elettricità, nelle azioni chimiche, col mezzo dell'elettrometro condensatore, nel modo che segue: si pone sul piatto superiore un disco di carta bagnata, e al disopra di questa una capsula di zinco nella quale si versa un po' d'acqua e di acido solforico, poi si immerge nel liquido una lamina di platino comunicante col suolo, mentre si fa comunicare con esso

anche il piatto inferiore col mezzo del dito bagnato. Quando si rompono le comunicazioni e si leva il piatto superiore, si riconosce che le foglie d'oro hanno preso una quantità sensibile di elettricità positiva, ciò che mostra che il piatto superiore è stato elettrizzato negativamente dall'azione chimica dell'acido solforico sulle pareti della capsula.

Ma egli è principalmente coll'aiuto del galvanometro che si è constatato che tutte le azioni chimiche sono accompagnate da uno sviluppo di elettricità più o meno abbondante, ed è coll'aiuto dello stesso apparecchio che Becquerel ha trovato sullo sviluppo dell'elettricità nelle azioni chimiche le leggi seguenti:

1.° *Nelle combinazioni dell'ossigeno con un altro corpo, l'ossigeno prende l'elettricità positiva, e il combustibile l'elettricità negativa.*

2.° *Nella combinazione di un acido con una base o con un corpo che funziona come questa, il primo prende l'elettricità positiva, e il secondo l'elettricità negativa.*

3.° *Quando un acido agisce chimicamente sopra un metallo, l'acido si elettrizza positivamente e il metallo negativamente, ciò che è una conseguenza della seconda legge.*

4.° *Nelle decomposizioni, gli effetti elettrici sono inversi dei precedenti.*

5.° *Nelle doppie decomposizioni, l'equilibrio delle forze elettriche non è punto turbato.*

Quanto alla quantità di elettricità sviluppata nelle azioni chimiche, essa è enorme. Becquerel, infatti, giunse a un sol risultato che spaventa l'immaginazione, ed è che l'ossidazione di una quantità d'idrogeno che può dare 1 milligrammo d'acqua sviluppa tanta elettricità da caricare *venti mila volte una superficie metallica di un metro in superficie*, a un tal grado che le scintille risultanti dalla scarica scoppino a un centimetro di distanza. Faraday e Pelletier pervennero a risultati simili.

**634. Teoria chimica della pila.** - In questa teoria, la sola che sia generalmente ammessa al dì d'oggi, tutta l'elettricità sviluppatasi nelle pile precedentemente descritte è dovuta all'azione dell'acqua acidulata sullo zinco, come è facile rendersene conto dietro le leggi date qui sopra (633). Tuttavia, importa osservare che, mentre nella teoria del contatto (623) è la riunione di uno zinco e di un rame saldati assieme che costituisce una coppia, nella teoria chimica invece è *il sistema di uno zinco e di un rame separati da acqua acidulata*.

Ciò posto, sia dapprima il caso di una sola coppia zinco e rame che pesca nell'acqua acidulata con acido solforico (fig. 455). Secondo la terza legge di Becquerel, nell'azione chimica che producesi fra l'acido, l'acqua e lo zinco, quest'ultimo si elettrizza negativamente e l'acqua acidulata positivamente. Quanto al rame, essendo *inattivo*, vale a dire non intaccato dall'acido solforico alla temperatura ordinaria, esso non fa che prendere al liquido la sua elettricità, in modo che esso trovasi elettrizzato positivamente. Riunendo dunque i due metalli con un filo metallico, si avrà una corrente che andrà, nel liquido, dallo zinco al rame, ed esternamente invece dal rame allo zinco. Donde rilevasi che *il*

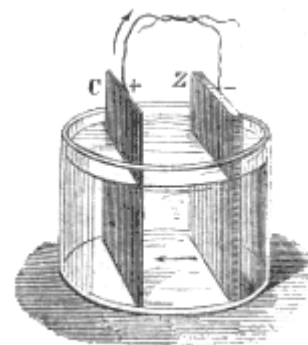


Fig. 455.

*polo positivo corrisponde al metallo inattivo, e il polo negativo al metallo attivo, vale a dire al metallo intaccato dall'acido.* Questo principio è generale e si applica non solo a tutte le pile già descritte, ma anche a quelle che ci restano a far conoscere.

Nella teoria chimica della pila, dovuta a De la Rive, vedesi essere necessario che uno solo dei metalli che compongono la coppia voltaica sia intaccato dall'acqua acidulata, o per lo meno che il secondo metallo sia molto meno attivo del primo, altrimenti produconsi due effetti di direzione contraria che tendono ad annichilarsi. Egli è per questo motivo che, nella coppia voltaica, al rame si sostituisce con vantaggio il platino ed anche il carbone calcinato.

**635. Teoria della pila a parecchie coppie.** - Nel caso di una sola coppia, quale venne considerato più sopra (fig. 455), tosto che le due elettricità sono separate dall'azione chimica, l'una sopra lo zinco, l'altra nel liquido, la maggior parte ricombinasi nella coppia stessa attraverso il liquido, di modo che solo una debolissima porzione delle elettricità sviluppate dall'azione chimica circola nel filo congiuntivo; e la quantità di elettricità che passa così in questo filo è tanto più debole

quanto minor resistenza incontrano i due fluidi a riunirsi nell'interno della coppia. Se questa resistenza, invece, diventa più grande, la quantità di elettricità che va da un polo all'altro pel filo congiuntore aumenta. Ora, tale è il risultato che si ottiene moltiplicando il numero delle coppie.

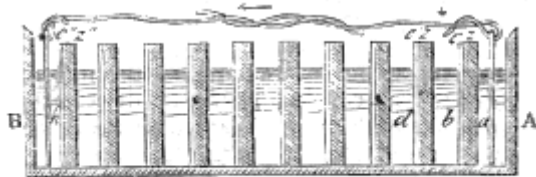


Fig. 456.

Infatti, sia, per es., una pila a trugoli AB (fig. 456), formata da coppie zinco e rame, e i trugoli della quale contengano dell'acido solforico diluito con acqua, l'acido di ogni trugolo intacca il zinco, ma non ha azione sul rame; avvi dunque, in tutta la pila, svolgimento di elettricità positiva verso il liquido e di elettricità negativa sullo zinco di ogni coppia (633, 3.º). Ora, nel trugolo *b*, dove il liquido è nello stesso tempo a contatto con uno zinco ed un rame, l'elettricità positiva del liquido si ricompone costantemente coll'elettricità contraria della coppia *cz*; egualmente, nel trugolo *d*, il fluido positivo del liquido si combina col fluido negativo della coppia *c'z'*, e così di seguito in tutta la pila: così che non vi sono che le elettricità dei trugoli esterni *a* ed *h* che, non potendo unirsi a quelle dei trugoli vicini, restano libere. Egli è facile a vedersi, che allora è il trugolo *a* che è elettrizzato positivamente per l'azione del suo acido sullo zinco *z*, ed il trugolo *h* che è elettrizzato negativamente dalla elettricità che ad esso comunica la coppia *c''z''*.

Ciò posto; avendo De la Rive trovato che la conduttività di una massa liquida interrotta da diaframmi metallici è in ragione inversa del loro numero, ne segue che quanto maggiore è il numero delle coppie interpolari, tanto maggiore resistenza alla loro ricomposizione nella pila incontrano le elettricità contrarie accumulate ai poli, tanto più forte è la tensione e più abbondante è l'elettricità che percorre il filo congiuntore. Ne deriva inoltre che, nelle coppie interpolari, la tensione diminuisce dai poli verso il mezzo della pila, poichè diminuendo l'intervallo delle coppie, la resistenza alla ricomposizione è minore. Per la stessa ragione, la tensione è nulla nella parte centrale.

Siccome la resistenza alla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate ai due poli aumenta quando, il liquido interpolare è meno conduttore, lo stesso deve avvenire della tensione. Infatti De la Rive ha riconosciuto che, riempiansi i trugoli della pila di acqua acidulata o d'acqua ordinaria, la tensione è la stessa. Nel primo caso, la produzione di elettricità è più abbondante, ma i fluidi contrari si ricompongono più facilmente.

Finalmente, secondo la teoria precedente, la tensione aumenta col numero delle coppie; ma le elettricità contrarie delle coppie intermediarie formando costantemente del fluido neutro, ne risulta, quando riuniscono i due poli con un circuito metallico, che questo non è attraversato, in realtà, che dall'elettricità sviluppata da una sola coppia. Se non che, la perdita di elettricità nella coppia essendo diminuita, se ne raccoglie una maggiore quantità nel filo congiuntore.

**636. Indebolimento della corrente nelle pile, correnti secondarie, polarità.** - Le diverse pile a colonna, a trugoli, di Wollaston e di Munch, descritte precedentemente, e che hanno tutte per carattere di essere composte di due metalli e di un solo liquido, presentano il grave inconveniente di dare certe correnti l'intensità delle quali diminuisce rapidamente.

Questo indebolimento è dovuto a due cause: la prima è la diminuzione delle reazioni chimiche per la neutralizzazione dell'acido solforico a misura che si combina allo zinco; la seconda proviene dalle *correnti secondarie*. Chiamansi così certe correnti che produconsi nelle pile in senso contrario alla corrente principale e la distruggono in totalità o in parte. Becquerel riconobbe che queste correnti sono generate da depositi che formansi, sulle lastre di zinco e rame delle coppie. In fatti, la corrente che va dallo zinco al rame, *nella pila*, decomponendo l'acqua e il solfato di zinco, che si è formato, depositasi sul rame verso il quale va la corrente, dello zinco, dell'ossido di zinco ed anche uno strato di gas idrogeno, mentre verso lo zinco si portano l'acido e l'ossigeno provenienti dalla decomposizione del sale e dell'acqua. Ora le sostanze così deposte, reagendo in seguito le une sulle

altre, ne risulta una corrente in senso contrario a quella della pila e che la neutralizza più o meno. La corrente secondaria così sviluppata è tanto più intensa quanto più prolungata fu l'azione della corrente principale.

Egli è principalmente sul metallo inattivo, lo stesso che rappresenta il polo negativo *nell'interno della coppia*, che formansi i depositi. Quelli che tendono a farsi sul metallo attivo sono disciolti in virtù dell'azione chimica che ivi producesi. Se interrompesi il circuito, i depositi si sciolgono e l'intensità della corrente aumenta. Si ottiene lo stesso risultato facendo passare la corrente di un'altra pila in senso contrario a quella della prima, i depositi formati venendo allora disciolti dai depositi opposti.

De la Rive ha constatato per primo, che ritirando dal liquido alcune lastre di platino che servirono a trasmettere la corrente in un liquido decomponibile e immergendole nell'acqua distillata, danno origine ad una corrente in senso inverso a quella che esse hanno dapprima trasmessa: fenomeno che il dotto fisico di Ginevra ha espresso dicendo che le lastre sono *polarizzate*. Becquerel e Faraday fecero vedere che questa polarità dei metalli è un effetto dei depositi generati dalle correnti secondarie di cui abbiamo discorso più sopra.

Le lastre di platino che servirono alla decomposizione dell'acqua pura acquistano anch'esse la polarità elettrica, senza che si possa attribuirlo all'effetto di un acido o di una base; ma Matteucci fece vedere che essa proviene allora da uno strato di ossigeno e di idrogeno deposto rispettivamente su ogni lastra.

### PILE SEPARATE A DUE LIQUIDI

**637. Oggetto delle pile a due liquidi.** - Atteso il rapido indebolimento della loro corrente, le pile ad un solo liquido sono oggidì pressochè disusate, e in generale si sostituiscono alle medesime le pile a due liquidi, distinte col nome di *pila a corrente costante*, perchè i loro effetti conservano per lungo tempo un'intensità sensibilmente uniforme. Si variò di molto la forma di queste pile; quelle maggiormente in uso sono quella di Daniell, quella di Grove e quella di Bunsen.

In queste pile correggonsi gli inconvenienti delle pile ad un solo liquido col mezzo di due liquidi suscettibili di reagire l'uno sull'altro, e separati da un *diaframma* che lascia passare facilmente la corrente, ma non permette ai liquidi di mescolarsi, almeno rapidamente; poi si fanno immergere i due elementi d'una stessa coppia, l'uno in un liquido, l'altro nell'altro. Le condizioni alle quali deve soddisfare la costruzione della pila sono: 1.° di non dar luogo ad alcun deposito nocivo sul metallo inattivo; 2.° di conservare sempre all'acido lo stesso grado di concentrazione.

**638. Pila di Daniell.** - La prima pila a corrente costante fu costrutta da Becquerel nel 1829. Alcuni anni dopo, nel 1836, il chimico inglese Daniell costruì la pila che porta il suo nome, e che colla *pila a carbone* (640), è quella maggiormente in uso al dì d'oggi. La figura 457 rappresenta una coppia o un *elemento* di questa pila, la cui forma venne molto variata. Un vaso V, di vetro, è pieno di una soluzione satura di solfato di rame nella quale è immerso un cilindro di rame rosso C, in cui sono praticati lateralmente parecchi fori e che è aperto alle due estremità. Alla parte superiore di questo cilindro è fissato un recipiente anulare G, sul contorno inferiore del quale sono praticati alcuni piccoli fori pei quali penetra la soluzione. Questo recipiente è destinato a contenere dei cristalli di solfato di rame che si sciolgono a misura che l'apparato funziona. Finalmente nell'interno del cilindro C è collocato un vaso poroso o diaframma P, di terra cotta, pieno d'acqua acidulata con acido solforico o d'una soluzione di salmarino, nella quale è immerso un cilindro di zinco Z, aperto alle due estremità ed amalgamato.

Ai cilindri di zinco e di rame sono fissate per mezzo di viti di pressione due sottili lamine di rame *p* ed *n*, le quali formano gli elettrodi della pila.

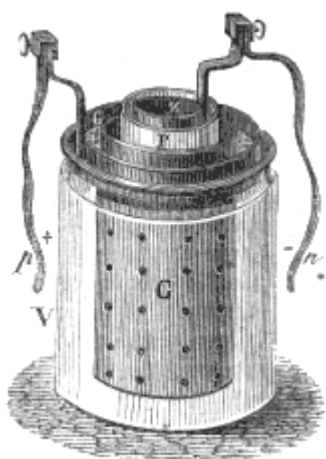


Fig. 437.

Fino a che i due elettrodi non comunicano fra loro, la pila è inattiva, ma appena che la comunicazione è stabilita, l'azione chimica incomincia: l'acqua è decomposta e l'acido solforico intacca lo zinco che si elettrizza negativamente, mentre l'acqua acidulata si elettrizza positivamente (633). Da questa il fluido positivo si rende, attraverso il diaframma, nella soluzione del solfato, e finalmente sul rame C, che diventa così il polo positivo. Quanto all'idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'acqua, esso è trascinato nel senso della corrente interna, si porta nella soluzione di solfato di rame di cui riduce l'ossido e rivvifica il rame, che forma un deposito senza aderenza sul cilindro C. Per conseguenza la superficie di questo resta sempre identicamente la stessa. Finalmente, l'ossido di zinco che può provenire dalla decomposizione del solfato di zinco per la corrente secondaria, non passa attraverso al vaso poroso e resta nella stessa soluzione in cui è

immerso lo zinco. Durante questo lavoro chimico, la soluzione di solfato di rame tende a impoverirsi rapidamente; ma i cristalli collocati nel recipiente G sciogliendosi in proporzione, il grado di concentrazione rimane costante. Quanto all'acido solforico reso libero per la decomposizione del solfato di rame, esso portasi contemporaneamente all'ossigeno dell'acqua, verso lo zinco per trasformarsi in solfato; e siccome la quantità d'acido solforico messa in libertà nella soluzione di rame è regolare, lo è pure l'azione di questo acido sopra lo zinco, donde risulta una corrente costante.

Con queste pile si ottengono effetti costanti per parecchi giorni ed anche per parecchi mesi, purchè si abbia cura di conservare la soluzione allo stato di saturazione, aggiungendovi di tempo in tempo dei cristalli di solfato di rame. Per unire parecchie coppie, si congiunge con viti di pressione il polo zinco di una coppia col polo rame della coppia successiva, e così di seguito da una coppia all'altra, come mostra la figura 461, in un'altra specie di pila. Quanto alla natura dei poli, egli è l'elettrodo fisso allo zinco che è negativo, e l'elettrodo fisso al rame che è positivo, come nelle pile già descritte.

Invece di un vaso poroso di terra si prende anche per diaframma che separa le due soluzioni una bisaccia di tela da vele o di pellicola. L'effetto dapprima è più energico di quello che si ottiene con un vaso poroso, ma si indebolisce più presto, perchè le soluzioni si mescolano più rapidamente. In generale i diaframmi devono essere permeabili alla corrente, ma impedire il meglio possibile la mescolanza dei due liquidi.

**639. Pila di Grove.** - La figura 458 rappresenta una coppia della pila di Grove. Questa coppia è composta: 1.° di un vaso di vetro A riempito in parte di acqua acidulata con acido solforico; 2.° di un cilindro di zinco Z, aperto ai due capi ed avente una fessura longitudinale; 3.° di un vaso poroso V, di terra cotta pieno d'acido azotico ordinario; 4.° di una lamina di platino P curvata ad S (fig. 459) e fissata ad un coperchio e che si appoggia sul vaso poroso.

Un'asta metallica *b* comunicante colla lamina di platino, porta un filo di rame che serve d'elettrodo positivo, mentre un secondo filo fissato allo zinco serve di elettrodo negativo.

Questa pila è poco usitata a motivo del molto costo del platino, inoltre questo metallo ha l'inconveniente che, quando la pila ha funzionato per un certo tempo, divien fragile e si spezza sotto il minimo sforzo; tuttavia Adam, professore di fisica a Nizza, ha osservato che riscaldando sino al rosso le lamine di platino della pila di Grove, esse riprendono la loro elasticità.

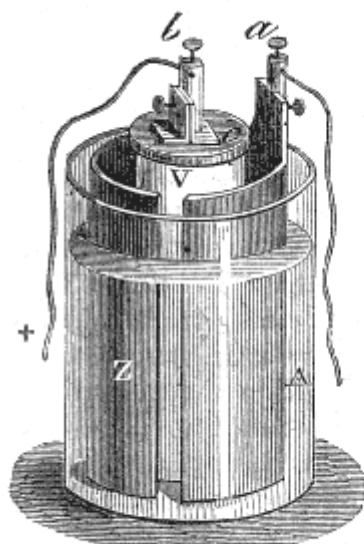


Fig. 458.

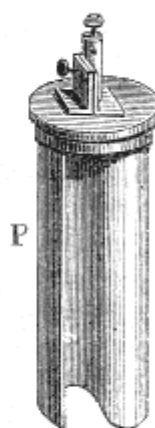


Fig. 459.

**640. Pila di Bunsen.** – La *pila di Bunsen*, conosciuta anche sotto il nome di *pila a carbone*, fu inventata nel 1843; non è che quella di Grove, in cui la foglia di platino è sostituita da un cilindro di carbone preparato riscaldando fortemente, in una forma di ferro, una mescolanza intima di coke e di carbon fossile grasso ben polverizzati e fortemente compressi.

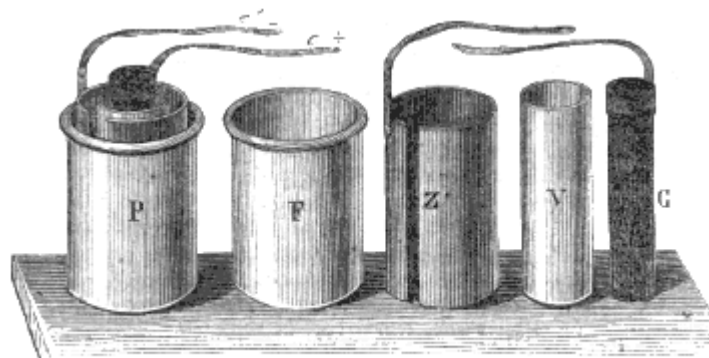


Fig. 460 (a. = 17).

Ciascuna coppia della pila a carbone è composta di quattro pezzi di forma cilindrica, i quali ponno facilmente essere collocati l'uno entro l'altro. Questi pezzi sono:

1.° un vaso F (fig. 460) di maiolica o di vetro, contenente una soluzione di una parte d'acido solforico in 10 o 12 parti d'acqua; 2.° un cilindro cavo Z, di zinco amalgamato, al quale è fissata una lamina stretta e sottile di rame destinata a servire di elettrodo negativo; 3.° un vaso poroso V, di terra cotta, nel quale si pone dell'acido azotico ordinario; 4.° un cilindro di carbone C, preparato come si disse e buon conduttore.

Alla parte superiore del carbone è fissata una lamina di rame, che serve di elettrodo positivo. La miglior maniera di fissare questa lamina si è di saldarla a un tronco di cono che entra nel carbone come lo rappresenta la figura 461. Quando si vuol far agire l'apparato lo si dispone come lo si vede in P (fig. 460), collocando nel vaso di maiolica il cilindro di zinco, ed in questo il vaso poroso ed il carbone.

Finchè lo zinco ed il carbone non comunicano, la pila è inattiva ma appena che la comunicazione sia stabilita per mezzo di un circuito conduttore, l'azione chimica incomincia. L'acqua nella quale è immerso lo zinco essendo decomposta da questo metallo e dall'acido solforico, con formazione di solfato di zinco, questo s'elettrizza negativamente (633) e diviene il polo negativo della coppia. Quanto all'idrogene, proveniente dalla decomposizione dell'acqua, non si depone sui carboni, ma decompone l'acido azotico e lo trasforma in acido ipo-azotico, impadronendosi d'una parte del suo ossigeno per farne dell'acqua. Infine, l'ossido di zinco rimane nel liquido ov'è pur immerso il

cilindro di zinco, e non attraversa il vaso poroso fino al carbone. Questi conserva dunque sempre una superficie perfettamente netta, per cui contribuisce essenzialmente a mantenere alla pila una costante energia.

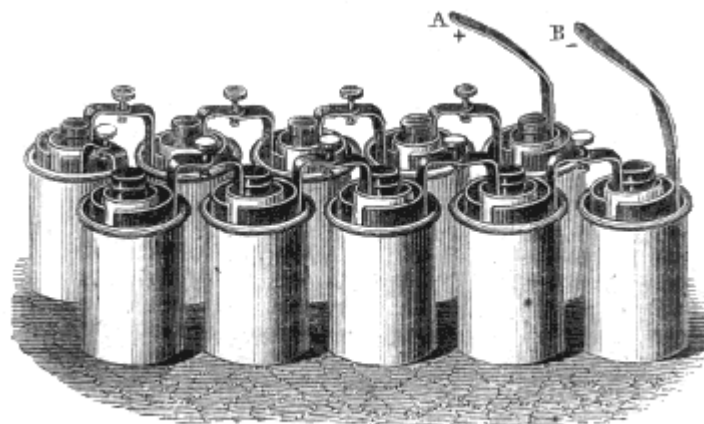


Fig. 461.

Per formare un apparato composto, ossia una pila, si dispongono le coppie come mostra la figura 461. Ai cilindri di zinco e di carbone sono fissate alcune piccole lamine di rame ricurve che si uniscono per mezzo di viti di pressione, facendo comunicare il carbone di ciascuna coppia collo zinco della coppia successiva; e terminando la prima e l'ultima coppia con due elettrodi A e B. In recenti esperienze Despretz portò il numero delle coppie sino ad 800.

La pila di Bunsen è la più energica delle pile a corrente costante, e la più usitata oggidì. Tuttavia la corrente si indebolisce piuttosto rapidamente a misura che l'acido solforico si combina collo zinco. Questa pila inoltre presenta l'inconveniente di spandere dei vapori di acido ipo-azotico assai incomodi quando le coppie siano alquanto numerose.

Per variare la superficie a norma degli effetti che si vogliono produrre, Deleuil costruì delle coppie di Bunsen di due grandezze, che noi distingueremo coi nomi di *grandi* e di *piccoli modelli*. Nei primi il cilindro di zinco ha 22 centimetri di altezza, nei secondi 14. Deleuil ammette che per gli effetti dipendenti dalla superficie, una coppia grande modello equivale a circa due coppie piccole. Quando parleremo di un numero di coppie senza indicare se grandi o piccoli modelli, si intenderà parlare di questi ultimi.

**641. Manipolazione della pila di Bunsen.** - La manipolazione della pila di Bunsen è lunga, faticosa, e dev'essere fatta con attenzione, se si vuole ottenere dalla pila tutto il suo effetto. Duboscq, competente in questa materia, dà a questo proposito i seguenti consigli:

Il miscuglio d'acqua e d'acido solforico lo si deve preparare anticipatamente in un sol vaso, onde avere esattamente lo stesso grado di saturazione per tutte le coppie. Versata anzitutto l'acqua in una tinozza di legno, aggiungesi un decimo, in volume, di acido solforico ordinario, di modo che la soluzione marchi 10 ad 11 gradi del pesa-acido di Baumé. Se non si ha il pesa-acido, l'acqua è sufficientemente acidulata quando essa diventa tiepida e che una gocciola deposta sulla lingua non può esservi conservata.

Quanto agli elementi, essi devono essere disposti in seguito gli uni agli altri sopra una tavola ben secca, avendo cura che non si tocchino gli uni gli altri per alcuna delle loro parti, tranne che per le lastre e i coni di rame che uniscono lo zinco di ogni elemento al carbone dell'elemento seguente: si versa in seguito, mediante un imbuto, l'acido azotico nei vasi porosi sino a due centimetri dall'orlo, poi si riempiono allo stesso modo i vasi esterni di acqua acidulata sino a un centimetro dall'orlo, ciò che stabilisce appresso a poco l'eguaglianza di livello dei due liquidi: condizione essenziale per la costanza della pila. Versato l'acido azotico nei vasi porosi, devesi introdurre l'acqua acidulata, onde non dare all'acido azotico il tempo di traversare questi vasi e di intaccare gli zinchi.

Essendo indispensabile, perchè una pila funzioni a dovere, di stabilir bene il contatto, dev'essere pulita con cura, fregandoli con carta di vetro, i tronchi di cono che si impegnano nei carboni, e far sì che entrino a forza in questi.

L'acido azotico, se è nuovo, deve marcare 40 al pesa-acido, e può servire sino a che non marca più che 26. Vi si aggiunge allora un cinquantesimo, in volume, di acido solforico; ma dopo quest'aggiunta, esso non può servire che una volta. L'acqua acidulata serve generalmente due volte, a meno che il solfato di zinco formatosi non incominci a cristallizzare.

Ciò che devesi maggiormente osservare per conservare la pila in buono stato, è l'amalgamazione degli zinchi (642). Si conosce che uno zinco ha bisogno di essere amalgamato quando si fa udire un sibilo nell'acqua acidulata senza che la pila sia in attività. Se esso è fortemente intaccato, vedesi l'acqua fumare ed anche bollire; in questo caso bisogna ritirare lo zinco immediatamente, altrimenti in poche ore si forerebbe.

Per amalgamare gli zinchi, si immergono per qualche secondo nell'acqua acidulata (quella stessa della pila), onde pulirli; indi si collocano l'uno dopo l'altro in un vaso di terra contenente un po' d'acqua acidulata (due volte di più della prima), e due chilogrammi circa di mercurio che stendesi sullo zinco con una grattabugia di ferro. Quando gli zinchi sono amalgamati, si immergono in una tinozza di acqua netta, in fondo alla quale, dopo l'operazione, trovasi l'eccesso di mercurio.

**642. Proprietà dello zinco amalgamato.** - De la Rive osservò che lo zinco perfettamente puro non viene intaccato dall'acido solforico diluito con acqua, ma che lo è quando sia posto a contatto con una lastra di platino o di rame immersa nella soluzione. Al contrario, lo zinco comune, che non è puro, è vivamente intaccato dall'acido diluito; però quando sia amalgamato acquista la proprietà dello zinco puro ed è intaccato soltanto quando si trova a contatto con un filo di rame o di platino immerso esso pure nella soluzione, cioè quando fa parte di una coppia in attività.

Questa proprietà, che sembra dovuta allo stato elettrico che assume lo zinco pel suo contatto col mercurio, venne applicata alle pile elettriche da Kemp, fisico inglese, il quale immaginò di amalgamare gli zinchi di ciascuna coppia; da ciò risulta che finchè il circuito non è chiuso, cioè finchè non avvi corrente, lo zinco non viene intaccato.

Inoltre si osserva che collo zinco amalgamato la corrente è più regolare, ed in pari tempo per una stessa quantità di metallo disciolto è più intensa.

6



Fig. 462.

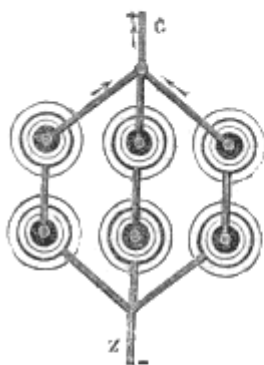


Fig. 463.

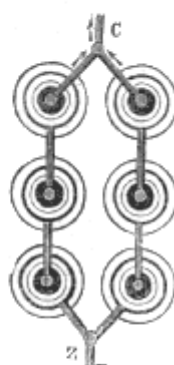


Fig. 464.

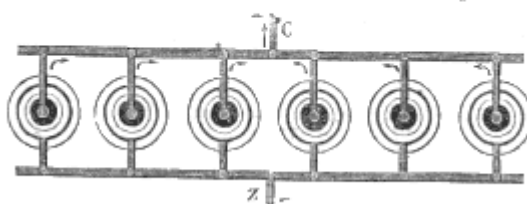


Fig. 465.

**43. Differenti comunicazioni delle coppie di una pila.** - Quando si uniscono parecchie coppie di Bunsen o di Daniell per formare una pila galvanica, come mostra la figura 461, si ponno



combinare in differenti modi. Per es., nel caso di sei coppie, si ponno formare le quattro combinazioni seguenti: 1.° una sola serie longitudinale (fig. 462), di cui C rappresenta l'elettrodo positivo e Z, l'elettrodo negativo; 2.° due serie parallele di tre coppie ciascuna (fig. 463), rimanendo gli elettrodi positivi delle due serie in C, e gli elettrodi negativi in Z; 3.° tre serie parallele di due coppie ciascuna (fig. 464) di cui gli elettrodi dello stesso nome si riuniscono ancora in un solo; 4.° finalmente sei serie ciascuna di una sola coppia (fig. 465), le cui correnti si riuniscono in C ed in Z.

Con dodici coppie si potrebbero formare otto combinazioni diverse, e così di seguito aumentando il numero delle coppie. Le combinazioni in serie longitudinali (fig. 462), e quelle in due o tre serie parallele (fig. 463 e 464) sono le più comunemente adoperate.

In queste diverse combinazioni, la diminuzione della lunghezza delle serie ed il proporzionale aumento del loro numero, equivalgono ad una diminuzione del numero delle coppie e ad un aumento della loro superficie, il che produce, per uno stesso numero di coppie, effetti assai differenti, come vedremo quanto prima parlando degli effetti della pila (644).

Nelle diverse combinazioni suindicate, la resistenza che la pila presenta alla corrente, diminuisce a misura che cresce il numero delle serie parallele. Infatti, se si rappresenta con 1 la resistenza di una sola coppia, quella della prima combinazione (fig. 462) è 6; quella della seconda (fig. 463) è 3 per ciascuna serie, e quindi  $3/2 = 1,5$  per due serie riunite, perchè la resistenza è eguale e la corrente è doppia; del pari, nella terza combinazione (fig. 464), la resistenza per ciascuna serie è 2, e per le tre serie riunite è  $2/3 = 0,666$ ; finalmente, nella quarta (fig. 465), essa è  $1/6 = 0,166$ . Nello stesso modo si calcolerebbe la resistenza di un numero qualunque di coppie disposte in serie parallele. Per es., 24 coppie in tre serie parallele di 8 danno la resistenza  $8/3 = 2,666$ . Ora, siccome il calcolo dimostra che si ottiene il massimo effetto di una pila quando la resistenza nella pila è eguale a quella che presenta il circuito che deve percorrere la corrente da un elettrodo all'altro, così si dovrà scegliere, fra le combinazioni possibili, quella la cui resistenza si avvicini di più alla resistenza del circuito dato.

## CAPITOLO II

### EFFETTI DELLA PILA, GALVANOPLASTICA, INDORATURA ED INARGENTATURA

**644. Diversi effetti della pila.** - Gli effetti dell'elettricità dinamica si dividono in effetti fisiologici, fisici e chimici; essi differiscono da quelli dell'elettricità statica, perchè questi ultimi sono dovuti ad una ricomposizione istantanea delle due elettricità a forte tensione, mentre i primi risultano dalla ricomposizione lenta ed a tensione molto più debole degli stessi fluidi quando i due poli della pila sono congiunti per mezzo di un circuito più o meno conduttore. Gli effetti delle correnti sono molto più notevoli di quelli delle macchine elettriche per la continuità della forza che li produce.

Gli effetti fisici, che si dividono in effetti calorifici ed effetti luminosi, dipendono principalmente dalla quantità di elettricità posta in movimento nella pila, e, per conseguenza, dalla superficie delle coppie. Al contrario, gli effetti chimici e gli effetti fisiologici dipendono dalla tensione, e quindi dal numero delle coppie. Tutti questi effetti aumentano coll'azione chimica del liquido della pila.

**645. Effetti fisiologici.** - Si chiamano con questo nome gli effetti prodotti dalla pila sugli animali morti o vivi. Abbiamo veduto che questi effetti furono i primi che vennero osservati, giacchè ad essi è dovuta la scoperta dell'elettricità dinamica fatta da Galvani. Essi consistono in scosse e contrazioni muscolari assai energiche quando le pile sono potenti.

Prendendo nelle due mani gli elettrodi di una forte pila, si risente una violenta scossa paragonabile a quella della bottiglia di Leyda, principalmente se le mani furono bagnate con acqua acidulata o salata, che aumenta la conducibilità. La scossa è di tanto più intensa quanto più numerose sono le coppie. Con una pila di Bunsen di 50 a 60 coppie, modello piccolo, la scossa è forte; con 150 a 200 coppie è insopportabile ed anche dannosa qualora venga prolungata. Essa si stende nelle braccia meno di quella della bottiglia di Leyda, e trasmessa in una catena di parecchie persone, è sentita generalmente soltanto da quelle che si trovano più vicine ai poli.

La scossa della pila, al pari di quella della bottiglia di Leyda, è dovuta alla ricomposizione delle elettricità contrarie, ma con questa differenza, che la scarica della bottiglia di Leyda essendo istantanea, lo stesso accade, della scossa da essa prodotta, mentre la pila, ricaricandosi tosto dopo ciascuna scarica, le scosse si succedono con rapidità. L'effetto della corrente voltiana sugli animali varia colla sua direzione. Infatti, dalle ricerche di Lehot e di Marianini risulta che quando la corrente si propaga secondo le ramificazioni dei nervi produce una contrazione muscolare al momento in cui incomincia ed una sensazione dolorosa quando finisce; mentre, se si propaga in senso contrario delle ramificazioni nervose, produce una sensazione finchè dura, ed una contrazione al momento della sua interruzione. Però questa differenza di effetti ha luogo soltanto per correnti deboli. Colle correnti intense le contrazioni ed i dolori si producono egualmente quando cessa la corrente, qualunque sia la sua direzione. Le contrazioni cessano tosto che la corrente è stabilita invariabilmente tra il nervo ed il muscolo, ciò che tende a dimostrare che si è prodotta una modificazione istantanea, la quale dura quanto la corrente. Infatti le contrazioni si manifestano di nuovo se si cambia la direzione della corrente, o se le si sostituisce una corrente più energica.

Per effetto della corrente furono richiamati in vita dei conigli asfissati da mezz'ora; una testa di un decapitato provò contrazioni così orribili che gli spettatori ne furono spaventati. Il tronco, sottoposto alla stessa azione, si sollevava in parte, le mani si agitavano, percuotevano gli oggetti vicini, ed i muscoli del petto imitavano il movimento respiratorio. Finalmente, tutti gli atti della vita si riproducevano perfettamente, ma cessavano ed un tratto colla corrente.

**646. Effetti calorifici.** - Una corrente voltiana che attraversi un filo metallico produce gli stessi effetti della scarica di una batteria (616), il filo si scalda, diventa incandescente, si fonde o si volatilizza, secondo che è più o meno lungo e di diametro maggiore o minore. Con una pila potente si fondono tutti i metalli, e perfino l'iridio ed il platino che resistono al più intenso fuoco di fucina. Il carbone è il solo corpo che finora non si sia potuto fondere colla pila. Però, Despretz, con una pila di Bunsen di 600 coppie riunite in sei serie parallele (643) ha portato delle verghe di carbone purissimo ad una temperatura tale che si incurvarono, si ramollirono e si poterono saldare insieme; fenomeni che indicano un principio di fusione.

Nelle stesse esperienze, questo scienziato trasformò il diamante in grafite, ed ottenne, per mezzo di una azione assai prolungata, dei globetti di carbone fuso. Egli potè fondere in alcuni minuti 250 grammi di platino; operando sopra pochi grammi ne volatilizzò una parte.

Basta una pila di 30 a 40 coppie di Bunsen per fondere e volatilizzare con rapidità dei piccoli fili di piombo, di stagno, di zinco, di rame, d'oro, d'argento, di ferro ed anche di platino, con vive scintille diversamente colorate. Il ferro ed il platino abbruciano con luce bianco-brillante; il piombo con luce purpurea; lo stagno e l'oro con luce bianco-azzurrognola; la luce dello zinco è mista di bianco e di rosso; finalmente il rame e l'argento danno una luce verde.

Facendo passare la corrente in fili metallici di diametri e di lunghezze uguali, Children constatò che quelli la cui conducibilità elettrica è minore, si scaldano maggiormente; donde conchiuse che gli effetti calorifici della pila sono dovuti alla resistenza che incontra la corrente nell'attraversare il conduttore che congiunge i poli.

Abbiamo già notato (644) che gli effetti calorifici dipendono più dalla quantità del fluido elettrico che circola nella corrente, che dalla tensione: in altri termini, dipendono più dalla superficie delle coppie che dal loro numero. Infatti, con una coppia di Wollaston, il cui zinco abbia 300 centimetri quadrati di superficie, si giunge a fondere un filo di ferro.

Collocando nella corrente un filo metallico isolato in un tubo di vetro pieno d'acqua, facente l'ufficio di calorimetro, Becquerel trovò che lo svolgimento del calorico, prodotto dal passaggio dell'elettricità attraverso ai corpi solidi, presenta le leggi seguenti:

1.° *La quantità di calorico sviluppata è in ragione diretta del quadrato della quantità di elettricità che passa in un tempo dato.*

2.° *Questa quantità di calorico è in ragione diretta della resistenza del filo al passaggio dell'elettricità.*

3.° *Qualunque sia la lunghezza del filo, purchè il suo diametro sia dovunque uguale e passi la stessa quantità di elettricità, l'innalzamento di temperatura è lo stesso in tutta l'estensione del filo.*

4.° *Per una stessa quantità di elettricità, l'innalzamento di temperatura in differenti punti del filo, è in ragione inversa della quarta potenza del diametro.*

Gli effetti calorifici delle correnti sono più difficili ad essere osservati nei liquidi, perchè questi corpi hanno un calorico specifico maggiore dei solidi, ed i gas che si svolgono assorbono una grande quantità di calorico latente. Per es., nella decomposizione dell'acqua si riconosce che l'elevazione di temperatura è minore al polo negativo, dove il volume dell'idrogeno che si svolge è doppio di quello dell'ossigeno che si raccoglie al polo positivo, come si vedrà ben tosto (652).

**647. Effetti luminosi.** - La pila elettrica è, dopo il sole, la sorgente di luce la più intensa che si conosca. I suoi effetti luminosi si manifestano con scintille o coll'incandescenza delle sostanze che riuniscono i due poli.

Per ottenere delle scintille, quando la pila è abbastanza potente, si avvicinano i due elettrodi, lasciando fra loro un piccolo intervallo, e si vedono allora scoccare vive scintille, le quali ponno succedersi con rapidità bastante da produrre una luce continua. Con otto o dieci coppie di Bunsen si ottengono dei brillanti fiochi luminosi facendo comunicare uno degli elettrodi con una lima grossolana, e facendo scorrere l'altro sui denti della medesima. Se in questa esperienza si fa passare la corrente nel rocchetto di una elettro-calamita (fig. 506), le scintille acquistano una notevole intensità; questo effetto sarà spiegato quando parleremo dei fenomeni dell'induzione.

Le correnti presentano degli effetti luminosi rimarchevoli per l'incandescenza dei conduttori che attraversano. Un filo di ferro o di platino che riunisca i due poli di una forte pila e che sia abbastanza grosso per non esser fuso, diventa incandescente e manda viva luce per tutto il tempo che la pila rimane in azione. Se il filo è avvolto sopra sè stesso ad elice, l'effetto luminoso è maggiore.

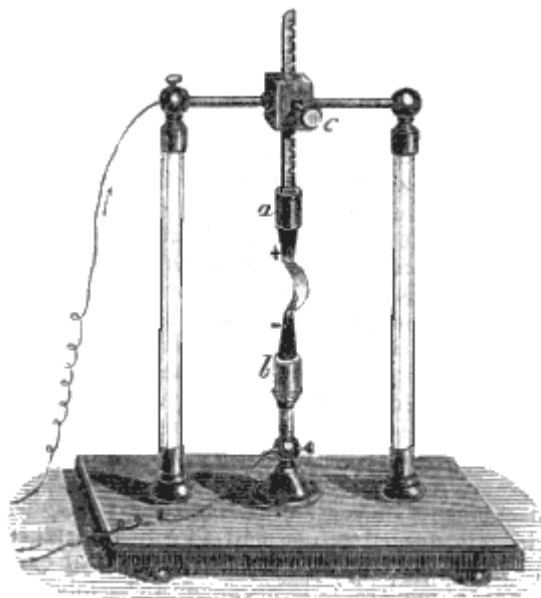


Fig. 466.

Si ottiene soprattutto un bell'effetto di luce elettrica facendo comunicare i due elettrodi con due coni di carbone di coke previamente riscaldati fortemente, indi lasciati raffreddare e disposti come mostra la figura 466. Il carbone *b* è fisso ed il carbone *a* può essere innalzato od abbassato per mezzo di un'asta dentata alla quale è fissato, e di un rocchetto che si fa girare a mano per mezzo di un bottone *c*. Posti dapprima i due carboni a contatto, si fa passare la corrente; ben tosto il punto di contatto acquista uno splendore abbagliante che si estende a poco a poco ad una certa distanza dalle punte di carbone. Allora si può sollevare il carbone superiore senza che la corrente si interrompa; le due elettricità si ricompongono nell'intervallo che separa i carboni, questo spazio è occupato da un arco luminoso splendentissimo che chiamasi *arco voltiano*.

La lunghezza di questo arco varia colla forza della corrente. Con una pila di 600 coppie disposte in sei serie parallele di 100 cadauna, può raggiungere una lunghezza di 7 centimetri quando il carbone positivo trovasi in alto, come nella nostra figura; se il carbone trovasi al basso l'arco è più corto di circa 2 centimetri. L'arco voltiano può prodursi anche nei liquidi, ma è molto più corto e meno splendente.

Quando si presenta all'arco voltiano una potente calamita, esso viene da quest'ultima attratto, il che è dovuto all'azione delle calamite sulle correnti (666).

Alcuni fisici hanno riguardato l'arco voltiano come formato da una successione rapidissima di vive scintille; ma, in generale, si ammette che è dovuto alla corrente elettrica, la quale è tradotta dal polo positivo al negativo per mezzo di molecole incandescenti che sono volatilizzate e trasportate nel senso della corrente, cioè dal polo positivo verso il negativo. Infatti, quanto più facilmente gli elettrodi sono disaggregati dalla corrente, tanto più si può allontanarli senza interrompere la corrente stessa. Il carbone, che è una sostanza assai friabile, dà l'arco luminoso il più lungo.

Davy, pel primo a Londra, nel 1801, fece l'esperienza della luce elettrica per mezzo di due coni di carbone e d'una pila a truogoli di 2000 coppie, le cui piastre avevano il lato di circa 11 centimetri. Davy usava carbone di legno leggero, spento dapprima allo stato d'incandescenza in un bagno di mercurio, che, penetrando nei pori del carbone, ne aumentava la conducibilità. Siccome il carbone di legno brucia rapidamente nell'aria, bisognava operare nel vuoto; il che si otteneva collocando i due coni di carbone in un uovo elettrico a robinetto, come quello rappresentato dalla figura 439. Oggi, per queste esperienze, si adopera unicamente il carbone di coke, proveniente dai residui

nelle storte del gas illuminante; questo carbone, che è duro e compatto, può essere tagliato in verghe, simili a quelle rappresentate in P ed in N nella figura 468, e siccome brucia lentamente nell'aria, non è necessario operare nel vuoto. Quando si fa l'esperimento nel vuoto, non avvi combustione, ma i carboni si consumano ancora, principalmente quello che trovasi al polo positivo, il che dimostra esservi volatilizzazione e trasporto di carbone dal polo positivo al negativo.

**648. Esperimento di Foucault.** - Si deve a Foucault un bello esperimento che consiste nel proiettare, per mezzo di lenti, l'immagine dei coni di carbone rappresentati dalla figura 466, sopra un diaframma, nella camera oscura, al momento in cui si produce la luce elettrica (fig. 467). Questa esperienza, che si istituisce per mezzo del microscopio foto-elettrico già descritto (fig. 310), fornisce il mezzo di distinguere benissimo i due carboni incandescenti, e si vede il carbone positivo incavarsi e diminuire, mentre l'altro aumenta. I globuli rappresentati sui due carboni provengono dalla fusione di una piccola quantità di silice contenuta nel coke di cui essi sono formati. Quando incomincia a passare la corrente, diventa luminoso pel primo il carbone negativo; ma il carbone positivo è il più brillante, ed è anche quello che si consuma più presto; perciò conviene sceglierlo di maggiori dimensioni.

**649. Regolatore della luce elettrica.** - Quando si vuole applicare la luce elettrica alla illuminazione, importa che essa conservi la continuità che presentano gli altri sistemi di illuminazione. Ora, non basta per ciò, che la corrente della pila sia costante, ma bisogna inoltre che l'intervallo fra i due carboni resti sensibilmente invariato, quindi è necessario che esse possano avvicinarsi a misura che si consumano. Furono immaginati parecchi apparati onde raggiungere questo scopo; quello che noi descriveremo è dovuto a Duboscq.

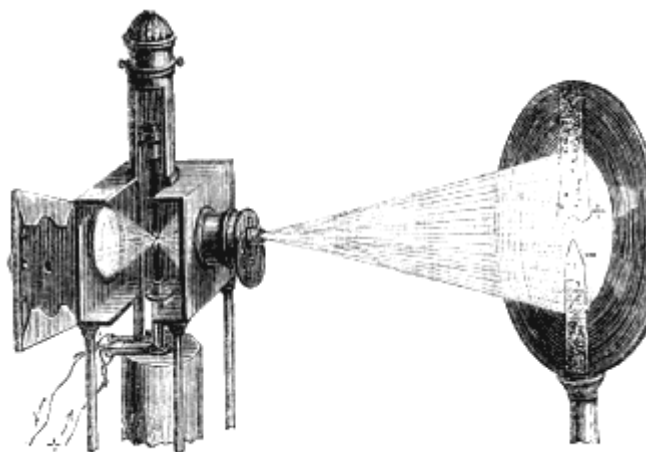


Fig. 467.

In questo regolatore, i due carboni sono mobili, ma con velocità ineguali, sensibilmente in proporzione al loro consumo. Il movimento è loro trasmesso mediante un piccolo tamburo collocato sull'asse  $xy$  (fig. 468).

Questo tamburo fa girare, nel senso delle frecce, due ruote  $a$  e  $b$ , i cui diametri stanno fra loro come 1 a 2, e che trasmettono il loro movimento a due dentiere  $C$  e  $C'$ . La prima fa discendere il carbone positivo  $p$  col mezzo di un'asta che scivola nel tubo  $H$ , mentre la seconda fa ascendere, due volte meno presto, il carbone negativo  $n$ . Il bottone  $y$  serve a ricaricare il tamburo, e nello stesso tempo muovere a mano il carbone positivo; col bottone  $x$  si può muovere a mano il carbone negativo e indipendentemente dal primo. Per ciò, l'asse dei due bottoni  $x$  e  $y$  è formato da due parti in rapporto fra di loro soltanto per un contatto un po' duro. Per cui tenendo fermo fra le dita il bottone  $x$ , si può girare il solo bottone  $y$ ; e reciprocamente, tenendo fermo quest'ultimo, si può far girare l'altro. Ma quando il tamburo funziona, il contatto è molto forte perchè le due ruote  $a$  e  $b$  e le due dentiere partecipino al movimento.

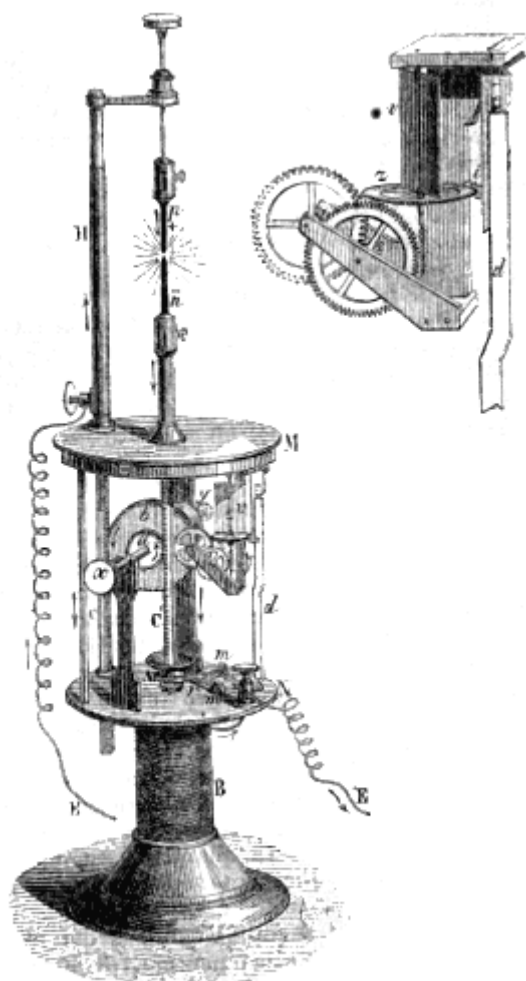


Fig. 468.

Fig. 469.

Ciò posto, messi i due carboni a contatto, si fa arrivare, mediante il filo E, la corrente di una forte pila, per es., di 40 a 50 elementi. La corrente ascende in H, discende pel carbone positivo, poi pel carbone negativo, e guadagna tutto l'apparecchio, senza passare però nella dentiera C, nè nel pilastrino alla destra sul margine del piatto N, essendo questi pezzi isolati da dischi d'avorio collocati alla loro parte inferiore. La corrente riducesi finalmente nel rocchetto B che forma il piede del regolatore e ritorna alla pila pel filo E'. Il rocchetto è munito internamente di un tubo di ferro dolce, che si calamita per tutto il tempo che la corrente passa nel rocchetto, e si scalamita appena cessa di passare; or bene, questa calamita temporaria è il regolatore. A questo effetto, esso agisce per attrazione sopra un'armatura di ferro dolce A, aperta al suo centro per lasciar passare la dentiera C', e fissata all'estremità di una leva elle sta in bilico su due punti d'appoggio *mm*, e trasmette una leggera oscillazione ad un pezzo *d*, che, mediante una prominenzza *i*, fa ingranare la ruota *z*, come vedesi più in grande nella figura 469. Per mezzo di una vite senza fine e di una serie di ruote dentate, l'impulso è trasmesso al tamburo, e le dentiere essendo fisse, rimangono fissi anche i carboni. Ciò è quanto avviene fintantochè la calamitazione è abbastanza forte nel rocchetto per mantenere l'armatura A abbassata; ma a misura che i carboni si consumano, si scostano maggiormente l'uno dall'altro, la corrente, continuando tuttavia a passare sotto forma di arco voltaico (617), si indebolisce, ed arriva un momento in cui l'attrazione della calamita non può più fare equilibrio ad una molla *r*, che tende costantemente a sollevare l'armatura. Essa allora risale, il pezzo *d* fa disingranare la prominenzza *i*, il tamburo funziona, e i carboni si avvicinano, ma non fino a contatto, perchè l'intensità della corrente riprendendo il di sopra, l'armatura A è attratta e la stabilità dei carboni ricomincia. Il loro scostamento non variando così che entro limiti ristrettissimi, si ottiene con questo apparecchio una luce regolare e continua fino a che i carboni siansi completamente consumati.

Egli è con questo regolatore che Duboscq illumina il suo *apparecchio fotogenico* rappresentato nella fig. 340, e ripete col più grande successo tutte le esperienze di ottica che facevansi altre volte colla luce solare.

**650. Proprietà ed intensità della luce elettrica.** - La luce elettrica gode le stesse proprietà chimiche che la luce solare: essa determina la combinazione di una mescolanza di cloro e di idrogeno, agisce chimicamente sul cloruro d'argento, ed applicata alla fotografia, dà magnifiche prove, rimarchevoli pel colore dei tuoni; tuttavia non è applicabile al ritratto perchè affatica di troppo la vista.

La luce elettrica, trasmessa attraverso ad un prisma, dà uno spettro, come la luce solare (456), donde si deduce che essa non è semplice. Wollaston e principalmente Fraunhofer, trovarono che lo spettro della luce elettrica differisce da quello delle altre luci, perchè in esso si trovano parecchie righe assai chiare, delle quali quella che si trova nel verde è di una chiarezza quasi brillante in confronto delle altre. Wheatstone osservò che formando gli elettrodi con diversi metalli, lo spettro e le righe sono modificate; e Despretz constatò che le righe brillanti sono fisse ed indipendenti dall'intensità della corrente.

Masson, il quale studiò il fenomeno della luce elettrica molto dettagliatamente, sperimentando sulla luce della macchina elettrica, su quella dell'arco voltiano e del rocchetto di Ruhmkorff (705), trovò nello spettro elettrico gli stessi colori dello spettro solare, attraversati però da liste luminose assai brillanti, della medesima tinta del colore istesso della zona ove son collocate; la posizione di queste righe ed il loro numero non dipende dalla intensità della scintilla, ma dalle sostanze fra cui essa scoppia.

Col carbone, le righe sono notevoli pel loro numero e la loro chiarezza: collo zinco, lo spettro è caratterizzato da una tinta verde-pomo assai spiegata; coll'argento, si ha un verde assai intenso; col piombo predomina la tinta violacea, e così di seguito coi diversi metalli.

Bunsen, sperimentando con 48 coppie ed allontanando i carboni di 7 millimetri, trovò che l'intensità della luce elettrica equivale a quella di 572 candele. Ma questa esperienza fu fatta con coppie nelle quali il carbone era esterno e lo zinco interno, e queste coppie davano effetti molto minori di quelle ove il carbone è interno (640). Quindi, la luce di 48 di queste ultime coppie supera di molto quella di 572 candele.

Fizeau e Foucault, che cercarono di paragonare la luce elettrica alla luce solare, non confrontarono le quantità di luce emesse da queste due sorgenti, ma i loro effetti chimici sull'ioduro d'argento delle lastre di Daguerre. Adunque i risultati ottenuti non fecero conoscere l'intensità ottica della luce elettrica, ma la sua intensità chimica.

Rappresentando con 1000 l'intensità della luce solare a mezzodì, Fizeau e Foucault trovarono che quella della luce di 46 coppie di Bunsen, a carbone interno, era rappresentata da 235, e quella di 80 coppie, soltanto da 238. Da questi numeri risulta che l'intensità della luce non cresce notevolmente aumentando il numero delle coppie; ma l'esperienza dimostra che essa cresce di molto colla loro superficie. Infatti, con tre serie di 46 coppie ciascuna, riunite parallelamente in modo che i loro poli positivi concorressero in un solo, e così fosse anche dei loro poli negativi, il che equivaleva a triplicare la superficie delle coppie (643), l'intensità, quando la pila era in attività già da un'ora, fu di 385, numero che rappresenta più di un terzo d'intensità della luce solare.

Despretz, nel riferire le sue numerose esperienze sulla pila, fece osservare che non sono mai soverchie le precauzioni onde preservarsi dagli effetti luminosi della medesima, quando sono portati ad una certa intensità. La luce di 100 coppie può, dice egli, produrre malattie di occhi assai dolorose. La luce ottenuta con 600 coppie può in un solo istante produrre dei violentissimi dolori di capo e di occhi, ed abbruciare la pelle del viso, come lo farebbe una forte insolazione. Perciò, in queste esperienze, è indispensabile il portare occhiali a vetro azzurro carico.

**651. Effetti meccanici della pila.** - Indicansi con questo nome de' trasporti di materie solide o liquide operati dalle correnti. Nella formazione dell'arco voltaico, per es. (647), videsi esservi trasporto delle molecole di carbone dal polo positivo al polo negativo: questo è un effetto meccanico.

Il trasporto de' liquidi operato dalle correnti fu osservato la prima volta da Porret nell'esperienza seguente: avendo diviso un vaso di vetro in due scompartimenti per mezzo di un diaframma permeabile consistente in una membrana di vescica, versò dell'acqua allo stesso livello, nei due scompartimenti, e vi immerse due elettrodi di platino, in comunicazione coi poli di una pila di 80 elementi. Ora, nello stesso tempo che l'acqua era decomposta, una parte del liquido venne trasportata, nel senso della corrente, attraverso la membrana, dallo scompartimento positivo allo scompartimento negativo, dove il livello si innalzò al disopra di quello dell'altro scompartimento. Questa esperienza non riesce con dell'acqua che tenga in soluzione un sale od un acido, perché il liquido non presenta allora bastante resistenza alla corrente.

Si possono inoltre rapportare agli effetti meccanici delle correnti, i suoni che rende un'asta di ferro dolce, quando la si sottomette all'azione magnetica di una corrente discontinua, fenomeno che sarà descritto più tardi (687).

**652. Effetti chimici, decomposizione dell'acqua, elettroliti.** - Abbiamo già notato che gli effetti chimici della pila dipendono piuttosto dal numero delle coppie che dalla loro grandezza, perchè, nelle decomposizioni chimiche, l'azione della corrente, esercitandosi sopra sostanze poco conduttrici, bisogna aumentare la tensione e quindi il numero delle coppie.

La prima decomposizione operata dalla pila fu quella dell'acqua, ottenuta, nel 1800, da due inglesi, Carlisle e Nicholson, con una pila a colonna. Quattro o cinque coppie di Bunsen bastano per decomporre con rapidità l'acqua, quando però tenga essa disciolto un sale od un acido il quale ne aumenti la sua conducibilità; l'acqua pura si decompone assai lentamente. La figura 470 rappresenta l'apparato che si adopera per decomporre l'acqua colla pila e raccogliere l'ossigeno e l'idrogeno che si sviluppano. Esso è composto di un vaso conico di vetro unito con mastice ad un piede di vetro. Dal fondo di questo vaso si elevano due fili di platino *h* ed *n*, che comunicano con due viti di pressione di rame, fissate ai lati dell'apparato e destinate a ricevere gli elettrodi della pila. Dopo aver empito il vaso di acqua leggermente acidulata, si collocano sopra i fili di platino due campanelle piene d'acqua; indi si stabilisce la corrente. Tosto l'acqua viene decomposta in ossigeno e idrogeno, i quali si svolgono in bolle entro le campanelle. Allora si osserva che la campanella positiva si empie di ossigeno e la negativa di idrogeno; inoltre il volume di questo ultimo gas è doppio di quello del primo. Questa esperienza fornisce adunque l'analisi qualitativa e l'analisi quantitativa dell'acqua.

Faraday indicò coi nomi di *elettrolisi* le sostanze che al pari dell'acqua sono decomposte dalla corrente ed i cui elementi vengono completamente separati, e chiamò *elettrolizzazione* il fatto stesso della decomposizione per mezzo della corrente voltiana.

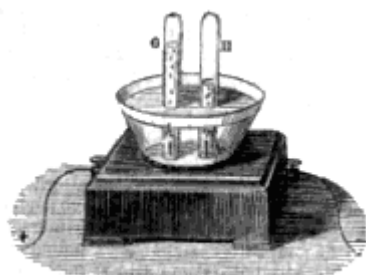


Fig. 470 (n. 24).

**653. Voltmetro, legge di Faraday.** - L'apparecchio adoperato per la decomposizione dell'acqua (fig. 470), ricevette da Faraday il nome di *voltmetro*, perchè egli lo applicò alla misura dell'intensità delle correnti poderose, nello stesso modo che il galvanometro serve per misurare quella delle correnti deboli. L'applicazione del voltmetro alla misura delle correnti è fondato sul principio scoperto da Faraday, che, *nelle decomposizioni elettro-chimiche, la quantità, in peso, degli elementi separati è proporzionale alla quantità di elettricità che passa nella corrente.* Per conseguenza,

nell'esperienza suddescritta, il volume dei gas raccolto, può servire a misurare l'intensità chimica della corrente.

Tuttavia, importa osservare che la quantità di gas prodotta dalla decomposizione dell'acqua, non dipende soltanto dall'intensità della corrente, ma anche dal grado di acidità dell'acqua, dalla natura, dal volume e dalla distanza dei fili o delle lamine immerse nel liquido per trasmettergli la corrente. Si deve quindi aver cura di adoperare sempre lo stesso apparato, od apparati affatto simili, altrimenti i risultati non sono comparabili.

Il voltmetro che abbiamo descritto è un *voltmetro chimico*; si immaginarono anche dei *voltmetri calorifici* destinati a misurare l'intensità delle correnti dalla quantità di calore che si



sviluppano nei circuiti solidi o liquidi che percorrono. Ma tutti questi voltametri, sì chimici che calorifici, sono lontani dall'essere strumenti di precisione. Il migliore di tutti gli strumenti atti a paragonare l'intensità delle correnti è quello che descriveremo in seguito sotto il nome di *galvanometro* (662).

**654. Decomposizione degli ossidi metallici e degli acidi.** - Le correnti esercitano sugli ossidi metallici la stessa azione che sull'acqua; li riducono tutti trasportando l'ossigeno al polo positivo ed il metallo al polo negativo. Per mezzo di correnti fortissime, Davy decompose, per primo nel 1807, la potassa e la soda, e le ascrisse alla classe degli ossidi metallici; questi ossidi avevano fino allora resistito a tutti gli agenti chimici; altri ancora, quali la barite, la stronziana e la calce, ponno essere decomposti soltanto colla pila.

Gli ossacidi vengono decomposti come gli ossidi; l'ossigeno si porta sempre al polo positivo ed il radicale al negativo. Anche gli idracidi sono decomposti, ma il loro radicale si porta al polo positivo e l'idrogeno al polo negativo.

In generale, tutti i composti binari si comportano in modo analogo sotto l'azione della pila, vale a dire che uno degli elementi si porta al polo positivo e l'altro al negativo. I corpi semplici che, nelle decomposizioni così operate colla pila, si portano verso il polo positivo, riceveranno il nome di corpi *elettro-negativi*, e quelli che si portano al polo negativo furono detti *elettro-positivi*. L'ossigeno, in tutte le sue combinazioni è sempre elettro-negativo; il potassio elettro-positivo. Gli altri corpi semplici ora sono elettro-positivi, ora elettro-negativi, secondo i corpi con cui si trovano combinati. Il solfo, per es, che è elettro positivo coll'ossigeno, è elettro-negativo coll'idrogeno.

**655 Decomposizione dei sali.** - I sali ternari allo stato di soluzione vengono tutti decomposti dalla pila, e presentano allora effetti che variano colle affinità chimiche e coll'energia delle correnti. Se l'acido e la base del sale sono stabili vengono soltanto separati, ed allora l'acido si porta sempre al polo positivo, e l'ossido al polo negativo; così avviene dei solfati, carbonati e fosfati dei metalli delle due prime sezioni. Se l'acido è poco stabile, viene decomposto e si porta al polo positivo soltanto il suo ossigeno. Se l'ossido è debole, il metallo si porta al polo negativo, mentre l'acido e l'ossigeno dell'ossido si portano al polo positivo: questo appunto si osserva coi sali di piombo, d'argento, ed in generale, coi sali delle tre ultime sezioni. Infine, tanto l'acido che l'ossido vengono completamente ridotti, tutto il loro ossigeno si trasferisce al polo positivo, ed i due radicali si portano all'altro polo.

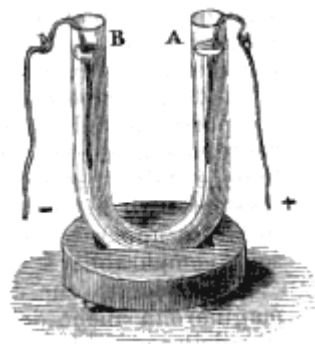


Fig. 471 (a = 12).

Si dimostra la decomposizione dei sali operata dalla pila per mezzo di un tubo di vetro curvato (fig. 471), nel quale si versa una soluzione di solfato di potassa o di soda, colorata in azzurro colla tintura di viole. Immerse nei due rami del tubo due lamine di platino, si pongono in comunicazione cogli elettrodi della pila. Se si adoperano tre o quattro coppie di Bunsen, dopo alcuni minuti si osserva che il liquido contenuto nel ramo positivo A si colora in rosso, e che quello del ramo negativo B si colora in verde, d'onde si deduce che l'acido del sale si è portato al polo positivo e la base al polo negativo; giacché si sa che la tintura di viole ha la proprietà di arrossare per l'azione degli acidi e di inverde per quella delle basi.

Se in questa esperienza la corrente è poco intensa, oltre la decomposizione del sale, si osserva uno svolgimento d'ossigeno al polo positivo e di idrogeno al polo negativo, il che può essere spiegato tanto col ritenere che avviene decomposizione dell'acqua prodotta dalla corrente; quanto ammettendo che l'ossido di potassio o di sodio, venendo decomposto, il suo ossigeno si porta al polo positivo, mentre il metallo, reagendo sull'acqua, si impossessa del suo ossigeno e mette in libertà l'idrogeno.

La decomposizione dei sali per mezzo della pila ricevette importanti applicazioni nella galvanoplastica, nella indoratura ed inargentatura, operazioni che descriveremo fra poco (658).

**656. Anelli di Nobili.** - Decomponendo i sali colla pila, Nobili ottenne sulle lastre metalliche degli anelli colorati di tinte estremamente brillanti. Siccome questi anelli risultano di strati metallici sottilissimi che si depongono sulle piastre, la loro teoria si spiega colla teoria degli anelli colorati di Newton (522). Per ottenerli, si colloca al fondo di una soluzione di acetato di piombo o di solfato di rame, una lastra metallica posta in comunicazione col polo negativo di una debole pila; poi si chiude il circuito con un filo di platino che comunica col polo positivo e si immerge nella soluzione perpendicolarmente alla piastra ed assai vicino alla medesima. Allora, dirimpetto alla punta, si depositano degli anelli dotati di una colorazione assai vivace, la quale varia coi sali che trovansi in dissoluzione e colla natura delle piastre.

**657. Albero di Saturno.** - Quando si immerge in una soluzione salina un metallo più ossidabile di quello che forma la base del sale, il metallo di quest'ultimo viene precipitato dal primo e si deposita lentamente sul medesimo, mentre il metallo immerso gli si sostituisce, equivalente per equivalente, al metallo del sale. Questa precipitazione di un metallo per mezzo di un altro è attribuita in parte alle affinità, in parte all'azione elettro-chimica di una corrente la quale sarebbe dovuta al contatto del metallo precipitato col metallo precipitante, o piuttosto all'azione dell'acido contenuto nella soluzione, giacchè si è riconosciuto essere necessario che quest'ultima sia leggermente acida. Allora, l'eccesso di acido libero agisce sul metallo precipitante e determina la corrente che decompone il sale.

Un effetto rimarchevole della precipitazione di un metallo per mezzo di un altro è l'*albero di Saturno*. Chiamasi così una serie di ramificazioni brillanti che si ottengono collo zinco nelle soluzioni di acetato di piombo. Per ciò, si empie una bottiglia di vetro con una soluzione ben limpida di questo sale, poi si chiude la bottiglia con un turacciolo di sughero, al quale è fissato un pezzo di zinco che è a contatto con dei fili di ottone, i quali divergendo, si immergono nella soluzione. Chiusa esattamente la bottiglia, la si lascia in quiete. Dopo alcuni giorni si depositano sui fili di ottone delle brillanti laminette di piombo cristallizzato, le quali assomigliano ad una vegetazione che venne detta albero di Saturno, dal nome che gli antichi alchimisti davano al piombo. Si è del pari dato il nome di *albero di Diana* al deposito metallico prodotto dal mercurio nel nitrato d'argento.

## GALVANOPLASTICA, INDORATURA ED INARGENTATURA

**658. Galvanoplastica.** - La decomposizione dei sali operata dalla pila ricevette un'importante applicazione nella *galvanoplastica*; chiamasi con tal nome l'arte di modellare i metalli precipitandoli dalle loro soluzioni saline per mezzo dell'azione lenta di una corrente elettrica.

Finora, era generalmente ammesso che la galvanoplastica fosse stata inventata quasi contemporaneamente, nel 1838, da Jacobi, in Russia, e da Spencer, in Inghilterra; ma pare invece che il vero inventore sia Jacobi (Vedi il *Cosmos* del 9 marzo 1860, pag. 261).

Quando si vuol riprodurre una medaglia o qualunque altro oggetto per mezzo della galvanoplastica, bisogna prima procurarsene una impronta in incavo, sulla quale possa depositarsi lo strato metallico che deve riprodurre la medaglia in rilievo. Se questa è di metallo, il processo più semplice per fare la forma è quello di adoperare la lega fusibile d'Arcet, composta di 5 parti di piombo, 8 di bismuto e 3 di stagno. Si versa questa lega fusa in una sottocoppa poco profonda, e, quando la lega è vicina a solidificarsi, vi si lascia cadere la medaglia in piano, da una piccola altezza, procurando che la lega rimanga poi in quiete. Quando la lega è raffreddata, basta darle una piccola scossa perché la medaglia si distacchi. Allora si cinge la forma con un filo di rame destinato a porla in comunicazione col polo negativo della pila, poi si ricopre il suo contorno e la faccia posteriore con un sottile strato di cera fusa, acciocchè il deposito metallico si precipiti soltanto sull'impronta.

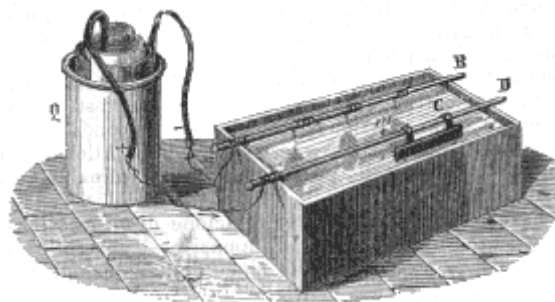


Fig. 472.

Ciò posto, per riprodurre in rame una medaglia, si prende una piccola vasca piena di una soluzione satura di solfato di rame e collocatevi al disopra due verghe di ottone B e D (fig. 472), comunicanti l'una col polo positivo e l'altra col polo negativo di una coppia di Bunsen, si sospende alla prima la forma *m*, già preparata, ed all'altra una piastra di rame rosso C. Trovandosi per tal modo chiuso il circuito, il solfato di rame vien decomposto; il suo acido e l'ossigeno dell'ossido si portano al polo positivo, mentre il solo rame si porta al polo negativo, depositandosi lentamente sulla forma sospesa della verga B; tu tal modo si ponno sospendere anche parecchie forme in una volta. Dopo quarantotto ore, la forma è coperta di uno strato di rame solido e resistente, ma non aderente. Però, onde impedire totalmente l'aderenza, si deve, prima dell'operazione, strofinare la forma con una spazzola fina leggermente cospersa di una sostanza grassa, o passarla rapidamente sulla fiamma di una sostanza resinosa onde formarvi uno strato di materia eterogenea.

Se la medaglia che si vuol riprodurre è in gesso, non si può farne la forma di lega di d'Arcet. Allora la si immerge in un bagno di stearina fusa a 70 gradi; estraendola tosto, essa si asciuga quasi istantaneamente, il che proviene dal penetrare la stearina nei pori del gesso. Lasciata raffreddare la medaglia, la si ricopre con un sottil strato di piombaggine strofinandola con una fina spazzola cospersa di questa sostanza, poi la si circonda con una lista di cartone e vi si versa sopra della stearina appena fusa: questa, solidificandosi, riproduce fedelmente in incavo la medaglia primitiva. Si leva la forma così ottenuta, la quale, a motivo dello strato di piombaggine interposto, non è aderente al gesso, e la si ricopre alla sua volta di piombaggine onde renderla conduttrice. In seguito si sospende questa forma così preparata al polo negativo della pila, per mezzo di un filo di rame, come abbiain detto più sopra.

Si fanno delle buone forme anche colla gutta-perka. Perciò, si incomincia col ricoprire di piombaggine l'oggetto di cui si vuol formare l'impronta onde non aderisca alla gutta-perka. Poi, fatta rammollire nell'acqua calda una certa quantità di questa sostanza, la si applica sul pezzo che si vuol riprodurre, comprimendola alquanto. Lasciatola raffreddare, si distacca la gutta-perka che è poco aderente, e si ha su questa sostanza una fedelissima impronta in incavo dell'oggetto; altro non rimane che renderla conduttrice per mezzo della piombaggine, come si è detto più sopra per la stearina. Sospendendo l'impronta così preparata al polo negativo della pila, in una soluzione concentrata di solfato di rame, si ha, nello spazio di quarantotto ore, una riproduzione in rame dell'oggetto.

La piastra di rame rosso C, collocata al polo positivo, non serve soltanto a chiudere il circuito, ma ben anche a mantenere la soluzione in uno stato costante di concentrazione; infatti, l'acido e l'ossigeno che si portano al polo positivo, si combinano col rame della piastra, e riproducono costantemente una quantità di solfato di rame uguale a quella che venne decomposta dalla corrente.

Per la galvanoplastica si preferisce in generale la pila di Daniell (638), attesa l'uniformità de' suoi effetti; ma si può operare benissimo anche con una sola coppia di Bunsen, principalmente adoperando delle coppie piccolo modello, ed acidulando pochissimo l'acqua nella quale sta immerso lo zinco

**659. Indoratura galvanica.** - Prima che si conoscesse la decomposizione dei sali per mezzo della pila, si eseguivano le indorature a mercurio. A tal uopo si amalgamava l'oro, e si applicava l'amalgama sull'oggetto che si voleva indorare, indi lo si collocava in un fornello per elevarne la

temperatura; per tal modo, il mercurio si volatilizzava e rimaneva sull'oggetto soltanto un sottilissimo strato di oro. Lo stesso processo si applicava all'inargentatura; ma a questo processo costoso ed insalubre, oggidì si sostituisce generalmente l'indoratura e l'inargentatura galvanica. L'indoratura per mezzo della pila differisce dalla galvanoplastica soltanto perché lo strato metallico che si fa depositare sugli oggetti che si vogliono indorare è molto più sottile e più aderente.

Sembra che Brugnatelli, allievo di Volta, sia stato il primo, nel 1803, ad osservare che potevasi indorare con una pila ed una soluzione alcalina d'oro; ma fu De la Rive che pel primo applicò realmente la pila all'indoratura. I processi di indoratura ed inargentatura furono in seguito perfezionati da Elkington, Ruolz ed altri fisici.

I pezzi che si vogliono indorare devono subire tre preparazioni, che sono: il *ricuocimento*, il *ripulimento* e la *detersione*.

Il ricuocimento consiste nello scaldare i pezzi per toglierne le sostanze grasse che loro possono esser rimaste aderenti in causa dei lavori cui furono sottoposti precedentemente.

Siccome i pezzi che si vogliono indorare sono ordinariamente di rame, la loro superficie, durante il ricuocimento, si copre di uno strato di protossido e di biossido di rame che si toglie colla detersione. Per ciò si immergono i pezzi ancor caldi in un bagno di acido azotico assai diluito, e in questo si lasciano assai lungo tempo, onde l'ossido si distacchi. Si strofinano allora con una spazzola dura, si lavano nell'acqua distillata, e si fanno seccare nella segatura di legno leggermente riscaldata.

I pezzi però sono ancora iridati; per levare tutte le macchie rimane il ripulimento, operazione che consiste nell'immergere rapidamente i pezzi in un bagno d'acido nitrico ordinario, poi in un miscuglio dello stesso acido, di salmarino e fuliggine, e finalmente lavarli nell'acqua pura.

Preparati i pezzi, si sospendono all'elettrodo negativo di una pila formata di tre o quattro coppie di Daniell o di Bunsen, e si immergono in un bagno d'oro, disponendoli come per la galvanoplastica (fig. 472): in questo bagno si lasciano più o meno a lungo, secondo la grossezza che si vuol dare al deposito.

La composizione dei bagni venne variata d'assai. Quello più usitato si compone di un grammo di cloruro d'oro e di 10 grammi di cianuro di potassio sciolti in 200 grammi d'acqua. Per mantenere il bagno ad un grado di concentrazione costante, si sospende all'elettrodo positivo una lamina d'oro il quale si discioglie a misura che il bagno lascia deporre il suo oro sui pezzi in comunicazione col polo negativo.

Il processo ora ora descritto si applica benissimo per indorare non solo il rame, ma anche l'argento, il bronzo, l'ottone, il pacfong. Gli altri metalli, come il ferro, l'acciaio, lo zinco, lo stagno, il piombo si indorano male, qualora non vengano rivestiti dapprima con uno strato di rame, per mezzo della pila e di un bagno di solfato di rame; indi si indora il rame che li ricopre.

**660. Inargentatura.** - Quanto si è detto sulla indoratura galvanica si applica esattamente alla inargentatura; non avvi differenza che nella composizione del bagno, il quale è formato di due grammi di cianuro d'argento e di 10 grammi di cianuro di potassio sciolto in 250 grammi d'acqua. All'elettrodo positivo si sospende una piastra d'argento che serve a mantenere la soluzione ad un grado di concentrazione costante, ed all'elettrodo negativo si sospendono i pezzi che si vogliono inargentare, dopo averli ben detersi.

## CAPITOLO III

### ELETTROMAGNETISMO, GALVANOMETRIA

**661. Esperienza di Ørsted.** - Ørsted, professore di fisica a Copenaghen, fece conoscere, nel 1819, una scoperta che collegava intimamente il magnetismo e l'elettricità, e che, per opera di Ampère e di Faraday, diventò ben presto sorgente di un nuovo ramo di fisica. Il fatto scoperto da Ørsted è l'azione direttrice che una corrente fissa esercita a distanza sopra un ago magnetizzato mobile. Poco dopo si riconobbe che reciprocamente una calamita fissa esercita un'azione direttrice sopra una corrente mobile, e si diede il nome di *elettro-magnetismo* alla parte della fisica che tratta delle azioni mutue che si esercitano fra le calamite e le correnti.

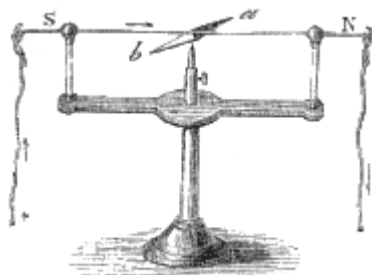


Fig. 473 (a. = 21).

Per fare l'esperienza di Ørsted si tende orizzontalmente, nella direzione del meridiano magnetico, un filo di rame al disopra di un ago magnetizzato mobile, come rappresenta la figura 473. Finché il filo non è attraversato da una corrente, l'ago gli rimane parallelo; ma appena che le estremità del filo sono poste in comunicazione cogli elettrodi di una pila, *l'ago è deviato e s'accosta tanto pur a prendere una direzione perpendicolare alla corrente, quanto più questa è intensa.*

Riguardo alla direzione secondo la quale sono devianti i poli, si presentano parecchi casi, che dipendono però da un principio unico. Richiamiamo dapprima la convenzione già stabilita (626), per la quale si immagina sempre che la corrente, nel filo congiuntivo, sia diretta dal polo positivo al negativo. Ciò posto, l'esperienza precedente presenta i quattro casi seguenti:

1.° Se la corrente passa al disotto dell'ago e va da sud a nord, il polo australe è deviato verso l'ovest; questa è la disposizione rappresentata nella figura 473; 2.° se la corrente passa al disopra dell'ago, sempre da sud a nord, il polo australe è deviato all'est; 3.° quando la corrente passa al disopra dell'ago nella direzione da nord a sud, il polo australe si dirige verso l'est; 4.° finalmente, lo stesso polo è deviato verso l'ovest quando la corrente si dirige ancora da nord a sud, al di sotto dell'ago.

Se si immagina, come fece Ampère, un osservatore collocato nel filo congiuntivo, in modo che la corrente entrando pe' suoi piedi sorta pel capo, e che la sua faccia sia costantemente rivolta verso l'ago, si riconosce facilmente che nelle quattro posizioni testò considerate, il polo australe è deviato verso la sinistra dell'osservatore. Personificando così la corrente, si ponno riassumere i diversi casi poc'anzi considerati nell'enunciato di questo principio generale: *Nell'azione direttrice delle correnti sulle calamite, il polo australe è sempre deviato verso la sinistra della corrente.*

**662. Galvanometro o moltiplicatore.** - Chiamasi *galvanometro moltiplicatore* o *reometro*, un apparato assai sensibile che serve a constatare l'esistenza, la direzione e l'intensità delle correnti. Questo apparato fu immaginato da Schweigger, in Germania, poco tempo dopo la scoperta di Ørsted.

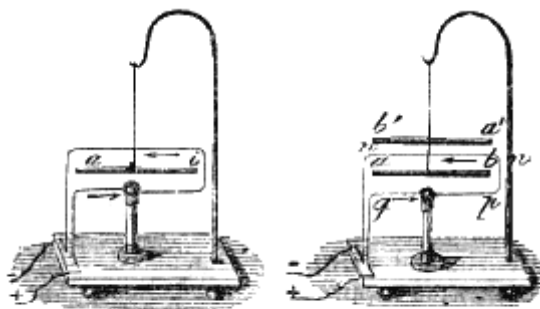


Fig. 474.

Fig. 475.

Per comprenderne il principio, consideriamo un ago magnetizzato sospeso ad un filo di seta non torto (fig. 474) e cinto nel piano del meridiano magnetico da un filo di rame formante un circuito completo attorno all'ago, nel senso della sua lunghezza. Quando questo filo è attraversato da una corrente, dalla convenzione stabilita nel paragrafo precedente risulta, che un osservatore, il quale fosse steso sul filo secondo la direzione delle frecce e fosse rivolto verso l'ago  $ab$ , avrebbe in tutte le parti del circuito la sua sinistra rivolta verso lo stesso punto dell'orizzonte, e che, per conseguenza, l'azione della corrente tende dappertutto a deviare l'ago nello stesso verso. Quindi, le azioni dei quattro rami di circuito concorrono per far deviare il polo australe in una sola direzione; epperò avvolgendo il filo di rame nella direzione della corrente, come mostra la figura, si è *moltiplicata* l'azione della corrente.

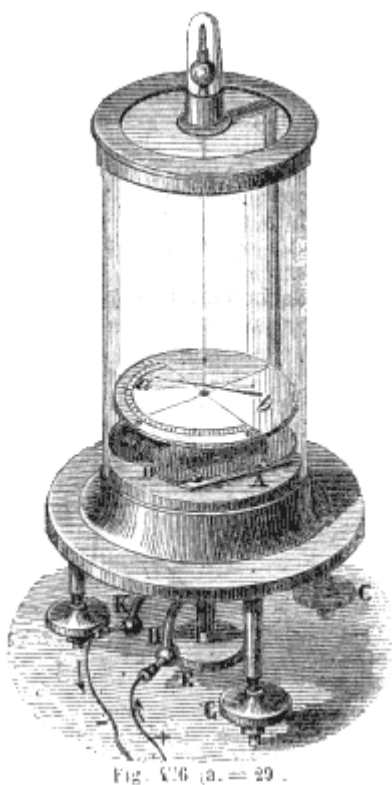


Fig. 476 (a. = 29)

Se, invece di un solo circuito se ne formano parecchi, l'azione si moltiplica sempre più e la deviazione dell'ago aumenta. Tuttavia, non si moltiplicherebbe indefinitamente l'azione della corrente col continuare le circonvoluzioni del filo, perchè vedremo quanto prima che l'intensità di una corrente si indebolisce, quando cresce la lunghezza del circuito da essa percorso.

Siccome l'azione direttrice della terra tende continuamente a mantenere l'ago nel meridiano magnetico e si oppone per tal modo all'azione della corrente, si rende molto più sensibile l'effetto di quest'ultima, facendo uso di un sistema astatico di due aghi, come mostra la figura 475. Allora l'azione della terra sugli aghi è debolissima (561), ed inoltre le azioni delle correnti sui due aghi si sommano. Infatti, l'azione del circuito completo tende, quando la corrente è diretta, come indicano le frecce, a deviare verso l'ovest il polo australe dell'ago inferiore  $ab$ . L'ago superiore  $a'b'$  è soggetto all'azione delle due correnti contrarie  $mn$  e  $pq$ , ma prevale l'azione della prima perchè situata più vicino all'ago. Ora questa corrente, passando al disotto dell'ago dal polo australe al polo boreale, tende evidentemente a deviare il polo  $a'$  verso l'est, e quindi il polo  $b'$  verso l'ovest, cioè nello stesso senso del polo  $a$  dell'altro ago.

Posti questi principii, è facile il comprendere la teoria del *moltiplicatore*. Questo apparato, rappresentato dalla figura 476, è composto di un telaio  $D$ , di rame rosso, attorno al quale si avvolge un filo dello stesso metallo, coperto di seta in tutta la sua lunghezza onde isolare i circuiti l'uno dall'altro. Al disopra di questo telaio avvi un cerchio orizzontale graduato, il cui zero corrisponde al diametro parallelo alla direzione del filo di rame nel telaio; questo cerchio porta due graduazioni, l'una alla destra, l'altra alla sinistra dello zero, le quali vanno solo fino a 90 gradi. Per mezzo di un sostegno e di un filo di seta non torto ed assai sottile, è sospeso un sistema astatico (561) formato di

due aghi da cucire *ab* ed *A*, collocati il primo al di sopra del cerchio, e l'altro nel circuito stesso. Questi aghi, che sono uniti tra loro per mezzo di un filo di rame come quelli della figura 393 e non ponno essere deviati l'uno senza l'altro, non devono avere identicamente la stessa intensità magnetica, altrimenti, ogni corrente, forte o debole, li disporrebbe sempre in direzione ad essa perpendicolare.

Le aste ricurve *K* ed *H* che comunicano al disotto dell'apparato colle due estremità del circuito, sono destinate a ricevere i conduttori i quali trasmettono la corrente che si vuol osservare. Le viti da livello *C* servono a disporre l'apparato in posizione esattamente verticale, in modo che il filo di sospensione corrisponda precisamente al centro del cerchio graduato. Finalmente, un bottone *E* trasmette il movimento al telaio *D* ed al cerchio, che sono mobili attorno ad un asse verticale, in modo che si possono disporre i fili del circuito nella direzione del meridiano magnetico senza spostare l'apparato.

Quando il galvanometro è destinato ad osservare delle correnti dovute alle azioni chimiche, il filo che si avvolge attorno all'ago deve essere di piccolo diametro, e fare un gran numero di giri, almeno da 200 ad 800. Il numero dei giri si eleva anche sovente a due o tre mila, e, per esperienze assai delicate, è stato portato fino a 30.000; per le correnti termo-elettriche che verranno descritte più innanzi, il filo deve essere più grosso e fare un numero di giri molto minore, cioè soltanto due o trecento. Infine, quando trattasi di correnti intense, si adoperano galvanometri ad un solo ago, ed in cui il filo fa un numero piccolissimo di giri, od anche un solo. Il galvanometro più semplice è allora una bussola al di sotto della quale passa un filo di rame diretto secondo il meridiano magnetico, e nel quale passa la corrente di cui si vuol conoscere l'intensità.

Il galvanometro ora ora descritto, non dà indizio di corrente quando si passare nel filo l'elettricità di una macchina elettrica, ponendo in comunicazione l'uno dei capi del filo stesso coi conduttori e l'altro col suolo. Allora non si rende sensibile la corrente che passa nell'apparecchio se non facendo uso di un filo sottilissimo avvolto fino a due o tre mila volte sopra sè stesso, ed isolando completamente i circuiti l'uno dall'altro per mezzo di seta e di vernice di gomma-lacca. Sotto queste condizioni, gli aghi sono deviati dalla elettricità statica della macchina elettrica, il che dimostra l'identità della elettricità statica colla elettricità dinamica.

**663. Graduazione del galvanometro.** - Il galvanometro, quale ora l'abbiamo descritto, è un apparato sensibilissimo che serve a constatare la presenza delle correnti, ma non ne fa conoscere la loro intensità. Per farlo servire a questo uso, bisogna costruire delle tavole per mezzo delle quali si possa dedurre l'intensità della corrente dalla deviazione dell'ago.

Il metodo più semplice per formare queste tavole è quello del *moltiplicatore a due fili*. Si avvolgono simultaneamente sul telaio dell'apparato due fili di rame coperti egualmente di seta ed identici in lunghezza ed in diametro; poi, scegliendo una sorgente costante di elettricità dinamica, ma assai debole, si fa passare la corrente in uno dei fili, il che dà una certa deviazione, per es., di 5 gradi. In seguito, per mezzo di una sorgente identica alla prima, si fa passare contemporaneamente in ciascun filo una corrente di uguale intensità; allora si ottiene una deviazione, per es., di 10 gradi, la quale è dovuta all'azione simultanea delle due correnti, o, ciò che è lo stesso, ad una corrente di intensità doppia della prima. Se in seguito si fa passare in uno dei fili una corrente capace di produrre da sola la deviazione 10, e nell'altro una delle correnti che produssero la deviazione 5, il che evidentemente corrisponde ad una corrente tripla della prima, si ottiene la deviazione 15. Finalmente, facendo passare in ciascuno dei fili simultaneamente una corrente capace di dare la deviazione 10, se ne osserva una di 20 gradi. Vale a dire che *sino a 20 gradi le deviazioni crescono proporzionalmente all'intensità della corrente*. Oltre questo limite esse crescono in un rapporto minore; ma col medesimo processo, si continua a determinare, di distanza in distanza, le deviazioni corrispondenti ad intensità conosciute, poi si compie la tavola col metodo delle interpolazioni. Ciascun galvanometro richiede una tavola speciale, perchè la relazione fra l'intensità della corrente e la deviazione dell'ago varia col grado di magnetizzazione di quest'ultimo, colla sua lunghezza, colla sua distanza dalla corrente ed infine colla lunghezza del circuito.

Siccome abbiamo testè veduto che fino a  $20^\circ$  le deviazioni sono sensibilmente proporzionali alle intensità, si può, nel caso di un galvanometro ad un sol filo, basarsi su tale proprietà per misurare fino a questo grado le intensità per mezzo delle deviazioni. Oltre questo limite bisognerebbe costruire una tavola, basandosi sulle deviazioni prodotte dalle correnti la cui intensità fosse conosciuta e calcolando in seguito, per interpolazione, le intensità corrispondenti alle deviazioni intermedie.

Il moltiplicatore a due fili può servire anche a misurare la differenza di intensità di due correnti, ciò che si ottiene facendo passare simultaneamente, in direzioni contrarie, una corrente in ciascun filo. L'apparato prende allora il nome di *galvanometro differenziale*.

**664. Usi del galvanometro.** - Il galvanometro, per la sua estrema sensibilità, è uno degli strumenti più preziosi della fisica. Esso serve non solo a constatare la presenza delle correnti le più deboli, ma a farne conoscere anche la loro direzione ed intensità. Con questo apparato Becquerel potè constatare che avvi svolgimento di elettricità in tutte le combinazioni chimiche, e determinare le leggi che presiedono a queste combinazioni.

Se, per es., si fissano alle estremità del circuito del galvanometro due fili di platino, e si immergono in una capsula piena d'acido azotico, non si osserva alcuna deviazione dell'ago, il che si poteva facilmente prevedere, giacchè il platino non è intaccato dall'acido azotico. Ma se si versa una goccia d'acido cloridrico vicino ad uno dei fili immersi, tosto l'ago del galvanometro è deviato, il che indica essere il circuito attraversato da una corrente. Infatti, si sa che, per la loro mutua reazione, gli acidi azotico e cloridrico producono dell'acido cloro-azotico od *acqua regia*, la quale intacca il platino. Si riconosce inoltre, dal verso della deviazione, che il platino è elettrizzato negativamente e l'acido positivamente.

**665. Legge delle azioni delle correnti sulle calamite.** - Le azioni che le correnti esercitano sulle calamite sono di due sorta, l'una direttrice, l'altra attrattiva o ripulsiva. Si sa (661) che l'azione direttrice di una corrente sopra una calamita, consiste in ciò, che *la corrente tende sempre a disporre l'ago perpendicolarmente a sè stessa, col polo australe alla sinistra di un osservatore il quale fosse steso sulla corrente colla faccia rivolta verso l'ago, ed in modo che la corrente entrasse pe' suoi piedi e sortisse per la testa*.

L'intensità dell'azione direttrice delle correnti sull'ago magnetizzato varia colla distanza. Dietro i numeri di oscillazioni che fa l'ago a distanze disuguali, sotto l'influenza di una corrente rettilinea, Biot e Savart hanno trovato che *l'intensità della risultante delle azioni direttrici di tutte le parti di una corrente sull'ago è in ragione inversa della semplice distanza*.

L'azione attrattiva o ripulsiva delle correnti sulle calamite si verifica sospendendo verticalmente per una delle sue estremità un ago da cucire magnetizzato ad un sottilissimo filo di seta, e facendo indi passare una corrente orizzontale vicinissimo all'ago. Allora, secondo la direzione della corrente, si osservano delle attrazioni o delle ripulsioni, le quali si spiegano colla azione delle correnti sui selenoidi, quando si paragonino le calamite a solenoidi, come fece Ampère in una teoria che faremo conoscere in seguito (684).

## AZIONI DELLE CALAMITE E DELLA TERRA SULLE CORRENTI

**666. Azione direttrice delle calamite sulle correnti.** - L'azione direttrice tra le correnti e le calamite è reciproca. Nell'esperienza di Ørsted (fig. 473), l'ago magnetizzato essendo mobile, mentre la corrente è fissa, si dirige e si dispone perpendicolarmente alla corrente. Se all'incontro la calamita è fissa e la corrente è mobile, quest'ultima si dirige e si dispone perpendicolarmente alla calamita sempre col polo australe rivolto alla sinistra. Per dimostrare questo principio, si dispone l'esperienza come mostra la figura 477. Il circuito che la corrente percorre è mobile, e si accosta una potente spranga magnetizzata al disotto del suo ramo inferiore; tosto il circuito incomincia a girare, e, dopo alcune oscillazioni, si arresta in un piano perpendicolare alla calamita in modo che il polo australe di quest'ultima si trovi alla sinistra della corrente nella parte inferiore del circuito.



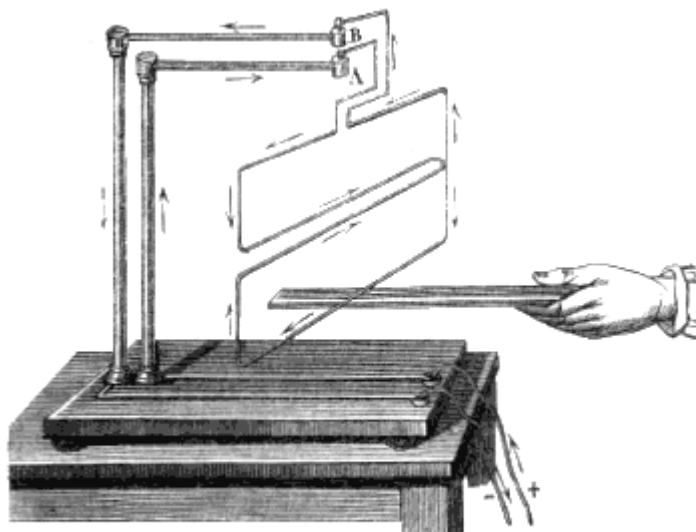


Fig. 477.

**667. Azione direttrice della terra sulle correnti verticali.** - La terra che esercita un'azione direttrice sulle calamite (552), agisce anche sulle correnti, ora disponendole in una direzione determinata, ora imprimendo loro un moto continuo di rotazione secondo che queste correnti sono disposte verticalmente od orizzontalmente.

La prima di queste due azioni, quella cioè che ha per effetto di dirigere le correnti, si può esprimere così: *Ogni corrente verticale, mobile attorno ad un asse ad essa parallelo, sotto l'influenza dell'azione direttrice della terra, si dispone in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, e dopo alcune oscillazioni si ferma all'est del suo asse di rotazione quando essa è discendente, all'ovest quando è ascendente.*

Questo fatto si può constatare coll'esperienza per mezzo di un apparato formato di due vasi di rame *a* e *K* (fig. 478) di disuguale grandezza. Il più grande, *a*, del diametro di circa 30 centimetri, ha nel suo centro un'apertura attraverso alla quale passa una colonna di ottone, *b*, isolata dal vaso *a*, ma comunicante col vaso *K*. Questa colonna è terminata da una piccola capsula, nella quale si appoggia, per mezzo di un perno, un'asta leggiera di legno. Ad uno dei capi di quest'asta si avvolge un sottil filo di platino *ce*, le cui estremità si immergono nell'acqua acidulata che empie i due vasi.

Ciò posto, allorchè la corrente di una pila giunge pel filo *m*, come indica nella figura la direzione delle frecce, essa passa in una lastrina di rame, la quale, sotto la tavoletta di legno che porta tutto l'apparato, è saldata al piede della colonna *b*. Salendo allora per questa colonna, la corrente arriva al vaso *K* ed all'acqua acidulata che esso contiene; indi ascende nel filo *c*, ridiscende nel filo *e*, e portandosi alle pareti del vaso *a*, attraverso dell'acqua acidulata in esso contenuta, raggiunge il filo *n* che la riconduce alla pila.

Trovandosi così chiuso il circuito, il filo *e* si muove attorno alla colonna *b*, e si ferma all'est di questa colonna, se la corrente è discendente, come mostra la figura. Se la corrente è ascendente, ciò che si ottiene facendola giungere dalla pila pel filo *n*, il filo *e* si arresta alla sinistra della colonna *b* in una posizione diametralmente opposta a quella che assume quando la corrente è discendente.

Se all'asta di legno munita di un sol filo (fig. 478), si sostituisce quella a due fili rappresentata dalla figura 479, quest'asta, come facilmente si può concepire, più non assume alcuna direzione, perchè, siccome ciascun filo tende a collocarsi all'est della colonna *b*, risultano due effetti eguali e di direzione contraria, i quali si fanno equilibrio.

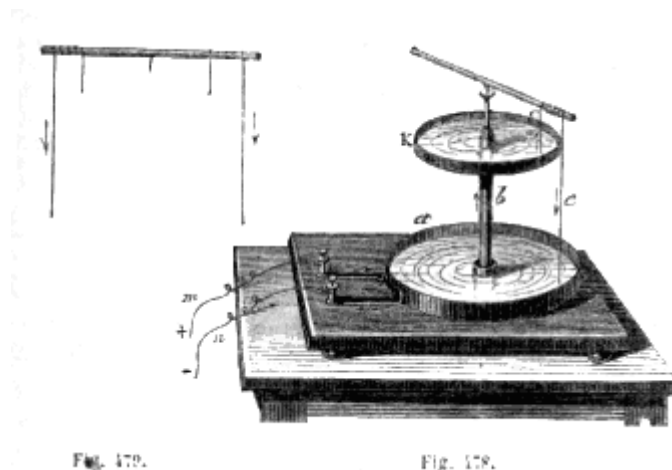


Fig. 479.

Fig. 478.

**668. Azione della terra sulle correnti orizzontali mobili attorno ad un asse verticale.** - L'azione della terra sulle correnti orizzontali non consiste più nel dirigerle, ma *nell'imprimere loro un moto continuo di rotazione dall'est all'ovest, passando pel nord, se la corrente orizzontale ci allontana dall'asse di rotazione; e dall'ovest all'est quando la corrente è diretta verso quest'asse.*

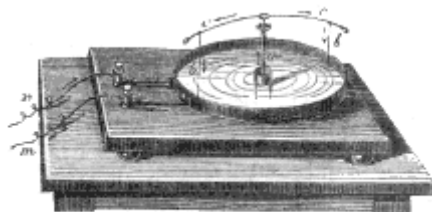


Fig. 480.

Questa azione sulle correnti orizzontali si dimostra per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 480, il quale differisce da quello della figura 478 soltanto perchè ha un sol vaso. La corrente, salendo per la colonna *a*, passa nei due fili *cc* e discende pei fili *bb*, d'onde ritorna alla pila. Allora il circuito *bccb* ruota con un moto continuo dall'est all'ovest o dall'ovest all'est, secondo che nei fili *cc* la corrente si allontana dal centro, come mostra la figura, o si dirige verso il centro, ciò che si ottiene facendo giungere la corrente della pila pel filo *m*, invece di farla arrivare pel filo *n*.

Ora, si è veduto (667) che l'azione della terra sui fili verticali *bb* è distrutta; adunque la rotazione è prodotta dall'azione sui rami orizzontali *cc*.

**669. Azione direttrice della terra sui circuiti chiusi, mobili attorno ad un asse verticale.** - Se il circuito sul quale agisce la terra è chiuso, sia esso rettangolare o circolare, non si produce più un moto continuo di rotazione, ma un'azione direttrice, come nel caso delle correnti verticali (667), in forza della quale *la corrente si colloca in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, in modo che per un osservatore il quale guardi il nord, la corrente discende all'est del suo asse di rotazione ed ascende all'ovest.*

Questa proprietà, la quale si constata per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 481, è una conseguenza di ciò che si disse intorno alle correnti orizzontali ed alle verticali. Infatti, nel circuito chiuso ADB, la corrente, nella parte superiore e nella parte inferiore, tende a ruotare in direzioni contrarie, giusta la legge delle correnti orizzontali (668), e, per conseguenza, evvi equilibrio, mentre nelle parti laterali la corrente tende a disporsi da un lato all'est e dall'altro all'ovest, giusta la legge delle correnti verticali (667).

A motivo dell'azione direttrice della terra sulle correnti, è necessario, nella maggior parte delle esperienze sulle correnti, sottrarle a questa azione. Per ciò, si dà al circuito mobile una forma simmetrica ai due lati del suo asse di rotazione, in modo che le azioni direttrici della terra sulle due parti del circuito

tendano a farlo ruotare in senso contrario, e quindi si distruggano. Questa condizione è soddisfatta nei circuiti rappresentati dalle figure 482, 483, e 484. Perciò, alle correnti che li percorrono si dà il nome di *correnti astatiche*.

Tutte le azioni che la terra esercita sulle correnti (667, 668 e 669) riceveranno quanto prima una spiegazione semplicissima (684), basata sulle azioni mutue che si esercitano fra le correnti elettriche (674 al 683) e sulla ipotesi di Ampère, che la terra sia percorsa dall'est all'ovest da correnti elettriche perpendicolari al meridiano magnetico.

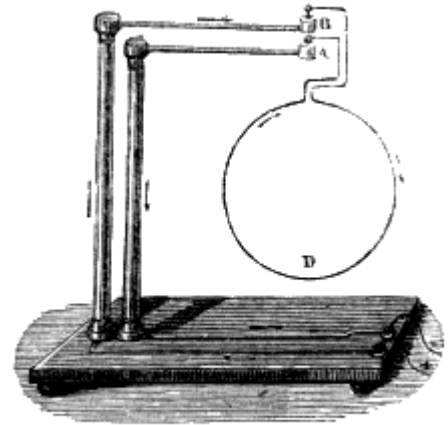


Fig. 481.

# CAPITOLO IV

## ELETTRO-DINAMICA, ATTRAZIONE E RIPULSIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI

**670. Azioni mutue delle correnti elettriche.** - Quando due fili metallici vicini sono attraversati simultaneamente da una corrente elettrica, si producono tra questi fili, secondo la direzione relativa delle due correnti, alcune attrazioni o ripulsioni analoghe a quelle che si esercitano fra i poli di due calamite. Questi fenomeni, la cui scoperta è dovuta ad Ampère, poco tempo dopo quella di Ørsted (661), costituiscono un ramo dell'elettricità dinamica, che si indica col nome di *elettro-dinamica*. Le leggi che li reggono presentano diversi casi secondo che le correnti sono parallele od angolari, rettilinee o sinuose.

**671. Leggi delle correnti parallele.** - 1.<sup>a</sup> *Due correnti parallele e dirette nello stesso senso si attraggono.*

2.<sup>a</sup> *Due correnti parallele e dirette in sensi contrari si respingono.*

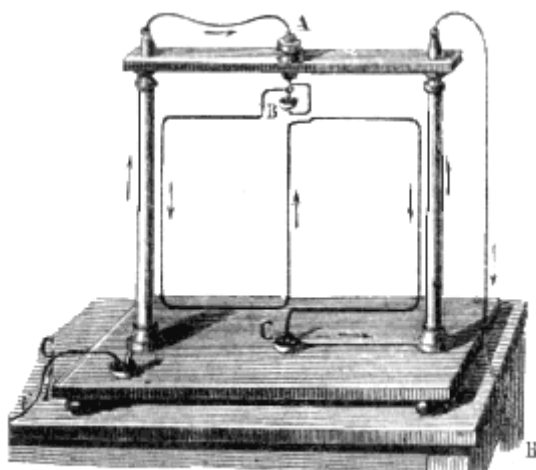


Fig. 482 a = 51.

Per dimostrare queste leggi, si divide il circuito percorso dalla corrente in due parti, l'una fissa e l'altra mobile, come mostra la fig. 482.

La parte fissa si compone di due colonne di ottone collocate verticalmente sopra una tavoletta di legno. Quando l'elettrodo positivo di una pila composta di quattro o cinque coppie di Bunsen comunica col piede della colonna che trovasi alla sinistra nella figura, la corrente sale in questa colonna, passa in un filo A, ed indi in una capsula B che contiene del mercurio. Dopo questa capsula incomincia la parte mobile del circuito, la quale si compone di un filo di rame, una estremità della quale, per mezzo di un perno si appoggia sulla capsula B, e l'altra si immerge in una seconda capsula C, da cui la corrente ascende nella colonna a destra, la quale alla sua sommità comunica coll'elettrodo negativo della pila.

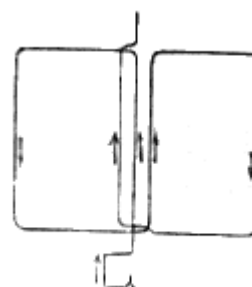


Fig. 483

Dalla disposizione delle frecce si vede che la corrente va in direzione contraria nelle colonne e nel circuito mobile. Ora quest'ultimo che deve prima del passaggio della corrente venir disposto nel

piano degli assi delle colonne, tosto che la corrente passa, se ne allontana girando sul suo perno B, il che dimostra la seconda legge.

Per dimostrare la prima si toglie il circuito mobile della figura 482, e vi si sostituisce quello rappresentato dalla figura 483. Siccome allora la corrente è diretta nello stesso senso, tanto nelle colonne che nella parte mobile, si riconosce che vi è attrazione, perchè il circuito mobile ritorna sempre nel piano degli assi delle due colonne tosto che ne venga allontanato.

**672. Leggi delle correnti angolari.** - 1.<sup>a</sup> *Due correnti rettilinee, le cui direzioni facciano fra loro un angolo, si attraggono quando si avvicinano ambedue al vertice, o se ne allontanano.*

2.<sup>a</sup> *Se l'una delle correnti va verso il vertice e l'altra se ne allontana, esse si respingono.*

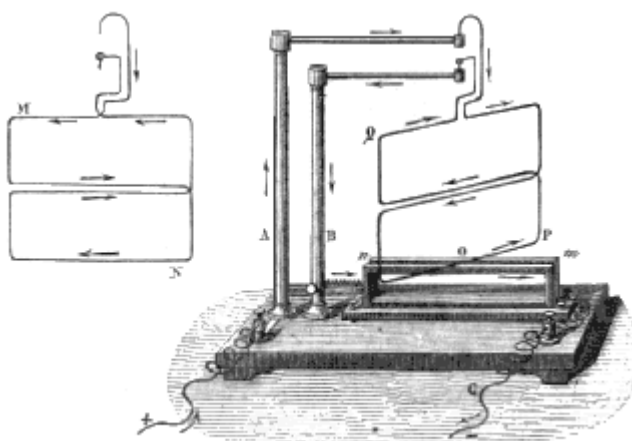


Fig. 481.

Fig. 483.

Per dimostrare queste due leggi si adopera generalmente un apparecchio che noi abbiamo presentato nelle nostre precedenti edizioni e che è dovuto a Pouillet. Ma questo apparecchio agisce assai difficilmente, e ad esso devesi preferire quello rappresentato dalla figura 485. Quest'ultimo, che non è che una modificazione d'un apparecchio già adottato da Ampère per dimostrare le leggi delle correnti angolari, e che è descritto nel trattato di elettricità di De la Rive, è estremamente sensibile.

Come si vede, esso non è altro che l'apparato già rappresentato dalle figure 477 e 481; colla differenza soltanto che sulla tavoletta trovasi collocato un piccolo telaio di legno *mn*, sul quale si avvolge parecchie volte un grosso filo in cui passa la corrente, in modo che viene moltiplicata la di lei azione sul circuito mobile PQ, il quale è astatico. Ciò posto, la corrente entrando pel piede della colonna A, giunge al circuito PQ, e lo percorre nel senso indicato dalle frecce; indi discende nella colonna B, si porta nel moltiplicatore e sorte in C. Ora, se si dispone il circuito mobile in modo che il suo piano formi un angolo col moltiplicatore, tosto che passa la corrente, la quale nei due fili si allontana dal vertice dell'angolo, come mostra la figura, si scorge che l'angolo P $\text{O}m$ , diminuisce, d'onde si deduce che giusta la prima legge, avvi attrazione fra le due correnti. Al contrario, se al circuito PQ si sostituisce il circuito MN (fig. 484), siccome allora le due correnti sono dirette in senso contrario rispetto al vertice dell'angolo P $\text{O}m$ , si vede che quest'ultimo aumenta; avvi adunque ripulsione, epperò resta dimostrata la seconda legge.

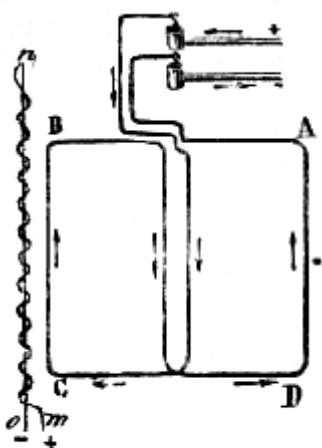


Fig. 486.

Dalla seconda delle precedenti leggi, Ampère conchiuse che una corrente angolare tende a raddrizzarsi, e che *in una corrente rettilinea ogni elemento della corrente respinge l'elemento seguente e ne è respinto*. Ordinariamente si tenta di dimostrare questo principio facendo vedere che quando la corrente passa da un bagno di mercurio in un piccolo filo di rame, che galleggia sulla superficie del liquido, questo filo è respinto; ma la resistenza che risulta dal cangiamento di conduttore può bastare a produrre il fenomeno.

**673. Legge delle correnti sinuose.** - *L'azione di una corrente sinuosa equivale a quella di una corrente rettilinea di ugual lunghezza in proiezione.* Questo principio si dimostra disponendo una corrente *mno* (fig. 486), metà sinuosa e metà rettilinea vicino ad una corrente mobile ABCD. Allora non si osserva attrazione nè ripulsione, d'onde si deduce che l'azione della porzione sinuosa *mn*, fa equilibrio a quella della porzione rettilinea *no*.

Questo principio sulle correnti sinuose verrà ben presto applicato a piccoli apparati che si chiamano solenoidi, i quali sono formati dalla combinazione di una corrente rettilinea con una corrente sinuosa (679).

## DIREZIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI

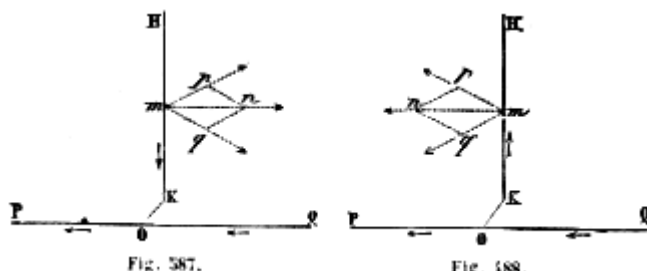


Fig. 487.

Fig. 488.

### 674 Azione di una corrente indefinita sopra una corrente perpendicolare alla sua direzione.

- Dietro l'azione che si esercita fra due correnti angolari (672), si può facilmente determinare quella che esercita una corrente rettilinea PQ (fig. 487), fissa ed indefinita, sopra una corrente mobile KH perpendicolare alla sua direzione. Perciò si rappresenti con OK la perpendicolare comune a KH ed a PQ, la quale è nulla se le due linee PQ e KH si incontrano. La corrente PQ essendo diretta da Q verso P, come indicano le frecce, consideriamo dapprima il caso in cui la corrente KH si avvicini alla corrente PQ. Giusta la prima legge delle correnti angolari (672), la porzione QO della corrente PQ attrae la corrente KH, giacché queste correnti sono dirette ambedue verso il vertice dell'angolo formato dalle loro direzioni. Quanto alla parte PO della corrente PQ, essa al contrario respinge la corrente KH, perchè qui le due correnti sono in senso contrario relativamente al vertice dell'angolo formato dalle loro direzioni. Adunque, rappresentando con *mq* ed *mp* le due forze, l'una attrattiva e l'altra ripulsiva, che sollecitano la corrente KH, forze che sono necessariamente di uguale intensità, perchè ai due lati del punto O, tutto è simmetrico, si sa (29) che queste due forze si compongono in una forza unica *mn*, la quale tende a trascinare la corrente KH parallelamente alla corrente PQ, e in senso opposto a quest'ultima.

Se si considera il caso in cui la corrente KH si allontana dalla corrente PQ (fig. 488), si scorge facilmente che dessa è ancora trascinata parallelamente a questa corrente, ma nello stesso verso.

Si può adunque stabilire questo principio generale: *Una corrente finita mobile che si avvicina ad una corrente fissa indefinita è sollecitata a muoversi in una direzione parallela ed opposta a quella della corrente fissa; se la corrente mobile si allontana dalla corrente fissa, è ancora sollecitata a muoversi parallelamente a questa corrente, ma nel medesimo verso.*

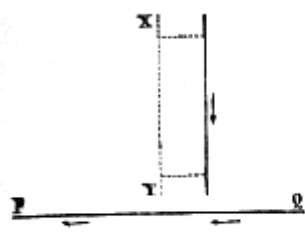


Fig. 489.

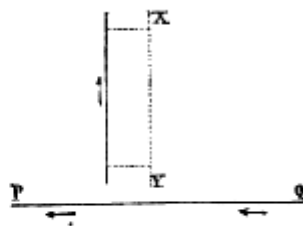


Fig. 490.

Da ciò segue che se una corrente verticale è mobile attorno ad un asse XY parallelo alla sua direzione (fig. 489 e 490), ogni corrente orizzontale PQ ha per effetto di farla girare attorno al suo asse, *fino a che il piano dell'asse e della corrente sia divenuto parallelo a PQ*, e che la corrente verticale si ferma quando è situata, rispetto al suo asse, *da quella parte donde viene la corrente PQ* (fig. 489), ovvero *dalla parte verso la quale essa si dirige* (fig. 490), *secondo che la corrente verticale è discendente od ascendente*, cioè secondo che si allontana dalla corrente orizzontale o le si avvicina.

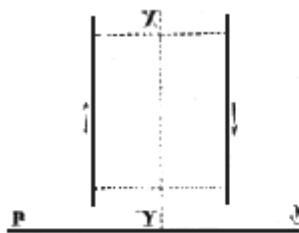


Fig. 491.

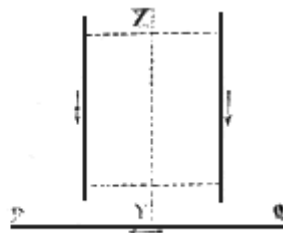


Fig. 492.

Dallo stesso principio si deduce inoltre che un sistema di due correnti verticali le quali possono girare insieme attorno ad un asse verticale (fig. 491 e 492), viene diretto da una corrente orizzontale PQ in un piano parallelo a questa corrente se una delle correnti verticali è ascendente e l'altra discendente (fig. 491); e che se invece sono ambedue discendenti (fig. 492) od ambedue ascendenti, non vengono dirette dalla corrente orizzontale.

**675. Azione di una corrente rettilinea indefinita sopra una corrente rettangolare o circolare.** – È facile il riconoscere che una corrente rettilinea orizzontale indefinita esercita sopra una corrente rettangolare mobile attorno ad un asse verticale (fig. 493) la stessa azione direttrice suesposta. Infatti, giusta la direzione delle correnti segnate dalle frecce, la parte QY agisce per attrazione non solo sulla parte orizzontale YD (legge delle correnti angolari), ma anche sulla parte verticale AD (legge delle correnti perpendicolari, 674). La stessa azione si esercita evidentemente fra la parte PY e le parti CY e BC. Dunque *la corrente fissa PQ tende a dirigere la corrente rettangolare mobile ABCD in una posizione parallela a PQ, e tale che nei fili CD e PQ le correnti siano dirette nello stesso verso*.

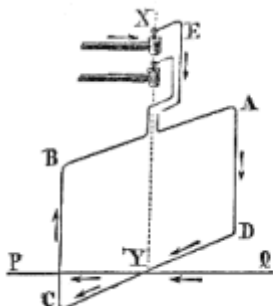


Fig. 493.

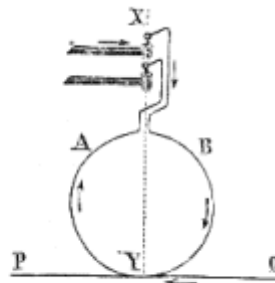


Fig. 494.

Questo principio si può facilmente dimostrare coll'esperienza, collocando il circuito ABCD sull'apparato a due colonne della figura 481 e facendovi passare al disotto una corrente piuttosto intensa, la quale dapprima faccia con esso un angolo più o meno acuto. Però, sarà preferibile l'uso dello stesso circuito rappresentato dalla figura 477, il quale è astatico (669), mentre quello della figura 493 non è tale.

Quanto si è detto intorno alla corrente rettangolare della figura 493 si applica esattamente alla corrente circolare della figura 494, e si verifica coll'esperienza nello stesso modo.

## ROTAZIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI

**676. Rotazione di una corrente orizzontale finita per mezzo di una corrente rettilinea orizzontale indefinita.** - Le attrazioni e ripulsioni ch'esercitano tra loro le correnti angolari, si ponno facilmente trasformare in moto circolare continuo. Per ciò, si immagini una corrente OA (fig. 495), mobile attorno ad un punto O, in un piano orizzontale, e sia PQ una corrente indefinita pure orizzontale. Se queste due correnti sono dirette nel senso delle frecce, ne segue che nella posizione OA, la corrente mobile è attratta dalla corrente PQ, perchè son dirette nello stesso verso. Giunta nella posizione OA' la corrente mobile è attratta dalla parte NQ della corrente fissa e respinta dalla parte PN. Parimenti nella posizione OA'' è attratta da MQ e respinta da PM, e così di seguito; d'onde risulta un moto rotatorio continuo nel verso AA'A''A'''...

Se la corrente mobile invece di essere diretta da O verso A, andasse da A verso O, è facile lo scorgere che la rotazione avverrebbe in senso contrario. Adunque, per effetto della corrente fissa indefinita PQ, la corrente mobile OA tende a girare continuamente in una direzione contraria a quella della corrente fissa.

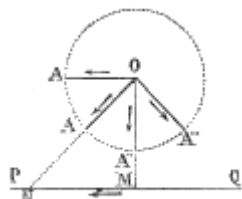


Fig. 495.



Fig. 496.

Se essendo ambedue le correnti ancora orizzontali, la corrente fissa fosse circolare invece di essere rettilinea, facilmente si riconosce che il suo effetto sarà ancora quello di produrre un moto circolare continuo. Infatti, in un piano orizzontale siano collocate due correnti, l'una ABC (fig. 496) fissa e circolare, l'altra *mn* rettilinea e mobile attorno al centro *n*. Se queste correnti sono dirette nel senso delle frecce, si attraggono entro l'angolo *n* AC, perchè vanno ambedue verso il vertice

(672, 1.<sup>a</sup>). Nell'angolo *n*AB invece si respingono, perchè l'una si dirige verso il vertice, mentre l'altra si allontana. Adunque i due effetti concorrono per far girare continuamente il filo *mn* nel verso ACB.

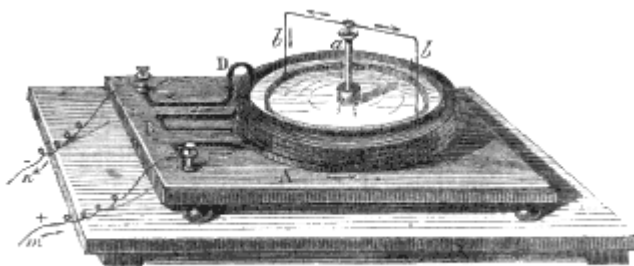


Fig. 497.

**677. Rotazione di una corrente verticale per mezzo di una corrente circolare orizzontale.** - Anche una corrente circolare orizzontale che agisce sopra una corrente verticale rettilinea, le può imprimere un moto continuo di rotazione. Per dimostrarlo si fa uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 497. Esso è composto di un vaso di rame attorno al quale si avvolge una lamina dello stesso metallo coperta di seta o di lana, e percorsa da una corrente fissa. Al centro del vaso trovasi una colonna di ottone *a*, terminata da una capsula che contiene del mercurio. In questa capsula si immerge un perno che sostiene un filo di rame *bb*, piegato alle sue estremità in modo da formare due rami verticali, i quali sono saldati ad un anello leggerissimo di rame immerso nell'acqua acidulata contenuta nel vaso. Ciò posto, allorchè la corrente di una pila giunge pel filo *m*, si porta nella lamina A, donde, dopo parecchi giri intorno al vaso, passa nella lamina B e di là, per di sotto



al vaso, arriva alla parte inferiore della colonna *a*. Salendo allora per questa colonna, va nei fili *bb*, nell'anello di rame, nell'acqua acidulata e nelle pareti del vaso, dalle quali ritorna alla pila per la lamina D. Trovandosi così chiusa la corrente, il circuito *bb* e l'anello incominciano a girare in senso contrario della corrente fissa, e questo movimento è dovuto all'azione della corrente circolare sulla corrente dei rami verticali *bb*, come facilmente si desume dalle due leggi delle correnti angolari, giacchè il ramo *b* situato a destra, è attratto in avanti dalla parte A del circuito fisso, ed il ramo *b* situato a sinistra è attratto in senso contrario dalla parte opposta. L'azione della corrente circolare sulla parte orizzontale del circuito *bb* concorre evidentemente a farlo girare nello stesso verso; ma la distanza può rendere trascurabile la sua azione.

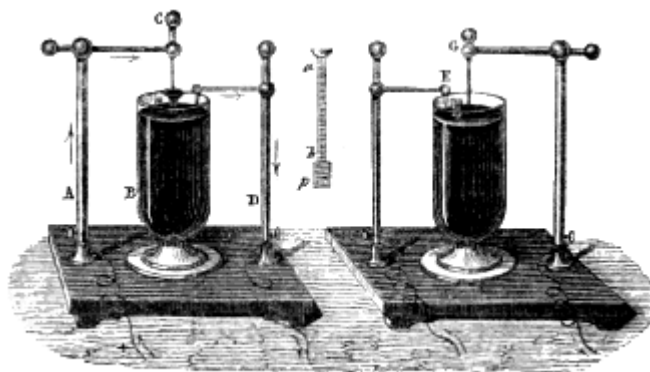


Fig. 498.

Fig. 499.

**678. Rotazione delle calamite per mezzo delle correnti.** - Le correnti imprimono anche alle calamite gli stessi moti di rotazione che imprimono alle correnti, il che venne per la prima volta dimostrato da Faraday per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 498, composto di una larga provetta di vetro quasi totalmente piena di mercurio. Al centro di questo liquido si immerge una calamita lunga circa 20 centimetri, la quale si eleva di alcuni millimetri sulla superficie del mercurio, ed alla parte inferiore è zavorrata per mezzo di un cilindro di platino, come scorgesi in *ab* alla destra dell'apparecchio. Alla parte superiore della calamita è addattata una piccola capsula di rame che contiene del mercurio; in questa capsula giunge la corrente per mezzo di un'asta C. Ciò posto, appena che la corrente, salendo per la colonna A, passa nella calamita, indi nel mercurio, e sorte per la colonna D, si vede la calamita girare sopra sè stessa intorno al suo asse con una velocità che dipende dalla forza magnetica e dalla velocità della corrente.

Questo moto di rotazione si spiega per mezzo della teoria di Ampère che faremo conoscere quanto prima, giusta la quale le calamite sono percorse sul loro contorno da una quantità di correnti circolari dirette nello stesso verso, in piani perpendicolari all'asse della calamita (684).

Ciò posto, al momento in cui nell'esperienza succitata la corrente passa dalla calamita nel mercurio, si divide alla superficie di quest'ultimo in un numero infinito di correnti rettilinee dirette dall'asse della calamita alla periferia della provetta. Ora, ciascuna di queste correnti agisce sulle correnti della calamita, nello stesso modo che nella figura 496, la corrente rettilinea *mn* agisce sulla corrente circolare CAB, cioè che siccome il cerchio CAB rappresenta una delle correnti della calamita, avvi attrazione entro l'angolo *nAC* e ripulsione nell'angolo *nAB*, e, per conseguenza, rotazione continua della calamita attorno al suo asse. La corrente esercita la sua azione soltanto sull'estremità superiore della calamita, o se il polo australe è in alto, come nella nostra figura, la rotazione avviene dall'ovest all'est passando pel nord; il verso della rotazione cangia se si pone al basso il polo australe, e se si inverte la direzione della corrente.

Invece di far girare la calamita intorno al proprio asse, la si fa girare intorno ad una retta parallela a quest'asse, disponendo l'esperienza come mostra la figura 499. Infine, reciprocamente, si fanno pur girare alcune correnti per influenza di una forte calamita.

## SOLENOIDI

**679. Composizione d'un solenoide.** - Chiamasi *solenoid* un sistema di correnti circolari eguali e parallele, formate da un filo di rame ricoperto di seta e ripiegato su sè stesso ad elice, come lo rappresenta la figura 500. Però, un solenoide è completo solo quando



Fig. 500.

una parte BC del filo sia piegata secondo l'asse nell'interno dell'elice. Con questa disposizione allorchè il circuito è percorso da una corrente, risulta da ciò che si disse sulle correnti sinuose (673), che l'azione del solenoide, nel senso della lunghezza AB, è distrutta da quella della corrente rettilinea BC. Questa azione è dunque nulla nel senso della lunghezza, è per conseguenza l'effetto d'un solenoide equivale rigorosamente in una direzione perpendicolare all'asse, a quella d'un seguito di correnti eguali e parallele.

**680. Azioni delle correnti sopra i solenoidi.** - Quanto si disse sull'azione delle correnti rettilinee fisse sulle correnti finite, rettangolari o circolari (675), applicandosi evidentemente a ciascuno dei circuiti d'un solenoide, ne risulta che una corrente rettilinea deve tendere a dirigere questi circuiti parallelamente a sè stessa.

Per constatare questo fatto coll'esperienza, si costruisce il solenoide, come lo mostra la figura 501, in modo di poterlo sospendere per mezzo dei due perni sopra le capsule A e B dell'apparecchio rappresentato nella figura 481. Il solenoide è allora mobilissimo attorno ad un asse verticale, e se vi si dirige al disotto, parallelamente al suo asse, una corrente rettilinea che passi nello stesso tempo nei fili del solenoide, lo si vede girare e mettersi in croce rispetto alla corrente, cioè in una posizione

tale che i suoi circuiti si trovino paralleli alla corrente fissa, e di più nella parte inferiore di ciascun d'essi, la corrente è nel medesimo senso che nel filo rettilineo.

Se invece di far passare orizzontalmente una corrente rettilinea sotto al solenoide, la si fa passar verticalmente sopra un lato, si osserva una attrazione od una ripulsione, secondochè, nel filo verticale e nella parte del solenoide più vicina, le due correnti sono nel medesimo senso, od in senso contrario.

**681. Azione direttrice della terra sui solenoidi.** - Collocando sulle capsule AB dell'apparecchio a due colonne della figura 481 il solenoide a sospensione rappresentato nella figura 501, se lo si dirige dapprima fuori del meridiano magnetico, si osserva che appena una corrente abbastanza energica passa nel solenoide, questo entra in movimento e si arresta in una direzione tale che il suo asse è parallelo alla direzione dell'ago di declinazione (556). Di più nella parte inferiore delle correnti circolari che compongono il solenoide, la corrente è diretta da est ad ovest. L'azione direttrice della terra sui solenoidi è dunque la conseguenza di quella che essa esercita sulle correnti circolari (669).

In questa esperienza il solenoide dirigendosi come un ago calamitato, chiamasi *polo australe*, come nelle calamite, la estremità che si dirige verso il nord, e *polo boreale* quella che si dirige verso il sud.

**682. Azione reciproca delle calamite e dei solenoidi.** - Fra i solenoidi e le calamite si manifestano identicamente gli stessi fenomeni di attrazione e ripulsione reciproca come fra le calamite. Infatti, se si presenta ad un solenoide mobile ed attraversato da una corrente l'uno dei poli di una forte spranga calamitata, vi ha attrazione o ripulsione, secondo che i poli dalla calamita e del solenoide che si mettono in presenza sono di medesimo nome o di nome contrario.

Reciprocamente lo stesso fenomeno ha luogo se si presenta ad un ago calamitato mobile un solenoide che si tiene in mano mentre è attraversato da una corrente. La legge delle attrazioni e delle ripulsioni delle calamite (545), si applica adunque esattamente alle azioni reciproche dei solenoidi e delle calamite.

**683. Azione reciproca dei solenoidi.** - Allorchè si fanno agire l'uno sull'altro due solenoidi attraversati da una corrente assai forte, tenendone l'uno in mano e disponendo l'altro in modo che possa muoversi attorno ad un asse verticale passante pel suo centro di figura, come lo rappresenta la figura 502, si osservano nelle estremità di questi due solenoidi alcuni fenomeni d'attrazione e

ripulsione identici a quelli che presentano tra loro i poli delle calamite; questi fenomeni si spiegano per la direzione relativa delle correnti nelle estremità messe in presenza (671).

**684. Teoria d'Ampère sul magnetismo.** - Fondandosi sulla analogia che esiste tra i solenoidi e le calamite, Ampère ha data una teoria ingegnosa, per mezzo della quale i fenomeni magnetici entrano nel dominio dell'elettro-dinamica.

Invece d'attribuire i fenomeni magnetici all'esistenza di due fluidi (546), Ampère li attribuisce a correnti voltaiche circolari che esisterebbero attorno alle molecole delle sostanze magnetiche.

Quando queste sostanze non sono calamitate, le correnti molecolari hanno luogo in tutte le direzioni, e la risultante della loro azione elettrodinamica è nulla.

Nelle calamite, al contrario, le correnti molecolari essendo tutte parallele e del medesimo senso, le loro azioni concordanti hanno una risultante che equivale ad una corrente unica diretta circolarmente alla superficie della calamita, come lo rappresenta la figura 503; dimodochè le calamite non sono che solenoidi e le attrazioni e le ripulsioni magnetiche non sono altrochè una conseguenza dell'azione delle correnti sulle correnti.

Infine, in questa teoria, per ispiegare gli effetti magnetici terrestri, si ammette l'esistenza di correnti elettriche circolanti senza possa, attorno al nostro globo da est ad ovest, perpendicolarmente al meridiano magnetico. Quanto alla loro natura, queste sarebbero correnti termo-elettriche (720), dovute alle variazioni di temperatura che risultano dalla presenza successiva del sole sulle differenti parti della superficie del globo, dall'oriente verso l'occidente.

Sono queste correnti che dirigono gli aghi delle bussole e danno ai minerali di ferro una calamitazione naturale. Sono queste infine che sono causa dell'azione della terra sulle correnti orizzontali e verticali (667 e 668), azione che ora si spiega senza difficoltà dopo ciò che si disse sull'azione d'una corrente orizzontale indefinita sulle correnti orizzontali e sulle correnti verticali (675 e 676).

# CAPITOLO V

## MAGNETIZZAZIONE PER MEZZO DELLE CORRENTI, ELETTRO-CALAMITE, TELEGRAFI ELETTRICI

**685. Magnetizzazione per mezzo delle correnti.** - Dietro l'influenza che esercitano le correnti sulle calamite devianone il polo australe a sinistra ed il polo boreale a destra, è facile l'immaginare che le correnti, agendo sulle sostanze magnetiche allo stato naturale, debbono tendere a separarne i due fluidi magnetici. Infatti si osserva che avvolgendo un filo percorso da una corrente nella limatura di ferro, quest'ultima vi si attacca in abbondanza, e ricade appena che la corrente cessa, mentre l'azione è nulla sulla limatura di qualunque altro metallo non magnetico.

L'azione delle correnti sulle sostanze magnetiche è sensibile principalmente quando si avvolge, come fece Ampere, un filo di rame coperto di seta attorno ad un tubo di vetro, e si colloca nell'interno di quest'ultimo una verga d'acciaio non magnetizzata. Si osserva che basta che una corrente attraversi il filo anche per un tempo brevissimo, perchè la verga sia magnetizzata. Se invece di far attraversare il filo dalla corrente della pila, vi si fa passare la scarica di una bottiglia di Leyda mettendone in comunicazione uno dei capi coll'armatura esterna e l'altro coll'armatura interna, si trova che la spranga si magnetizza egualmente. Si può adunque magnetizzare tanto coll'elettricità voltiana quanto con quella delle macchine elettriche.

Nell'esperienza ora descritta il filo può essere avvolto da sinistra a destra al disopra del cilindro, ed allora si ha un *elice destrorso* (fig. 504), oppure l'avvolgimento può aver luogo da sinistra a destra al disotto del cilindro, ed allora si ha un *elice sinistrorso* (fig. 505). Nella prima elice il polo boreale della spranga trovasi sempre all'estremità per la quale entra la corrente; il contrario avviene nell'elice sinistrorso.

La natura del tubo sul quale è avvolta l'elice non è senza influenza. Il legno ed il vetro sono senza effetto; ma un grosso cilindro di rame può distruggere completamente l'effetto della corrente. Lo stesso accade col ferro, coll'argento e collo stagno.

Del resto, per magnetizzare una spranga d'acciaio coll'elettricità non è necessario di collocarla in un tubo, come mostrano le figure 504 e 505. Basta cingerla in tutta la sua lunghezza con un filo di rame coperto di seta onde isolare l'uno dall'altro i circuiti del filo. L'azione della corrente, quando la si fa passare nel filo, resta in tal modo moltiplicata (662) e basta una corrente poco intensa per ottenere una forte magnetizzazione.

Dalle numerose esperienze fatte da Haldat, risulta che un cilindro di ferro dolce, cavo, per quanto sia sottile la sua parete, acquista, quando è collocato in un'elice percorsa da una corrente, sensibilmente la stessa intensità magnetica di un cilindro pieno di eguali dimensioni. Haldat ne conchiuse che nelle calamite il magnetismo risiede interamente alla superficie, e che la loro massa esercita quasi nessuna influenza su la loro facoltà magnetica.

**686. Elettro-calamite.** - Chiamansi *elettro-calamite* le spranghe di ferro dolce che si magnetizzano sotto l'influenza di una corrente voltiana, ma solo temporariamente, perchè siccome la forza coercitiva del ferro dolce è nulla (549), i due fluidi magnetici si neutralizzano tosto che la corrente cessa di passare nel filo. Però, se il ferro non è perfettamente puro, conserva alcune tracce di magnetizzazione più o meno sensibili. Generalmente le elettro-calamite si dispongono a ferro di cavallo, come mostra la figura 506, e si avvolge sui due rami per un gran numero di volte un filo di rame coperto di seta, in modo da formare due rocchetti A e B. Il filo deve essere avvolto sui due rocchetti in senso contrario, affinchè le due estremità della spranga riescano due poli di nome contrario.

Si fecero numerose ricerche onde determinare le condizioni necessarie per ottenere nelle elettro-calamite la maggior forza possibile, e valutare l'influenza esercitata dalle dimensioni del ferro di cavallo, dal diametro e dal numero dei giri del filo conduttore, e finalmente dall'intensità e dall'origine della corrente che percorre questo filo. Sebbene i risultati finora ottenuti non siano sempre perfettamente concordanti, pure si ammette, in generale, che le migliori condizioni da osservarsi siano le seguenti:

1.<sup>a</sup> Il ferro della spranga deve essere dolce il meglio possibile, qualità che non dipende soltanto dal suo grado di purezza ma principalmente dal modo con cui è preparato; giacchè deve essere ricotto parecchie volte e lasciato raffreddare lentamente.

2.<sup>a</sup> La forma e le dimensioni della spranga modificano la sua forza magnetica, e dai lavori di Lentz, Jacoby, Muller, Dub, Niklès risulta che, stando ferme tutte le altre condizioni, la lunghezza dei rami di una elettro-calamita è senza influenza sul peso che essa può sostenere, quando la spranga è curvata a ferro di cavallo, ed i fili sono avvolti sui due rocchetti in versi contrari; ma se la spranga è rettilinea e forma quindi un sol rocchetto, o se essendo piegata a ferro di cavallo, i suoi rocchetti sono avvolti nello stesso verso, la facoltà attraente aumenta colla lunghezza della spranga. Riguardo alla grossezza del cilindro di ferro dolce, il dottor Dub ha recentemente trovato che la forza di una elettro-calamita per far deviare l'ago magnetizzato è proporzionale alla radice quadrata del diametro del cilindro di ferro, e che il peso sostenuto da una elettro-calamita è proporzionale allo stesso diametro. Infine, per correnti intense, la forza di una elettro-calamita è proporzionale all'allontanamento dei rocchetti. In generale, dicono i Becquerel nel loro *Trattato di elettricità*, si usano le dimensioni seguenti: la lunghezza di ciascun ramo avvolto dal filo varia fra 2 volte e mezzo e 4 volte il diametro della spranga di ferro; la distanza fra i due rami, all'interno, è da 1 volta e mezzo a 2 volte il diametro della spranga; la lunghezza del filo avvolto dipende dagli effetti che si vogliono produrre, ed ordinariamente si avvolgono i due rami finchè i rocchetti da ciascun lato si tocchino colle ultime spire del filo.

3.<sup>a</sup> Per correnti poco energiche si ammette che, ferme tutte le altre circostanze, l'intensità magnetica delle elettrocalamite è proporzionale al numero delle spire del rocchetto; questa legge però può essere ammessa soltanto fino ad un certo limite, perchè la forza magnetica di ogni calamita ha un massimo che corrisponde al punto di saturazione.

Del resto la lunghezza del filo, e quindi il numero delle spire, varia a norma degli effetti che si vogliono ottenere. Se si tratta di costruire un'elettro-calamita destinata a sostenere dei pesi considerevoli, bisogna adoperare una pila di grande superficie e scegliere un filo del diametro di 1 fino a 3 o 4 millimetri, il che non permette di avvolgerlo per un gran numero di giri. Se al contrario si ha una corrente debole, come nei telegrafi elettrici, si adopera un filo assai lungo e di piccolo diametro, onde avvolgerlo moltissime volte ed aumentare così la forza dell'elettro-calamita.

Vedremo quanto prima le importanti applicazioni delle elettro-calamite ai telegrafi elettrici, ai motori elettro-magnetici, agli orologi elettrici ed allo studio dei fenomeni diamagnetici.

**687. Moto vibratorio e suoni prodotti dalle correnti.** - Quando un'asta di ferro dolce si magnetizza per l'influenza di una forte corrente elettrica rende un suono assai pronunciato, il quale varia secondo che l'asta è più o men lunga e si produce solo all'istante in cui si apre o si chiude il circuito. Questo fenomeno osservato dapprima da Page in America e da Delezenne in Francia, venne studiato principalmente da De la Rive, il quale lo attribuisce ad un moto vibratorio delle molecole del ferro per effetto di una rapida successione di magnetizzazioni e smagnetizzazioni.

Interrompendo e ristabilendo la corrente ad intervalli brevissimi, questo scienziato osservò che, qualunque sia la forma e la grandezza delle aste di ferro dolce, si distinguono sempre due suoni: uno, che è musicale corrisponde a quello che darebbe la spranga vibrando trasversalmente; l'altro, che consiste in una serie di colpi corrispondenti alle alternative della corrente, venne paragonato da De la Rive al rumore della pioggia cadente sopra un tetto di metallo. Il più distinto suono, dice De la Rive, è quello che si ottiene tendendo sopra una cassa armonica alcuni fili di ferro dolce del diametro di 1 a 2 millimetri, ben ricotti e lunghi da 1 a 2 metri. Collocati questi fili lungo l'asse di uno o più rocchetti attraversati da una corrente energica, producono un complesso di suoni il cui

effetto è sorprendente ed assomiglia molto a quello di parecchie campane da chiesa che vibrino insieme in lontananza.

De la Rive ottenne gli stessi suoni facendo passare la corrente discontinua non già nei rocchetti che circondano i fili di ferro, ma entro i fili stessi. Il suono musicale allora riesce anche più forte e distinto che nel primo esperimento.

L'ipotesi di un moto molecolare nei fili di ferro, al momento della loro magnetizzazione e smagnetizzazione, è confermata dalle ricerche di Wertheim, il quale trovò che allora i fili perdono in parte la loro elasticità, e da quelle di Joule, il quale constatò che il diametro dei fili diminuisce e cresce la loro lunghezza.

## TELEGRAFI ELETTRICI

**688. Differenti sorta di telegrafi elettrici.** - I *telegrafi elettrici* sono apparati che servono a trasmettere certi segnali a grandi distanze per mezzo di correnti voltiane condotte in lunghi fili metallici. Fin dal secolo passato parecchi fisici avevano proposto di corrispondere a distanza per mezzo degli effetti prodotti dall'elettricità delle macchine elettriche, quando essa si propaga nei fili conduttori isolati.

Nel 1811, Soemmering immaginò un telegrafo fondato sull'uso, come mezzo indicatore, della decomposizione dell'acqua prodotta dalla pila.

Nel 1820, epoca in cui non si conosceva ancora l'elettro-calamita, Ampère, fondandosi sull'esperienza di Ørsted (661), propose di corrispondere per mezzo di aghi magnetizzati al disopra dei quali si dirigeva una corrente, adoperando tanti aghi e tanti fili quante sono le lettere. Nel 1837, Steinheil, a Monaco, e Wheatstone, a Londra, costruirono alcuni telegrafi a parecchi fili, ciascuno dei quali agiva sopra un ago magnetizzato; la sorgente elettrica era un apparato elettro-magnetico di Clarke, od una pila a corrente costante. Ma il telegrafo non poteva acquistare tutta la semplicità desiderabile, se non per mezzo dell'elettro-calamita. Questo sistema venne adottato da Wheatstone nel 1840.

Conservando sempre lo stesso principio, fu variata molto la forma dei telegrafi elettrici, però si ponno ridurre tutti ai quattro seguenti, che ora successivamente descriveremo: il telegrafo a quadrante, il telegrafo a segnali, il telegrafo scrivente ed il telegrafo elettro-chimico.

**689. Telegrafo a quadrante.** - Sonvi parecchie specie di telegrafi a quadrante. Quello rappresentato dalle figure 507 e 508 venne costruito da Froment. Questo telegrafo è destinato alla dimostrazione nelle scuole, ma il suo principio è quello stesso dei telegrafi stabiliti lungo alcune ferrovie. Come questi, esso è composto di due apparati distinti, l'uno il *manipolatore*, destinato a trasmettere i segnali (fig. 507); l'altro il *ricevitore*, destinato a riceverli (fig. 508). Il primo di tali apparati comunica con una pila a carbone Q, ed i due apparati comunicano fra loro per mezzo di due fili metallici, di ferro o di rame, l'uno dei quali, AOD (fig. 507), va dalla stazione di partenza alla stazione d'arrivo, e l'altro, HKLI (fig. 508), da quest'ultima alla prima. Finalmente i due apparati sono muniti ciascuno di un quadrante su cui sono segnate le 25 lettere dell'alfabeto e sul quale si muove un ago. La mano dell'esperimentatore fa girare l'ago della stazione mittente e l'elettricità fa girare quello della stazione di arrivo.

Ciò posto, ecco l'andamento della corrente nei due apparati e gli effetti che essa produce. Dalla pila giunge per mezzo di un filo di rame A (fig. 507) ad una lastra di ottone N che è a contatto con una ruota metallica R; passa in una seconda lamina M, poi nel filo O che comunica coll'altra stazione. Ivi, la corrente si porta nel rocchetto di una elettro-calamita *b*, che non si vede nella figura 508, ma che è rappresentata in profilo nella figura 509, la quale mostra la parte posteriore dell'apparato. Questa elettro-calamita ad una estremità è fissa orizzontalmente, ed all'altra attrae un'armatura di ferro dolce *a*, la quale fa parte di una leva a gomito mobile attorno al suo punto d'appoggio *o*, mentre una molla a spirale *r* sollecita la stessa leva in senso contrario.

Ciò posto, quando la corrente passa, l'elettro-calamita attrae la leva aC, la quale per mezzo di un'asta i agisce sopra una seconda leva *d* fissa ad un asse orizzontale, collegato esso pure ad una forchetta F. Quando la corrente è interrotta; la molla *r* riconduce la leva aC nella posizione primitiva e con essa tutti i pezzi che ne dipendono; epperò ne risulta un movimento alternativo che si comunica alla forchetta F, la quale fa muovere una ruota dentata G, il cui asse porta l'ago indicatore. La ruota G, a motivo dell'inclinazione de' suoi denti, è mossa dalla forchetta sempre nello stesso senso, il che è indispensabile. Per comprendere le intermittenze della elettrocalamita, bisogna riportarsi alla figura 507.

La ruota R ha 26 denti, dei quali 25 corrispondono alle lettere dell'alfabeto, e l'ultimo all'intervallo che trovasi fra le lettere A e Z. Quando tenendo in mano il bottone P si fa girare la ruota R, l'estremità della lastra N, attesa la sua curvatura, è sempre a contatto coi denti; la lamina M invece è terminata da un'ala di forma tale che avvenga successivamente contatto e distacco. Quindi se, stabilita la comunicazione colla pila si fa avanzare l'indice P di quattro lettere, per es., la corrente passa quattro volte da N in M, e quattro volte resta interrotta. L'elettro-calamita della stazione d'arrivo avrà attratta quattro volte la leva aC (fig. 509) e quattro volte l'avrà abbandonata; adunque la ruota G avrà girato di quattro denti; e siccome ciascun dente corrisponde ad una lettera, l'indice della stazione d'arrivo si sarà avanzato di un numero di lettere uguale a quello della stazione di partenza. Il pezzo S, rappresentato nelle due figure è una lamina di ottone mobile sopra una cerniera, il quale serve ad interrompere od a chiudere il circuito a piacere.

Dietro quanto precede è facile il comprendere come si possa corrispondere da un luogo ad un altro. Supponiamo, per es., che il primo apparato sia a Milano, ed il secondo a Torino, e che, stabilita la comunicazione tra le due stazioni mediante due fili metallici, si voglia trasmettere alla seconda città la parola *segno*: mentre gli indici in ciascun apparato corrispondono all'intervallo esistente fra le lettere A e Z, la persona che trasmette il dispaccio fa avanzare l'indice P fino alla lettera S, ed ivi lo trattiene per un tempo brevissimo; l'ago dell'apparecchio che trovasi a Torino, riproducendo fedelmente i movimenti dell'indice di Milano, si ferma alla stessa lettera, ed allora la persona che riceve il dispaccio nota questa lettera: la persona che trovasi a Milano, continuando a far girare l'indice nello stesso senso, lo arresta alla lettera E, e l'indice dell'altro apparato si ferma tosto alla stessa lettera; continuando nello stesso modo per le lettere GNO tutta la parola è ben presto trasmessa a Torino.

Per richiamare l'attenzione della persona a cui si scrive, si applica alla stazione d'arrivo una soneria, che deve essere introdotta nel circuito ogniqualvolta la corrispondenza è sospesa. Un grilletto, mosso dall'elettro-calamita fa scattare questa soneria tosto che la corrente passa, e ciò indica che sta per essere trasmesso un dispaccio. Inoltre, ogni stazione deve essere provvoluta dei due apparati suddescritti (figure 507 e 508), altrimenti sarebbe impossibile il rispondere.

Abbiamo supposto che la corrente trasmessa da Milano a Torino in un filo metallico, ritorni nello stesso modo da Torino a Milano in un secondo filo. Ora, questo secondo filo è inutile: giacché l'esperienza insegnò che allorquando il polo positivo della pila comunica ad una stazione coll'apparato, ed il polo negativo col suolo, basta che il filo conduttore che si porta all'altra stazione sia ivi posto in comunicazione intima col suolo. In generale, si ammette che il circuito allora sia chiuso per mezzo della terra nella quale la corrente ritorni dalla seconda alla prima stazione. Questa ipotesi è criticata dall'abate Moigno, nel suo *Trattato di telegrafia elettrica*. Infatti è difficile il concepire, come la corrente, la quale per sua natura tende a disperdersi in tutte le direzioni, giunta alla seconda stazione, scelga precisamente quella che la riconduce alla pila d'onde è partita. Moigno ammette che la terra, agendo come serbatoio, assorba alle due estremità libere dei fili le elettricità che la pila vi manda, e che ne risulti quindi nel filo la stessa corrente continua come se i suoi due capi si toccassero.

**690. Telegrafo elettrico a segnali.** - Invece dei telegrafi elettrici a lettere della specie di quello testè descritto (689) l'amministrazione delle linee telegrafiche di Francia ha adottato un telegrafo elettrico i cui segnali sono uguali a quelli che già da cinquant'anni erano usati nel telegrafo aereo di Chappe. Questo telegrafo, il cui principio è quello stesso del telegrafo a lettere, e che fu costruito da

Bréguet, è ancora composto di un *manipolatore* e di un *ricevitore* per ogni stazione; ma in ciascuno degli apparati il meccanismo è doppio, vale a dire che è realmente composto di due manipolatori e di due ricevitori.

Sulla parte anteriore dell'apparato (fig. 511) vi sono due colonne di ottone, ciascuna delle quali porta un disco metallico ad otto incavature, al centro del quale è applicata una manovella; ciascuna di queste colonne coi pezzi che essa sostiene costituisce un manipolatore. Nella parte posteriore trovasi una cassa di acaiù che contiene il ricevitore, le cui parti, che ora dapprima descriveremo, sono rappresentate dalla figura 510. Sulla faccia anteriore della cassa è applicata una piastra bianca; su questa piastra è segnata una fascia nera *m*, alle estremità della quale si trovano due raggi *x* ed *y* destinati a servire di indicatori per mezzo dell'angolo che essi fanno colla fascia fissa *m*. Il moto di questi indicatori non è continuo, ma si effettua a salti di 45 in 45 gradi, di modo che ciascuno di essi può occupare otto posizioni attorno al suo centro. Le otto posizioni di un indicatore combinate colle otto posizioni dell'altro, danno dunque luogo a sessantaquattro combinazioni che costituiscono altrettanti segnali. Però, siccome per ciascun indicatore i due segnali rappresentati dalle posizioni orizzontali dei raggi potrebbero facilmente confondersi, si fece uso di una sola di queste posizioni, il che dà sette segnali per ciascun indicatore, i quali combinati fra loro formano quarantanove segnali differenti. Il moto di ciascuno degli indicatori si produce per mezzo di un movimento di orologeria collocato nell'interno della cassa e per mezzo di una elettro-calamita, i cui rocchetti sono attraversati da una corrente che giunge dal luogo d'onde si riceve il dispaccio. Noi supporremo che questo luogo sia ancora Milano e che la città in cui trovasi il ricevitore sia ancora Torino.

Ciò posto, la corrente che giunge da Milano entrando in A (fig. 510), si porta, per mezzo di una lastra di rame *a*, in una elettro-calamita che serve di motore ad uno degli indicatori mobili, per es., all'indicatore *x*, collocato esteriormente sulla piastra bianca della cassa (fig. 511). Ogniquale volta la corrente passa nell'elettro-calamita, quest'ultima attrae un'armatura di ferro dolce *m* (fig. 510), che trasmette il suo movimento ad una leva *b* alla quale è fissata; ma appena che la corrente cessa di passare, cessando anche l'attrazione della elettro-calamita, l'armatura *m* è richiamata alla sua posizione primitiva da una molla a spirale attaccata alla parte superiore della leva *b*. Adunque a ciascun passaggio ed a ciascuna interruzione la leva *b* fa una oscillazione. Ora, questa oscillazione si trasmette ad una piccola paletta doppia *c*, fissa ad un asse orizzontale, il quale alla sua estremità opposta porta una paletta simile *k*, i cui rami sono alquanto distanti l'uno dall'altro nel senso dell'asse ed inoltre fanno fra loro un certo angolo. Finalmente, al di sotto della paletta *k* avvi una ruota serpentina o a quattro denti, la quale è mossa da un movimento di orologeria rappresentato al di sotto di questa ruota.

Conosciute queste trasmissioni di moto, è facile il comprendere come il doppio meccanismo della figura 510 imprima degli spostamenti successivi di 45 gradi agli indicatori *x* ed *y* della figura 511, giacchè questi indicatori sono fissati l'uno alla ruota serpentina di uno dei meccanismi, l'altro a quella del secondo. Infatti, quando la corrente non passa, un dente della ruota o batte contro il ramo destro della paletta *k*, e la ruota non può girare, mentre appena che passa la corrente, la paletta oscilla e la ruota serpentina può girare, ma *soltanto di un mezzo dente*, ossia di 45 gradi, perchè il dente successivo viene alla sua volta ad urtare contro il secondo ramo della paletta *k*.

Al secondo movimento della leva *b*, il quale si produce tosto che la corrente è interrotta, il primo ramo della paletta ritorna alla sua posizione primitiva, e ferma una seconda volta il dente che era stato arrestato dall'altro ramo, e così di seguito per ciascun dente, d'onde risultano le fermate successive della ruota serpentina e degli indicatori *x* ed *y*, di 45 in 45 gradi.

Quanto ora abbiain detto accade al luogo ove deve giungere il dispaccio, che noi abbiamo supposto essere Torino. Ora ci rimane a far conoscere come si producano al punto di partenza le intermittenze della corrente per mezzo del manipolatore. Per ciò, passiamo ad osservare la figura 511, e consideriamo soltanto il manipolatore collocato a sinistra.

La corrente di una pila arrivando pel filo P giunge ad un filo metallico *b*, che è isolato dal resto dell'apparato per mezzo di una lastra d'avorio, ma che momentaneamente può esser posto in contatto, come vedesi nella figura, con un piccolo martello metallico fisso alla parte inferiore della



leva *p*. La corrente, salendo allora per questa leva, discende per la colonna, d'onde passa nel filo N, il quale andando senza soluzione di continuità dalla stazione di partenza a quella d'arrivo, la conduce fino all'elettro-calamita col ricevitore situato a Torino. Le interruzioni di contatto si ottengono facendo oscillare la leva *p* per mezzo di una manovella R e di diversi pezzi situati all'alto della colonna. Il primo di questi pezzi è un disco D fisso, sulla cui periferia sono praticati otto intagli nei quali ingrana successivamente un dente d'acciaio situato posteriormente alla manovella, a misura che la si fa girare. Questi intagli che dividono la circonferenza del disco in otto archi eguali, di 45 gradi, servono a regolare il moto della manovella di 45 in 45 gradi. Ciò posto, quando si fa girare la manovella, il suo moto si trasmette ad un secondo disco C, al quale è applicato in rilievo un eccentrico S. Su quest'eccentrico si appoggia un bracciolo *v* che serve di guida ad una leva mobile *r*, la quale oscillando alternativamente a destra ed a sinistra per effetto della pressione che l'eccentrico esercita sul bracciolo, trasmette il suo movimento all'asse A, alla leva *p*, ed al piccolo martello oscillante; dalla forma dell'eccentrico risulta che durante una rivoluzione completa della manovella, il piccolo martello batte quattro volte contro il pezzo *b* e quattro volte contro il pezzo *a*, e che, per conseguenza, la corrente passa quattro volte ed è interrotta quattro volte nell'elettro-calamita del ricevitore che trovasi a Torino. Adunque la leva *b* (fig. 510) fa otto oscillazioni, e l'indicatore *x*, che le corrisponde, otto movimenti di 45 gradi ciascuno.

Il ricevitore di Milano funziona nello stesso modo per mezzo della corrente che giunge da Torino, ma in questo caso il piccolo martello oscillante deve toccare il pezzo *a* (fig. 511). Allora la corrente, giungendo da Torino pel filo N, sale nella colonna, discende per la leva *p*, passa nel pezzo *a* e di là è condotta da un filo di rame all'elettro-calamita che trovasi nella cassa.

Due chiavi *o o* servono a caricare i movimenti di orologeria, e due cerchi graduati *z*, di cui uno solo è visibile nella figura, servono a far girare una carrucola *x* (fig. 510) onde regolare per mezzo di un filo la molla a spirale che agisce sulla leva *b*.

**691. Telegrafo a tasti.** - Per facilitare l'uso del telegrafo a quadrante descritto precedentemente (689), vi si adattarono dei tasti simili a quelli dei pianoforti, ciascuno dei quali porta una lettera dell'alfabeto; questi tasti servono ad interrompere la corrente od a lasciarla passare. Per mezzo di questo meccanismo, una persona che abbia un po' di pratica giunge a trasmettere le parole con grande rapidità.

La figura 512 rappresenta un apparato di questo genere che agisce con estrema precisione inventato e costruito da Froment. Questo apparato fa contemporaneamente l'ufficio di manipolatore e di ricevitore ad una delle estremità della linea telegrafica, ed un secondo apparato in tutto simile fa le stesse funzioni all'altra estremità. Supponiamo, per esempio, che il primo apparato si trovi a Milano, ed il secondo a Torino, e che la comunicazione fra le due stazioni sia stabilita per mezzo di due fili metallici.

Ciò posto, l'apparato rappresentato dalla figura 512 essendo a Milano, la corrente della pila entra in *b*, attraversa l'apparato nel quale viene interrotta ad arbitrio per mezzo dei tasti e di un meccanismo che ora descriveremo, poi sorte in *b'* e si porta al ricevitore di Torino. Questo ricevitore tanto all'una che all'altra stazione consiste in un cerchio verticale A, il quale, al pari dei tasti, porta 26 lettere, una croce ed una freccia. Nella cassa sulla quale trovasi questo cerchio avvi un'elettro-calamita che per mezzo di un meccanismo analogo a quello descritto nella fig. 509 trasmette il movimento ad un ago mobile sul quadrante. Finalmente, dietro alla cassa avvi un timbro d'orologeria C, sul quale batte un piccolo martello mosso da una elettro-calamita speciale la quale riceve la corrente prima che questa passi nell'elettro-calamita dell'ago. Questa trasmissione di corrente nell'una e nell'altra elettro-calamita si opera per mezzo di un manipolatore che passiamo a descrivere.

Questo manipolatore è composto primieramente di 28 tasti d'avorio mobili; sul primo è segnata una croce, sull'ultimo una freccia, e sugli altri le 23 lettere dell'alfabeto. Infine, i primi dieci tasti oltre alle lettere portano anche i dieci numeri decimali.

Dietro ai tasti, sopra un disco di legno orizzontale, si vede un quadrante B e due piccoli pezzi *m* ed *n*, i quali sono mobili e che per mezzo di un'impugnatura ponno essere posti in comunicazione

coi contatti  $s$  ed  $r$ ,  $p$  e  $q$ . Il quadrante B serve solo di verificatore perchè il suo ago deve sempre indicare la stessa lettera dell'ultimo tasto che si è depresso; se così non è l'apparecchio ha mal funzionato e vi è errore nella trasmissione del dispaccio. I pezzi  $m$  ed  $n$  servono al seguente uso: quando il pezzo  $m$  vien posto a contatto col pezzo  $s$ , serve a stabilire la comunicazione della stazione mittente colla stazione ricevente; quando è posto in contatto con  $r$  serve a mandare i dispacci dalla seconda stazione alla prima facendo girare l'ago del quadrante A. Parimenti il pezzo  $n$ , a contatto con  $q$ , serve a trasmettere i segnali, cioè a far scoccare il campanello a Torino, ed a contatto con  $p$  riceve i segnali d'avviso, facendo agire l'elettro-calamita del campanello C per mezzo della corrente che giunge da Torino. Descritti tutti i pezzi che sono visibili nella figura 512, ci resta a far conoscere il meccanismo interno che vien mosso dai tasti.

Questo meccanismo, rappresentato in iscala più grande nella figura 513, è composto di una piastra di rame V, la quale sostiene un movimento d'orologeria P ed i tasti. Per non nascondere le parti interne, nella figura 513 vennero rappresentati soltanto quattro tasti, quelli cioè che portano le lettere C, D, Q, R. Il movimento d'orologeria, per mezzo di una serie di ruote dentate, tende a far girare la ruota  $r$  e l'albero orizzontale  $a$ , ma a quest'albero trovasi fissata una ruota a scappamento G,

trattenuta da un nottolino  $m$ , e che può girare solo quando quest'ultimo è sollevato. Per ciò, il nottolino  $m$  è collegato con un'asta orizzontale  $n$ , che, quando si abbassa, fa girare il nottolino  $m$  attorno ad un punto di appoggio, lasciando così libera la ruota G. Quest'asta  $n$ , che riceve il movimento dai tasti, forma per mezzo delle articolazioni SS un parallelogrammo con una seconda asta F, per cui può abbassarsi soltanto orizzontalmente. Quando i tasti non agiscono più sull'asta  $n$ , una molla E, reagendo sull'asta F, fa rimontare l'asta  $n$ .

Ciò posto, la corrente della pila, arrivando pel filo A, giunge ad una lastrina metallica  $i$ , isolata sopra un sostegno d'avorio. Questa lastrina può venire a contatto coi denti di una ruota metallica O a 28 denti; quando essa tocca un dente, la corrente passa nella ruota O, indi in tutto l'apparato che è di metallo, e sorte pel filo H, portandosi nella linea telegrafica fino a Torino, ma quando la lastrina  $i$  non tocca i denti, la corrente non passa, epperò durante un intero giro della ruota O, la corrente passa 28 volte ed altrettante è interrotta, per cui l'elettro-calamita del ricevitore di Torino fa avanzare l'indice di 28 divisioni.

Ora ci rimane a spiegare come per mezzo dei tasti si ottenga il numero di interruzioni necessario per far avanzare l'ago del ricevitore di Torino di un determinato numero di lettere, per es., dalla E alla V. A quest'uopo, al di sotto dei tasti trovasi una verga orizzontale  $aa$  d'acciaio sulla quale sono impiantati 28 denti pure d'acciaio che la cingono a spira come il pane di una vite e ne dividono la circonferenza in 28 archi uguali, come fanno i denti della ruota O. Finalmente, al di sotto dei 28 tasti, sono fissate, in una fila parallela alla verga  $a$ , 28 punte d'acciaio, ciascuna delle quali corrisponde ad un dente della verga  $a$ .

Queste punte urtano coi denti della verga quando i tasti sono abbassati, ma quando sono alzati, i denti passano liberamente, di modo che la verga, durante una rotazione, può per mezzo della depressione dei tasti essere fermata in 28 differenti punti.

Ora è facile comprendere come funziona l'apparato. Se si vuol trasmettere un dispaccio da Milano a Torino, si incomincia dal porre il pezzo  $n$  (fig. 512) sul contatto  $q$ , indi abbassando un tasto qualunque, la corrente passa e fa suonare la sveglia della stazione di Torino, la quale si tien sempre pronta a ricevere il segnale d'avviso. Riconducendo allora il pezzo  $n$  sul contatto  $p$  che conduce la corrente all'elettro-calamita della sveglia C, si attende che dalla stazione di Torino giunga il segnale, essere la persona incaricata, pronta a ricevere il dispaccio. Allora la persona che trovasi a quest'ultima stazione colloca il pezzo  $m$  sul contatto  $r$  e quella che trovasi a Milano, pone il pezzo  $m$  sul contatto  $s$  che serve alla trasmissione. Ciò posto, supponiamo che si voglia scrivere la parola *Francia*; si deprime il tasto F, ed allora essendo sollevato il nottolino  $m$  (fig. 513), il meccanismo d'orologeria fa girare la ruota G e la verga  $a$  fino a che il dente della verga che corrisponde a questo tasto venga ad urtare contro la prominente che trovasi al disotto. Ora, la lettera F, essendo la sesta, la ruota O avrà girato di sei denti, e perciò la corrente sarà passata sei volte e sei

volte sarà stata interrotta, e per conseguenza l'elettro-calamita di Torino avrà fatto avanzare l'indice di sei lettere. Quest'indice che dapprima trovavasi sulla croce, ora si troverà sulla lettera F. In seguito, abbassando a Milano il tasto R, la ruota O gira di dodici denti l'indice di Torino avanza di dodici lettere, cioè si arresta alla lettera R, e così di seguito per tutte le altre lettere. Alla fine poi di ogni parola si abbassa il tasto segnato con una croce.

Per trasmettere numeri in cifre, si abbassa dapprima il tasto segnato con una freccia, indi successivamente i tasti che portano le cifre che si vogliono trasmettere, e per indicare che il numero è finito, si abbassa il tasto segnato con una croce.

**692. Telegrafo elettrico scrivente di Morse.** - I telegrafi a quadrante ed a segnali suddescritti non lasciano alcuna traccia dei dispacci trasmessi, e se fu commesso qualche errore nel copiare i segnali non avvi alcun mezzo per rettificarlo. Questi inconvenienti non esistono nei telegrafi scriventi, i quali tracciano essi stessi i segnali sopra una lista di carta di mano in mano che vengono trasmessi.

Si immaginò un gran numero di telegrafi elettrici scriventi o imprimenti. Quello di Morse, adottato dapprima nell'America settentrionale, venne adottato successivamente in tutta Europa, ed è quello di cui fa generalmente uso l'amministrazione dei telegrafi in Francia. Nel telegrafo di Morse distinguonsi tre apparecchi: il *ricettore*, il *manipolatore* ed il *relais*. Le figure 514, 515 e 516 rappresentano questi apparecchi e vennero fatte sopra disegni presi nelle officine di Moulleron e Gaussin, abili costruttori di apparecchi telegrafici.

*Ricettore.* - Consideriamo dapprima il solo ricettore (fig. 514), lasciando da parte per un istante i pezzi accessori G e T sulla parte destra del disegno. La corrente che arriva al ricettore, entrando pel filo C, rendesi per un'elettro-calamita E; questa, tutte le volte che passa la corrente, attrae un'armatura A, fissata all'estremità di una leva orizzontale, mobile intorno al punto x. All'estremità opposta della leva vi è una punta o che serve a scrivere i segnali. A questo effetto una lunga lista di carta rotolata su di un tamburo R, s'impegna fra i due cilindri di rame a superficie rugosa e giranti in senso contrario, in modo da fare laminatoio. Trascinata così nel senso delle frecce, la lista di carta va ad avvolgersi sopra un secondo tamburo Q che si fa girare colla mano, mediante una manovella. Egli è un movimento d'orologeria collocato colla cassa BD che fa muovere i cilindri fra i quali passa la lista di carta.

Ciò posto, questa venendo tirata con movimento continuo tutte le volte che l'elettro-calamita funziona, la punta o colpisce la carta, e, senza forarla, vi produce un'impronta, la forma della quale varia secondo il tempo che la punta è rimasta in contatto colla carta. Se la punta colpisce solo istantaneamente, non produce che un punto (.); ma se il contatto ha una certa durata, producesi una linea più o meno lunga (-). Si può dunque, facendo, alla stazione mittente, passare la corrente per un intervallo più o meno lungo, produrre a volontà, alla stazione ricevente, una linea od un punto, e, per conseguenza, delle combinazioni di linee e di punti. Restava a dare a queste combinazioni un significato determinato. Egli è ciò che si fece rappresentando le lettere dell'alfabeto colle combinazioni seguenti:

Un punto ed una linea (. -) rappresentano la lettera           A,

Una linea e tre punti (-...)   B,

Tre punti (...)   C,

Una linea e due punti (-..)   D,

e così di seguito, per cui si possono comporre diverse parole e frasi, avendo cura di lasciare uno spazio per ogni lettera.

*Manipolatore.* - Componesi di una piccola tavoletta d'acaiù che serve di sostegno ad una leva metallica ab (fig. 515), mobile nel suo mezzo su di un asse orizzontale. L'estremità a di questa leva tende sempre ad essere sollevata da un meccanismo collocato al di sotto; di modo che bisogna premere col dito sul pezzo B, perchè la leva si abbassi e colpisca il bottone x. Finalmente, intorno alla tavoletta sonvi tre piuoli in comunicazione l'uno col filo P che viene dal polo positivo della pila del posto, il secondo col filo L, che è il filo di linea, e il terzo col filo A che recasi al ricettore.

Esposti questi particolari, devonsi considerare due casi: 1.° il manipolatore è disposto per ricevere un dispaccio da un posto lontano; l'estremità *b* è allora abbassata come nel disegno qui sotto, di modo che la corrente che arriva col filo di linea *L* e sale nel pezzo metallico *m*, ridiscende nel filo *A* che la conduce al ricettore del posto dove trovasi l'apparecchio. 2.° Trattasi di trasmettere un dispaccio; in questo caso si preme col dito il pezzo *B*, in modo che la leva venga a contatto col bottone *x*. La corrente della pila del posto, che arriva pel filo *P*, ascendendo allora nella leva, ne ridiscende pel pezzo *m*, e guadagna il filo di linea *L* che la conduce al posto al quale è indirizzato il dispaccio. Ora, egli è secondo il tempo che si preme sul pezzo *B*, che producesi al ricettore dove va la corrente, un punto od una linea. Se il bottone *x* non si trasmette che un semplice colpo, formasi un punto; se il contatto prolungasi per un certo intervallo di tempo, sempre però brevissimo, producesi una linea.

*Relais*. - Descrivendo il ricettore, noi abbiamo supposto che la corrente di linea arrivando pel filo *C* (fig. 514) entrasse direttamente nell'elettro-calamita e che la medesima facesse funzionare l'armatura *A* e imprimesse il dispaccio. Ora, percorsi che abbia dieci soli chilometri, la corrente ha di già talmente perduto della sua intensità che non può comunicare all'elettro-calamita una potenza sufficiente per imprimere il dispaccio. Egli è perciò che bisogna ricorrere in allora ad un *relais*, vale a dire ad un'elettro-calamita ausiliaria percorsa ancora dalla corrente di linea, ma che serva a introdurre nel ricettore la corrente di una *pila locale* di 4 o 5 elementi, collocata sul posto e non avente altro uso che di imprimere i segnali trasmessi dal filo di linea. Perciò la corrente di linea entrando nel relais pel piuolo *L* (fig. 516), si porta in un'elettro-calamita *E*, d'onde va in seguito a perdersi nella terra pel piuolo *T*. Ora, ogni volta che la corrente di linea passa nel relais, l'elettro-calamita attrae un'armatura *A* fissata alla parte inferiore di una leva verticale *p*, che oscilla intorno ad un asse orizzontale.

Ad ogni oscillazione, la leva *p* va a colpire alla sua parte superiore contro un bottone *n*, e in questo istante, la corrente della pila locale, che arriva pel piuolo *c*, sale nella colonna *m*, passa nella leva *p*, discende per l'asta *o* che la conduce al piuolo *Z*; di là si rende all'elettro-calamita del ricettore da cui esce pel filo *Z* (fig. 514) per ritornare alla stessa pila locale donde è partita. Poi, quando la corrente del filo di linea si interrompe, l'elettro-calamita del relais non essendo più attrattiva, la leva *p*, attirata da una molla a spirale *r*, si scosta dal bottone *n* come lo mostra il disegno, e la corrente della pila locale non passa più. Vedesi dunque che il relais trasmette al ricettore esattamente le stesse fasi di passaggio e di intermittenza di quelle che sono prodotte dal manipolatore sul posto che invia il dispaccio.

Con una pila di linea di 25 elementi di Daniell, la corrente conserva ancora abbastanza d'intensità a 160 chilometri dal suo punto di partenza per fare agire un relais. Per una maggiore distanza bisogna prender una nuova corrente come si vedrà al paragrafo *cangiamento di corrente*.

*Decorso finale della corrente nei tre apparecchi*. - Compiuti i tre pezzi principali del telegrafo di Morse, ecco il decorso reale della corrente nell'assieme dei tre apparecchi:

La corrente di linea arrivando pel filo *L* (514), passa dapprima sul pezzo *T* destinato a servire da parafulmine, nel caso in cui, per l'influenza dell'elettricità atmosferica, in tempo burrascoso, i fili conduttori si caricassero di una quantità di elettricità sufficiente per dare delle scintille pericolose. Il pezzo che serve di parafulmine componesi di due dischi di rame *d* ed *f*, muniti di denti sulle facce che si guardano, ma non si toccano. Il disco *d* è in comunicazione colla terra mediante una lastra metallica fermata di dietro della tavoletta che porta il parafulmine, mentre il disco *f* si trova nella corrente. Per ciò, arrivando questa pel filo di linea *L*, entra nel parafulmine pel piuolo fissato nella parte inferiore della tavoletta, a sinistra; sale in seguito in un commutatore *N*, che la conduce ad un bottone *c*, e guadagna in seguito il disco *f* per una lastra metallica situata di dietro alla tavoletta. Là l'elettricità, agendo per influenza sul disco *d*, si fa strada per le punte senza pericolo per quelli che sono vicini all'apparecchio. Inoltre, dal disco *f* la corrente passa in un piccolo filo di ferro finissimo, isolato e rinchiuso nel tubo *e*. Ora, questo filo essendo fuso dalla corrente quando la medesima è troppo intensa, l'elettricità non si rende più all'apparecchio, ciò che toglie ancora il pericolo.

Finalmente, dal piede del sostegno s la corrente va ad un piuolo a destra che la conduce ad un piccolo galvanometro G che serve a indicare, colla deviazione dell'ago, se la corrente passa nell'apparecchio. Da questo galvanometro, la corrente rendesi al manipolatore (fig. 515) dove essa entra in L, da cui esce in A per andare al relais (fig. 516). Entrando in questo in L, fa funzione l'elettro-calamita, e stabilisce la comunicazione pel passaggio della corrente dalla pila locale, come è già stato detto parlando del relais.

*Cangiamento di corrente.* - Per completare la descrizione dell'apparecchio di Morse, devesi osservare che la corrente di linea che arriva in L (fig. 514), e che, in generale, percorso uno spazio di 10 chilometri, non ha più forza sufficiente per registrare il dispaccio, manca, per conseguenza, d'intensità sufficiente per continuare a propagarsi verso un nuovo posto lontano. Perciò importa che in ogni posto telegrafico si prenda una nuova corrente, quella della *pila del posto*, la quale componesi di 20 a 30 elementi di Daniell, e non è la stessa cosa della pila già fatta rimarcare sotto il nome di *pila locale*.

Questa nuova corrente della pila del posto entra in P (fig. 514), arriva ad un piuolo che la conduce alla colonna H, e di là non continua più lontano che quando l'armatura A si abbassa. Infatti, un piccolo contatto, collocato sotto la leva, toccando allora il bottone v, la corrente va dalla colonna H a tutta la massa metallica BD, da cui per un piuolo ed un filo che non sono rappresentati nel disegno, essa guadagna finalmente il filo di linea che si trasmette al posto seguente e così di seguito da un posto all'altro.

**693. Telegrafo elettro-chimico registratore di Bain.** - I *telegrafi elettro-chimici* sono apparati che scrivono i dispacci con segni colorati sopra una carta impregnata di cianuro giallo di ferro e di potassio, sale che viene decomposto dalla corrente di una pila locale, nel posto ricevente, ogniquale volta essa passa attraverso alla carta.

Il primo telegrafo di questa specie è dovuto allo scozzese Bain. Le lettere vi sono rappresentate dagli stessi segni come nel telegrafo di Morse, cioè con combinazioni di linee e di punti; il dispaccio però deve essere dapprima composto, nella stazione mittente, sopra una lunga lista di carta ordinaria. Perciò, in quest'ultima, sono praticati con uno stampo e successivamente dei piccoli fori rotondi che rappresentano i punti di Morse, e dei fori allungati che corrispondono alle linee. Questa lista di carta viene indi interposta fra una piccola girella metallica, ed una lastra elastica pure di metallo, formanti parte, sì l'una che l'altra, della corrente della pila del posto. Ora, il cilindro, girando, trascina seco la lista di carta, tutte le parti della quale vengono successivamente a passare fra il cilindro e la lamina. Quindi, se la lista di carta non fosse forata, non essendo conduttrice, si opporrebbe costantemente al passaggio della corrente; ma a motivo dei fori che vi sono praticati, ciascuna volta che uno di essi passa, avvi contatto fra il cilindro e la lamina, e la corrente continua per andare a far funzionare il relais del posto ricevente, e tracciarvi in turchino, sopra un disco di carta impregnata di cianuro, la stessa serie di punti e di linee come sulla lista di carta.

Pouget-Maisonneuve costruì un telegrafo nel quale il dispaccio è registrato, nel posto ricevente, col processo chimico di Bain; ma, nel posto mittente, il dispaccio non è composto, esso è inviato direttamente mediante il manipolatore di Morse (fig. 515).

**694. Orologi elettrici.** - Gli *orologi elettrici* sono movimenti d'orologeria di cui una elettro-calamita, per mezzo di una corrente elettrica successivamente interrotta, serve in pari tempo di motore e di regolatore. La figura 517 rappresenta il quadrante di uno di questi orologi, e la figura 518 il meccanismo che fa muovere gli indici.

Una elettro-calamita B attrae un pezzo di ferro dolce P, mobile sopra un perno a. Il pezzo P trasmette il suo moto alternativo ad una leva s, la quale, per mezzo di un dente n, fa girare la ruota A. Questa, mediante un rocchetto D, fa girare la ruota C, la quale per una serie di ruote e di rocchetti fa avanzare gli indici. L'indice più corto segna le ore ed il più lungo i minuti; però, siccome quest'ultimo non si avvanza con moto continuo ma a salti bruschi, di secondo in secondo, ne segue che segna anche i secondi.

È evidente che la regolarità del moto degli indici dipende dalla regolarità delle oscillazioni del pezzo P. Ora, le intermittenze della corrente che passa nell'elettro-calamita B sono regolate da un

orologio modello, regolato esso pure da un pendolo a secondi. A ciascuna oscillazione del pendolo la corrente passa una volta ed una volta è interrotta; d'onde risulta che il pezzo P batte esattamente i secondi.

Ciò posto, ecco l'uso di questi orologi: supponiamo che tutte le stazioni di una strada-ferrata abbiano un orologio simile a quello ora descritto, e che alla prima stazione siavi un orologio regolatore dal quale parta il filo conduttore che si porta a tutti gli orologi della linea.

Facendo passare la corrente in questo filo, tutti gli orologi segneranno esattamente la stessa ora, lo stesso minuto e lo stesso secondo; perchè vedremo quanto prima che l'elettricità della pila percorre circa 43 mila leghe per secondo, velocità che rende inapprezzabile il tempo che essa impiega per giungere dalla prima all'ultima stazione.

**695. Motori elettro-magnetici.** - Si fecero numerosi tentativi onde impiegare la forza attrattiva delle elettro-calamite come forza motrice per le macchine. La figura 519 rappresenta una macchina di questo genere costruita da Froment. Essa è composta di quattro energiche elettro-calamite A, B, C, D, fissato sopra un sostegno di ghisa X. Tra queste elettro-calamite trovasi un sistema di due ruote di ghisa mobili sopra uno stesso perno orizzontale e che portano alla loro periferia otto armature di ferro dolce M.

La corrente della pila giunge in K, sale nel filo E e si porta in un arco metallico O, il quale serve a farla passare successivamente in ciascuna delle elettro-calamite, in modo che le attrazioni sulle armature M cospirino a produrre eguali effetti. Ora, questa condizione non può essere soddisfatta se non in quanto la corrente venga interrotta in ciascuna elettro-calamita, all'istante in cui un'armatura giunge davanti agli assi dei rocchetti. Per ottenere questa interruzione l'arco O porta tre braccia *e*, ciascuno dei quali è terminato da una lamina d'acciaio alla quale è fissata una piccola carrucola. Due di queste carrucole stabiliscono le comunicazioni rispettivamente con una delle elettro-calamite, la terza con due. Una ruota centrale a porta delle prominenze sulle quali si appoggiano alternativamente le carrucole. Ogni volta che una delle carrucole si appoggia su di una prominenza, la corrente passa nell'elettro-calamita corrispondente, e cessa di passare tosto che non vi sia più contatto. Uscita dalle elettro-calamite la corrente ritorna al polo negativo della pila pel filo H.

A motivo di questa disposizione le armature M sono successivamente attratte dalle quattro elettro-calamite, ed il sistema di ruote che le sostiene, piglia un rapido moto di rotazione, il quale per mezzo di una ruota P e di una correggia continua, viene trasmesso ad una carrucola Q, e da questa ad una macchina qualunque, per esempio, ad una macina.

Froment ha nelle sue officine una macchina elettro-motrice della forza di un cavallo-vapore. Ma finora queste macchine non hanno potuto essere applicate all'industria, Perchè la spesa degli acidi e dello zinco che esse consumano supera di molto quella del combustibile nelle macchine a vapore di egual forza. L'applicazione delle macchine elettromotrici dipende adunque principalmente dai perfezionamenti di cui abbisogna la pila<sup>(20)</sup>.

---

<sup>(20)</sup> Negli atti dell'Accademia fisio-medica-statistica dell'anno 1856 trovasi la descrizione di una di queste macchine, molto ingegnosa, inventata dal professore cav. Luigi Magrini. (Nota dei Trad.)

# CAPITOLO VI

## FENOMENI DI INDUZIONE

**696. Induzione per mezzo delle correnti.** - Abbiamo già veduto (587) che, in generale, si distingue col nome di *induzione* l'azione che i corpi elettrizzati esercitano a distanza sui corpi allo stato neutro; ma si usa questa denominazione principalmente quando trattasi degli effetti prodotti dalla elettricità dinamica. Faraday, che pel primo, nel 1832, fece conoscere questa classe di fenomeni, denominò *correnti di induzione* o *correnti indotte*, le correnti istantanee che si sviluppano nei conduttori metallici sotto l'influenza di correnti voltiane o di potenti calamite, ovvero dell'azione magnetica della terra.

L'induzione prodotta dalle correnti si verifica per mezzo di un *rocchetto* a due fili. Chiamasi così un cilindro di cartone o di legno sul quale si avvolgono ad elice, dapprima un grosso filo di rame, poi uno più sottile, ambedue ricoperti di seta (fig. 520). Posti i due capi *a* e *b* del filo sottile in comunicazione colle estremità del filo di un galvanometro, si fa passare una corrente voltiana nel grosso filo *cd* che chiamasi filo *induttore*. Allora si osservano i fenomeni seguenti:

1.° All'istante in cui il filo *cd* incomincia ad essere attraversato da una corrente, per es., da *c* verso *d*, la deviazione dell'ago del galvanometro indica nel filo *ab* una corrente *inversa* della prima, cioè diretta in senso contrario, la quale è di brevissima durata, perchè l'ago ritorna tosto allo zero e vi rimane finchè la corrente induttrice continua a passare nel filo *cd*.

2.° Al momento in cui, essendo interrotte le comunicazioni, il filo *cd* cessa di essere attraversato dalla corrente, si produce di nuovo nel filo *ab* una corrente indotta, istantanea come la prima ma *diretta*, cioè nel medesimo senso della corrente induttrice.

Questi fenomeni ponno essere paragonati a quelli che furono studiati nella elettricità statica sotto il nome di elettrizzazione per influenza (587); infatti, si possono considerare come il risultato della decomposizione e della ricomposizione, di molecola in molecola, dell'elettricità naturale del filo indotto per influenza della elettricità che si propaga nel filo induttore. Questa teoria della produzione delle correnti indotte è quella adottata da de La Rive nel suo *Trattato di elettricità*.

**697. Apparato d'induzione di Matteucci.** - La figura 521 rappresenta un apparecchio dovuto a Matteucci e costruito da Ruhmkorff a Parigi, assai atto a mostrare lo svolgimento delle correnti di induzione prodotte tanto dalla scarica di una bottiglia di Leyda, quanto dal passaggio di una corrente voltiana.

Quest'apparato è composto di due dischi di vetro del diametro di circa 33 centimetri fissati verticalmente in due cornici A e B di ottone. Questi dischi sono sostenuti da piedi mobili e ponno essere avvicinati od allontanati ad arbitrio. Sulla faccia anteriore del disco A è avvolto a spira un filo di rame C del diametro di un millimetro e della lunghezza di 25 a 30 metri. I due capi di questo filo passano attraverso il disco, l'uno al centro, l'altro alla parte superiore, e terminano a due piccole pinzette simili a quelle rappresentate in *m* ed in *n* sul disco B. In queste pinzette si introducono due fili di rame *c* e *d* coperti di seta, che son destinati a ricevere la corrente induttrice.

Sulla faccia del disco B che trovasi dirimpetto al disco A, è avvolto pure a spira un filo di rame, ma più sottile del filo C. Le sue estremità sono terminate dalle pinzette *m* ed *n* che ricevono due fili *h* ed *i* destinati a trasmettere la corrente indotta. I due fili avvolti sui dischi A e B non solo sono ricoperti di seta, ma inoltre ciascun circuito è isolato dal successivo per mezzo di un grosso strato di vernice di gomma-lacca, condizione indispensabile per sperimentare colla elettricità delle macchine elettriche, perchè non si può isolarla così facilmente come quella delle pile.

Ciò posto, per dimostrare la produzione della corrente indotta dalla scarica di una bottiglia di Leyda, si fa comunicare, come mostra la figura, uno dei capi del filo C coll'armatura esterna della bottiglia, e l'altro coll'interno; all'istante in cui scocca la scintilla, l'elettricità che passa nel filo C agisce per influenza sul fluido neutro del filo avvolto sul disco B, e produce in questo filo una

corrente istantanea. In fatti, se una persona tiene nelle mani i due cilindri di rame comunicanti coi fili  $i$  ed  $h$ , riceve una scossa la cui intensità è tanto maggiore quanto più i dischi A e B sono vicini l'uno all'altro. Questa esperienza mostra che l'elettricità delle macchine elettriche può produrre delle correnti di induzione al pari di quella della pila.

L'apparato di Matteucci serve anche a dimostrare la produzione delle correnti indotte per l'influenza delle correnti voltaiche. Per ciò si fa passare la corrente di una pila nel filo induttore C, ed in pari tempo si fanno comunicare i due fili  $h$  ed  $i$  con un galvanometro. Allora, al momento in cui incomincia o cessa la corrente induttrice, si osservano gli stessi fenomeni che si producono col rocchetto descritto più sopra (fig. 520), e l'ago del moltiplicatore è deviato tanto maggiormente quanto più i dischi A e B sono avvicinati l'uno all'altro.

**698. Induzione per mezzo delle calamite.** - Abbiamo veduto che l'influenza di una corrente magnetizza una spranga d'acciaio (685); reciprocamente, una calamita può produrre nei circuiti metallici delle correnti di induzione. Faraday dimostrò questa proprietà per mezzo di un rocchetto ad un sol filo lungo da 200 a 300 metri. Posti i due capi del filo in comunicazione con un galvanometro, come mostra la figura 522, si introduce rapidamente nel rocchetto, che è cavo, una spranga fortemente magnetizzata, ed allora si osservano i fenomeni seguenti:

1.° Al momento in cui si introduce la spranga, il galvanometro indica una corrente istantanea indotta nel filo, inversa di quella che esisterebbe attorno alla spranga, qualora la si paragonasse ad una solenoide, come si fece nella teoria di Ampère (684).

2.° Appena che si ritira la spranga, l'ago del galvanometro, che era ritornato allo zero, indica una corrente indotta diretta.

Si può constatare l'influenza induttrice delle calamite anche per mezzo dell'esperienza seguente: si colloca nel rocchetto ad un sol filo una spranga di ferro dolce e le si avvicina rapidamente una forte calamita. L'indice del galvanometro è deviato, ritorna allo zero quando la calamita è ferma, e devia in senso contrario quando la si allontana. L'induzione in questo caso è prodotta dalla magnetizzazione del ferro dolce nell'interno del rocchetto sotto l'influenza della spranga magnetizzata.

Si ottengono gli stessi effetti di induzione nel filo di una elettrocalamita, se davanti alle estremità della medesima si fa girare rapidamente una spranga fortemente magnetizzata in modo che i suoi poli agiscano successivamente per influenza su due rami dell'elettro-calamita, od anche formando due rocchetti attorno ad una calamita a ferro di cavallo, e facendo passare con rapidità una piastra di ferro dolce davanti ai poli della calamita; il ferro dolce magnetizzandosi per influenza reagisce sulla calamita e produce nel filo alcune correnti indotte successivamente in direzioni contrarie.

**699. Induzione prodotta dalle calamite nei corpi in movimento.** - Arago osservò, pel primo, nel 1824, che il numero delle oscillazioni fatte da un ago calamitato, in tempi eguali, quando vien deviato dalla sua posizione di equilibrio, vien diminuito assai dalla vicinanza di certe masse metalliche, e specialmente del rame, il quale può ridurre il numero delle oscillazioni da 300 a 4. Questa osservazione condusse il medesimo fisico, nel 1825, ad un fatto non meno inatteso, quello cioè dell'azione rivolvente che una piastra di rame in movimento esercita sopra un ago magnetizzato.

Questo fenomeno si constata per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 523. Esso è composto di un disco metallico M, mobile attorno ad un asse verticale. Su quest'asse è fissata una ruota B' intorno alla quale si avvolge una fune continua che passa sopra una ruota più grande A. Facendo girare quest'ultima colla mano, si può imprimere al disco M un moto di rotazione rapidissimo. Al di sopra del disco trovasi una lastra di vetro fissa, al centro della quale è applicato un piccolo perno che porta un ago magnetizzato  $ab$ . Ciò posto, se il disco prende un moto lento ed uniforme, l'ago è deviato nel senso del movimento e si ferma alla distanza di 20 o 30 gradi dal meridiano magnetico, secondo la velocità di rotazione del disco. Ma se questa velocità aumenta, l'ago vien deviato sino a più di 90°; allora è trascinato, compie una intera rotazione e segue il movimento del disco finchè questo continua.



L'effetto decresce al crescere della distanza dell'ago dal disco e varia assai colla natura di quest'ultimo. Il massimo effetto si ottiene coi metalli; è nullo col legno, col vetro, coll'acqua, ecc. Babbage ed Herschell, in Inghilterra, trovarono che rappresentando con 100 l'azione di una calamita sopra un disco di rame, sugli altri metalli è rappresentata dai numeri seguenti: zinco 95, stagno 46, piombo 25, antimonio 9, bismuto 2. Finalmente, l'effetto è indebolito assai se il disco presenta delle soluzioni di continuità, principalmente nella direzione dei suoi raggi; ma gli stessi fisici hanno constatato che riacquista sensibilmente la stessa intensità quando sulle soluzioni di continuità si saldi un metallo qualunque.

Arago riconobbe che la forza che imprime all'ago, il movimento di rotazione è la risultante di tre altre forze, l'una perpendicolare al piano del disco ed agente per ripulsione sull'ago; la seconda diretta nel senso del raggio del disco ed esercitante sull'ago dapprima un'azione ripulsiva decrescente dalla periferia del disco verso il centro per cangiarsi in forza attrattiva vicino al centro e divenir nulla in questo punto stesso; finalmente, la terza forza, parallela al piano del disco, è perpendicolare al raggio in ciascun punto, e la sua azione è attrattiva; adunque quest'ultima forza è quella che fa girare l'ago. Arago non trovò l'origine di queste differenti forze; Faraday, per primo, nel 1832, fece vedere col mezzo del galvanometro che esse erano dovute a correnti di induzione sviluppate nei dischi per l'influenza, dell'ago magnetizzato.

**700. Induzione per mezzo dell'azione della terra.** - Faraday, per primo, riconobbe che il magnetismo terrestre può sviluppare delle correnti indotte nei corpi metallici in movimento, agendo come una possente calamita collocata nell'interno del globo nella direzione dell'ago d'inclinazione, o, secondo la teoria di Ampère (684), come un circuito di correnti elettriche dirette da est ad ovest parallelamente all'equatore magnetico. Egli constatò questo fenomeno dapprima collocando una lunga spira di filo di rame ricoperto di seta nel piano del meridiano magnetico parallelamente all'ago d'inclinazione; facendo rotare questa spira di 180 gradi attorno ad un asse che la attraversava nel suo mezzo, osservò che ad ogni semi-rivoluzione l'ago di un galvanometro posto in comunicazione coi due capi della spira era deviato. Per dimostrare le correnti indotte sviluppate per mezzo dell'azione della terra, si fa uso dell'apparato rappresentato dalla figura 524. Esso è composto di un anello circolare di legno MN, fisso ad un asse orizzontale col quale può girare più o meno rapidamente. Attorno a questo anello è praticata una gola nella quale si avvolge un lungo filo di rame ricoperto di seta. I due capi di questo filo si portano ad un commutatore *a*, analogo a quello dell'apparato di Clarke (704), per mezzo del quale si può ottenere una corrente diretta sempre nello stesso verso. Finalmente i due conduttori che trovansi a contatto col commutatore sono posti in comunicazione per mezzo di due fili di rame, con un galvanometro. Ciò posto, se si dirige l'asse dell'anello perpendicolarmente al meridiano magnetico, siccome la rotazione di ciascun punto dell'anello allora avviene in piani paralleli a questo meridiano, appena che si fa ruotare il sistema, si scorge che l'ago del galvanometro vien deviato all'est od all'ovest, secondo il verso della rotazione.

**701. Direzione delle correnti indotte sui dischi giranti.** - Faraday, per primo, cercò qual fosse la direzione delle correnti indotte sulla superficie dei dischi metallici giranti davanti ai due poli contrari di due forti calamite. Il suo processo consiste nel porre uno dei capi del filo del galvanometro a contatto coll'asse del disco girante e l'altro capo con differenti parti della circonferenza del disco medesimo. Egli in tal modo, constatò, per mezzo della deviazione dell'ago del galvanometro che, durante la rotazione del disco, si producono alla sua superficie delle correnti indotte dirette dal centro alla circonferenza o dalla circonferenza al centro secondo il verso della rotazione, e che queste correnti sono simmetriche rispetto al diametro polare, a quel diametro cioè che passa al di sopra dei poli delle calamite.

Nobili ed Antinori si sono pure occupati nella ricerca della direzione delle correnti indotte sui dischi giranti, ed a quest'uopo, ponendo in contatto uno dei capi del filo del galvanometro coll'asse del disco, facevano comunicare l'altro capo, non solo colla circonferenza del disco, ma ben anche coi diversi punti della sua superficie. Essi per tal modo osservarono che sulle parti del disco che entrano sotto l'influenza magnetica si sviluppa costantemente un sistema di correnti contrarie a

quelle della calamita, e che sulle parti che sortono dall'influenza magnetica si producono delle correnti dirette nello stesso senso di quelle della calamita e quindi contrarie alle prime.

Matteucci, avendo studiato gli stessi fenomeni, ma con maggior precisione, li trovò più complicati che non si credesse. La figura 525 rappresenta l'apparecchio adoperato da questo fisico. È composto di una cassa di legno nella quale una serie di ruote dentate trasmettono per mezzo di una manovella M un movimento di rotazione più o meno rapido ed un disco di metallo A del diametro di 20 centimetri. Al di sotto del disco, alla distanza di 2 a 3 millimetri, trovasi una forte elettro-calamita *ab*, che si sposta in una scanalatura in modo da poter presentare i suoi poli successivamente a tutti i punti del disco. Finalmente, al di sopra del disco vi sono due aste di rame *m* ed *n* terminate ciascuna da una punta ottusa ed amalgamata che tocca il disco. Queste istesse aste, alla loro estremità superiore, comunicano coi due capi del filo di un galvanometro; inoltre, per la disposizione dei sostegni ai quali sono fissate, ponno occupare tutte le posizioni rispetto al centro ed alla circonferenza del disco.

Ciò posto, per mezzo dell'apparato ora descritto, ponendo uno dei capi del filo del galvanometro a contatto col centro e l'altro coi diversi punti della superficie del disco, Matteucci constatò i fatti seguenti, rappresentati dalla figura 526, nella quale i punti N ed S sono le proiezioni dei due poli dell'elettro-calamita, ed AB la retta che passa su questi poli:

1.° Matteucci trovò delle *linee di nessuna corrente*, *a, b, c, d, e*, le quali sono normali alla linea AB, e si aggirano vicino ai lembi del disco in modo da tagliarlo sempre normalmente.

2.° La proiezione di ciascun polo dell'elettro-calamita sul disco è un *punto neutro*, cioè di nessuna corrente; inoltre, una linea neutra *rr* sensibilmente circolare, che passa per le proiezioni dei due poli ed ha per centro l'asse dell'elettro-calamita, è in pari tempo *linea d'inversione*, vale a dire che le correnti al di dentro ed al di fuori di questa linea sono di direzione contraria.

3.° Le *linee delle correnti elettriche*, cioè quelle secondo le quali ha luogo il massimo effetto, tagliano sempre normalmente le linee di nessuna corrente e sono tangenti alla retta AB; le linee di massima corrente sono rappresentate in *m, n, p, q*, nella figura qui sopra.

4.° La posizione della linea neutra *rSrN* che passa per le proiezioni dei due poli non è sensibilmente modificata dalla natura del disco, dalla sua grossezza e dalla intensità della corrente della pila, ma questa linea si restringe sopra sè stessa a misura che aumenta la velocità di rotazione.

5.° Finalmente, da ciascun lato dei punti neutri, sul diametro polare, si trovano dei punti *massimi*, la cui distanza dipende dalla grossezza dell'elettro-calamita e dal diametro del disco girante.

Per maggiori particolari intorno a questi curiosi fenomeni rimettiamo il lettore al *Corso speciale sull'induzione ed il magnetismo di rotazione* pubblicato da Matteucci alla fine del 1854.

**702. Induzione di una corrente sopra sè stessa, extra-corrente.** - Allorchè il filo metallico entro il quale passa una corrente voltiana è avvolto sopra sè stesso ad elice, si osserva che le spire dell'elice reagiscono le une sulle altre per dare alla corrente maggiore intensità. Infatti, con una pila di poche coppie di Bunsen, per es., si ottiene una scintilla appena sensibile, tanto chiudendo che aprendo il circuito, se il filo che congiunge i due poli è corto e non avvolto. Inoltre, se si fa parte del circuito tenendo in ciascuna mano un elettrodo, non si risente alcuna scossa. Al contrario, se il filo è lungo ed avvolto un gran numero di volte sopra sè stesso in modo da formare un rocchetto a spire compatte, la scintilla diventa nulla quando si chiude il circuito, ma acquista una intensità rimarchevole quando lo si apre, e se una persona è collocata nella corrente, risente in quest'ultimo caso una scossa tanto più forte quanto meglio è stabilito il contatto colle mani, e quanto più grosso è il rocchetto.

Faraday ha fatto vedere con ingegnose esperienze che questa influenza di un rocchetto introdotto nel circuito è dovuta ad una azione induttrice esercitata dalla corrente sul filo stesso che essa percorre, tanto nel momento che si chiude il circuito, quanto nel momento in cui si apre.

All'istante della chiusura, per l'azione reciproca delle spire del rocchetto le une sulle altre, producesi in senso contrario della corrente principale, una corrente indotta che designasi sotto il nome di *extra-corrente inversa*; mentre all'istante della rottura, la corrente indotta che ha origine è nello stesso senso della corrente principale, d'onde il nome che gli si dà di *extra-corrente diretta*.

Quest'ultima corrente, trovandosi nello stesso verso della corrente principale, si aggiunge ad essa ed aumenta la scintilla di rottura; al contrario, l'extra-corrente inversa, essendo di senso contrario a quella della corrente principale, ne diminuisce l'intensità e indebolisce od annulla la scintilla al momento della chiusura. Egli è dunque solo alla rottura che l'extra-corrente combinata colla corrente- principale può dare effetti potenti.

Per raccogliere l'extra-corrente diretta si salda a ciascuno dei capi del filo di un rocchetto semplice, cioè ad un solo filo, un'appendice metallica, per es., una piastra di rame, e si tiene una lastra in ciascuna mano, o si fanno comunicare fra loro per mezzo del conduttore che si vuol sottoporre all'extra-corrente, la quale si produce ad ogni interruzione della corrente che passa nei fili del rocchetto. In tal modo si trova che l'extra-corrente diretta dà delle scosse violente, delle vive scintille, decompone l'acqua, fonde il platino e fa deviare l'ago magnetizzato. Abria, il quale fece numerose ricerche sulle correnti di induzione, trovò che l'intensità dell'extra-corrente uguaglia circa 0,72 di quella della corrente principale.

Gli effetti suddescritti acquistano ancora maggiore intensità se si introduce nel rocchetto una spranga di ferro dolce, o, ciò che torna lo stesso, se si fa passare la corrente nei rocchetti di una elettro-calamita.

Anche questo è un fenomeno d'induzione dovuto alla reazione del ferro dolce ogni qual volta cessa la sua magnetizzazione.

In ciò che precede, gli effetti delle due extra-correnti si sovrappongono a quelli della corrente principale. Ora, un dotto tedesco, Edlund, fece sparire questa difficoltà con una disposizione d'apparecchi che permette di annullare completamente l'azione della corrente principale sugli strumenti di misura, e non lascia sussistere che quella dell'extracorrente. In tal modo sperimentando, Edlund è giunto alle due leggi seguenti:

1.° *Ognuna delle extra-correnti è proporzionale alla intensità della corrente induttrice.*

2.° *L'extra-corrente diretta è sempre un po' più debole dell'extracorrente inversa;* ciò che si può spiegare osservando che al momento in cui si interrompe il circuito dopo averlo lasciato chiuso per qualche tempo, la corrente principale è indebolita dalla polarizzazione che producesi sempre più o meno nella pila (635); d'onde risulta che la corrente induttrice è più debole al momento dell'interruzione che al momento della chiusura. Altrimenti Edlund ammette che le due extra-correnti sono eguali, almeno riguardo alle quantità totali di elettricità che esse fanno passare in una stessa sezione del filo; ma quanto alle azioni magnetizzanti o fisiologiche, le due correnti differiscono. Infatti, secondo le ricerche di Rijke, l'extra-corrente inversa possiede, in questo caso, una maggiore intensità e una minore durata dell'extra-corrente diretta, risultato contrario a quello che sarebbe aspettato dietro le proprietà conosciute delle correnti indotte (*Annales de chimie et de physique*, 1858, tom. LIII, pag. 59).

**703. Correnti indotte di diversi ordini.** - A malgrado della loro istantaneità, le correnti indotte ponno esse pure, per la loro influenza sui circuiti chiusi, dare origine a nuove correnti indotte, poi queste ad altre, e così di seguito, in modo da produrre delle correnti indotte di diversi ordini.

Queste correnti, scoperte da Henri, di New-Jersey, si constatano facendo reagire gli uni sugli altri una serie di rocchetti formati ciascuno da un filo di rame coperto di seta ed avvolto sopra sè stesso a spira in un medesimo piano, come quello rappresentato sul disco A, nella figura 521.

Si osserva che le correnti che allora si producono nei rocchetti sono alternativamente di direzione contraria, e che la loro intensità diminuisce a misura che sono di un ordine più elevato.

## APPARECCHI FONDATI SULLE CORRENTI DI INDUZIONE

**704. Apparato di Clarke.** - Clarke, a Londra, costruì un apparato per mezzo del quale si producono tutti gli effetti delle correnti di induzione magnetica. Quest'apparato si compone di un fascio magnetizzato A (fig. 527), assai potente, curvato a ferro di cavallo ed applicato verticalmente sopra una tavoletta, di legno. Davanti a questo fascio trovasi un'elettro-calamita BB', mobile attorno ad un asse orizzontale. I suoi rocchetti sono formati sopra due cilindri di ferro dolce, collegati ad

una estremità per mezzo di una piastra  $V$  di ferro dolce ed all'altra per mezzo di una piastra simile di ottone. Queste due piastre sono fissate ad un asse di ottone terminato ad una estremità da un commutatore  $q_i$ , ed all'altra da una puleggia, alla quale si trasmette il movimento per mezzo di una correggia continua e di una gran ruota  $R$  mossa da una manovella.

Ciascun rocchetto è formato da un filo di rame sottilissimo coperto di seta, ed avvolto per 1500 giri. Un capo del filo del rocchetto  $B$  si riunisce sull'asse di rotazione ad un capo del filo del rocchetto  $B'$ , e le altre due estremità terminano ad una viera di ottone  $q$ , che è fissa all'asse, ma che ne è isolata per mezzo di una viera d'avorio. Si ha cura che nei capi che si riuniscono la corrente indotta abbia la stessa direzione, il che si ottiene avvolgendo i fili in senso contrario sui due rocchetti.

Ciò posto, quando l'elettro-calamita gira, i suoi due rami si magnetizzano alternativamente in sensi contrari sotto l'influenza della calamita  $A$ , ed in ciascun filo si produce una corrente indotta che cambia di direzione ad ogni mezza rivoluzione. Per conoscere l'andamento di queste correnti, bisogna rammentare che i due capi del filo che terminano alla viera  $q$  danno una corrente della medesima direzione, e che lo stesso accade di quelli che si congiungono all'asse. Ora, dinanzi alla viera  $q$  trovasi una seconda viera di rame  $o$ , formata da due pezzi eguali e risulta che durante la rotazione dell'elettro-calamita ciascuna metà della viera  $o$  rappresenta un polo che cangia di segno ad ogni mezza rivoluzione. Dai due pezzi  $o$ , la corrente passa sopra due lamine di ottone  $b'$  e  $c$ , fisse a due piastre pure di ottone  $m$  ed  $n$ . Per questa disposizione la corrente in ciascuna delle lamine  $b$  e  $c$  è sempre diretta nello stesso senso. Infatti la lamina  $c$ , per es., toccando successivamente i due pezzi  $o$ , trovasi successivamente in comunicazione coll'asse e con  $q$ , e quindi con due capi dei fili, poi cogli altri due. Ma i fili essendo avvolti in sensi contrari, quando il rocchetto  $B'$  prende il posto di  $B$ , la corrente della viera  $q$ , come quella dell'asse, cangia di segno; lo stesso quindi avviene di ciascuna metà della viera  $o$ , e siccome attualmente la lamina  $c$  tocca la metà opposta a quella che toccava prima, la corrente che la attraversa continua ad essere diretta nello stesso senso.

Colle sole lamine  $b$  e  $c$ , le due correnti contrarie che partono dai due pezzi  $o$  non potrebbero riunirsi; a questo però si giunge per mezzo di una terza lamina  $a$  e di due appendici  $i$ , delle quali una sola è visibile nella figura. Queste due appendici sono isolate l'una dall'altra sopra un cilindro d'avorio, ma comunicano rispettivamente coi pezzi  $o$ . Ogniquale volta la lamina  $a$  tocca una di queste appendici, trovasi in comunicazione colla lamina  $b$ , ed il circuito è chiuso, perchè la corrente passa da  $b$  in  $a$ , indi giunge alla lamina  $c$  per la piastra  $aa$ . All'incontro, finchè la lamina  $a$  non tocca una delle appendici, la corrente è interrotta.

Al momento in cui la corrente si interrompe, si ponno ottenere delle fortissime scosse; per ciò, si fissano in  $n$  ed in  $r$  due lunghi fili di rame avvolti ad elice e terminati da due cilindri  $p$  e  $p'$  che si tengono in mano. Allora, ciascuna volta che la corrente si interrompe si produce nel circuito formato dai fili  $np$   $rp'$  e dal corpo, un'extra-corrente istantanea (702) che fa provare una violenta scossa. Questa si rinnova a ciascuna mezza rivoluzione dell'elettro-calamita, e la sua intensità aumenta colla velocità di rotazione. Inoltre, i muscoli si contraggono con tal forza che più non obbediscono alla volontà, e le mani non ponno abbandonare le due impugnature. Con un apparato ben costruito e di grandi dimensioni non si può resistere alla durata della scossa; chi volesse persistere sarebbe rovesciato.

Coll'apparato di Clarke si fanno produrre alle correnti di induzione tutti gli effetti delle correnti voltiane. La figura 528 mostra come si dispone l'esperienza per la decomposizione dell'acqua. Allora si sopprime la lamina  $a$ , giacchè il circuito è chiuso dal liquido nel quale si portano i due fili che rappresentano gli elettrodi.

Per gli effetti fisiologici e chimici il filo avvolto sui rocchetti è sottile e lungo da 500 a 600 metri per ciascun rocchetto. Per gli effetti fisici al contrario, il filo è grosso e lungo da 25 a 30 metri per ciascun rocchetto. Le figure 529 e 530 mostrano la forma che si dà allora ai rocchetti ed al commutatore. La prima rappresenta l'accensione dell'etere, e la seconda l'incandescenza di un filo metallico  $o$  nel quale passa sempre nella stessa direzione la corrente che va dalla lamina  $a$  alla lamina  $c$ .

Prima di Clarke, Pixii figlio, a Parigi, aveva costruito un apparato della stessa specie che differiva da quello di Clarke solo perchè l'elettro-calamita era fissa e girava il fascio magnetizzato.

**705. Macchina magneto-elettrica.** - Il principio dell'apparecchio di Clarke ha ricevuto, in questi ultimi anni, una rimarchevole applicazione nelle *macchine magneto-elettriche*. Chiamansi così quelle macchine mediante le quali trasformasi un lavoro meccanico in correnti elettriche potenti per l'azione induttrice di calamita su dei rocchetti in movimento.

La prima macchina di questo genere fu inventata, nel 1850, da Nollet, professore di fisica alla scuola militare di Brusselle, e discendente dalla famiglia dell'abate Nollet, professore di fisica a Parigi, un secolo fa. Nollet erasi proposto di applicare le correnti elettriche, ottenute dalla sua macchina, alla decomposizione dell'acqua, per utilizzare in seguito nell'illuminazione, il gaz idrogeno proveniente da questa decomposizione; ma il successo non rispose alla sua aspettativa, e ne morì di dispiacere. Per fortuna, egli lasciò, morendo, la sua macchina ad un uomo intelligente, Giuseppe Van Malderen, il quale non solo la perfezionò, ma concepì la felice idea di applicarla all'illuminazione elettrica.

Questa macchina al giorno d'oggi di proprietà della compagnia dell'*Alliance* è rappresentata nella figura 531 tale e quale funziona in un opificio degli invalidi, dove è stata costrutta. Essa consiste in un'armatura di ghisa di 1<sup>m</sup>,65 di altezza; sul contorno di questa armatura sono disposti parallelamente su delle traverse di legno, 8 serie di cinque fascetti calamitati potentemente A, A, A... Questi fascetti che possono portare ciascuno dai 60 ai 70 chilogrammi, sono piegati a ferro di cavallo e disposti in modo che, sia che si considerino parallelamente all'asse dell'armatura, sia in un piano perpendicolare a questo asse, sono sempre i poli di nome contrario che trovansi di faccia. In ogni serie, i fascetti estremi sono composti di 3 lastre calamitate, mentre i tre fascetti intermediari sono di 6 lastre, perchè agiscono per le due loro facce mentre che i primi non agiscono che per una sola.

Ciò posto, sopra un asse orizzontale di ferro, che va da un'estremità all'altra dell'armatura, sono fissati quattro cilindri di bronzo, corrispondenti ciascuno agli intervalli vuoti tra i fascetti calamitati di due serie verticali. Questi cilindri portano sulla loro circonferenza ciascuno 16 rocchetti, vale a dire tanti quanti sono i poli magnetici in una serie verticale di fascetti. Questi rocchetti, rappresentati nella figura 533, differiscono da quelli dell'apparecchio di Clarke; in fatti, essi non sono ad un sol filo, ma a 12 fili ciascuno di 10<sup>m</sup>,50, ciò che fa guadagnare in quantità e diminuisce la resistenza. Le spire di questi rocchetti sono isolate con del bitume di Giudea disciolto nell'essenza di trementina. Finalmente, esse non sono ravvolte su due cilindri di ferro massiccio, ma rispettivamente su due tubi di ferro cavi, fessi in tutta la loro lunghezza, ciò che rende la calamitazione e la scalamitazione più pronta di quando i rocchetti passano davanti ai poli delle calamite. Di più i dischi di rame che terminano i rocchetti sono tagliati nel senso del loro raggio, affine d'impedire la produzione di correnti indotte in questi dischi (699). I quattro cilindri essendo muniti rispettivamente di 16 rocchetti danno in tutto 64 rocchetti disposti in 16 serie orizzontali di 4, come vedesi in D, alla sinistra dell'armatura. La lunghezza dei fili sopra un rocchetto essendo di 12 volte 10<sup>m</sup>,50 o 126<sup>m</sup>, la loro lunghezza totale, in tutto l'apparecchio, è di 64 volte 126<sup>m</sup>, o 8064<sup>m</sup>.

Su tutti i rocchetti, i fili sono ravvolti nello stesso senso, e non solo su di uno stesso cilindro, ma sui quattro, tutti questi fili comunicano fra di loro. Per ciò, i rocchetti sono uniti fra di loro come lo mostra la figura 532: sul primo cilindro, i dodici fili del primo rocchetto metton capo su di una tavoletta d'acaiu applicata sulla faccia anteriore del cilindro, ad una lastra di rame *m*, comunicante con un filo O colla parte centrale dell'asse che porta i cilindri. Dall'altra estremità, sulla seconda faccia del cilindro, gli stessi fili vanno a saldarsi ad una lastra figurata per mezzo di un filo sottile che li lega al rocchetto *y*; da questi sono condotti poscia al rocchetto *z* per una lamina *i*, e così di seguito poi rocchetti *l*, *u*,... sino all'ultimo *v*. Là, i fili di questo rocchetto finiscono ad una lamina *n* che attraversa il primo cilindro e va a saldarsi ai fili del primo rocchetto del cilindro seguente, sul quale riproducesi la stessa serie di comunicazione, i fili rendonsi poscia al terzo cilindro, da questo al quarto, e finalmente all'estremità posteriore dell'asse.

Riassumendo, per essere i rocchetti così disposti gli uni in seguito agli altri come gli elementi di una pila montata in tensione (643), si ha l'*elettricità di tensione*. Se invece vuolsi ottenere l'*elettricità di quantità*, si fanno comunicare alternativamente le lamine qui sopra, non più fra di loro, ma con due anelli metallici in modo che tutte le estremità dello stesso nome siano in rapporto collo stesso anello; ognuno di questi anelli è allora un polo.

Conoscendo questi particolari, è facile rendersi conto del come si produca e si propaghi l'elettricità nell'apparecchio. Una coreggia senza fine, ricevuto il suo moto da una macchina a vapore, si avvolge su di una carrucola fissata all'estremità dell'asse che porta i cilindri e i rocchetti, e imprime a tutto il sistema un movimento di rotazione più o meno rapido. L'esperienza ha insegnato che per ottenere il *maximum* di luce, la velocità più conveniente è quella di 235 rivoluzioni per minuto. Ora, durante questa rotazione, se si considera dapprima un rocchetto solo, i tubi di ferro dolce su i quali esso è avvolto, passando fra i poli delle calamite, subiscono alle loro due estremità un'induzione opposta, gli effetti della quale si aggiungono, ma cambiano da un polo al seguente; e siccome questi tubi, durante una rivoluzione, passano successivamente davanti a 16 poli alternativamente di nome contrario, essi si magnetizzano otto volte in un senso, ed otto volte in senso contrario. Nello stesso tempo produconsi dunque nel rocchetto otto correnti indotte dirette, ed otto correnti indotte inverse; in tutto 16 correnti per rivoluzione. Colla velocità di 235 giri per minuto, il numero delle correnti nello stesso tempo è di 235 volte 16 o 3760, alternativamente in senso contrario. Lo stesso fenomeno producesi in ciascuno dei 64 rocchetti; ma siccome i medesimi sono tutti involti nello stesso senso e comunicano fra loro, i loro effetti si sovrappongono, e si ha sempre lo stesso numero di correnti, ma più intense.

Resta a raccogliere queste correnti per utilizzarle alla produzione di una luce elettrica intensa. Per ciò, si stabiliscono le comunicazioni, come vedesi nella figura 534. Posteriormente, l'ultimo rocchetto  $x'$  del quarto cilindro si unisce per mezzo di un filo G, all'asse MN che porta i cilindri; la corrente è condotta così sull'asse e di là su tutta la macchina, dove si può in seguito raccogliarlo in quel punto che si vuole. Anteriormente, il primo rocchetto  $x$  del primo cilindro comunica per un filo O, non più coll'asse stesso, ma con un cilindro d'acciaio e penetrante nell'asse da cui è isolato per un manico d'avorio. La vite  $e$ , che riceve il filo O, è essa stessa isolata mercè un contatto d'avorio, Dal cilindro e la corrente passa su di un pezzo metallico K che è fisso, da cui sale finalmente nel filo H che lo conduce al piuolo  $a$  della figura 531. In quanto al piuolo  $b$ , esso comunica con tutta l'armatura, e per conseguenza col filo dell'ultimo rocchetto  $x'$  (fig. 534). Dai due piuoli  $a$  e  $b$  la corrente è condotta per due fili di rame a due carboni, la cui distanza è regolata da un regolatore che verrà descritto in appresso (706).

Nella macchina descritta, le correnti in senso contrario non sono raddrizzate; per conseguenza, ogni carbone è alternativamente positivo e negativo, ed infatti essi consumansi egualmente presto. L'esperienza ha dimostrato che, finchè si applicano le correnti alla produzione della luce, non è necessario ricondurle ad ogni essere dello stesso senso; ma quando vuolsi utilizzarle per la galvanoplastica o la magnetizzazione, è indispensabile di raddrizzarle, ciò che si ottiene coll'aiuto di un commutatore.

La luce prodotta dalla macchina magneto-elettrica è molto intensa: con una macchina di quattro cilindri, montata in quantità, la luce ottenuta equivale a quella di 150 lampade Carcel. Con una macchina di sei cilindri, come quella che sta ora costruendo la Compagnia dell'*Alliance*, la luce potrà elevarsi sino a 200 lampade Carcel.

Questa luce che non esige altra spesa da quella in fuori di un mezzocavallo-vapore circa per far girare i cilindri, quando non sono che in numero di quattro, sembra principalmente destinata all'illuminazione dei fari e a quella delle navi, onde prevenire le collisioni durante la notte.

**706. Regolatore della luce elettrica di Serrin.** - Questo nuovo regolatore, come quelli costrutti prima di lui, opera il riavvicinamento dei carboni a misura che si consumano, ma il medesimo inoltre ne produce il scostamento quando essi sono a contatto. Di più, esso non racchiude alcun movimento d'orologeria; il peso di uno de' suoi pezzi è quello che lo fa agire. Perciò, l'asta B, che porta il carbone positivo  $c$  e terminasi alla sua parte inferiore con una dentiera C (fig. 535), sale e

discende con dolce sfregamento in un tubo H. Quando quest'asta si abbassa pel suo proprio peso, e con essa il carbone positivo, la dentiera C trasmette il movimento a una ruota dentata G, sull'asse della quale è fissata una carrucola D. Questa carrucola, girando da destra a sinistra, ravvolge una catena z, che passa sopra una seconda carrucola y e va ad attaccarsi in *i* alla parte inferiore di un'asta rettangolare; questa sollevandosi fa innalzare il pezzo K che porta il carbone negativo *c'*, di modo che questo sale a misura che il carbone positivo si abbassa. Nella figura 535, il diametro della carrucola D non è che la metà di quello della ruota G, d'onde risulta che il carbone positivo procede due volte, più presto del carbone negativo; è il caso ordinario quando la corrente ha per origine una pila voltiana, perchè allora il carbone positivo si consuma due volte più rapidamente del carbone negativo. Ma colla macchina magneto-elettrica descritta qui sopra (705), ogni carbone consumandosi egualmente presto, la carrucola e la ruota devono essere dello stesso diametro.

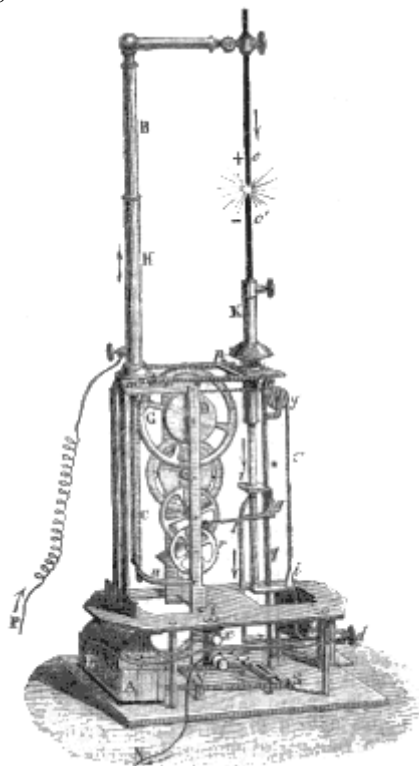
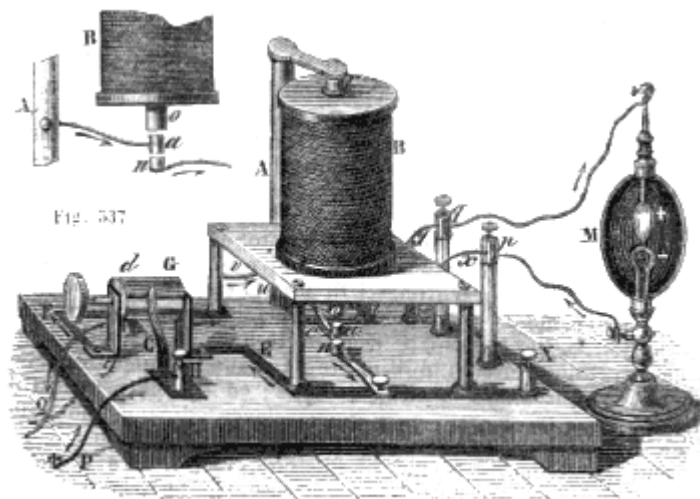


Fig. 535.

Ecco ora in qual modo funziona il regolatore: i due carboni essendo a contatto, la corrente entra pel filo P, sale seguendo HB fino al carbone positivo; di là passa sul carbone negativo, sul pezzo K, e rendesi nel senso delle frecce, fino al piuolo *d*, a destra dell'armatura inferiore, ma senza penetrare nel resto dell'apparecchio, tutti i pezzi nei quali passa la corrente essendo isolati da punti di contatto in avorio *iiii*. Dal piuolo *d* la corrente, è condotta, per un filo di rame ricoperto di gutta-percha, ad un'elettro-calamita E, da cui esce per rendersi ad un piuolo *x* e ritornare finalmente alla pila del filo N.

Ciò posto, appena la corrente passa nell'elettro-calamita, un'armatura di ferro dolce A è sollevata, ed è la medesima che produce allora lo scostamento dei due carboni. Infatti, a quest'armatura è fissato un quadro di rame VS oscillante intorno ad un asse orizzontale V, e unita da una parte ad un'asta *q*, articolata in *n* ad un secondo quadro *mnp*, mobile esso stesso intorno ad un asse *m*. Ciò posto, quando l'armatura A è sollevata, essa imparte un movimento di altaleva alla leva VS, e l'asta *q* abbassandosi, si produce lo scostamento dei due carboni; ma nello stesso tempo l'asta *q* trae seco nel suo moto di abbassamento un pezzo *g*, che termina con una lista orrizzontale *t*. Ora, questa imboccando allora i denti di una ruota a rocchetto *r*, questa ruota si arresta con essa tutte le ruote dentate e la dentiera C. I carboni dunque sono allora fissi, ciò che dura finchè la corrente conserva abbastanza d'intensità per tenere sollevata l'armatura A. Ora, consumandosi i carboni, il loro intervallo aumenta, la corrente s'indebolisce, l'armatura discende e la ruota *r* non imbocca più. I carboni procedono tosto l'uno verso l'altro ma senza arrivare a contatto, perchè la corrente riprende

prima abbastanza d'intensità per sollevare l'armatura e arrestare i carboni. Il ravvicinamento e lo scostamento sono dunque regolati dall'apparecchio stesso donde il nome di *regolatore automatico* datogli a ragione dal suo inventore



L'apparato di Ruhmkorff si compone di un grande rocchetto B (fig. 536) collocato verticalmente sopra una grossa lastra di vetro che lo isola. Questo rocchetto, che è alto circa 30 centimetri, è formato da due fili: uno grosso, di due millimetri di diametro, avvolto per trecento giri; ed uno sottile, del diametro soltanto di un terzo di millimetro, avvolto sul primo per circa dieci mila giri e lungo da 4 a 5 chilometri.

Il moto alternativo del martello *a* è prodotto da un cilindro di ferro dolce *ro*, situato nell'asse del rocchetto. Quando la corrente della pila passa nel filo grosso di quest'ultimo, il ferro si magnetizza (685) ed attrae dal basso all'alto il martello *a*, il quale è pure di ferro. Siccome allora la corrente è interrotta perchè non può passare nel pezzo *n*, il cilindro *or* perde la sua magnetizzazione, ed il martello *a* ricade. In questo istante la corrente ricomincia, il pezzo *a* è sollevato di nuovo, e così di seguito. A misura che la corrente della pila passa così ad intermittenza nel filo grosso del rocchetto, ad ogni interruzione si produce nel filo sottile una corrente di induzione successivamente diretta ed inversa. Ora, essendo quest'ultimo completamente isolato, la corrente indotta acquista una tensione così considerevole, che può produrre effetti assai intensi. Fizeau aumentò questa intensità interponendo un condensatore nel circuito induttore. Questo condensatore, quale lo costruì Ruhmkorff, è composto di due foglie di stagno incollato sulle due facce di una lista di taffetà gommato, lunga circa 4 metri e piegata fra due altre liste pure di taffetà, in modo di poter essere introdotta nell'interno della tavoletta che serve di sostegno all'apparato. Le armature del



condensatore comunicano con due bottoni X, che sono fissati sulla tavoletta e servono a raccogliere l'extra-corrente (702) ad ogni interruzione della corrente induttrice.

Oltre il modello che noi abbiamo descritto, Ruhmkorff fabbrica al dì d'oggi dei rocchetti di maggiori dimensioni e che hanno sino a 22 centimetri di diametro e 45 centimetri di lunghezza. Il grosso filo, che ha due millimetri e mezzo di diametro, si avvolge due volte su tutta la lunghezza del rocchetto; poi in seguito il fino, il diametro del quale non è che di un quinto di millimetro. La sua lunghezza arriva sino a 1500 metri, equivalenti a circa 4 leghe; ed è isolato con diligenza per mezzo di nastri di seta e di gomma-lacca, dipendendo principalmente da un perfetto isolamento la potenza del rocchetto.

In questi apparecchi è sempre il filo fino, vale a dire il filo indotto che produce i differenti effetti che noi passiamo tosto a far conoscere.

**708. Effetti prodotti col rocchetto di Ruhmkorff.** - Masson, pel primo, riconobbe la tensione considerevole delle correnti di induzione e tentò di adoperarla per ottenere effetti di elettricità statica. A questo intento egli costruì, nel 1842, insieme con Bréguet, un apparato di induzione per mezzo del quale ottenne effetti luminosi e calorifici già assai rimarchevoli; ma solo dacchè Ruhmkorff isolò completamente colla gomma-lacca la corrente di induzione, nel suo rocchetto, come già si disse, si poté utilizzare tutta la tensione delle correnti di induzione e riconoscere che queste correnti possiedono ad un tempo le proprietà dell'elettricità statica e dell'elettricità dinamica. Molti fisici si occuparono a moltiplicare le esperienze col rocchetto Ruhmkorff, e particolarmente Grove, Neef, Poggendorf, Plücher, Quet, Masson, Despretz, Edmondo Becquerel, Gaugain e Du-Moncel.

Gli effetti fisiologici del rocchetto di Ruhmkorff sono estremamente intensi; infatti, le scosse sono così violente che già parecchi osservatori furono all'istante rovesciati al suolo. Con due coppie di Bunsen si uccide un coniglio, e con un numero maggiore di coppie si fulminerebbe un uomo.

Anche gli effetti calorifici si ponno facilmente constatare; infatti basta interporre fra le due estremità  $p$  e  $q$  del filo indotto, un sottilissimo filo di ferro, perchè venga fuso ed abbruci con viva luce. Qui si osserva un curioso fenomeno: se si termina ciascuno dei fili  $p$  e  $q$  con un sottilissimo filo di ferro, quando si avvicinano l'uno all'altro questi due fili, si fonde soltanto quello che corrisponde al polo negativo; d'onde si deduce che la tensione è maggiore al polo negativo che non al positivo.

Gli effetti chimici del rocchetto di Ruhmkorff sono estremamente svariati, a motivo che questo apparato dà contemporaneamente elettricità statica ed elettricità dinamica. Per es., a norma della forma degli elettrodi di platino immersi nell'acqua, della loro distanza, del grado di acidulazione dell'acqua, si possono ottenere nell'acqua effetti luminosi senza decomposizione, o la decomposizione dell'acqua con separazione dei gas ai due poli, o la decomposizione con mescolanza dei gas ad un sol polo, o finalmente la decomposizione con mescolanza dei gas a due poli.

Anche i gas possono essere decomposti o combinarsi per l'azione prolungata della scintilla della corrente d'induzione. Edmondo Becquerel e Frémy hanno infatti verificato che facendo passare la corrente del rocchetto di Ruhmkorff in un tubo di vetro pieno di aria ed ermeticamente chiuso, come mostra la figura 538, l'azoto e l'ossigeno dell'aria si combinano e formano dell'acido azotoso.

Anche gli effetti luminosi del rocchetto di Ruhmkorff sono assai svariati, secondochè hanno luogo nell'aria, nel vuoto o nei vapori assai rarefatti. Nell'aria dà una scintilla viva e fragorosa che si estende insino a 30 centimetri di lunghezza; nel vuoto, gli effetti sono più rimarchevoli. Per fare questa esperienza si fanno comunicare i due fili  $q$  e  $p$  del rocchetto colle due aste dell'uovo elettrico già descritto (614) e che serve per osservare gli effetti luminosi della macchina elettrica nel vuoto. Fatto il vuoto nel globo, fino ad un millimetro o due almeno, si scorge una bella striscia luminosa estendersi da una sfera all'altra, in modo sensibilmente continuo e con intensità uguale a quella che si ottiene con una potente macchina elettrica quando si fa girare rapidamente il suo disco. Questa esperienza è rappresentata in piccolo nella figura 536 e più in grande nella figura 541. La figura 539

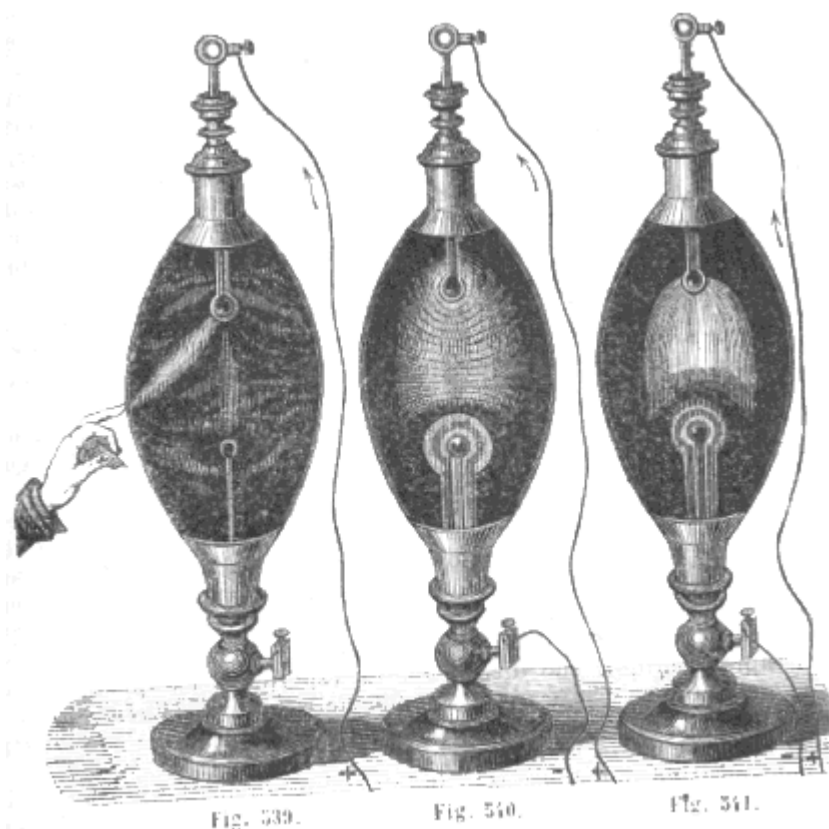
rappresenta una deviazione rimarchevole che subisce la luce elettrica quando si avvicina la mano all'uovo.

Il polo positivo della corrente indotta è il più brillante; la sua luce è di un rosso di fuoco, mentre quella del polo negativo è debole e violacea; inoltre, la luce si estende per tutta la lunghezza dell'asta negativa, fenomeno che non si produce al polo positivo.

Finalmente, il rocchetto di Ruhmkorff produce effetti meccanici così potenti, che col grande apparecchio si forano delle lastre di vetro di 2 centimetri di spessore. Questo risultato, però, non si ottiene da una scarica unica, ma da parecchie successive.

Da poco tempo Ruhmkorff applicò il suo rocchetto a caricare forti batterie di sei giarre e di circa 30 decimetri quadrati d'armatura ciascuna. Ora, con un grande rocchetto che dia scintille di 15 a 20 centimetri di lunghezza, e procedendo con 6 elementi di Bunsen a grande superficie, queste batterie si caricano, per così dire, istantaneamente, vale a dire in alcuni secondi.

In questa esperienza, un filo del rocchetto essendo in comunicazione con una delle armature, l'altro filo non deve toccare la seconda armatura, ma esserne distante qualche centimetro. Infatti, se ogni filo è in contatto alle armature, le due extra-correnti di aprimento e di chiusura essendo uguali in quantità (702), ma di direzione opposta, le due armature ricevono quantità eguali di elettricità contraria, e, per conseguenza, la batteria non caricasi; mentre che uno dei fili essendo distante qualche centimetro, l'elettricità di rottura, che ha più di tensione, si svolge sola ed è dessa che carica la batteria.



**709. Stratificazione della luce elettrica.** - Studiando la luce elettrica fornita dal rocchetto di induzione di Ruhmkorff, Quet osservò che se si fa il vuoto nel globo dell'esperimento precedente dopo avervi introdotto del vapore d'olio essenziale di trementina; o di acido pirolegnoso o di alcool, o di solfuro di carbonio, ecc., l'aspetto della luce viene interamente modificato. Allora essa apparisce sotto la forma di una serie di zone alternativamente brillanti od oscure, formando come una pila di luce elettrica fra i due poli (fig. 540).

Dalla discontinuità della corrente di induzione risulta che, in questa esperienza, la luce non è continua, ma consiste in una serie di scariche tanto più ravvicinate quanto più il martello a (fig. 537) oscilla rapidamente. Le zone luminose sembrano allora animate da un doppio movimento giratorio

ed ondulatorio rapido. Quet riguarda questo movimento come un'illusione ottica, basandosi sul fatto che se si fa oscillare lentamente il martello colla mano, le zone appaiono assai distinte e fisse.

La luce del polo positivo il più delle volte è rossa, e quella del polo negativa violetta. Però, la tinta cangia col vapore o col gas introdotto nel globo.

Despretz osservò che i fenomeni constatati da Ruhmkorff e da Quet con una corrente discontinua si riproducono con una corrente continua ordinaria, coll'importante differenza però che la corrente continua richiede un numero di coppie di Bunsen piuttosto considerevole, mentre la corrente discontinua del rocchetto di Ruhmkorff ne richiede una sola. Un altro fatto rimarchevole constatato dall'esperienza è che l'intensità degli effetti luminosi di questo rocchetto aumenta assai poco accrescendo il numero delle coppie della pila.

La teoria dei fenomeni della stratificazione della luce elettrica nei vapori e della colorazione dei poli, non è conosciuta.

**710. Tubi di Geissler.** - Egli è principalmente quando si fa passare la scarica dal rocchetto di Ruhmkorff nei tubi di vetro contenenti un vapore od un gas rarefattissimo che la stratificazione della luce elettrica presenta uno splendore ed una bellezza rimarchevole. Questi fenomeni che vennero studiati da Masson, Grove, Gassiot, Plücher, ecc., produconsi in tubi chiusi, di vetro o di cristallo, costrutti da Geissler, a Bonn. Al momento della chiusura, questi tubi vennero posti nelle condizioni della camera barometrica, e vi si fece passare, prima di chiuderli, una quantità piccolissima di un gas o di un vapore, purchè questo gas o questo vapore non sia tutto al più che ad una pressione di un mezzo millimetro. Finalmente alle due estremità dei tubi sono saldati due fili di platino che penetrano in essi da uno a due centimetri.

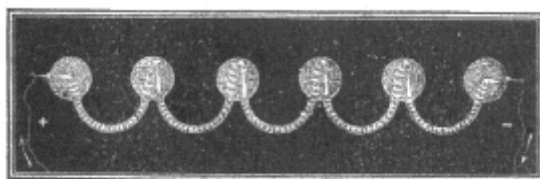


Fig. 542.

Ciò posto, appena si fanno comunicare questi due fili di platino coll'estremità del rocchetto di Ruhmkorff, produconsi in tutta la lunghezza del tubo magnifiche strisce brillanti, separate da zone oscure. Queste strisce variano di forma, di colore e splendore a norma del grado di vuoto, della natura del gas o del vapore e delle dimensioni dei tubi. Spesse volte il fenomeno prende un aspetto ancora più bello per la fluorescenza che la scarica elettrica eccita nel vetro.

La figura 542 rappresenta le strisce date dall'idrogeno, a un mezzo millimetro di pressione; in un tubo alternativamente rigonfio e stretto; nelle bolle la luce è bianca; nelle parti capillari è rossa.

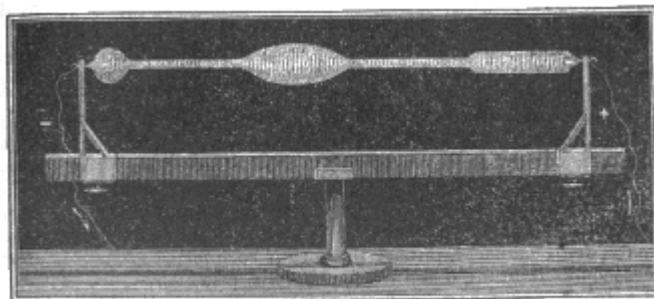


Fig. 543.

La figura 543 mostra le strisce nell'acido carbonico a un quarto di millimetro di pressione; il colore è verdastro, e le strisce non hanno la stessa forma di quelle nell'idrogeno. Nell'azoto, la luce è giallo-rossa.

Plücher, che ha studiato molto la luce dei tubi di Geissler, trovò che essa non dipende menomamente dalla sostanza degli elettrodi, ma unicamente dalla natura del gas o del vapore che è nel tubo. Constatò inoltre che le luci fornite dall'idrogeno, dall'azoto, dall'acido carbonico, ecc., differiscono molto in quanto allo spettro che esse forniscono quando si fanno passare attraverso di un prisma. Secondo lo stesso fisico, la scarica del rocchetto di induzione, che si trasmette in un gas

molto rarefatto, non si trasmetterebbe nel vuoto assoluto, e la presenza di una materia ponderabile è assolutamente necessaria perché si effettui il passaggio dell'elettricità.

Col mezzo di una potente elettro-calamita, Plücher sottopose la scarica elettrica, nei tubi di Geissler, all'azione del magnetismo, come aveva fatto Davy per l'arco voltaico ordinario. Non potendo citare tutte le curiose esperienze di questo dotto, noi menzioneremo soltanto, nel caso in cui la scarica è perpendicolare alla linea dei poli, la separazione di questa scarica in due parti distinte, fenomeno che può spiegarsi per l'azione opposta dell'elettro-calamita sulle due extra-correnti di apertura e di chiusura che trovansi nella scarica.

Per terminare, citiamo un'applicazione recente dei tubi di Geissler alla patologia. Saldato un lungo tubo di platino a due bolle munite di fili di platino, ricurvati questo tubo nel suo mezzo in modo che le due branche si tocchino, e avvolgesi la loro estremità a strette spire come vedesi in *a* (fig. 544). Preparato così il tubo, contenente un gas molto rarefatto, come quelli descritti qui sopra, appena passa la scarica, producesi in *a* una luce abbastanza viva per illuminare le fosse nasali, le fauci, o qualsiasi altra cavità del corpo umano in cui si introduca il tubo. Ma questa esperienza necessita non solo un rocchetto, ma una pila per farlo agire, ciò che la rende poco pratica pei medici.

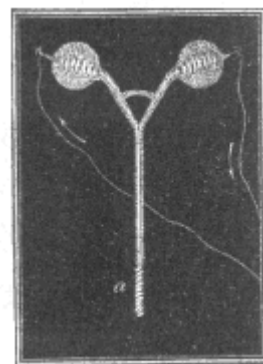


Fig. 544.

**711. Rotazione delle correnti indotte dalle calamite.** - De La Rive immaginò recentemente un'esperienza che dimostra in un modo curioso l'azione rotatoria delle calamite sulle correnti. Questo dotto ha fatto dapprima quest'esperienza con una forte macchina elettrica, ma essa presenta uno splendore assai più rimarchevole col rocchetto di Ruhmkorff.

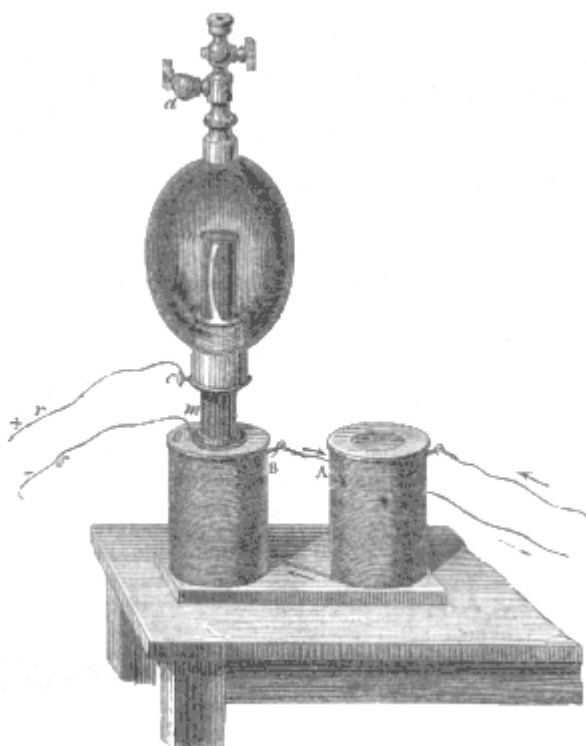


Fig. 545

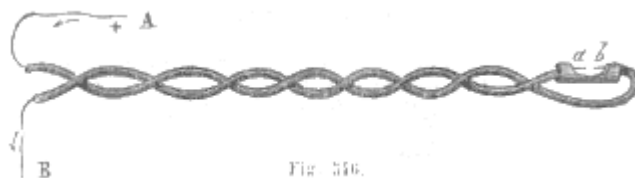
L'apparecchio di de La Rive componesi di un pallone di vetro, un uovo elettrico, munito ad una delle sue estremità di due robinetti l'uno che si invia sulla macchina pneumatica, e l'altro, che è un robinetto simile a quello di Gay-Lussac (309), serve a introdurre alcune goccioline di un liquido volatile nel pallone. All'altra estremità di questo vi è un tubo unito con mastice nel quale passa un'asta di ferro dolce *mn*, di due centimetri di diametro (fig. 545), l'estremità superiore della quale finisce presso a poco al centro del pallone. Quest'asta è ricoperta in tutta la sua estensione, meno

alle sue due estremità, da un alto strato isolante, formato dapprima di gomma-lacca, poi da un tubo di vetro ricoperto esso pure di gomma-lacca, da un secondo tubo di vetro, e finalmente da uno strato di cera. Questo strato isolante deve avere per lo meno un centimetro di spessore. Nell'interno del pallone, lo strato isolante è circondato, in  $x$ , da un anello di rame che comunica per un filo dello stesso metallo con un bottone esteriore  $c$ .

Ciò posto, praticato, nel modo più perfetto possibile, il vuoto nel pallone, si introducano nel medesimo, pel robinetto  $a$ , alcune goccioline di etere o di essenza di trementina, poi si pratica di nuovo il vuoto, in modo che non resti nel pallone che un vapore estremamente rarefatto. Ponendo allora, sur una branca di una forte elettro-calamita AB, un grosso disco di ferro dolce o, munito di un bottone, si applica sopra questo disco l'estremità  $m$  dell'asta  $mn$ , poscia si fanno giungere le due estremità del filo indotto del rocchetto di Ruhmkorff, l'una al bottone  $c$ , l'altra al bottone  $o$ . Facendo allora agire il rocchetto senza che funzioni l'elettro-calamita, le elettricità contrarie dei fili  $s$  ed  $r$  passano; quella del primo filo sino all'estremità superiore  $n$  dell'asta di ferro dolce, e quella del secondo filo all'anello  $x$ , compare nell'interno del pallone da  $n$  in  $x$  un fascio luminoso più o meno irregolare, in giro all'asta, come nell'esperienza dell'uovo elettrico.

Ma se si fa passare una corrente voltiana nell'elettro-calamita, il fenomeno cangia tosto: invece di partire dai diversi punti del contorno superiore  $n$  e dell'anello  $x$ , la luce si condensa e manifestasi in un solo arco luminoso da  $n$  in  $x$ . Di più, ed è ciò che vi ha principalmente di rimarchevole in questa esperienza, quest'arco gira piuttosto lentamente intorno al cilindro calamitato  $mn$ , ora in un senso, ora in un altro, secondo la direzione della corrente indotta o il senso della magnetizzazione. Dacché la magnetizzazione cessa, il fenomeno luminoso ritorna come era dapprima.

Un fatto degno di rimarco in questa esperienza si è che essa fu immaginata a priori da de La Rive per ispiegare, mediante l'influenza del magnetismo terrestre, una specie di vuoto rotatorio dall'ovest all'est, passando pel sud, che si osservò nelle aurore boreali. In fatti, la rotazione dell'arco luminoso, nell'esperienza succitata, deve evidentemente essere riferita alla rotazione delle correnti per le calamite (678).



**712. Razzo di Stateham.** - Stateham, ingegnere inglese, trovò recentemente che quando un filo di rame AB (fig. 516) è coperto di gutta-percha solforata, in capo ad alcuni mesi si forma, pel contatto del metallo e del suo involuppo, uno strato di solfuro di rame che basta per condurre la corrente. Infatti, se in una parte qualunque del circuito, si taglia la metà superiore dell'involuppo, poi nell'incavatura così formata si toglie un pezzo di filo di rame della lunghezza di 6 millimetri, una corrente intensa, che passi nel filo di rame, si trova interrotta da  $a$  in  $b$ , ma passa allora pel solfuro di rame che lo fa entrare in ignizione. Ne risulta che collocando nella cavità così scavata un corpo infiammabile, come del cotone fulminante o della polvere da cannone, questo corpo prende fuoco; da, ciò il nome di *razzo di Stateham* dato a questo piccolo apparecchio. Du Moncel ha recentemente applicato con completo successo questo razzo ed il rocchetto di Ruhmkorff all'esplosione delle mine nel porto di Cherbourg.

Se si vuol far agire il razzo di Stateham con una pila, questa deve essere potente; la corrente entrando in A ritorna alla pila per l'estremità B, o va a perdersi nel suolo, ciò che torna lo stesso. Ma se invece di una pila si adopera il rocchetto di Ruhmkorff, si ottengono gli stessi effetti con due coppie di Bunsen. Allora entra in A ed esce in B la corrente indotta di questo rocchetto. In tal modo si verificano gli effetti calorifici della corrente d'induzione.

Faraday, che istituì recentemente alcune curiose esperienze sui fili di rame coperti di gutta-percha, trovò che gli effetti fisici e fisiologici prodotti da una corrente che passa in questi fili sono debolissimi ed anche insensibili quando i fili trovansi nell'aria, e che al contrario sono assai intensi quando i fili sono immersi nell'acqua o posti sotterra. Faraday, che sperimentò sopra fili della

lunghezza di 160 chilometri, spiega questo fenomeno paragonando il filo di rame coperto di gutta-percha ad una bottiglia di Leyda assai grande: il filo di rame caricato di elettricità per mezzo della pila o del rocchetto, agisce per influenza, attraverso alla gutta-percha sott'acqua o sul suolo, che in tal modo forma l'armatura esterna della bottiglia; d'onde l'accumulazione d'elettricità e gli effetti energici che in tal caso si ottengono.

**713. Caratteri delle correnti di induzione.** - Dalle diverse esperienze fin qui indicate sulle correnti di induzione, rilevasi che ad onta della loro istantaneità, esse possiedono tutte le proprietà delle correnti voltiane ordinarie. Come queste, producono violenti effetti fisiologici, effetti luminosi, calorifici, chimici, e danno esse pure origine a nuove correnti indotte. Finalmente, esse fanno deviare l'ago dei galvanometri e magnetizzano le spranghe di acciaio, quando si fanno passare in un filo di rame avvolto ad elice intorno a queste spranghe.

L'intensità della scossa delle correnti indotte rende i loro effetti paragonabili a quelli della elettricità allo stato di tensione. Però, siccome agiscono sempre sul galvanometro, bisogna ammettere che nei fili sottoposti all'induzione sianvi simultaneamente elettricità di tensione ed elettricità dinamica. Infatti, raccogliendo continuamente la corrente, indotta nella stessa direzione per mezzo di un commutatore, Masson giunse a caricare il condensatore. Questa ipotesi però acquista maggior grado di probabilità per gli effetti che abbiamo detto ottenersi col rocchetto di Ruhmkorff.

La corrente indotta diretta e la corrente indotta inversa furono paragonate fra loro sotto tre punti di vista: l'energia della scossa, l'ampiezza della deviazione del galvanometro e l'azione magnetizzante sulle spranghe d'acciaio. Così considerate, queste correnti presentano risultati assai differenti: esse sembrano sensibilmente uguali quanto alla deviazione del galvanometro, mentre la scossa della corrente diretta è assai forte e quella della corrente inversa è quasi nulla. La stessa differenza sussiste rispetto alla forza magnetizzante: la corrente diretta magnetizza a saturazione, ma la corrente inversa non magnetizza.

**714. Leggi delle correnti di induzione.** - Nel suo trattato speciale sull'induzione, Matteucci deduce da' suoi propri lavori e da quelli di Faraday, Lenz, Dove, Abria, Weber, Marianini e Felici le leggi seguenti sulle correnti di induzione:

1.<sup>a</sup> *L'intensità delle correnti indotte è proporzionale a quella delle correnti induttrici.*

2.<sup>a</sup> *Questa stessa intensità è proporzionale al prodotto delle lunghezze dei circuiti induttori ed indotti.*

3.<sup>a</sup> *La forza elettro-motrice sviluppata da una data quantità di elettricità è la stessa, qualunque sia la natura, la sezione e la forma del circuito induttore.*

4.<sup>a</sup> *La forza elettro-motrice sviluppata dall'induzione di una corrente sopra un circuito conduttore qualunque, è indipendente dalla natura di questo conduttore.*

5.<sup>a</sup> *Lo sviluppo dell'induzione è indipendente dalla natura del corpo isolante interposto fra il circuito induttore e l'indotto.*

Quest'ultima legge, come abbiamo già osservato, non è d'accordo colle esperienze di Faraday sull'induzione dell'elettricità statica (588).

**715. Calore sviluppato dall'induzione delle calamite potenti sui corpi in movimento.** - Abbiamo veduto parlando della esperienza di Arago (699), che un disco di rame girante sopra sè stesso agisce a distanza sopra una calamita mobile per trasmetterle il suo movimento di rotazione. Quanto prima vedremo (717) che reciprocamente un cubo di rame animato da un rapido movimento di rotazione è arrestato istantaneamente dall'influenza dei poli di due forti calamite (fig. 550). È evidente che qualora in queste esperienze si volesse impedire la rotazione dell'ago o far continuare il cubo a girare, bisognerebbe impiegare costantemente un certo lavoro meccanico onde vincere la resistenza che risulta dall'azione induttrice delle calamite. Ora, appoggiandosi alla teoria della trasformazione del lavoro meccanico in calorico, che da alcuni anni preoccupa i fisici (314), si cercò quale sarebbe la quantità di calorico in tal modo sviluppato dalle correnti di induzione sotto l'influenza di potenti calamite. Joule, allo scopo di determinare l'equivalente meccanico del calorico, avvolse un rocchetto attorno ad un cilindro di ferro dolce, e, dopo aver chiuso il tutto in un tubo di

vetro pieno d'acqua, imprime al sistema un movimento di rotazione rapido fra i rami di una forte elettro-calamita. Un termometro immerso nel liquido serviva a misurare la quantità di calore sviluppata dalle correnti di induzione nel ferro dolce e nel filo di rame avvolto intorno.

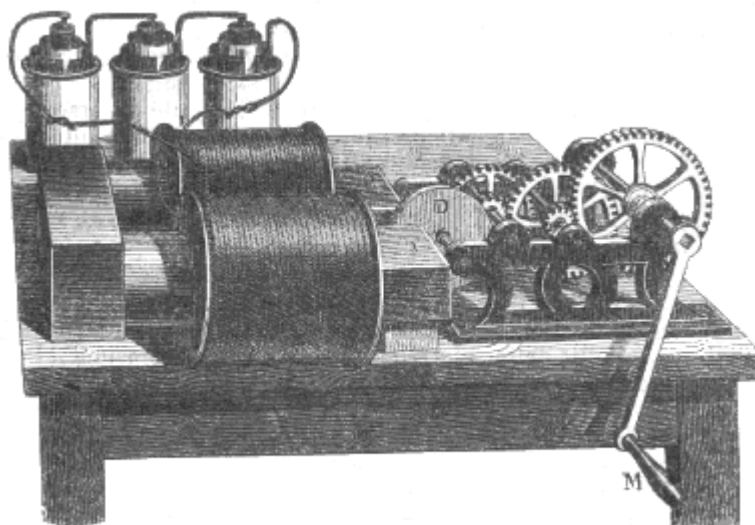


Fig. 547

Foucault istituì recentemente a quest'uopo una esperienza rimarchevole per mezzo dell'apparato rappresentato dalla figura 547. Quest'apparato consiste in una potente elettro-calamita fissata orizzontalmente sopra una tavola. Due pezzi di ferro dolce A e B trovansi in contatto coi poli dell'elettro-calamita, in modo che magnetizzandosi essi pure per influenza, concentrano sulle due facce di un disco metallico D la loro azione magnetica induttrice. Questo disco, di rame, del diametro di 75 millimetri e della grossezza di 7 millimetri, trovasi in parte collocato fra i pezzi A e B, ove riceve, per mezzo di una manovella e di una serie di ruote dentate e di rocchetti, una velocità di 150 a 200 giri per secondo.

Ciò posto, finchè la corrente della pila non passa nel filo dell'elettrocalamita, non si prova che una debolissima resistenza nel far girare la manovella, e se, dopo che essa ha assunto colle ruote e col disco un moto di rotazione rapido, la si abbandona a sè stessa, la rotazione continua alquanto per la velocità acquistata. Ma se si fa passare la corrente, il disco e gli altri pezzi si arrestano quasi istantaneamente, e se allora si riprende la manovella, si prova una resistenza considerevole. Ora, se, malgrado questa resistenza si continua a far rotare il disco, la forza che vi si impiega si trasforma in calorico, ed il disco si riscalda notabilmente. In un'esperienza istituita da Foucault, la temperatura del disco si innalzò in 3 minuti da 10 a 61 gradi, e la corrente era fornita soltanto da tre elementi della pila di Bunsen. Con sei, la resistenza sarebbe tale che non si potrebbe continuare a lungo a far girare la manovella.

## CAPITOLO VII

### EFFETTI OTTICI DELLE CALAMITE POTENTI, DIAMAGNETISMO

**716. Effetti ottici delle calamite potenti.** - Faraday, nel 1845, scoprì che una potente elettro-calamita esercita sopra parecchie sostanze trasparenti un'azione tale che, se un raggio polarizzato (530) le attraversa nella direzione della linea dei poli magnetici, il piano di polarizzazione è deviato ora a destra, ora a sinistra, secondo il verso della magnetizzazione.

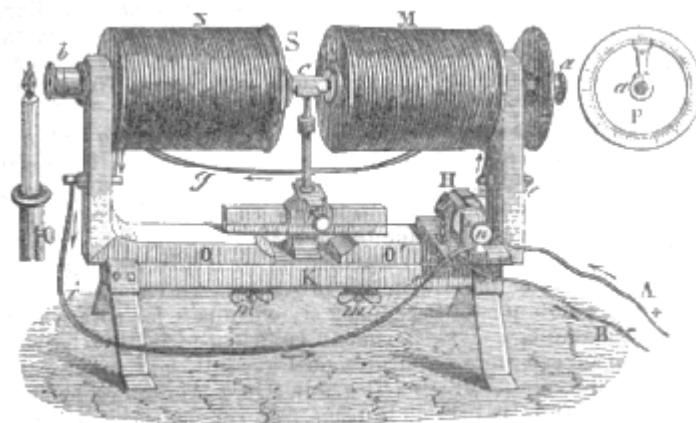


Fig. 548 (A = 531).

La figura 548 rappresenta l'apparato di Faraday, tale quale venne costruito da Ruhmkorff. Quest'apparato è formato da due elettro-calamite M ed N potentissime, fisse a due carri di ferro O, O', che ponno essere avvicinati più o meno scorrendo sopra un sostegno K. La corrente di una pila di 10 ad 11 coppie di Bunsen entra in A, giunge ad un commutatore H, al rocchetto M, indi al rocchetto N pel filo g, discende nel filo i, passa di nuovo nel commutatore e sorte in B. I due cilindri di ferro dolce S e Q che occupano l'asse dei rocchetti, hanno al loro centro dei fori cilindrici onde lasciar passare i raggi luminosi. Finalmente in b ed a vi sono due prismi di Nicol (528, 4.°), dei quali il primo serve di polarizzatore ed il secondo di analizzatore. Per mezzo di un'alidada, quest'ultimo gira al centro di un cerchio graduato, rappresentato in P.

Ciò posto, disposti questi due prismi in modo che le loro sezioni principali siano perpendicolari fra loro, il prisma a spegne completamente la luce trasmessa attraverso al prisma b. Se allora si colloca in c, sull'asse dei due rocchetti, una piastra di flint o di vetro a facce parallele, la luce è ancora estinta finchè la corrente non passa; ora, appena che sono stabilite le comunicazioni, la luce riappare ma colorata, e se si gira l'analizzatore a a destra od a sinistra, secondo la direzione della corrente, la luce assume successivamente le differenti tinte dello spettro, come avviene colle piastre di quarzo tagliate perpendicolarmente all'asse (531). Becquerel mostra che un gran numero di sostanze solide e liquide possono in tal modo far rotare il piano di polarizzazione sotto l'influenza di calamite potenti. Faraday ammette che in queste esperienze la rotazione del piano di polarizzazione sia dovuta ad un'azione delle calamite sui raggi luminosi; Biot ed Edmondo Becquerel, ritengono che questo fenomeno sia dovuto ad un'azione delle calamite sui corpi trasparenti sottoposti alla loro influenza, ipotesi ammessa generalmente.

**717. Effetti diamagnetici delle calamite potenti.** - Abbiamo già detto (551) che si chiamano *diamagnetici* quei corpi che sono respinti dalle calamite. Questa denominazione venne adottata da Faraday che, per primo, osservò questa specie di fenomeni nel 1817. Gli effetti diamagnetici delle calamite si manifestano solo quando queste sono assai potenti, e vennero scoperti e studiati coll'apparato di Faraday (fig. 548). Vi sono corpi diamagnetici tanto solidi che liquidi e gassosi,



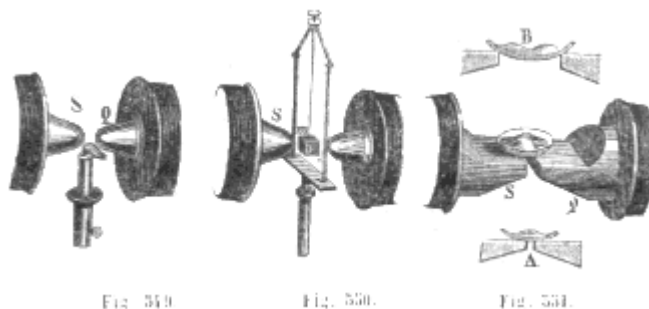
come lo dimostrano le esperienze seguenti, per istituire le quali si uniscono a vite sui rocchetti alcune armature di ferro dolce S e Q di forme diverse.

1.<sup>a</sup> *Diamagnetismo dei solidi*. - Un piccolo cubo di rame sospeso fra due calamite mediante un filo di seta torto e girante rapidamente sopra sè stesso per effetto del filo che si storce (fig. 550), si arresta nella posizione in cui si trova all'istante in cui la corrente passa nei rocchetti.

Se si dà al pezzo mobile la forma di una piccola spranga rettangolare, essa si dispone perpendicolarmente all'asse dei rocchetti, o nella direzione di quest'asse, secondo che è formata d'una sostanza diamagnetica, come il bismuto, l'antimonio, o di una sostanza magnetica, come il ferro, il nichelio, il cobalto.

2.<sup>a</sup> *Diamagnetismo dei liquidi*. - Anche i liquidi presentano dei fenomeni di magnetismo e di diamagnetismo. Per osservarli si pone il liquido entro piccoli tubi di vetro assai sottili che si sospendono al posto del cubo in nella figura 550. Se i liquidi sono magnetici, come le soluzioni di ferro, di nichelio, di cobalto, i tubi si dirigono secondo l'asse delle due elettro-calamite; ma se sono diamagnetici, come l'acqua, l'alcool, l'etere, l'olio essenziale di trementina e la maggior parte delle soluzioni saline, i tubi si dispongono in una direzione perpendicolare all'asse delle calamite.

L'azione delle calamite potenti sui liquidi magnetici o diamagnetici si osserva anche per mezzo dell'esperienza seguente, istituita per la prima volta da Plücher. Si versa una soluzione di solfato di ferro in un vetro da orologio, che si colloca sulle due armature P e Q delle elettro-calamite dell'apparecchio di Faraday. Appena che la corrente passa nelle elettro-calamite, si vede che la soluzione forma uno o due rigonfiamenti, secondo la distanza dei rocchetti, come è rappresentato in A ed in B (fig. 551); questi rigonfiamenti durano finchè passa la corrente, e si producono in differenti gradi con tutti i liquidi magnetici. I liquidi diamagnetici presentano effetti inversi, come lo constatò Plücher pel mercurio, osservandone la curvatura sopra un pezzo d'argento amalgamato di recente e collocato sulle armature.



3.<sup>a</sup> *Diamagnetismo dei gas*. - Bancalary, pel primo, osservò che la fiamma di una candela collocata fra i due rocchetti dell'apparato di Faraday è fortemente respinta (fig. 549). Tutte le fiamme presentano in diversi gradi lo stesso fenomeno. Quet ottenne effetti di ripulsione assai intensi sottoponendo alla stessa esperienza la luce elettrica della pila ottenuta coi due coni di carbone (fig. 466).

Dopo le esperienze di Bancalary, Faraday ed Edmondo Becquerel fecero numerose ricerche intorno al diamagnetismo dei gas, come abbiain già detto nel parlare dell'azione delle calamite potenti su tutti i corpi (551). Inoltre, Faraday riconobbe che l'ossigeno, il quale è magnetico alla temperatura ordinaria, diviene diamagnetico a temperatura assai elevata, e che soventi volte il magnetismo od il diamagnetismo di una sostanza dipende dal mezzo nel quale si trova. Per es., un corpo magnetico nel vuoto può diventare diamagnetico nell'aria.

4.<sup>a</sup> *Detuonazione prodotta dalla interruzione della corrente sotto l'influenza di una forte elettro-calamita*. - Citeremo ancora, siccome effetto rimarchevole dell'apparato di Faraday, la seguente esperienza dovuta a Ruhmkorff. Quando si collocano fra i due poli S e Q della figura 519, le due estremità del grosso filo nel quale passa la corrente dell'elettro-calamita, cioè quando si chiude il circuito fra i due poli P e Q, non producesi nè scintilla nè rumore, o soltanto un piccolo rumore ed una debole scintilla. Ma, al momento in cui si separano le due estremità del filo, e per conseguenza si interrompe la corrente, si ode una violenta detuonazione, forte quasi come quella di un colpo di

pistola. Sembrerebbe adunque che questo fenomeno fosse prodotto dall'extra-corrente (702), la cui intensità sarebbe potentemente accresciuta da due poli dell'elettro-calamita.

**718. Teoria del diamagnetismo.** - Parecchie teorie furono proposte onde spiegare i fenomeni del diamagnetismo. Abbiamo già veduto (551) che Edmondo Becquerel ammette che la ripulsione esercitata dalle calamite sopra certe sostanze sarebbe dovuta all'esser queste circondate da un mezzo più magnetico di loro, ipotesi che evidentemente è una applicazione del principio d'Archimede. Plücher diede una teoria che differisce da quella di Edmondo Becquerel, ma che però è appoggiata essa pure al principio d'Archimede. Faraday collegò i fenomeni diamagnetici coi fenomeni di induzione, ammettendo che in un corpo diamagnetico, come, per es., il bismuto, si producono, all'avvicinarsi di una forte calamita, delle correnti di induzione sulle quali reagiscono le correnti di Ampère, cioè quelle che questo fisico ammise nelle calamite (684). Di modo che allora, trovandosi di fronte i poli dello stesso nome, avvi ripulsione come nei solenoidi. All'incontro, nelle sostanze magnetiche, si producono delle correnti orientate, in modo che si trovano di fronte i poli non identici, ed allora avvi attrazione.

## CAPITOLO VIII

### CORRENTI TERMO-ELETTRICHE

**719. Esperienze di Seebeck.** - Finora non parliamo che di correnti elettriche sviluppate dalle azioni chimiche; tale infatti è la sorgente più energica di elettricità dinamica. Però anche il calore può dare origine a correnti assai deboli, è vero, ma rimarchevoli per il legame che stabiliscono fra il calorico e l'elettricità, e per l'applicazione che riceverono nell'apparato di Melloni. Queste correnti furono denominate *correnti termo-elettriche* per distinguerle dalle correnti dovute alle azioni chimiche, le quali si chiamano *correnti idro-elettriche*.

Sapevasi già che parecchi cristalli naturali, come la tormalina, il topazzo, acquistavano delle proprietà elettriche quando se ne elevava la temperatura, e Volta aveva annunciato che una lamina d'argento riscaldata inegualmente alle sue due estremità costituiva un elemento elettro motore; ma Seebeck, professore a Berlino, fu il primo a mostrare, nel 1821, come il movimento del calorico in un circuito metallico poteva dare origine a correnti elettriche.

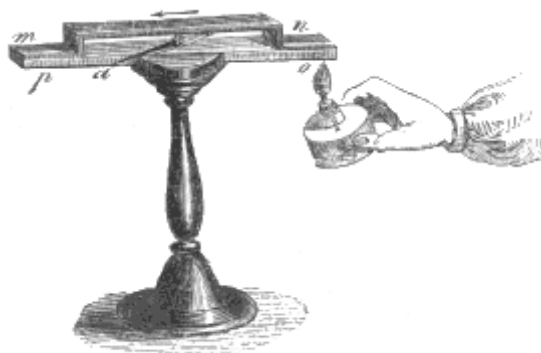


Fig. 552 (a. = 17).

Queste correnti si verificano per mezzo del piccolo apparecchio rappresentato dalla figura 552, il quale consiste in una lamina di rame *mn*, le cui estremità sono ripiegate e saldate ad una lamina di bismuto *op*.

Nell'interno del circuito così formato trovasi un ago magnetico *a*, mobile su di un perno. Ciò essendo, disposto l'apparato nella direzione del meridiano magnetico, si riscalda leggermente una delle saldature, come mostra la figura, ed allora si vede l'ago deviare, ciò che indica nel rame la produzione di una corrente da *n* verso *m*, cioè dalla saldatura calda verso la saldatura fredda. Se, invece di scaldare la saldatura *a*, la si raffredda con ghiaccio, conservando all'altra saldatura la sua temperatura, si produce ancora una corrente, ma in senso inverso, cioè da *m* verso *n*, ed in ambedue i casi la corrente è tanto più energica, quanto maggiore è la differenza di temperatura delle due saldature.

**720. Causa delle correnti termo-elettriche.** - Le correnti termo-elettriche non ponno essere attribuite al contatto, perchè possono svilupparsi anche nei circuiti formati con un sol metallo. Non provengono nemmeno da azioni chimiche, perchè Becquerel verificò che si producono anche nel vuoto e nell'idrogeno. Osservando queste correnti per mezzo di un galvanometro, il medesimo scienziato trovò che dipendono sempre dall'ineguale propagazione del calorico attraverso alle diverse parti del circuito.

Per dimostrarlo, si prende un arco formato di due metalli e si uniscono le sue estremità coi due capi del filo galvanometrico saldandole insieme o ponendole semplicemente a contatto. Fino a che tutti i punti del circuito così formato trovansi alla stessa temperatura, il galvanometro non indica alcuna corrente, ma se si riscalda una delle saldature, immediatamente la deviazione dell'ago del moltiplicatore segna il passaggio di una corrente.

Se tutte le parti del circuito sono omogenee, non si manifesta alcuna corrente quando si riscalda uno qualunque de' suoi punti, perchè allora il calorico si propaga egualmente in tutte le direzioni. Ciò accade, per esempio, se si congiungono i due capi del filo di rame che si avvolge attorno al galvanometro per mezzo di un secondo filo di rame. Ma se si distrugge l'omogeneità di quest'ultimo filo in uno de' suoi punti, ritorcendolo parecchie volte sopra sè stesso od annodandolo, ed indi lo si riscalda vicino a questo punto, l'ago colla sua deviazione indica una corrente diretta dal punto riscaldato al punto in cui venne distrutta l'omogeneità. Riscaldando il filo dal lato opposto di quest'ultimo punto, la corrente si produce in senso inverso.

**721. Facoltà termo-elettrica dei metalli.** - Chiamasi *facoltà termo-elettrica* di un metallo l'energia della corrente prodotta dalla propagazione del calore in questo metallo. Per una stessa differenza di temperatura fra due punti vicini, questa facoltà varia da un metallo all'altro, e per uno stesso metallo aumenta colla differenza di temperatura.

Formando dei circuiti con differenti metalli, una saldatura dei quali era portata a 20 gradi, mentre l'altra era mantenuta a zero, Becquerel giunse ad ordinare i metalli nella serie crescente delle loro facoltà termo-elettriche, cioè: bismuto, platino, argento, stagno, piombo, rame, oro, zinco, ferro ed antimonio; ciascuno dei quali è positivo con quelli che lo precedono, negativo con quelli che lo seguono.

**722. Teoria delle correnti termoelettriche.** - Onde spiegare la produzione delle correnti per mezzo del calore, Becquerel ammette che quando un circuito metallico è riscaldato in una delle sue parti, il

fluido naturale è decomposto in modo che al momento in cui le molecole si riscaldano, si impossessano dell'elettricità positiva e respingono la negativa. Indi, le molecole successive, riscaldandosi alla lor volta, si elettrizzano positivamente cedendo la loro elettricità negativa alle prime, e così di seguito a misura che il calorico si propaga nel circuito; di modo che si produce una corrente d'elettricità positiva dalla parte calda verso la parte fredda, ed una corrente di elettricità negativa nella direzione contraria.

Ciò posto, siccome in un circuito omogeneo il calorico si propaga ugualmente in tutte le direzioni, la parte riscaldata dà origine a due circuiti contrari e di uguale intensità, il cui effetto è nullo sull'ago

del galvanometro. Ma se il circuito cessa di essere omogeneo, la conducibilità calorifica non essendo più la stessa ed il circuito riscaldandosi maggiormente in un senso che nell'altro, si producono due correnti inverse di ineguale intensità; di modo che l'energia della corrente osservata è allora uguale alla differenza tra le intensità di queste due correnti. Dunque la corrente ottenuta è tanto più intensa quanto maggiore è la differenza fra le facoltà termo-elettriche dei due metalli. Quanto alla direzione di questa corrente risulta dalla teoria suesposta che il polo positivo corrisponde al metallo che ha maggior facoltà termoelettrica, ed il polo negativo all'altro.

**723. Proprietà delle correnti termoelettriche.** - Le correnti termo-elettriche si distinguono dalle correnti idro-elettriche perchè condotte come queste ultime dai metalli, non lo sono dai liquidi, od almeno lo sono in grado debolissimo. Però tal differenza non dipende dalla natura di queste correnti ma soltanto dalla loro tensione, la quale è molto più debole di quella delle correnti idro-elettriche. Infatti, Pouillet, per mezzo di un galvanometro differenziale, verificò che l'intensità della corrente termo-elettrica sviluppata da una coppia di bismuto ed antimonio le cui saldature siano mantenute ad una differenza di temperatura di 100 gradi, è centomila volte minore di quella di una corrente idro-elettrica di una pila a truogoli ordinaria di 12 coppie.

Le correnti termo-elettriche, non essendo condotte dai liquidi a motivo della loro debole intensità, non producono, in generale, alcun effetto chimico. Però, Botto, a Torino, riunendo 150 coppie termo-elettriche di platino e di ferro, giunse ad ottenere alcune tracce di decomposizione nei liquidi.

Le correnti termo-elettriche esercitano come le idro-elettriche un'azione direttrice sull'ago magnetizzato; ma siccome, stante la loro debole tensione, si indeboliscono rapidamente quando aumenta la lunghezza del circuito che attraversano, bisogna evitare di far loro percorrere lunghi fili

quando si fan passare nel circuito del galvanometro: perciò, in questo caso, si forma il circuito con un filo corto e grosso, mentre, nei galvanometri destinati alle correnti idro-elettriche il filo è sottile e lungo.

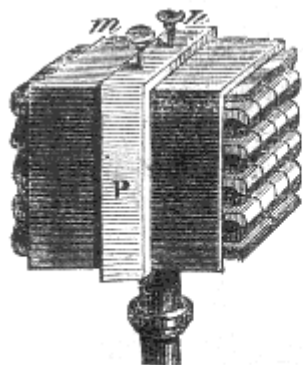


Fig. 553.

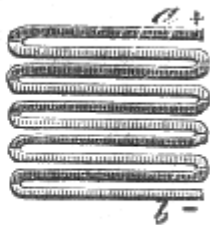


Fig. 554.

**724. Pila termo-elettrica di Nobili.** - Chiamansi *pila termo-elettrica* gli apparecchi destinati ad accumulare le tensioni termo-elettriche che si producono in un circuito composto di parecchi metalli, quando si scaldano le saldature una sì e l'altra no, mantenendo le altre ad una temperatura costante.

La prima pila di questo genere, costruita da Ersted e Fourier, si componeva di una serie di piccole spranghe di bismuto e di antimonio saldate le une in seguito alle altre in linea retta o in cerchio.

Le spranghe di bismuto erano alternativamente terminate da una parte a gomito che si immergeva nel ghiaccio a zero, mentre le altre saldature erano portate ad una temperatura di 200 a 300 gradi per mezzo di piccole lampade.

Nobili modificò la forma della pila termo-elettrica onde raccogliere un considerevole numero di coppie sotto piccolo volume. Per ciò riunì le coppie di bismuto e di antimonio in modo che dopo aver formata una fila di cinque coppie, come mostra la figura 554, l'asta di bismuto *b* si saldasse lateralmente all'antimonio di una seconda fila simile, indi l'ultimo bismuto di queste all'antimonio di una terza fila, e così di seguito per quattro file verticali, contenenti complessivamente 20 coppie, incomincianti con un antimonio e terminanti con un bismuto. Queste coppie così disposte, sono isolate le une dalle altre per mezzo di piccole liste di carta coperte di vernice, indi chiuse in un astuccio di rame *P* (fig. 553), in modo che appariscano le sole saldature alle due estremità della pila. Due aste di rame *m* ed *n*, isolate in un anello d'avorio, comunicano internamente l'una col primo antimonio, e rappresenta il polo positivo, l'altra coll'ultimo bismuto, e rappresenta il polo negativo. Allorchè si vuol osservare la corrente termo-elettrica si fanno comunicare queste aste colle estremità del filo di un galvanometro.

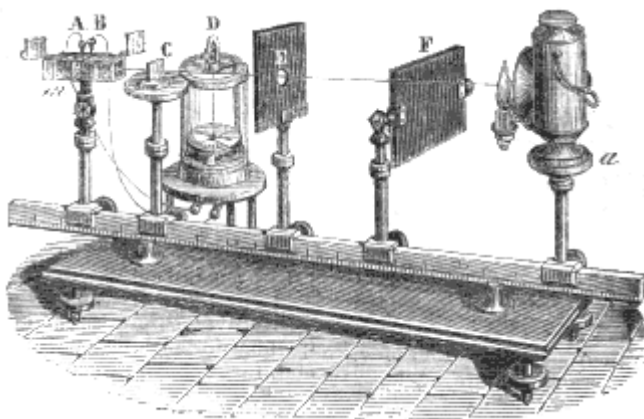


Fig. 555 a = 521.

**725. Termo-moltiplicatore di Melloni.** - La pila termo-elettrica di Nobili, costruita come mostra la figura 553, e combinata con un galvanometro, divenne per opera di Melloni l'apparecchio termo-elettrico il più sensibile che si conosca. Questo scienziato, che chiamò tale apparecchio col nome di *termo-moltiplicatore*, lo dispose come mostra la figura 555.

Sopra una tavola di legno sostenuta da quattro viti da livello è fissato un regolo di ottone della lunghezza di un metro, e diviso in centimetri. Su questo regolo si collocano, a distanze variabili per mezzo di viti di pressione, i diversi pezzi di cui è composto l'apparato, cioè: un sostegno a sul quale si dispone una lampada di Locatelli o qualunque altra sorgente di calore, indi dei diaframmi *F* ed *E*,

un secondo sostegno C dove si collocano i corpi sui quali si esperimenta, e finalmente la pila termoelettrica *m*. Vicino all'apparecchio trovasi un galvanometro D, munito di un filo grosso e corto, che comunica in A ed in B coi due poli della pila. La sensibilità di questo strumento è tale che il calore della mano, alla distanza di un metro, basta per isviluppare nella pila una corrente capace di far deviare l'ago del galvanometro. Abbiamo già fatto conoscere la graduazione di questo strumento (663), non che le importanti applicazioni che Melloni fece del suo termo-moltiplicatore allo studio del potere diatermano dei corpi (361 al 371) ed alla polarizzazione del calorico (542).

Per applicare il termo-moltiplicatore alla misura delle temperature, bisogna prima determinare la relazione che passa tra la deviazione dell'ago, e quindi l'intensità della corrente, e la differenza di temperatura delle saldature. Ciò fatto, quando sia conosciuta la temperatura delle saldature esposte alla sorgente di calore, la deviazione dell'ago dà quelle delle altre saldature, e, per conseguenza, la temperatura della sorgente.

## CAPITOLO IX

# INTENSITÀ CONDUTTIBILITÀ E VELOCITÀ DELLE CORRENTI; TRASPORTI, CORRENTI DERIVATE

**726. Reostato.** - Il *reostato* serve ad aumentare od a diminuire la lunghezza del circuito percorso da una corrente, in modo da farle produrre sul galvanometro una deviazione determinata. Questo apparato, dovuto a Wheatstone, si compone di due cilindri paralleli, l'uno A, di ottone, l'altro B, di legno (fig. 556). Quest'ultimo porta in tutta la sua lunghezza una scanalatura ad elice e termina alla estremità a con un anello di rame, al quale è fissata l'estremità di un filo di ottone. Questo filo, lungo 40 metri, si avvolge più o meno entro la scanalatura, passa sul cilindro A, e dopo un gran numero di giri intorno a questo cilindro, va a fissarsi alla estremità e del medesimo. Infine, due viti di pressione *n* ed *o*, le quali tengono fissi i conduttori della corrente che si vuol osservare, comunicano per mezzo di due lamine d'acciaio, l'una col cilindro di rame A, l'altra coll'anello *a*.

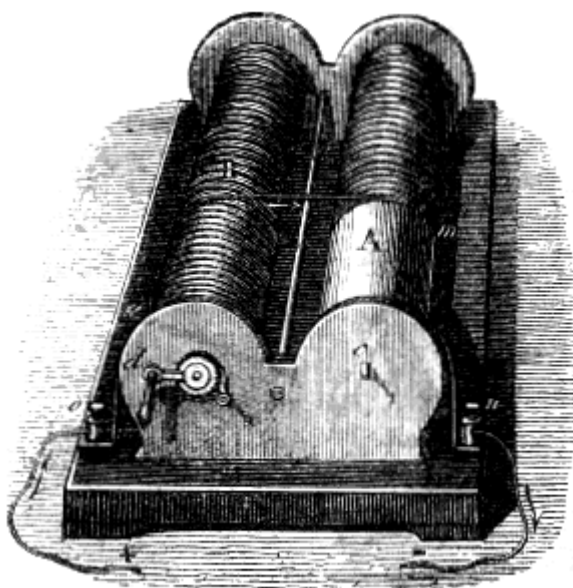


Fig. 556

Ciò posto, quando una corrente entra in *o*, attraversa soltanto la porzione di filo avvolta sul cilindro B, ove le spire sono isolate dalla scanalatura; indi, arrivata sul cilindro A, il quale è di metallo ed a contatto col filo, la corrente passa direttamente da *m* in *n*.

Quindi, se si vuol aumentare la lunghezza del circuito, basta girare la manovella *d* da destra a sinistra; se invece la si vuol diminuire si applica la manovella all'asse *c*, e girando da sinistra a destra, si avvolge il filo sul cilindro A. Adunque in tal modo si può aumentare o diminuire ad arbitrio l'intensità della corrente, perchè si vedrà quanto prima (728) che questa intensità è in ragione inversa della lunghezza del circuito. Questa lunghezza poi è indicata in metri ed in centimetri da due aghi mossi, sull'estremità dell'apparato non visibile nella figura, dai cilindri A e B, quando questi girano insieme.

**727. Bussola dei seni.** - La *bussola dei seni* è un galvanometro destinato a misurare le correnti intense, per mezzo del quale però non è necessario di ricorrere ad una tavola di graduazione (603). Quest'apparato, dovuto a Pouillet, differisce dal galvanometro già descritto, perchè il filo di rame nel quale passa la corrente non fa attorno all'ago magnetizzato che un piccolissimo numero di giri, e talora anche un solo. Al centro di un cerchio orizzontale N (fig. 557) trovasi un ago magnetizzato *m*; un secondo ago *n*, di rame inargentato e mobile col primo al quale è fissato, serve a far conoscere la posizione dell'ago *m* sul cerchio graduato N. Un cerchio M di rame è disposto perpendicolarmente al cerchio orizzontale. In questo cerchio M si avvolge il filo di rame nel quale passa la corrente. I due capi di questo filo, rappresentati in *i*, terminano ad un pezzo E, al quale terminano pure due fili di rame *a* e *b* comunicanti colla sorgente elettrica di cui si vuol misurare la corrente. Finalmente, i cerchi N ed M sono portati da un piede O, il quale può girare intorno ad un asse verticale che passa pel centro di un cerchio orizzontale fisso H.

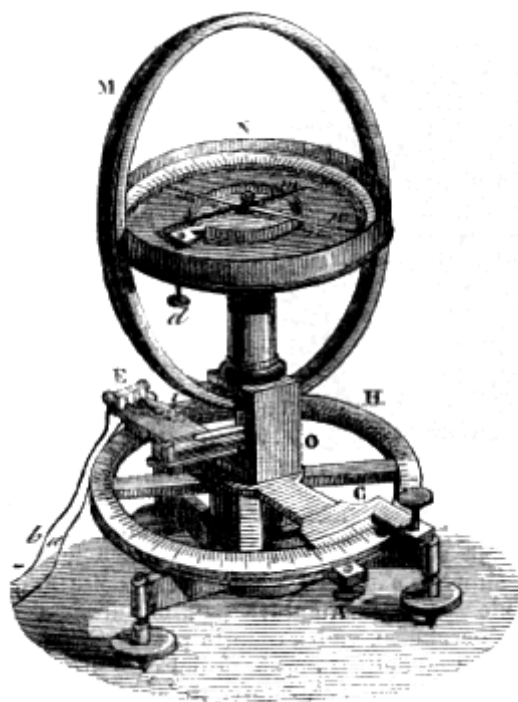


Fig. 557.

Ciò posto, diretto il circuito galvanometrico nel meridiano magnetico, e quindi nello stesso piano dell'ago, si fa passare la corrente nei fili  $ab$ . Quando gli aghi sono deviati, si fa ruotare il circuito  $M$  fino a che coincida col piano verticale passante per l'ago magnetizzato  $m$ . Siccome allora l'azione direttrice della corrente si esercita perpendicolarmente alla direzione dell'ago magnetizzato, il calcolo dimostra che l'intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione di quest'angolo che si misura sul cerchio  $H$ , per mezzo di un verniero portato dal pezzo  $C$ . Questo pezzo, fisso al piede  $O$ , serve a farlo girare per mezzo di un bottone  $A$  al quale è unito. Conosciuto l'angolo di deviazione, e per conseguenza il suo seno, se ne deduce l'intensità della corrente, giacché abbiamo ora veduto che questa intensità è proporzionale al seno.

Per dimostrare che l'intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione, suppongasi che  $mm'$  (fig. 558) sia la direzione del meridiano magnetico,  $d$  l'angolo di deviazione,  $I$  l'intensità della corrente e  $T$  la forza direttrice della terra. Se si rappresenta con  $ak$  la direzione e l'intensità di quest'ultima forza, si ponno ad essa sostituire le due componenti  $ah$  ed  $ac$  (29). Ora, siccome la prima non esercita alcuna azione direttrice sull'ago, la componente  $ac$  è la sola che faccia equilibrio alla forza  $I$ ; bisogna adunque che sia  $I = ac$ . Ma il triangolo rettangolo  $ack$  dà  $ac = ak \cos(cak)$ , ovvero  $ac = T \sin d$ , giacché l'angolo  $cak$  è il complemento dell'angolo  $d$ , ed  $ak$  è eguale a  $T$ ; adunque si ha  $I = T \sin d$ , come si voleva dimostrare.

Si è costruito anche una specie di reometro conosciuto sotto il nome di *bussola delle tangenti*, perchè l'intensità della corrente è proporzionale alla tangente dell'angolo di deviazione.

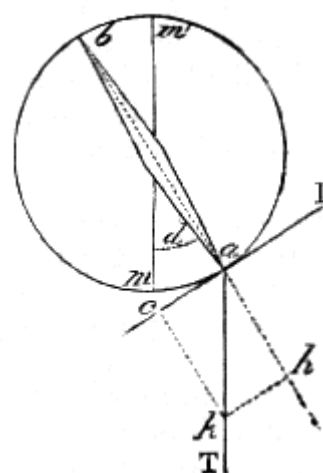


Fig. 558.

**728. Leggi di Ohm sull'intensità delle correnti.** - Chiamansi *correnti di eguale intensità* quelle che nelle stesse condizioni, producono la stessa deviazione sull'ago magnetizzato. Moltissimi fisici e particolarmente Ohm, Fechner, Lenz, Jacobi, Pouillet, Faraday, de La Rive e Magnus, cercarono di paragonare, rispetto alla loro intensità, le correnti elettriche che provenivano da diverse sorgenti. Queste ricerche, le quali furono istituite per mezzo del galvanometro, della bussola dei seni di quella delle tangenti e del reostato, condussero alle stesse leggi per le correnti termo-elettriche e per le correnti idro-elettriche. Solamente che per le prime non si tien conto dell'influenza conduttrice della pila, perchè essendo metallica e di piccole dimensioni, la sua resistenza è trascurabile; così



però non è per le correnti idro-elettriche. In questo caso, bisogna tener conto della resistenza della pila, il che Pouillet fece, aggiungendo alla lunghezza del filo interpolare la lunghezza del filo che colla sua resistenza produrrebbe sulla corrente la stessa diminuzione d'intensità che produce la pila colla sua debole conducibilità. Il circuito interamente metallico che allora si suppone percorso dalla corrente è quello che Pouillet denominò *corrente ridotta*.

Ciò posto, ecco le diverse leggi che presentano le correnti elettriche, qualunque sia la sorgente da cui hanno origine:

1.<sup>a</sup> *L'intensità di una corrente è direttamente proporzionale alla somma delle forze elettro-motrici che sono in attività nel circuito; intendendo qui per forza elettro-motrice la causa qualsiasi, che produce uno sviluppo di elettricità dinamica.*

2.<sup>a</sup> *L'intensità è la stessa in tutti i punti del circuito.*

3.<sup>a</sup> *Essa è in ragione inversa della lunghezza ridotta di tutte le parti del circuito.*

4.<sup>a</sup> *Essa è in ragione diretta della sezione e della conducibilità del filo che trasmette la corrente.*

Da queste ultime due leggi deriva che l'intensità rimane costante quando la sezione del filo varia proporzionalmente alla sua lunghezza.

Pouillet trovò che nei liquidi come nei solidi l'intensità della corrente è in ragione diretta della sezione della colonna liquida attraversata dalla corrente, ed in ragione inversa della sua lunghezza, purché quest'ultima sia eguale almeno a cinque o sei volte il diametro della sezione.

Le leggi che precedono sono conosciute sotto il nome di *leggi di Ohm* perchè questo dotto fu il primo a farle conoscere, or sono trent'anni. Furono trovate dietro considerazioni teoriche, ma Lenz e Jacobi, e più tardi Pouillet, le verificarono coll'esperienza.

Rappresentando con  $E$  la somma totale delle forze elettro-motrici in attività nella pila, con  $R$  la somma totale delle resistenze che incontra l'elettricità per propagarsi, e con  $I$  l'intensità della corrente, Ohm arrivò all'espressione  $I = E/R$ .

Questa formola, che comprende la prima e la terza delle leggi suesposte, è generale, tanto se il circuito che riunisce i due poli sia omogeneo o no.

Se si rappresenta con  $I$ , la lunghezza del filo metallico che riunisce i poli, con  $r$  la lunghezza del filo che può rimpiazzare la resistenza della pila o la lunghezza ridotta di questa, la formola diventa  $I = E/(L+r)$ .

Nelle pile termo-elettriche, in cui si può trascurare la resistenza della pila, tutti i pezzi di essa, essendo metallici e di pochissima lunghezza, la formola riducesi ad  $I = E/L$ ; vale a dire che l'intensità della corrente è semplicemente in ragione inversa della lunghezza del filo congiuntore.

Nel caso di  $n$  coppie eguali, associate in batteria, chiamando  $E$  la forza elettro-motrice di una sola coppia, ed  $r$  la sua resistenza, Ohm ammette che si ha  $I = nE/(L+nr)$ ; formola che può scriversi  $I = E/(L/n+r)$ .

Se il numero  $n$  di coppie è grandissimo, ed  $L$  piccolissimo, si può trascurare la frazione  $L/n$ , e la formola riducesi ad  $I = E/r$ ; vale a dire che l'intensità è allora la stessa che per una sola coppia.

**729. Conducibilità per le correnti idro-elettriche.** - La facoltà conduttrice dei corpi per le correnti idro-elettriche varia a seconda dell'energia delle correnti stesse e dei conduttori che esse hanno già attraversati. Infatti de La Rive riconobbe che le correnti attraversano tanto più facilmente le lamine metalliche ed i liquidi, quanto maggiore è il numero di quelli che han già attraversato; questa proprietà è analoga a quella che si osserva nelle facoltà diatermiche (367).

Per mezzo del voltmetro (653), Davy trovò che la conducibilità di uno stesso metallo è proporzionale alla sezione del filo ed in ragione inversa della sua lunghezza. Becquerel verificò l'esattezza di questa legge per mezzo di un galvanometro a due fili. Riguardo alla conducibilità dei diversi metalli, Becquerel trovò che a zero le loro facoltà conduttrici relative, ponno esser rappresentate dai numeri seguenti: argento ricotto, 100; rame ricotto, 91,5; oro ricotto, 64,9; zinco, 24; stagno, 14; ferro, 12,3; piombo, 8,9; platino, 7,9; mercurio, 1,739.

Pouillet, paragonando fra loro le facoltà conduttrici dei diversi liquidi, e prendendo per unità quella dell'acqua distillata, giunse ai risultati seguenti: acqua contenente 1/20000 d'acido azotico, 6; acqua satura di solfato di zinco, 167; acqua satura di solfato di rame, 400. La facoltà conduttrice dei liquidi è immensamente minore di quella dei metalli, giacché, secondo lo stesso scienziato, il rame conduce 16 milioni di volte più di una soluzione satura di solfato di rame, il che equivale a 6 miliardi e 400 milioni di volte più dell'acqua distillata.

Finalmente, si osservò che l'innalzamento di temperatura aumenta la facoltà conduttrice dei liquidi, mentre produce l'effetto contrario sui metalli.

La conducibilità dei liquidi composti fu considerata finora, dalla maggior parte dei fisici, soltanto come una conducibilità *elettrolitica*, dovuta cioè alla decomposizione chimica (652). Però, Faraday, facendo conoscere la sua legge generale delle decomposizioni elettrolitiche (733), aveva annunciato che si dovrebbero fare delle restrizioni pel caso in cui i liquidi fossero capaci di condurre l'elettricità senza subire decomposizione.

La conducibilità puramente elettrolitica è stata sostenuta principalmente da Buff; però Foucault dimostrò recentemente, per mezzo di delicate esperienze, che i liquidi possiedono anche una conducibilità propria, o conducibilità fisica, come i metalli; solo questa è molto più debole della conducibilità elettrolitica, ma può però avere una sensibile influenza sugli effetti chimici delle correnti e sulla legge di Faraday.

**730. Velocità dell'elettricità.** - Furono fatti numerosi tentativi onde determinare la velocità di propagazione dell'elettricità nei fili metallici. Wheatstone, nel 1834, fece uso di uno specchio girante simile a quello già descritto parlando della velocità della luce (fig. 241). Dal ritardo che subiva, in un dato tempo, l'immagine della scintilla prodotta da una bottiglia di Leyda, quando l'elettricità passava in un lungo filo, Wheatstone trovò che l'elettricità, in un filo di ottone del diametro di 2 millimetri, si propagava con una velocità di 460,000 chilometri per secondo, velocità che corrisponde ad una volta e mezzo quella della luce. Walker, in America, avendo nel 1840 istituite alcune ricerche allo stesso scopo, per mezzo di segnali trasmessi dai fili di telegrafi elettrici, trovò che la velocità della elettricità era di 30,000 chilometri per secondo, numero 15 volte più piccolo del precedente.

Nel 1850, Fizeau e Gonnelle, sperimentando sopra fili telegrafici da Parigi ad Amiens ed a Rouen, giunsero ai risultati seguenti:

1.° In un filo di ferro del diametro di 4 millimetri e mezzo l'elettricità si propaga con una velocità di 101,700 chilometri per secondo;

2.° In un filo di rame del diametro di 2 millimetri e mezzo, la velocità della elettricità è di 177,700 chilometri;

3.° Le due elettricità si propagano colla stessa velocità;

4.° Il numero e la natura degli elementi di cui la pila è formata, e quindi la tensione dell'elettricità e l'intensità della corrente, non hanno influenza sulla velocità di propagazione;

5.° Nei conduttori di natura diversa, le velocità non sono proporzionali alle conducibilità elettriche.

Nelle, esperienze istituite con fili di rame fra gli osservatori di Greenwich e di Edimburgo, si trovò che la velocità dell'elettricità era di 12,200 chilometri; e fra gli osservatori di Greenwich e di Bruxelles per mezzo di un filo sotto-marino si trovò soltanto 4,300 chilometri; ma in quest'ultimo caso il filo di rame coperto di gutta-percha era in gran parte immerso nel mare. Faraday fece conoscere che questa enorme differenza è dovuta all'azione per influenza che il filo esercita attraverso alla gutta-percha sul liquido nel quale è immerso (712). Adunque i numeri trovati da Fizeau e Gonnelle sono quelli che sembra rappresentino con maggior fedeltà la velocità dell'elettricità dei fili metallici.

## **TRASPORTI OPERATI DALLE CORRENTI; CORRENTI DERIVATE**

**731. Trasporti operati dalle correnti.** - Nelle decomposizioni chimiche operate dalla pila, non solo avvi separazione degli elementi, ma anche trasporto degli uni al polo positivo e degli altri al polo negativo. Questo fenomeno venne dimostrato da Davy mediante numerose esperienze: noi citeremo soltanto le due seguenti:

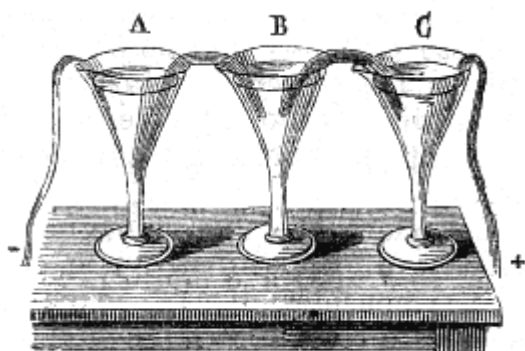


Fig. 559.

1.<sup>a</sup> Versata una soluzione di solfato di soda in due capsule comunicanti per mezzo di uno stoppino d'amianto umettato colla stessa soluzione, si immerge l'elettrodo positivo in una delle capsule ed il negativo nell'altra. Il sale allora vien decomposto, e dopo alcune ore tutto l'acido solforico si trova nella prima capsula e la soda nell'altra.

2.<sup>a</sup> Si fanno comunicare fra loro per mezzo di stoppini di amianto inumiditi, tre vasi di vetro A, B, C (fig. 559), contenenti il primo una soluzione di solfato di soda, il secondo della tintura di viole diluita, ed il terzo dell'acqua pura, indi si fa passare la corrente, per

es., da C verso A. Il solfato del vaso A viene allora decomposto, la soda rimane in questo vaso, che è negativo, mentre tutto l'acido è trasportato nel vaso C che è positivo. Se invece la corrente va da A verso C, la soda è trasportata in C, mentre tutto l'acido rimane nel vaso A; ma in ambedue i casi si osserva questo fenomeno, che la tintura di viole del vaso B, non è nè arrossata nè inverdita dal passaggio dell'acido o della base nella sua massa, fenomeno di cui ora vedremo la spiegazione.

### 732. Ipotesi di Grotthuss sulle decomposizioni elettro-chimiche.

Grotthuss intorno alle decomposizioni elettro-chimiche operate dalla pila, diede la seguente teoria: adottando l'ipotesi che in tutti i composti binari o che si comportano come tali, uno degli elementi è elettro-

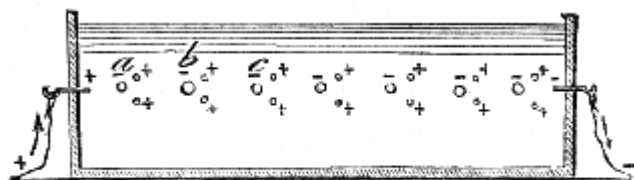


Fig. 560.

positivo e l'altro elettro-negativo (654), questo scienziato ammette che sotto l'influenza delle elettricità contrarie degli elettrodi della pila, si produca, nel liquido in cui sono immersi, una serie di decomposizioni e di ricomposizioni successive da un polo all'altro, di modo che i soli elementi delle molecole estreme, non ricomponendosi, restano liberi e si portano ai poli. L'acqua, per esempio, essendo composta di un atomo di ossigeno e di due atomi di idrogeno, ed il primo gas essendo elettro-negativo, ed il secondo elettropositivo, quando questo liquido è attraversato da una corrente abbastanza energica, la molecola *a*, a contatto col polo positivo, si orienta come mostra la figura 560, cioè l'ossigeno si trova attratto e l'idrogeno respinto. Siccome allora l'ossigeno di questa molecola si porta all'elettrodo positivo, l'idrogeno posto in libertà si unisce immediatamente all'ossigeno della molecola *b*, poi l'idrogeno di quest'ultima all'ossigeno della molecola *c*, e così di seguito fino al polo negativo, ove gli ultimi atomi di idrogeno sono posti in libertà e si portano al polo. La stessa teoria si applica agli ossidi metallici, agli acidi ed ai sali, e spiega come, nell'esperienza citata nel paragrafo precedente, la tintura di viole del vaso B non è nè arrossata ne inverdita.

**733. Leggi delle decomposizioni chimiche per mezzo della pila.** - Faraday, per primo, fece conoscere questa legge rimarchevole sulle decomposizioni operate dalla pila: *Quando una stessa corrente agisce successivamente sopra una serie di soluzioni, i pesi degli elementi separati sono nello stesso rapporto dei loro equivalenti chimici.*

Le esperienze che condussero a questa legge furono fatte per mezzo di voltametri (653) riuniti fra loro per mezzo di fili di platino ed attraversati dalla stessa corrente. In tal modo si trovò per le soluzioni saline di differenti metalli, che le quantità di metallo deposte sui fili negativi nei voltametri, erano rispettivamente proporzionali agli equivalenti di questi metalli.

**734. Correnti derivate, legge della derivazione.** - Si immagini la corrente di una pila, per es., di un elemento di Bunsen, la quale percorra un filo di rame *rqpnm* (fig. 561), e si consideri il caso in cui si congiungano due punti qualunque *n* e *q* di questo circuito per mezzo di un secondo filo *nxq*. Allora la corrente della pila, biforcandosi al punto *q*, si divide in due altre correnti, una che continua a propagarsi nella direzione *qpnm*, e l'altra che prende la direzione *qnxm*.

Ciò posto, i due punti  $q$  ed  $n$ , d'onde parte ed ove termina il secondo conduttore, riceveranno il nome di *punti di derivazione*, l'intervallo  $qpn$  che li separa, quello di *distanza di derivazione*, ed il filo  $qxn$  quello di *filo di derivazione*. La corrente che percorre il filo  $qxn$  chiamasi *corrente derivata*; la corrente che percorre il circuito  $rqpnm$ , prima della derivazione, è la *corrente primitiva*; quella che attraversa lo stesso conduttore dopo la derivazione è la *corrente parziale*; finalmente chiamasi *corrente principale* la totalità della nuova corrente che percorre tutto l'insieme del circuito dopo che venne aggiunto il filo di derivazione.



Pouillet, il quale fece numerose ricerche intorno alle correnti derivate, giunse a questa legge che *l'intensità della corrente derivata è direttamente proporzionale all'intensità della corrente primitiva ed all'intervallo di derivazione, ma è in ragione inversa della sezione del filo in questo intervallo e della sua conducibilità*.

## CAPITOLO X

# ELETTRICITÀ ANIMALE, APPLICAZIONE DELL'ELETTRICITÀ ALLA TERAPEUTICA

**735. Corrente propria degli animali.** - Abbiamo già veduto come l'elettricità animale sia stata un soggetto di viva discussione tra i fisiologi (621 e 622). Dopo Galvani, rifecero numerose ricerche su questo argomento, specialmente da Aldini, Humboldt, Lehot, Nobili, Marianini e Matteucci.

Nobili, per primo, per mezzo del galvanometro, osservò nelle rane preparate come quella di Galvani (fig. 449) una corrente che egli chiamò *corrente propria* della rana.

Per ciò egli immergeva i membri crurali della rana in una capsula piena d'acqua salata, indi i nervi lombari in una seconda capsula piena essa pure della stessa soluzione, e chiudeva il circuito immergendo in ciascuna delle capsule uno dei capi del filo di un galvanometro assai sensibile. In tal modo otteneva una deviazione di 10 a 30 gradi che indicava una corrente diretta dai piedi alla testa dell'animale.

Matteucci ottenne effetti analoghi formando delle pile di cosce di rane. Per ciò pigliava la metà delle cosce delle rane più vicine alla gamba, e spogliatele della pelle, lasciando intatto il loro nervo lombare, le disponeva l'una in seguito all'altra, in modo che il nervo di ciascuna si appoggiasse ai muscoli della seguente. Chiudendo in seguito il circuito col filo di un galvanometro, Matteucci ottenne con otto metà di coscia una deviazione di 1-2 gradi.

Lo stesso fisico formò anche alcune pile di cosce di rana togliendo loro il nervo lombare, e facendo comunicare l'interno del muscolo di ciascuna coscia colla superficie esterna della coscia seguente. Nei muscoli di questi animali vivi od uccisi recentemente, osservò sempre, quando il circuito è chiuso, una corrente diretta dall'interno del muscolo alla sua superficie. Matteucci indica questa corrente col nome di *corrente muscolare* e la distingue dalla *corrente propria* della rana. In questo animale egli trovò sempre contemporaneamente le due correnti, mentre negli altri animali non trovò che la corrente muscolare.

Du Bois-Reymond fece conoscere recentemente alcune nuove ricerche sulle correnti muscolari nell'uomo. Per queste esperienze, attesa la grande resistenza del corpo umano, si dovette far uso di un galvanometro a ventiquattromila giri. Du Bois-Reymond verificò che facendo comunicare i due capi del filo galvanometrico con due punti simmetrici del corpo, per es., colle due mani o coi due piedi, il galvanometro fornisce dapprima alcune indicazioni assai irregolari; però ben presto si produce una corrente, la cui direzione rimane costante quando si ripeta l'esperienza parecchie volte, anche ad intervalli di tempo lontani. Questa corrente non ha la stessa intensità in tutti gli individui, e può anche cangiare direzione in uno stesso soggetto, solo però ad epoche lontane, giacchè talvolta conserva una direzione costante per parecchi mesi.

**736. Pesci elettrici.** - Chiamansi *pesci elettrici* quei pesci i quali hanno la singolare proprietà di produrre, quando siano irritati, in quelli che li toccano, alcune scosse paragonabili a quelle della bottiglia di Leyda. Sonvi parecchie specie di pesci elettrici, tra i quali i più conosciuti sono la torpedine, il gimnoto ed il siluro. La torpedine, assai comune nel Mediterraneo, è stata studiata con molta cura da Becquerel e Breschet, in Francia, e da Matteucci, in Italia. Il gimnoto fu studiato da Humboldt e da Bompland, nell'America del Sud, e da Faraday, in Inghilterra, il quale se ne procurò di vive.

La scossa che danno i pesci elettrici serve loro di arme offensiva e difensiva; essa dipende dalla loro volontà, ma indebolisce gradatamente a misura che si rinnova e che questi animali perdono della loro vitalità, perchè l'azione elettrica produce prontamente in essi uno spossamento considerevole.

Questa scossa è molto violenta. Secondo Faraday la scossa data dal gimnoto equivale a quella di una batteria elettrica di 15 bottiglie, la superficie totale delle cui armature fosse di due metri quadrati ed un quarto, il che spiega come qualche volta i cavalli soccombano sotto le scariche reiterate dei gimnoti.

Parecchie esperienze provano che queste scosse sono prodotte dall'elettricità ordinaria. Infatti, se toccando con una mano il dorso dell'animale, si pone l'altra mano od un'asta metallica a contatto col ventre, si risente una violenta scossa nelle mani e nelle braccia, mentre non si risente scossa alcuna toccandole con un corpo isolante. Inoltre, quando si fanno comunicare i due capi del filo del galvanometro l'uno col dorso, l'altro col ventre dell'animale, a ciascuna scarica l'ago è deviato, e ritorna immediatamente allo zero, il che indica una corrente istantanea; inoltre, il verso della deviazione mostra che la corrente va dal dorso al ventre del pesce. Infine, se si fa passare la corrente di una torpedine in un'elice nel centro della quale siavi una piccola verga di acciaio, questa vien magnetizzata pel passaggio della scarica.

Per mezzo del galvanometro, Matteucci verificò i fatti seguenti:

1.° Quando una torpedine è vivace può dare la scossa con un punto qualunque del suo corpo; ma a misura che la vitalità dell'animale si esaurisce, i punti coi quali può dare la scossa si avvicinano sempre più all'organo che serve di sede allo sviluppo dell'elettricità.

2.° Un punto qualunque del dorso è sempre positivo relativamente al punto corrispondente del ventre.

3.° Di due punti del dorso inegualmente lontani dall'organo elettrico, il più vicino fa sempre l'ufficio di polo positivo, ed il più lontano quello di polo negativo. Il contrario avviene nei punti del ventre.

L'organo in cui si produce l'elettricità nella torpedine è doppio e formato di due parti simmetriche situate ai lati del capo, ed attaccate alle ossa del cranio colla loro faccia interna. Queste due parti si riuniscono fra loro al davanti delle ossa del naso, ma sono separate dalla pelle per mezzo di una forte aponeurosi. Secondo Matteucci ciascuno di questi organi è formato da un numero considerevole di piccole masse prismatiche situate le une accanto alle altre e che vanno dalla faccia esterna all'interna, in modo che la loro sezione perpendicolare agli spigoli del prisma offre l'aspetto delle cellule di un raggio di alveare. Questi prismi, perpendicolarmente ai loro spigoli, sono divisi da una serie di diaframmi i quali formano una serie di piccole vescichette identiche fra loro, e piene di 9 parti d'acqua, di una parte di albumina e di una piccola quantità di sal marino.

Matteucci, basandosi sull'esperienza seguente, riguarda ciascuna di queste vescichette come l'organo elementare dell'apparato elettrico. Egli toglie dall'apparato di una torpedine viva una massa di queste vescichette della grossezza della capocchia di un grosso spillo e la pone a contatto col nervo di una rana morta, preparata nella maniera di Galvani. Allora osserva che quando si eccita questa massa vescicolare stuzzicandola con un corpo acuto, nella rana si manifestano delle contrazioni.

Matteucci cercò anche l'influenza che il cervello può esercitare sulla scarica. Per ciò pose a nudo il cervello di una torpedine viva, ed osservò che i tre primi lobi possono essere irritati senza che si produca la scarica, e che, qualora essi siano stati levati, l'animale possiede ancora la facoltà di dare la scossa. Il quarto lobo, all'incontro, non può essere irritato senza che tosto si produca la scarica, e se viene levato, sparisce tutto lo svolgimento di elettricità, sebbene gli altri lobi rimangano intatti. Bisogna adunque ammettere che la sorgente prima dell'elettricità elaborata dalla torpedine sia il quarto lobo, dal quale essa verrebbe trasmessa per mezzo dei nervi ai due organi suddescritti, i quali farebbero l'ufficio di moltiplicatori. Nel siluro pare sia nel cervello il punto di partenza dell'elettricità; ma nel gimnoto, si trova collocato nella coda.

Argomentando dalla considerevole quantità di elettricità sviluppata nell'economia di certi pesci, alcuni fisici indagarono se una simile elaborazione di elettricità avvenisse anche negli altri animali; non più in quantità sufficiente per dare delle scosse paragonabili a quelle della bottiglia di Leyda, ma bastante per produrre delle azioni lente ed aiutare le funzioni essenziali della vita, come le secrezioni, la digestione, ecc.

**737. Applicazione dell'elettricità alla terapeutica.** - Le prime applicazioni dell'elettricità alla medicina ascendono alla scoperta della bottiglia di Leyda. Sembra che Nollet e Boze siano stati i primi fisici i quali abbian pensato all'applicazione dell'elettricità, e ben presto la puntura e le frizioni elettriche divennero una panacea universale; ma bisogna convenire che le prime esperienze non corrisposero alle speranze degli sperimentatori.

Subito dopo la scoperta dell'elettricità dinamica, Galvani ne propose l'applicazione alla medicina; in seguito moltissimi fisici e fisiologici si occuparono di questo argomento e non pertanto regna ancora oggidì una grande incertezza sugli effetti reali dell'elettricità sui casi in cui si debba applicarli e finalmente sul miglior modo di applicazione. Tuttavia i pratici concordano nel preferire l'uso delle correnti a quello dell'elettricità statica, ed eccetto un piccolo numero di casi, le correnti interrotte alle correnti continue. Finalmente, avvi ancora una scelta da fare fra le correnti della pila e le correnti di induzione: inoltre gli effetti di queste ultime sono differenti a norma che si usano delle correnti di induzione di primo ordine o di secondo ordine (703).

Infatti le correnti di induzione, quantunque assai intense avendo un'azione chimica molto debole, quando attraversano gli organi non vi producono gli effetti chimici delle correnti della pila, e quindi non tendono a produrvi la stessa disorganizzazione. Inoltre, per l'elettizzazione dei muscoli della faccia, si devono preferire le correnti di induzione, poichè il dottor Duchenne, di Boulogne, il quale fece numerose ricerche sulle applicazioni mediche della elettricità, constatò che queste correnti non agiscono che debolmente sulla retina, mentre le correnti della pila agiscono assai vivamente su di essa, e ponno esserle di grave nocimento, come lo provarono alcuni tristi accidenti. Quanto alle correnti indotte dei diversi ordini, secondo il dottor Duchenne, mentre la corrente indotta di primo ordine determina vive contrazioni muscolari ed ha poco effetto sulla sensibilità cutanea, la corrente indotta di secondo ordine, al contrario, esalta la sensibilità cutanea a tal punto, che si deve proscrivere l'uso nelle persone fornite di palle assai irritabile.

Da quanto precede bisogna concludere che non si debbono applicare le correnti alla terapeutica se non con profonda cognizione delle loro diverse proprietà. Inoltre, bisogna usarne con molta prudenza, perchè la loro azione troppo prolungata può produrre gravi accidenti. Matteucci, nelle sue *Lezioni sui fenomeni fisici dei corpi viventi*, così si esprime: "Bisogna sempre incominciare dall'usare una corrente assai debole. Questa precauzione mi sembra ora più importante di quello che avrei creduto prima che vedessi un paralitico preso da convulsioni veramente tetaniche sotto l'azione della corrente fornita da un solo elemento. Abbiasi cura di non prolungarne troppo il passaggio, principalmente se la corrente è energica. Si applichi la corrente interrotta piuttosto che la continua; ma, dopo venti o trenta scosse al più, si lascino all'ammalato alcuni istanti di riposo".

Si immaginarono parecchi apparati onde applicare alla terapeutica le correnti interrotte, ottenute tanto dall'induzione delle correnti, che dall'induzione delle calamite o dalla pila stessa. Sembra che il primo apparato di tal genere sia stato costruito a Parigi dal dottor Rognetta, italiano. In seguito, Masson, Dujardin, Gloesner, Breton, Duchenne, Ruhmkorff, ecc., fecero conoscere diversi apparati di simil genere. Noi ne descriveremo tre: due dovuti al dottor Duchenne, uno dei quali dà la corrente indotta di primo ordine, e l'altro quella di primo o di secondo ordine ad arbitrio; il terzo apparato, inventato da Pulvermacher, dà la corrente ordinaria della pila, ma interrotta e con grande tensione.

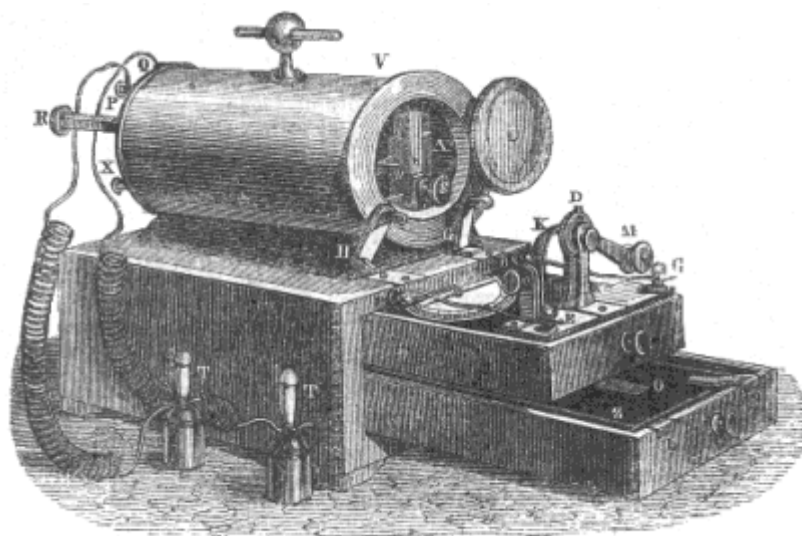


Fig. 562 (a. = 35).

**738. Apparato elettro-voltiano del dottor Duchenne.** - Questo apparato si compone di un rocchetto a due fili, analogo a quello già descritto parlando delle correnti di induzione (fig. 698), e rinchiuso in astuccio di ottone V (fig. 562). Questo rocchetto è fisso su di una scatola di legno nella quale sonvi due cassetti. Il primo contiene una bussola, la quale fa l'ufficio di galvanometro, e serve a misurare l'intensità della corrente induttrice per mezzo della deviazione che questa imprime all'ago. Il secondo contiene una pila a carbone disposta in modo da presentare il minor volume possibile. L'elemento zinco Z ha esso pure la forma di un piccolo cassetto nel quale avvi una soluzione di sal marino ed una piastra rettangolare di coke simile a quello che si adopera nella pila di Bunsen. Al centro del carbone è praticata una piccola cavità O, nella quale si versa una piccola quantità di acido azotico che viene assorbito. Due piccole lamine di rame L ed N comunicano la prima collo zinco e rappresenta il polo negativo, la seconda col carbone e rappresenta il polo positivo. Quando i cassetti sono chiusi, i poli L ed N trovansi in contatto colle estremità inferiori dei bottoni di rame F, C; da questi ultimi partono due fili EF e CB, i quali conducono la corrente ai pezzi H e G, il primo dei quali è mobile. Quando esso è abbassato, la corrente passa; ma se è sollevato, come lo mostra la figura, la corrente è interrotta.

Siccome la corrente indotta si produce solo al momento in cui la corrente induttrice incomincia o finisce, bisogna che quest'ultima subisca delle intermittenze continue. Nell'apparato dei dottor Duchenne, queste intermittenze ponno essere rapide o lente ad arbitrio. Per ottenere delle intermittenze rapide si fa passare la corrente in un pezzo A di ferro dolce, il quale oscilla assai velocemente sotto l'influenza di un fascio di fili di ferro dolce che è collocato nell'asse del rocchetto e si magnetizza temporariamente quando passa la corrente. Questo pezzo A, col suo moto oscillatorio, interrompe o ristabilisce la corrente induttrice, e dà quindi origine alla corrente indotta.

Per ottenere le intermittenze lente, si fissa il pezzo oscillante per mezzo di una piccola asta *a*, indi, invece di far passare la corrente nel pezzo A, la si fa passare in una lamina elastica K e nei denti di una ruota di legno D i quali sono di metallo e comunicano col piede I e col bottone C. Girando la manovella M, ogni qualvolta la lamina K cessa di toccare un dente, la corrente resta interrotta; e siccome la ruota D ha quattro denti, si ottengono quattro intermittenze per ogni giro, il che permette, facendo girare più o meno velocemente, di variare ad arbitrio in un tempo dato il numero delle intermittenze, e quindi delle scosse.

Per trasmettere le scosse si fanno arrivare i capi dei fili indotti a due bottoni P e Q, ai quali si fissano due lunghi fili di rame coperti di seta e terminati da due eccitatori a manici di vetro T, T. Questi eccitatori si applicano agli organi in modo da far passare la corrente in quella parte del corpo che si vuole.

Finalmente, l'apparato è munito di un *graduatore* destinato a far variare l'intensità della corrente. Questo graduatore consiste in un cilindro di rame che avvolge il rocchetto, e che si può far scorrere più o meno su di esso, come un cassetto, per mezzo di un'asta graduata R. La massima intensità ha luogo quando il graduatore è disposto in modo da scoprire tutto il rocchetto, e la minima quando lo ricopre. Questa influenza del cilindro avvolgente, osservata da Dore e da Duchenne, deriva da correnti di induzione che si producono nella massa.

**739. Apparato elettro-magnetico del dottor Duchenne.** - Duchenne, nella sua pratica, adopera anche un secondo apparato nel quale, per isviluppare la corrente, non fa uso della pila, ma bensì dell'azione induttrice di una forte calamita, come nell'apparato di Clarke (704). La calamita KK (fig. 563) ha due rami congiunti alle loro estremità posteriori per mezzo di un'armatura di ferro dolce; davanti alle loro estremità anteriori avvi un'armatura C che può girare su di un asse orizzontale, al quale è trasmesso il movimento per mezzo di un rocchetto O, di una grande ruota A, di una catena di Vaucanson e di una manovella M.

Sui due rami della calamita si avvolge un filo di rame coperto di seta e destinato a ricevere l'induzione della calamita; indi sul primo filo, un secondo EE destinato a ricevere la corrente indotta di secondo ordine.

Ciò posto, quando si imprime al pezzo C un movimento di rotazione più o meno rapido, questo pezzo, magnetizzandosi davanti ai poli della calamita KK, esercita sulla distribuzione del loro magnetismo una reazione, la quale produce nel primo filo una corrente di induzione di primo ordine, mentre questo sviluppa in pari tempo, nel filo

EE, una corrente indotta di secondo ordine. Queste correnti possono essere raccolte separatamente per mezzo di un sistema di due pezzi P o Q, dei quali per ciascun sistema, uno solo è visibile nella figura. In seguito la corrente, per mezzo di fili di rame avvolti ad elice, si porta sopra due eccitatori Y, Y, che si tengono in mano per mezzo di due manici di vetro e si applicano ad arbitrio sulle parti ammalate onde farvi passare la corrente. Le intermittenze necessarie alla produzione della corrente indotta si ottengono per mezzo di un commutatore B, analogo a quello dell'apparato di Clarke, e di una serie di pezzi S, I, D, F, che noi ometteremo di descrivere.

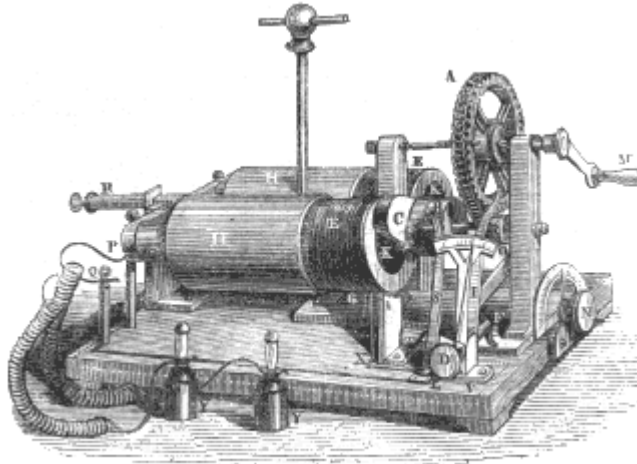


Fig. 563 (a) = 35.

Finalmente, si regola l'intensità delle scosse per mezzo di un bottone a vite N, che serve ad avvicinare il pezzo C alla calamita o ad allontanarlo. Il regolatore principale però si compone di due cilindri di rame HH che avvolgono i rocchetti e possono scoprirne una porzione più o meno grande, secondo la deviazione che si imprime ad un'asta R alla quale sono fissi. Le scosse raggiungono la loro minima intensità quando i cilindri ricoprono interamente i rocchetti, e la massima quando questi sono interamente scoperti, fenomeni che hanno origine dalle correnti di induzione che si sviluppano nella massa dei cilindri.

Non potendo qui descrivere gli effetti terapeutici di questi apparati, ci limiteremo a dire che la loro efficacia venne constatata principalmente nella paralisi, e più particolarmente nelle paralisi saturnine; per maggiori particolari rimettiamo il lettore all'opera pubblicata dal dottor Duchenne sotto il titolo *De l'électrisation localisée et de son application à la physiologie, à la pathologie et à la thérapeutique*.

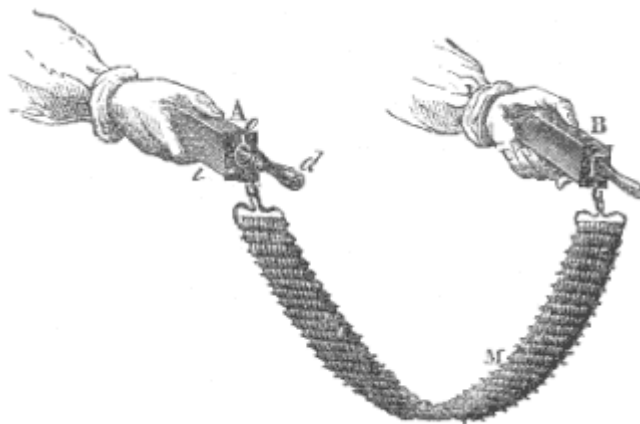


Fig. 564.

**740. Catena galvanica di Pulvermacher.** - Pulvermacher immaginò recentemente una nuova pila rimarchevole per la sua grande tensione e per la facilità con cui la si fa agire. Questa pila, la quale ha molta analogia colla pila a colonna (624), è rappresentata dalla figura 564 al momento in cui si riceve la scossa. La figura 565 ne rappresenta le parti.

Essa è composta di una serie di piccoli cilindri di legno M ed N, sui quali si avvolgono l'uno accanto all'altro senza toccarsi un filo di zinco ed un filo di rame. A ciascuno de' suoi capi il filo di zinco *ab* del cilindro M si congiunge al filo di rame del cilindro N per mezzo di due piccoli anelli di rame fissi nel legno; poi lo zinco del cilindro N si congiunge nello stesso modo al rame del terzo cilindro, e così di seguito in modo che costantemente lo zinco di ciascun cilindro forma col rame del cilindro successivo una coppia affatto paragonabile a quella della pila a colonna. L'insieme forma così una specie di catena che si tiene per le due estremità e si immerge in un vaso di vetro contenente dell'aceto più o meno diluito con acqua. I piccoli cilindri di legno, che sono porosi, imbibendosi allora di liquido, fanno l'ufficio delle rotelle acidulate della pila a colonna, e l'azione chimica che si produce fra lo zinco e l'acido acetico dà origine ad una corrente tanto più intensa quanto maggiore è il numero delle coppie. Con una catena di 120 coppie si ricevono scosse fortissime.



Per interrompere la corrente, il che è necessario per le scosse, Pulvermacher fa uso di due armature A e B (fig. 564) alle quali sono fissati i due poli della pila M. L'armatura B non serve che a meglio stabilire il contatto colla mano, ma l'armatura A, che fa lo stesso ufficio, serve anche all'interruzione della corrente. Per ciò essa contiene un piccolo movimento di orologeria il quale fa oscillare un pezzo, in modo che il polo della pila ora comunica internamente colla parete *i* dell'armatura ed ora non comunica. La rapidità delle oscillazioni, e quindi il numero delle scosse, può essere variato entro certi limiti, per mezzo di un piccolo regolatore o che si fa muovere a mano. Infine il movimento di orologeria si carica facendo girare la chiave *d* che serve di impugnatura all'armatura.

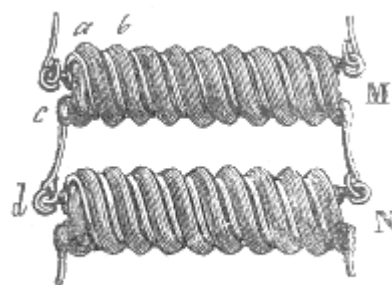


Fig. 563.

# ELEMENTI DI METEOROLOGIA E DI CLIMATOLOGIA

## METEOROLOGIA

**741. Oggetto della meteorologia.** - Si chiamano *meteore* i fenomeni che si producono nell'atmosfera, e *meteorologia* la parte della fisica che ha per oggetto lo studio delle meteore.

Le meteore si distinguono: in *aeree*, che sono i venti, gli oragani e le trombe; in *acquee*, che comprendono le nebbie, la pioggia, la rugiada, la brina, il sereno, la neve, la grandine; ed in meteore *luminose*, quali il fulmine, l'arcobaleno, le aurore boreali.

### *Meteore aeree.*

**742. Direzione e velocità dei venti.** - I *venti* sono correnti che si manifestano nell'atmosfera in direzioni e con velocità assai variabili.

Quantunque essi spirino in tutte le direzioni, se ne distinguono otto principali che sono: il *nord*, il *nord-est*, l'*est*, il *sud-est*, il *sud*, il *sud-ovest*, l'*ovest* e il *nord-ovest*. I marinai distinguono inoltre gli intervalli fra queste otto direzioni in quattro altre, il che forma in tutto 32 direzioni, che si indicano rispettivamente col nome di *rombi*. La traccia di questi 32 rombi sopra un cerchio, in forma di stella, è conosciuta sotto il nome di *rosa dei venti*.

La direzione dei venti si determina per mezzo di banderuole, e la loro velocità viene misurata dall'*anemometro*. Chiamasi così un piccolo mulino ad ali che il vento fa girare; dal numero dei giri fatti in un tempo dato si deduce la velocità. Nei nostri climi la velocità media è di 5 a 6 metri per secondo. Con una velocità di 2 metri il vento è moderato; con 10 metri è fresco; con 20 metri è forte; con 25 a 30 metri è burrasca e con 40 metri è uragano.

**743. Cause dei venti.** - I venti hanno per causa uno squilibrio avvenuto in qualche parte dell'atmosfera, squilibrio che risulta sempre da una differenza di temperatura fra i paesi vicini. Per es., se la temperatura del suolo aumenta sopra una certa estensione, l'aria in contatto con esso si riscalda, si dilata ed ascende verso le alte regioni dell'atmosfera, ove si diffonde producendo dei venti che spirano dalle regioni calde verso le fredde. Inoltre, trovandosi in pari tempo tolto l'equilibrio al livello del suolo per l'eccesso di peso che si produce lateralmente sugli strati superiori dell'atmosfera, a motivo dell'aria che vi si è riversata, ne risultano negli strati inferiori delle correnti in senso contrario delle prime.

**744. Venti regolari, venti periodici e venti variabili.** - Dalla direzione più o meno costante secondo la quale soffiano i venti, si ponno dividere in tre grandi classi: venti regolari, venti periodici e venti irregolari.

1.° Chiamansi *venti regolari* quei venti che soffiano tutto l'anno in una direzione sensibilmente costante. Questi venti, conosciuti anche sotto il nome di *venti alizei*, si osservano continuamente lungi dalle coste, nelle regioni equatoriali, ove spirano dal nord-est al sud-ovest nell'emisfero boreale e da sud-est a nord-ovest nell'emisfero australe. Regnano ai due lati dell'equatore fino alla latitudine di 30 gradi, e la loro direzione è nello stesso verso del movimento apparente del sole, cioè dall'est all'ovest.

Siccome i venti alizei hanno necessariamente per causa, come gli altri venti, alcune variazioni di temperatura nell'atmosfera, si spiegano col riscaldamento che si produce dall'oriente verso l'occidente per la rotazione della terra. Siccome per effetto di questo riscaldamento l'aria delle regioni equatoriali si eleva costantemente nell'atmosfera, è sostituita dall'aria più densa diretta nell'uno e nell'altro emisfero dal polo verso l'equatore; ma queste correnti, combinandosi col moto

di rotazione, acquistano, relativamente all'equatore, la direzione inclinata e costante che costituisce i venti alizei.

2.° I *venti periodici* sono venti che spirano regolarmente nella stessa direzione, alle stesse stagioni ed alle stesse ore della giornata; tali sono: il monzone, il samoun e la brezza. Chiamasi *monzone* quel vento che soffia per sei mesi in una direzione e per sei mesi in un'altra, lo si osserva principalmente nel golfo d'Arabia, nel golfo del Bengal e nel mare della China. Questi venti sono diretti verso i continenti nell'estate ed in senso contrario nell'inverno.

Il *samoun* è un vento ardente che soffia dai deserti dell'Asia e dell'Africa, ed è caratterizzato dall'alta sua temperatura e dalle sabbie che innalza nell'atmosfera e seco trasporta. Quando soffia questo vento, l'aria si oscura, la pelle si dissecca, la respirazione si accelera e la sete diviene ardente.

Questo vento è conosciuto sotto il nome di *sirocco* in Italia e ad Algeri, ove spira dal grande deserto di Sahara. Porta il nome di *chamsin* in Egitto, ove si fa sentire dalla fine di aprile fino in giugno. Onde preservarsi dagli effetti di una traspirazione interna troppo rapida occasionata da questo vento, gli indigeni dell'Africa si spalmano il corpo di materie grasse.

La *brezza* è un vento che spira sulle coste, dal mare verso la terra durante il giorno, e dalla terra verso il mare durante la notte, cioè dalla regione più fredda verso la più calda. Infatti, siccome il suolo durante il giorno si riscalda più del mare, l'aria dilatata sul continente più che sul mare si innalza ed è sostituita da una corrente d'aria più densa che giunge dal mare verso la terra. La brezza di mare incomincia dopo il levare del sole, aumenta fino a tre ore dopo mezzogiorno, diminuisce sin verso sera, e si cangia in brezza di terra dopo il tramonto del sole.

Le brezze di mare e di terra si fanno sentire soltanto a piccole distanze dalle coste. Le brezze sono regolari tra i tropici, meno regolari nei nostri climi, e se ne osservano le tracce fino sulle coste della Groenlandia. Anche la vicinanza delle montagne dà origine a brezze periodiche diurne.

3.° I *venti variabili* sono venti che spirano ora in una direzione ora in un'altra senza che si possa constatare alcuna legge a cui siano soggetti. Nelle latitudini medie, la direzione dei venti è variabilissima; avanzando verso i poli questa irregolarità aumenta, e, sotto la zona glaciale, i venti spirano talvolta da parecchi punti dell'orizzonte: al contrario, avvicinandosi alla zona torrida, divengono sempre più regolari.

Nel nord della Francia, in Inghilterra ed in Germania domina il vento di sud-ovest; nel mezzodì della Francia la direzione dei venti inclina piuttosto verso il nord; in Ispagna ed in Italia predomina il vento del nord.

**745. Trombe.** - Le trombe sono ammassi di vapore sospesi negli strati inferiori dell'atmosfera, che attraversano animati, il più delle volte, da un moto rotatorio abbastanza rapido per isradicare alberi, rovesciare case, spezzare e distruggere tutto ciò che incontrano.

Queste meteore, che generalmente sono accompagnate da grandine e da pioggia, slanciano sovente lampi e fulmini, facendo udire su tutta la zona che percorrono un rumore simile a quello di un carro trascinato sopra un terreno ronchioso. Molte trombe non posseggono moto rotatorio, ed un quarto circa di quelle che si osservano hanno origine in un'atmosfera calma.

Le trombe si manifestano tanto sui continenti che sui mari, ed allora il fenomeno presenta un aspetto rimarchevole. Le acque si agitano e si innalzano in forma di cono, mentre le nubi si abbassano esse pure sotto la forma di cono rovesciato; i due coni si congiungono coi loro vertici e formano così una colonna continua dal mare alle nubi (fig. 566). Però, anche in alto mare, l'acqua delle trombe non è mai salata, d'onde si deduce che esse, sono principalmente formate dai vapori condensati e non dall'acqua del mare innalzata per aspirazione.

Non si conosce l'origine delle trombe. Kromtz ammette che siano dovute principalmente a due venti opposti che passino l'uno accanto all'altro, od anche ad un vento assai vivo che domina nelle alte regioni dell'atmosfera. Peltier e molti altri fisici assegnano alle trombe una causa elettrica.

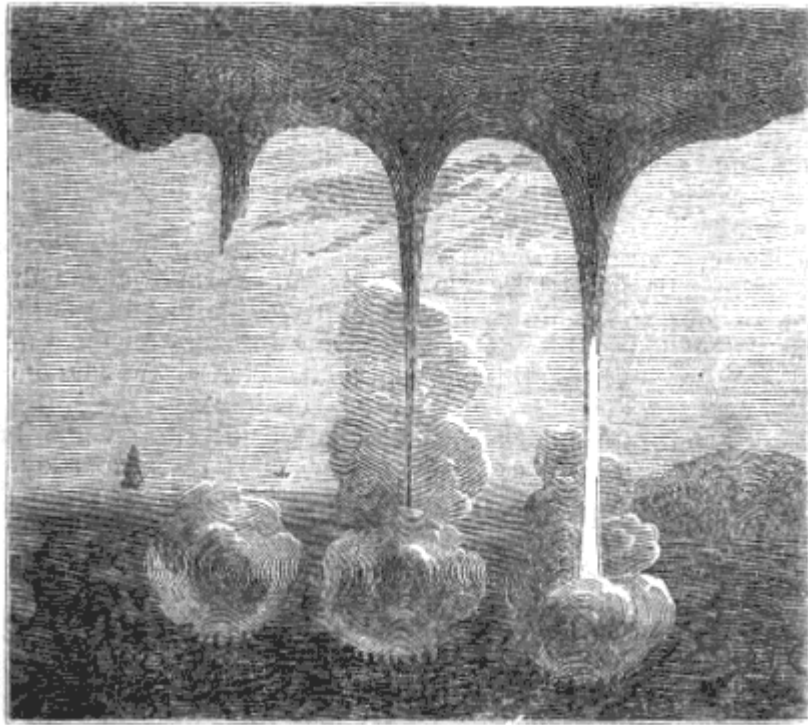


Fig. 566.

*Meteore acquae.*

**746. Nebbie.** - Le *nebbie* sono masse di vapore acqueo le quali, condensate nell'atmosfera, ne occupano le basse regioni e ne ottenebrano la trasparenza.

Le nebbie si formano quando il suolo umido è più caldo dell'aria. Allora i vapori che ascendono si condensano e divengono visibili. Bisogna però che l'aria raggiunga il suo punto di saturazione (285), altrimenti non ha luogo la condensazione. Le nebbie possono formarsi anche quando una corrente d'aria calda ed umida passa al di sopra di un fiume la cui temperatura sia inferiore alla sua, perchè allora raffreddandosi l'aria, tosto che è satura avvi condensazione dei vapori che contiene.

**747 Nubi.** - Le *nubi* sono ammassi di vapore acqueo condensati in goccioline di estrema piccolezza, come le nebbie, dalle quali differiscono soltanto perchè occupano le alte regioni dell'atmosfera; esse risultano sempre dalla condensazione dei vapori che si innalzano dalla terra. Le nubi, secondo le apparenze che presentano, si dividono in quattro specie principali, che sono i *cirri*, i *cumuli*, gli *strati* ed i *nembi*. Queste quattro specie di nubi sono rappresentate dalla figura 567 e contrassegnate rispettivamente con quattro uccelli, con tre, con due e con uno.

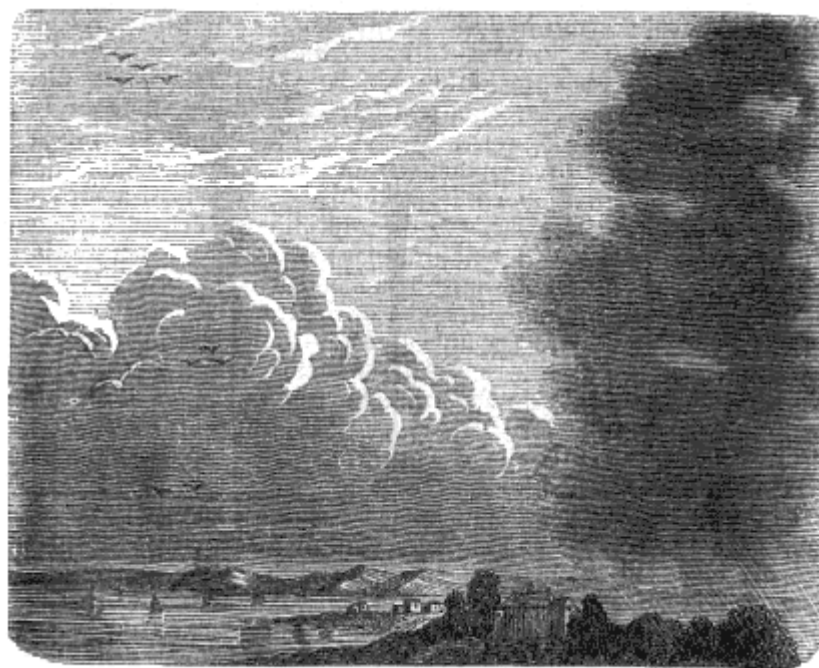


Fig. 567.

I *cirri* sono piccole nubi biancastre che offrono l'aspetto di sottili filamenti, alquanto somiglianti a lana scardassata. Queste sono le nubi più alte, e stante la bassa temperatura delle regioni che occupano, si ritengono formate da particelle ghiacciate o da fiocchi di neve. La loro apparizione precede sovente un cangiamento di tempo.

I *cumuli* sono nubi arrotondate che presentano l'aspetto di montagne addossate le une alle altre; sono più frequenti in estate che in inverno, e formatesi al mattino si dissipano generalmente la sera. Se però verso sera divengano più numerose, e principalmente se sono sormontate da cirri, danno indizio di pioggia o di temporale.

Gli *strati* sono falde nuvolose orizzontali assai larghe e continue che si formano al tramontar del sole e si dissipano al suo levare. Sono frequenti in autunno e rare in primavera, e sono più basse delle precedenti.

Finalmente, i *nembi*, o nubi di pioggia, sono nubi che non presentano alcuna forma caratteristica; si distinguono soltanto per la loro tinta di un grigio uniforme e pei loro lembi a frange.

L'altezza delle nubi è assai variabile; in media essa è da 1200 a 1400 metri in inverno e da 3000 a 4000 metri in estate; sovente però è molto maggiore. Gay-Lussac nella sua ascesa aerostatica, all'altezza di 7016 metri sul livello del mare, osservò al disopra di sè dei cirri che sembravano ancora ad una altezza considerevole. D'Abbadie, in Etiopia, osservò delle nubi temporalesche la cui altezza era soltanto di 212 metri al disopra del suolo.

Per ispiegare la sospensione delle nubi nell'atmosfera, Halley propose pel primo l'ipotesi dei vapori vescicolari, ipotesi che consiste nel supporre le nubi siccome formate da un infinito numero di vescichette piccolissime, vuote come le bolle di sapone, e piene di un'aria più calda dell'aria ambiente per un effetto di assorbimento del calore solare; dimodochè queste vescichette galleggerebbero nell'aria come altrettanti piccoli palloni. Questa teoria, sostenuta da Saussure, indi da Kratzenstein, da Bravais e dal maggior numero dei fisici, venne per lungo tempo universalmente insegnata; ma combattuta dapprima da Désaguliers, indi da Monge, conta al presente numerosi oppositori. Questi ammettono che le nubi e le nebbie siano formate da gocciolino d'acqua estremamente piccole, piene e galeggianti nell'atmosfera ove sono sostenute dalle correnti d'aria ascendenti, nello stesso modo che i leggeri pulviscoli sono innalzati dai venti. L'immobilità che ordinariamente presentano le nubi nel senso della verticale, secondo questi fisici sarebbe soltanto apparente. Il più delle volte le nubi discendono lentamente, ma allora la loro parte inferiore si dissipa continuamente negli strati più caldi che attraversano. mentre la loro parte superiore si

accresce senza possa per l'aumento di nuovi vapori che si condensano, il che spiega come le nubi sembra che conservino un'altezza costante.

**748. Pioggia.** - La *pioggia* è la caduta allo stato di goccioline dell'acqua proveniente dalla condensazione, nelle alte regioni dell'atmosfera, dei vapori che si innalzano dal suolo.

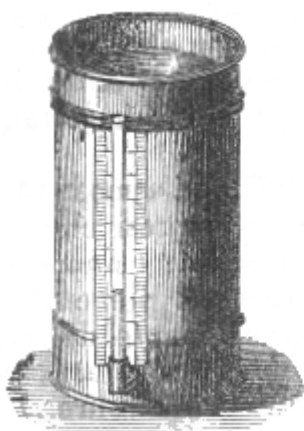


Fig. 568.



Fig. 569.

Si misura la quantità di pioggia che cade annualmente su di un luogo per mezzo di un apparecchio che chiamasi *pluviometro* od *udometro*. È un vaso cilindrico M (fig. 568 e 569) chiuso alla sua parte superiore da un coperchio B, che ha la forma di un imbuto nel quale cade l'acqua della pioggia. Questa penetra in seguito nell'interno del vaso per un piccolo foro, in modo che sia sottratta il meglio possibile all'evaporazione. Dalla base dell'apparato parte un tubo di vetro A nel quale l'acqua si eleva alla stessa altezza che raggiunge nell'interno del pluviometro, altezza che si misura per mezzo di una scala graduata in millimetri, situata accanto al tubo, come mostra la figura 568. Collocato quest'apparecchio in un luogo scoperto, se dopo un mese, per esempio, l'altezza dell'acqua nel tubo è di 5 centimetri, ciò indica che nel vaso l'acqua ha raggiunto questa altezza: e quindi che se l'acqua caduta fosse stesa alla superficie del suolo senza evaporazione nè infiltrazione, ve ne sarebbe uno strato di 5 centimetri.

All'osservatorio di Parigi si constatò che la quantità di pioggia raccolta nel pluviometro è tanto maggiore quanto meno lo strumento è elevato dalla superficie del suolo. La stessa osservazione venne fatta in Inghilterra ed in America. Dapprima si spiegò questo fenomeno dicendo che le gocce di pioggia, le quali, in generale, sono più fredde degli strati d'aria che attraversano, condensano il vapore contenuto in questi strati, ed aumentando di volume fanno sì che cada maggiore quantità di pioggia alla superficie del suolo che non ad una certa altezza. Ma si obiettò a questa teoria che l'eccesso della quantità d'acqua che cade alla superficie del suolo su quello che cade ad una certa altezza, sorpassa sei o sette volte quella che potrebbe risultare dalla condensazione, anche durante tutto il tragitto delle gocce di pioggia dalle nubi fino alla terra. Quindi la differenza di cui si tratta venne attribuita ad una causa, puramente locale, ed oggidì si ammette che questa differenza sia occasionata da rivolgimenti (*remours*) che si producono nell'aria attorno al pluviometro, in modo tanto più sensibile quanto più esso è elevato al di sopra del suolo; questi rivolgimenti avendo per effetto di disperdere le goccioline che tendono a cadere nell'istrumento, diminuiscono così la quantità di acqua che essa riceve.

È però evidente che le gocce di pioggia, attraversando un'aria umida, ponno, a seconda della loro temperatura, condensare del vapore ed aumentare il volume. Se all'incontro, esse attraversano un'aria secca, tendono a vaporizzarsi, e cade minore quantità di pioggia sul suolo che non ad una certa altezza; così può anche avvenire che la pioggia non raggiunga la terra.

Moltissime circostanze locali ponno far variare la quantità di acqua che cade nei diversi paesi, ma a parità di tutte le altre circostanze deve piovere maggiormente nei paesi caldi, perchè ivi la vaporizzazione è più abbondante. Infatti si osserva che la quantità di pioggia diminuisce dall'equatore verso i poli. A Parigi l'altezza dell'acqua che cade annualmente è di 0<sup>m</sup>,564; a Bordò, di 0<sup>m</sup>,650; a Madera, di 0<sup>m</sup>,767; all'Avana, di 2<sup>m</sup>,32; a San Domingo, di 2<sup>m</sup>,73.

La quantità di pioggia varia colle stagioni. A Parigi, l'altezza dell'acqua che cade all'inverno è di 0<sup>m</sup>,107; alla primavera di 0<sup>m</sup>,174. all'estate di 0<sup>m</sup>,161; all'autunno di 0<sup>m</sup>,122. Adunque la minor quantità di pioggia cade all'inverno.

**749. Rugiada, sereno, brina.** - La *rugiada* altro non è che vapore il quale durante la notte si condensa e si depona sui corpi in goccioline. Questo fenomeno è dovuto al raffreddamento che subiscono i corpi situati alla superficie del suolo per effetto dell'irradiazione notturna (399). La loro temperatura abbassandosi allora di parecchi gradi al di sotto di quell'aria, avviene principalmente nelle stagioni calde, che questa temperatura diventi inferiore a quella a cui l'atmosfera sarebbe satura. Allora, gli strati d'aria a contatto coi corpi, e sensibilmente alla stessa temperatura di essi, lasciano depositare una parte del vapore che contengono; fenomeno analogo a quello che si produce quando in una camera calda ed umida si porta una tazza piena d'acqua fresca: i vapori dell'aria si condensano allora sulle sue pareti.

Secondo questa teoria, dovuta all'inglese Wells, tutte le cause che favoriscono il raffreddamento dei corpi aumentano la quantità di rugiada. Queste cause sono: le facoltà emissive dei corpi, lo stato del cielo e l'agitazione dell'aria. I corpi che possiedono una grande facoltà emissiva (357), raffreddandosi di più, debbono condensare maggiore quantità di vapore. Infatti, il deposito di rugiada è generalmente nullo sui metalli, la cui facoltà emissiva è debole, principalmente se sono levigati; mentre la terra, la sabbia, il vetro, le piante, che hanno grande facoltà emissiva, si ricoprono abbondantemente di rugiada.

Anche lo stato del cielo esercita grande influenza sulla rugiada. Se il cielo è senza nubi, gli spazi planetari, che trovansi ad una temperatura bassissima, non mandano verso la terra che una quantità di calorico inapprezzabile, e siccome allora il suolo si raffredda rapidamente per l'irradiazione notturna, avvi un abbondante deposito di rugiada. Ma se il cielo è coperto di nubi, queste, la cui temperatura è molto più alta di quella degli spazi planetari, irradiano verso il suolo, ed i corpi alla superficie della terra non subendo che un debole raffreddamento, il deposito di rugiada non ha luogo.

Il vento ha pure una grande influenza sulla quantità di vapore che si deposita: se è debole, aumenta il deposito rinnovando l'aria; ma se è forte, lo diminuisce riscaldando i corpi col suo contatto e non lasciando all'aria il tempo di raffreddarsi. Infine, il deposito di rugiada è tanto più abbondante quanto più l'aria è umida, perchè in tal caso essa è più vicina al suo punto di saturazione.

Il *sereno* è una precipitazione di acqua sotto forma di pioggia minutissima, senza che si scorgano nubi. Questo fenomeno si produce nei paesi umidi, quando, dopo un giorno molto caldo, al tramontar del sole, gli strati inferiori dell'aria si raffreddano al di sotto del loro punto di saturazione.

La *brina* è prodotta, come la rugiada, dai vapori contenuti nell'atmosfera, quando questi vapori si condensano sui corpi ad una temperatura sotto a zero. La forma di fiocchi che presentano i piccoli cristalli di cui è formata la brina, dimostrano che in tal caso i vapori si congelano immediatamente senza passare per lo stato liquido. La brina come la rugiada, si deposita sui corpi che irradiano di più, quali sono i gambi e le foglie dei vegetali, ed il deposito si forma principalmente sulle parti rivolte verso il cielo.

**750. Neve, grandine minuta, gelicidio.** - La *neve* è acqua solidificata in piccoli cristalli stellati, diversamente ramificati e galleggianti nell'atmosfera. Questi cristalli provengono dalla congelazione delle goccioline di cui son formate le nubi, quando la temperatura di queste discende sotto a zero; essi sono tanto più regolari quanto più l'aria è calma. Per osservarli si ricevono sopra un corpo nero e si guardano con una lente forte. È veramente ammirabile la regolarità, ed in pari tempo la varietà delle loro forme. La figura 570 rappresenta alcune forme che presentano i cristalli della neve quando si osservano con un microscopio. Sembra che le loro forme siano di parecchie centinaia.

La neve cade in maggiore quantità nei luoghi più vicini ai poli o più elevati al disopra del livello del mare. Verso i poli, la terra è costantemente coperta di neve; lo stesso avviene sulle alte montagne, ove sonvi le nevi perpetue anche nelle regioni equatoriali.

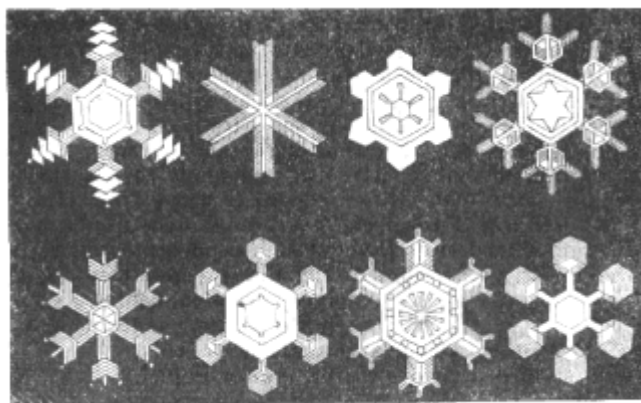


Fig. 570

La *grandine minuta* è essa pure acqua solidificata sotto forma di piccoli aghi addossati confusamente gli uni agli altri. Si attribuisce la sua formazione alla congelazione rapida delle goccioline delle nubi in un'aria agitata.

Il *gelicidio* è uno strato di ghiaccio compatto e trasparente che si forma sul suolo alla superficie dei corpi. La condizione necessaria per la sua formazione è che la temperatura del suolo essendo al di sotto di zero, dopo alcuni giorni di freddo continuo, cada un poco di pioggia; questa tosto si congela; però se la pioggia cade copiosa, il suolo si riscalda ed il gelicidio non si forma.

**751. Grandine.** - La *grandine* è un ammasso di globetti di ghiaccio compatti, più o meno voluminosi, che cadono dall'atmosfera. Nei nostri climi, la grandine cade principalmente durante la primavera e l'estate, e nelle ore più calde del giorno; rade volte ne cade durante la notte. La caduta della grandine è sempre preceduta da urto strepito particolare.

La grandine è generalmente il precursore delle procelle; di rado le accompagna, più di rado le segue. La grossezza della grandine è assai variabile; essa raggiunge di frequente quella di un nocciolo; e fu veduta della grossezza di un uovo di piccione, del peso di 200 a 300 grammi. Nessuna teoria spiega in modo soddisfacente la formazione della grandine, e principalmente come possa raggiungere un tal peso prima di cadere. Nella teoria di Volta (601) la gragnuola sarebbe successivamente attratta da due nubi cariche di elettricità contraria; ma se la gragnuola fosse così attratta, a maggior ragione lo sarebbero le due nubi l'una dall'altra, e si confonderebbero.

#### *Meteore luminose.*

**752. Elettricità atmosferica; esperienza di Franklin.** - I fenomeni luminosi più frequenti e più rimarchevoli pei loro effetti sono quelli prodotti dall'elettricità libera che trovasi nell'atmosfera. I primi fisici che osservarono la scintilla elettrica la paragonarono tosto alla luce del lampo, e lo strepito che essa produce, al rumore del tuono. Ma Franklin, pel primo, a mezzo delle batterie elettriche da esso inventate poté stabilire un parallelo fra il fulmine e l'elettricità, ed indicare, in una Memoria pubblicata nel 1749, le esperienze da farsi per sottrarre alle nubi temporalesche la loro elettricità per mezzo di punte metalliche. Guidato dalle idee teoriche di Franklin, Dalibard, fisico francese, innalzò in un giardino, a Marly, vicino a Parigi, una spranga di ferro isolata dell'altezza di 33 metri, la quale, sotto l'influenza di una nube temporalesca, diede, il 10 maggio 1752, delle scintille abbastanza forti per caricare parecchie bottiglie di Leyda. Intanto Franklin si disponeva a fare l'esperienza che aveva annunciata; attendeva per ciò che fosse terminata la costruzione di un campanile, quando pensò di adoperare un cervo-volante munito di una punta metallica, il quale poteva giungere alle più alte regioni dell'atmosfera. Adunque, nel giugno 1752, prima di conoscere l'esperienza di Dalibard, si recò in giorno di temporale in un campo vicino a Filadelfia insieme col suo giovine figlio. Ivi, lanciato il cervo-volante, attaccò una chiave alla corda, ed alla chiave un cordone di seta destinato ad isolare l'apparecchio; indi fissò il cordone di seta ad un albero.

Avendo presentata la mano alla chiave, non ne ritrasse alcuna scintilla, e cominciava già a disperare dell'esito, quando, essendo sopravvenuta una leggera pioggia, la corda divenne meglio



conduttrice e la chiave diede la desiderata scintilla. L'emozione del celebre fisico fu sì grande che, come ci stesso racconta nelle sue lettere, non poté trattenere le lagrime.

Franklin, il quale aveva scoperto il potere delle punte (583) ma ne ignorava la teoria, ammetteva che il cervo-volante sottraesse alla nube la elettricità; al presente, giusta la teoria dell'elettrizzazione per influenza (587), il fenomeno deve essere spiegato coll'influenza che la nube temporalesca esercita sul cervo-volante e sulla corda.

**753. Apparat per valutare l'elettricità atmosferica.** - Gli apparati che si adoperano per riconoscere la presenza dell'elettricità nell'atmosfera, sono: l'elettrometro a palle di sambuco, o a pagliette o a foglie d'oro; l'apparato di Dalibard; delle frecce lanciate nell'atmosfera, od anche dei cervi-volanti e dei palloni fermati ad una corda.

Per osservare l'elettricità in tempo sereno, nel qual caso la tensione è generalmente debole, si adopera di preferenza l'elettrometro che Saussure aveva applicato a questo genere di ricerche. È un elettrometro simile a quello già descritto (591), ma l'asta che porta le foglie d'oro o le pagliette è sormontata da un conduttore alto 6 decimetri, e terminato con una palla o con una punta (fig. 571). Onde preservare l'apparato dalla pioggia lo si copre con un cappello conico di ottone del diametro di un decimetro. La cassa di vetro, che è quadrata invece di essere rotonda come quella della figura 413, ha soltanto 5 decimetri di larghezza; ed un cerchio graduato, applicato sulla faccia anteriore, indica l'angolo di divergenza delle foglie d'oro o delle pagliette. Questo elettrometro dà segni di elettricità atmosferica solo quando lo si innalzi nell'atmosfera in modo che si trovi circondato da strati d'aria il cui stato elettrico sia superiore al suo. Una elevazione di 3 decimetri basta per ottenere una divergenza di 20 gradi a motivo dell'eccesso di elettricità.

Per riconoscere l'elettricità dell'atmosfera Saussure si servì anche di una palla di ottone che lanciava verticalmente in alto colla mano. Questa palla era fissata all'estremità di un filo metallico, l'altra estremità del quale era legata ad un anello che poteva scorrere lungo il conduttore dell'elettrometro. Dall'allontanamento delle paglie o delle foglie d'oro, si valutava lo stato elettrico dell'aria all'altezza a cui era giunta la palla. Becquerel, nelle sue esperienze fatte sul monte San Bernardo, perfezionò l'apparato di Saussure sostituendo alla palla una freccia che veniva lanciata nell'atmosfera per mezzo di un arco fortemente teso. Un filo di seta coperto di talco e lungo 80 metri era fissato per una estremità alla freccia, e coll'altra comunicava coll'asta di un elettrometro a pagliette o a foglie d'oro.

Peltier fece uso di un elettrometro a foglie d'oro portante alla parte superiore una sfera di rame piuttosto voluminosa. Con questo istrumento l'osservatore si pone in una situazione che domini i luoghi circostanti, ed allora basta innalzare l'elettrometro a piccola altezza, anche solo di qualche decimetro, perchè dia segni di elettricità.

Quando si vuol osservare l'elettricità delle nubi, siccome allora la tensione elettrica è considerevolissima, si adopera una lunga spranga metallica terminata in punta, simile a quella adottata da Dalibard nell'esperienza testò descritta. Questa spranga, isolata con cura, è fissata in cima ad un edificio, e la sua parte inferiore comunica con un elettrometro o con uno scampanio elettrico (fig 422), il quale annunzia la presenza di nubi temporalesche. Però, siccome allora la spranga può dare delle scintille pericolose, si deve collocarle accanto una sfera metallica che comunichi sicuramente col suolo, e sia più vicina alla spranga che l'osservatore, acciocchè se scocca la scintilla ne sia colpita la sfera e non l'osservatore. Richmann, professore a Pietroburgo, in una esperienza di questo genere fu ucciso da una scintilla che lo colpì in fronte.



Fig. 571.

Finalmente, si fece uso anche di cervi-volanti muniti di una punta, come nell'esperienza di Franklin, e comunicanti con un elettrometro per mezzo di una fune coperta di talco. Si adoperarono pure dei palloni trattenuti da corde metalliche.

**754. Elettricità ordinaria dell'atmosfera.** - Per mezzo dei diversi apparati che furono or ora descritti, si è constatato che l'atmosfera contiene dell'elettricità libera non solo durante i temporali, ma sempre, e che essa è ora positiva, ora negativa. Quando il cielo è limpido e senza nubi, si osserva sempre nell'atmosfera della elettricità positiva; ma questa elettricità varia di intensità coll'altezza dei luoghi e colle ore della giornata. L'intensità massima si osserva nei luoghi più elevati e più isolati. Nelle case, nelle strade, sotto agli alberi non si osserva alcuna traccia di elettricità positiva. Nelle città l'elettricità positiva è sensibile soltanto nelle grandi piazze, sulle rive dei fiumi e sui ponti. In tutti casi, l'elettricità positiva si osserva soltanto ad una certa altezza al suolo. In aperta campagna essa è sensibile solo ad 1<sup>m</sup>,30 di altezza di sopra del più in alto essa cresce secondo una legge che non è conosciuta e che dipende dallo stato igrometrico dell'aria.

Al levare del sole l'eccesso di elettricità positiva dell'atmosfera è debole; cresce sin verso le 8 o le 11 ore, secondo le stagioni, ed allora raggiunge un primo massimo. Decresce in seguito rapidamente fin verso il tramonto del sole, ed indi aumenta per raggiungere un secondo massimo, poche ore dopo il tramonto; durante il resto della notte l'elettricità decresce. Questi periodi crescenti e decrescenti che si osservano tutto l'anno, sono tanto più sensibili quanto più sereno è il cielo e calmo il tempo. Infine, l'elettricità positiva dei giorni sereni è molto più forte in inverno che in estate.

Quando il cielo è coperto, si osserva nell'atmosfera ora dell'elettricità positiva, ora dell'elettricità negativa. Accade anche sovente che l'elettricità cangi di segno parecchie volte in un giorno pel passaggio di nubi elettrizzate. Durante i temporali e quando piove o nevicata, l'atmosfera è elettrizzata positivamente un giorno, negativamente un altro, ed i due numeri di giorni sono sensibilmente uguali. La tensione elettrica può divenire abbastanza intensa per rendere scintillante la pioggia, fenomeno che venne osservato parecchie volte.

Peltier, per mezzo del moltiplicatore, trovò che l'elettricità del suolo è sempre negativa, ma di intensità diversa a norma dello stato igrometrico e della temperatura dell'aria.

**755. Causa dell'elettricità atmosferica.** - Si tentò di spiegare per mezzo di diverse ipotesi l'origine dell'elettricità atmosferica. Alcuni la attribuirono allo strofinamento dell'aria contro il suolo, altri alla vegetazione delle piante od all'evaporazione dell'acqua. Alcuni hanno anche paragonata la terra ad una immensa pila voltaica, altri ad un apparato termo-elettrico (719). Parecchie di queste cause ponno infatti concorrere al fenomeno.

Volta, per primo, mostrò che l'evaporazione dell'acqua produce dell'elettricità. In seguito, Pouillet trovò che se l'acqua è distillata, l'evaporazione non dà mai svolgimento di elettricità; ma se l'acqua tiene disciolto un alcool od un sale, anche in piccola quantità, il vapore è elettrizzato positivamente e la soluzione negativamente. Se l'acqua è combinata con un acido, accade il contrario. Pertanto si ammise che i vapori che si svolgono dalle acque esistenti alla superficie del suolo e nei mari, le quali tengono sempre in soluzione delle materie saline, si elettrizzano positivamente, ed il suolo assume l'elettricità negativa.

Per constatare lo svolgimento di elettricità prodotto dall'evaporazione, si riscalda fortemente una capsula di platino, vi si versa una piccola quantità di liquido e la si colloca sul piatto superiore dell'elettrometro condensatore (fig. 437), avendo cura di far comunicare il piatto inferiore col suolo. Quando è evaporata l'acqua della capsula, si rompe la comunicazione col suolo e si toglie il piatto superiore. Allora, se l'acqua teneva in soluzione qualche sostanza eterogenea, le foglie d'oro divergono, ma restano in riposo se l'acqua era distillata.

Pouillet, basandosi sopra questa esperienza, attribuì lo svolgimento dell'elettricità per evaporazione alla separazione delle particelle di acqua dalle sostanze disciolte; ma Reich e Riess, in Germania, mostrarono che l'elettricità sviluppata nell'evaporazione può essere attribuita allo strofinamento esercitato dalle particelle di acqua trascinate dal vapore contro le pareti del vaso, come nella macchina di Armstrong (599). In seguito a recenti esperienze Gaugain giunse allo stesso

risultato e ne conchiuse che l'elettricità atmosferica non può essere attribuita alle separazioni chimiche che si operano durante l'evaporazione tranquilla dell'acqua dei mari.

Quanto all'ipotesi che consiste nel considerare la terra come una immensa sorgente di elettricità voltaica dovuta alle azioni chimiche, Becquerel fece recentemente conoscere numerose esperienze, dalle quali deriva che il contatto delle terre e delle acque produce sempre elettricità: la terra assume un eccesso considerevole di elettricità positiva o negativa, e l'acqua un eccesso corrispondente di elettricità contraria, secondo la natura dei sali e degli altri composti tenuti in soluzione nelle acque. Questo è un fatto generale che, dopo i lavori di Becquerel, non ammette eccezioni.

Becquerel sperimentava con un moltiplicatore ordinario, il cui filo era posto in comunicazione con due lamine di platino immerse nei terreni o nelle acque di cui voleva conoscere lo stato elettrico. In tal modo egli constatò che allorquando due terreni umidi sono in contatto, quello che contiene la soluzione più concentrata assume un eccesso di elettricità positiva. Nello stesso modo egli trovò che nei dintorni di un fiume, anche, a molta distanza, la terra e gli oggetti situati alla sua superficie possedevano un eccesso di elettricità negativa, mentre l'acqua e le piante acquatiche che galleggiano alla sua superficie erano cariche di elettricità positiva. Ma secondo la natura delle sostanze disciolte nelle acque, ponno prodursi effetti contrari.

Secondo le esperienze di Becquerel, siccome le acque ora si trovano in istato positivo ed ora in istato negativo, e le terre in uno stato contrario, ne segue che l'acqua, vaporizzandosi, deve costantemente versare nell'atmosfera un eccesso di elettricità positiva o negativa, mentre la terra, a motivo dei vapori che si svolgono alla sua superficie, lascia sfuggire un eccesso di elettricità contraria. Ora questi eccessi di elettricità devono necessariamente influire sulla distribuzione dell'elettricità sparsa, nell'atmosfera, e ponno servire a spiegare come le nubi siano elettrizzate ora positivamente, ora negativamente (756).

**756. Elettricità delle nubi.** - In generale, le nubi sono tutte elettrizzate ora positivamente ora negativamente, e non differiscono fra loro che per una tensione elettrica più o men forte. Si spiega facilmente la formazione delle nubi positive, per mezzo dei vapori che si svolgono dal suolo e si condensano nelle alte regioni dell'atmosfera per formare le nubi. Le nubi negative, in generale, si ammette che risultino da nebbie le quali, pel loro contatto col suolo, si sono caricate di fluido negativo che conservano in seguito innalzandosi nell'atmosfera; oppure che, separate dal suolo per mezzo di strati d'aria umida, vengano elettrizzate negativamente per l'influenza di nubi positive che respinsero nel suolo l'elettricità positiva. Ma le esperienze di Becquerel suddescritte (755) bastano per ispiegare i due stati elettrici che ponno presentare le nubi.

**757. Lampo.** - Il *lampo* è una luce abbagliante proiettata dalla scintilla elettrica che scocca dalle nubi cariche di elettricità. La luce dei lampi è bianca nelle basse regioni dell'atmosfera, ma nelle alte regioni, ove l'aria è rarefatta, assume una tinta violacea come fa in simil caso la scintilla della macchina elettrica (614).

I lampi alcune volte hanno la lunghezza di parecchie leghe; il loro passaggio nell'aria si opera a zig-zag. Questo fenomeno è attribuito alla resistenza che presenta l'aria compressa pel passaggio di una forte scarica. La scintilla devia allora dalla linea retta per prendere la direzione secondo la quale la resistenza è minore. Infatti nel vuoto la trasmissione elettrica si opera in linea retta.

Si ponno distinguere quattro sorta di lampi:

1.° I lampi a zig-zag che si muovono con estrema velocità sotto la forma di una striscia di fuoco a contorni perfettamente determinati, e che sono affatto paragonabili alla scintilla delle macchine elettriche.

2.° I lampi che invece di essere lineari come i precedenti, abbracciano tutto l'orizzonte senza presentare alcun contorno apparente, come sarebbe lo splendore improvviso prodotto dall'esplosione di materie infiammabili. Questi lampi, che sono i più frequenti, sembrano prodursi nel seno istesso della nube e rischiararne la massa.

3.° I lampi detti di *calore* perchè brillano nelle notti di estate senza che si scorga, alcuna nube sull'orizzonte e senza che si intenda alcun rumore. Molte ipotesi furono proposte per ispiegare l'origine di questi lampi; la più probabile è che siano lampi ordinari che scoccano fra nubi situate al

disotto dell'orizzonte, a tali distanze che il rumore del tuono non possa giungere fino all'orecchio dell'osservatore.

4.° I lampi che appaiono sotto forma di globi di fuoco. Questi lampi che talvolta sono visibili per più di dieci secondi, discendono dalle nubi sulla terra con lentezza bastante perché l'occhio li possa seguire. Questi globi spesso rimbalzano alla superficie del suolo; talvolta si dividono e scoppiano con rumore paragonabile alla detonazione di parecchi pezzi d'artiglieria. Si è osservato che la folgore quando penetra negli edifici, si presenta, in generale, sotto questa forma. L'origine di questi lampi non è nota.

La durata dei lampi delle prime tre specie non giunge ad un millesimo di secondo, come venne constatato da Wheatstone per mezzo di una ruota che faceva girare abbastanza rapidamente perché i raggi ne fossero invisibili; ma rischiarandosi colla luce di un lampo, la durata di quest'ultimo è sì breve che qualunque fosse la velocità di rotazione della ruota essa sembrava completamente immobile, vale a dire che il suo spostamento non era sensibile durante il lampo.

**758. Rumore del tuono.** - Il *tuono* è la detonazione violenta che succede al lampo nelle nubi temporalesche. Il lampo e la detonazione sono sempre simultanei; ma si osserva un intervallo di parecchi secondi fra questi due fenomeni, il che proviene da questo che il suono percorre soltanto circa 337 metri per secondo (191), mentre la luce impiega un intervallo di tempo inapprezzabile per propagarsi dalla nube all'occhio dell'osservatore (406). Per conseguenza questi non ode il rumore del tuono che cinque o dieci secondi, per es., dopo il lampo, secondo che è distante dalla nube temporalesca cinque o dieci volte 337 metri.

Il rumore del tuono risulta dallo scuotimento che la scarica elettrica produce nella nube e nell'aria, scuotimento che è reso sensibile dall'esperienza del termometro di Kinnersley (617). Vicino al luogo in cui scocca il lampo, il rumore del tuono è brusco e di breve durata. Più lontano si ode una serie di rumori che si succedono rapidamente. A maggior distanza ancora il rumore, debole da principio, si cangia in un rumore prolungato di intensità assai ineguale. Furono proposte numerose ipotesi onde spiegare questo rumore prolungato, ma nessuna di esse soddisfa completamente. Alcuni lo attribuirono alla riflessione del suono sulla terra e sulle nubi; altri considerarono il lampo non come una sola scintilla elettrica, ma come una serie di scintille elementari, ciascuna delle quali produce una detonazione particolare. Ora queste detonazioni, partendo da punti diversamente lontani e da zone disugualmente intense, ne risulta che non solo giungono all'orecchio dell'osservatore successivamente, ma che vi arrecano dei suoni di disuguale intensità; il che produce la durata e la disuguaglianza del rumore. Finalmente questo fenomeno venne attribuito ai zig-zag istessi del lampo, ammettendo che avvenga un massimo di compressione dell'aria a ciascun angolo saliente, il che produrrebbe l'ineguale intensità del suono.

**759. Effetti del fulmine.** - Il *fulmine* è una scarica elettrica che avviene fra una nube temporalesca ed il suolo. Quest'ultimo, sotto l'influenza dell'elettricità della nube, si carica di elettricità contraria, e quando lo sforzo che fanno le due elettricità per riunirsi vince la resistenza dell'aria, scocca la scintilla, il che si esprime dicendo che cade il fulmine. Ordinariamente si ammette che il lampo scenda dall'alto al basso; ma si osservano anche dei fenomeni di folgori ascendenti, ciò che probabilmente avviene quando le nubi essendo elettrizzate negativamente, la terra lo è positivamente; perché tutte le esperienze comprovano che a pressione ordinaria il fluido positivo attraversa più facilmente l'atmosfera che il fluido negativo.

Secondo la prima legge delle attrazioni elettriche (580), il fulmine deve cadere sugli oggetti più vicini alla nube e i migliori conduttori. Infatti si osserva che vengono più particolarmente colpiti dal fulmine gli alberi, gli edifici elevati, i metalli. Perciò è imprudente il collocarsi sotto gli alberi durante i temporali, principalmente se questi alberi sono buoni conduttori, come le roveri, gli olmi. Ma il pericolo è minore sotto gli alberi resinosi, come i pini, perché conducono male l'elettricità.

Gli effetti del fulmine sono assai svariati e della stessa natura di quelli delle batterie (611), ma con molta maggiore intensità. Il fulmine uccide gli uomini e gli animali, infiamma le materie combustibili, fonde i metalli, manda in ischeggie i corpi poco conduttori. Penetrando nel suolo esso fonde le materie silicee che si trovano sul suo passaggio, ed in tal modo si producono, nella

direzione della scarica, dei tubi vetrificati, che vennero detti *tubi fulminari* o *folgoriti*, e che giungono fino a 10 metri di lunghezza. Finalmente, quando cade sulle spranghe di ferro le magnetizza, e rovescia soventi volte i poli degli aghi delle bussole.

In generale, il fulmine diffonde sul suo passaggio un odore che venne paragonato a quello del solfo infiammato o di una sostanza fosforica. Questo odore venne dapprima attribuito ad un composto ossigenato formato sotto l'influenza della scarica elettrica ed al quale si diede il nome di *ozono*; ma Schoenbein, nel 1840, indi Marignac e de La Rive, ed infine Edmondo Becquerel e Fréiny hanno dimostrato che l'ozono non è altro che ossigeno elettrizzato.

**760. Contraccolpo.** - Il *contraccolpo* è una scossa violenta ed anche mortale che risentono talvolta gli uomini e gli animali a grande distanza dal luogo ove scoppia il fulmine. Questo fenomeno ha per causa l'azione per l'influenza che la nube temporalesca esercita su tutti i corpi situati nella sua sfera di attività. Questi corpi trovansi allora, al pari del suolo, carichi di elettricità contraria a quella della nube; ma se questa si scarica per la ricomposizione della sua elettricità con quella del suolo, l'influenza cessa immediatamente, e ritornando i corpi istantaneamente dallo stato elettrico allo stato neutro, ne risulta la scossa che caratterizza il contraccolpo. Questo fenomeno si rende sensibile collocando una rana in vicinanza ad una forte macchina elettrica; a ciascuna scintilla che se ne trae, la rana prova una scossa violenta.

**761. Parafulmini.** - Un *parafulmine* è un'asta di ferro destinata ad offrire un facile efflusso alla elettricità del suolo attratta dalla elettricità contraria delle nubi temporalesche. L'invenzione dei parafulmini è dovuta a Franklin, nel 1755.

In un parafulmine si distinguono due parti: l'asta ed il conduttore. L'*asta* è una spranga di ferro rettilinea terminata in punta che si fissa verticalmente in cima agli edifici che si vogliono preservare; essa è alta da sei a nove metri, e la sua sezione alla base è un quadrato di cinque a sei centimetri di lato. Il *conduttore* è una spranga di ferro che dal piede dell'asta discende fino al suolo, ove penetra profondamente.

Siccome le spranghe di ferro non potrebbero, a motivo della loro rigidità, seguire facilmente i contorni degli edifici, si preferisce di formare conduttori con corde di filo di ferro simili a quelle che si adoperano pei ponti sospesi. L'Accademia delle scienze pubblicò recentemente un rapporto sui parafulmini, nel quale raccomanda di usare piuttosto dei fili di rame che dei fili di ferro nel fabbricare le corde metalliche destinate a servire da conduttori, giacchè il rame conduce l'elettricità meglio del ferro. Queste corde, secondo tale rapporto, debbono avere un centimetro quadrato di sezione metallica, i fili di 1 a 1,5 millimetri di diametro, e ponno essere intrecciati a tre fili come le corde ordinarie. Lo stesso rapporto consiglia di terminare l'asta dei parafulmini con una punta di rame piuttosto che con una punta di platino, sempre a motivo della maggior conducibilità.

Il conduttore termina ordinariamente in un pozzo, e per istabilire meglio la comunicazione col suolo si divide all'estremità in due o tre ramificazioni. Se non vi sono pozzi in vicinanza al parafulmine, si pratica nel suolo un foro profondo da quattro a sei metri, e dopo d'avervi introdotta l'estremità del conduttore, si ha cura di riempire il foro con carbonella, la quale conduce bene.

La teoria dei parafulmini è basata sull'elettrizzazione per influenza e sul potere delle punte (583). Franklin, il quale, appena constatata l'indentità del fulmine colla elettricità, pensò di applicare il potere delle punte ai parafulmini, ammetteva che questi sottraessero alle nubi temporalesche la loro elettricità; invece accade il contrario. Quando una nube temporalesca elettrizzata positivamente, per es., si eleva nell'atmosfera, agisce per influenza sulla terra, respinge lontano il fluido positivo ed attrae il fluido negativo, il quale si accumula sui corpi situati alla superficie del suolo tanto più abbondantemente quanto maggiore è l'altezza a cui giungono questi corpi. Allora i più alti sono quelli che possiedono la maggior tensione, e per conseguenza sono più esposti alla scarica elettrica; ma se questi corpi sono armati di punte metalliche come le aste dei parafulmini, il fluido negativo, attratto dal suolo per l'influenza della nube, sfugge nell'atmosfera e va a neutralizzare il fluido positivo della nube. Per conseguenza, il parafulmine non solo si oppone alla accumulazione dell'elettricità alla superficie della terra, ma tende anche a ricondurre le nubi temporalesche allo stato naturale, effetti ambedue cospiranti a prevenire la caduta del fulmine.

Però, lo svolgimento di elettricità è talvolta così abbondante che il parafulmine non basta a scaricare il suolo, ed il fulmine scoppia; ma allora è il parafulmine che riceve la scarica a motivo della sua maggior conducibilità, e l'edificio è preservato.

L'esperienza ha insegnato che un'asta di parafulmine protegge efficacemente intorno ad essa uno spazio circolare di un raggio doppio della sua altezza. Per conseguenza, un edificio lungo 64 metri sarebbe difeso da due aste di 8 metri di altezza, distanti 32 metri.

Un parafulmine per essere efficace deve soddisfare alle seguenti condizioni: 1.° l'asta deve essere grossa abbastanza per non rimaner fusa qualora il fulmine la colpisca; 2.° deve essere terminata in punta per dare più facilmente uscita all'elettricità che si svolge dal suolo: per soddisfare a questa condizione si termina ordinariamente l'asta con una punta di platino o di rame indorato onde impedirne l'ossidazione; 3.° il conduttore noi deve presentare alcuna soluzione di continuità dall'asta fino al suolo; 4.° la comunicazione fra l'asta e il suolo deve essere stabilita il meglio possibile; 5.° se l'edificio che si arma di parafulmine contiene dei pezzi metallici di una certa estensione, come un coperto di zinco, delle grondaie di metallo, delle armature di ferro, si deve farli comunicare col conduttore del parafulmine.

Se non sono soddisfatte le ultime tre condizioni, l'edificio è esposto alle *scariche laterali*, cioè la scintilla può scoccare fra esso ed il conduttore; ed allora il parafulmine non fa che accrescere il pericolo.

Per maggiori particolari sui parafulmini rimandiamo il lettore ad una *Istruzione sui parafulmini*, pubblicata da Gay-Lussac, nel 1823, la quale venne recentemente ristampata ed aumentata di un supplemento redatto da una commissione dell'Accademia delle Scienze a proposito delle grandi quantità di ferro che entrano nelle nuove costruzioni.

**762. Arcobaleno.** - L'*arcobaleno* è una meteora luminosa che apparisce nelle nubi opposte al sole quando si risolvono in pioggia; esso è formato di sette archi concentrici, i quali presentano successivamente i colori dello spettro solare. Talvolta si osserva un solo arcobaleno, ma più spesso se ne vedono due: l'uno, interno, i cui colori sono più vivi, l'altro, esterno, più pallido e nel quale l'ordine dei colori è invertito. Nell'arco interno il colore più elevato è il rosso; nell'altro arco è il violetto. Rare volte si scorgono tre archi; la teoria indica che ve ne può essere anche un maggior numero, ma i colori sono così deboli che sfuggono alla vista.

Il fenomeno dell'arcobaleno è prodotto dalla decomposizione che subisce la luce bianca del sole quando penetra nelle gocce di pioggia e dalla sua riflessione stilla loro faccia interna. Questo fenomeno si osserva infatti anche nelle gocce di rugiada, nei getti di acqua, insomma ogni qualvolta la luce solare penetra in gocce d'acqua sotto un certo angolo.

L'apparizione dell'arcobaleno e la sua estensione dipendono dalla posizione dell'osservatore e dall'altezza del sole sull'orizzonte; d'onde si deve concludere che non tutti i raggi rifratti dalle gocce di pioggia e riflessi dalla loro superficie concava verso l'occhio dell'osservatore sono atti a produrre il fenomeno. Quelli che ponno dargli origine ricevettero il nome di *raggi efficaci*.

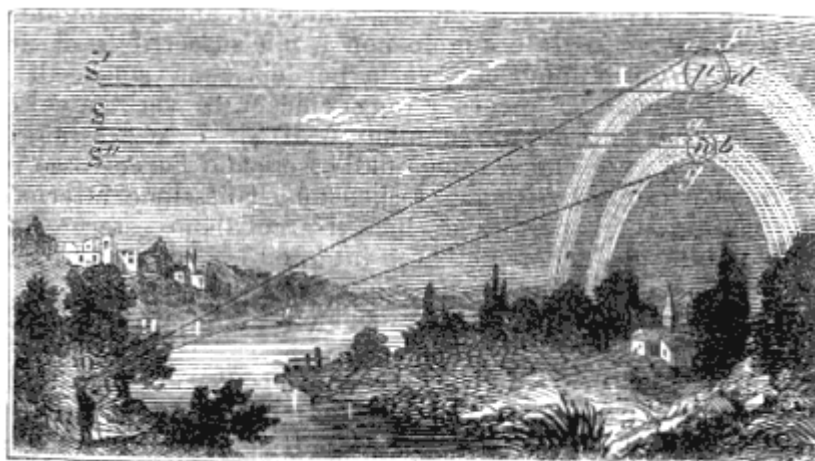


Fig. 572.

Per comprendere questa efficacia dei raggi, si immagini una goccia d'acqua  $n$  (fig. 572) nella quale penetri un raggio solare  $Sa$ . Al punto di incidenza  $a$  una parte della luce si riflette sulla superficie del liquido, l'altra vi penetra decomponendosi, ed attraversa la goccia secondo la direzione  $ab$ . Arrivata in  $b$ , una parte della luce emerge dalla goccia di pioggia; l'altra parte si riflette sulla superficie concava ed emerge in  $g$ .

In questo punto la luce è di nuovo riflessa parzialmente, e la porzione non riflessa emerge in una direzione  $gO$ , che forma col raggio incidente  $Sa$  un angolo detto *angolo di deviazione*. I raggi che come  $gO$  emergono dal lato dell'osservatore sono quelli che determinano sulla retina la sensazione dei colori, purchè però la luce sia abbastanza intensa.

Ora, il calcolo dimostra che per una serie di raggi paralleli incidenti sopra una medesima goccia e che subiscono una sola riflessione nel suo interno, l'angolo di deviazione aumenta successivamente dopo il raggio  $S''n$ , pel quale è nullo, fino ad un certo limite, al di là del quale decresce, e che vicino a questo limite i raggi entrati paralleli fra loro in una goccia di pioggia ne emergono ancora paralleli. Da questo parallelismo risulta un fascio di luce che possiede bastante intensità per impressionare la retina; adunque i raggi efficaci sono quelli che emergono paralleli fra loro.

Siccome i diversi colori che compongono la luce bianca sono inegualmente rifrangibili, il massimo dell'angolo di deviazione non è lo stesso per tutti. Il calcolo insegna che pei raggi rossi il valore dell'angolo di deviazione corrispondente ai raggi efficaci è di  $42^\circ 2'$ , e pei raggi violetti di  $40^\circ 17'$ . Ne segue che per tutte le gocce disposte in modo che i raggi che vanno dal sole alla goccia facciano con quelli che vanno dalla goccia all'occhio un angolo di  $42^\circ 2'$ , quest'organo riceve la sensazione del color rosso; il che evidentemente avviene per tutte le gocce situate sulla circonferenza della base di un cono il cui vertice coincide coll'occhio dell'osservatore, quando questo cono abbia il suo asse parallelo ai raggi solari e l'angolo formato da due generatrici opposte sia di  $84^\circ 4'$ . Tale è la formazione della zona rossa dell'arcobaleno. Per la zona violetta l'angolo del cono è di  $80^\circ 34'$ .

I coni corrispondenti a ciascuna zona hanno lo stesso asse che chiamasi *asse di visione*. Siccome questa retta è parallela ai raggi del sole, ne segue che allorquando quest'astro è all'orizzonte, l'asse di visione è esso pure orizzontale e l'arcobaleno appare sotto la forma di una mezza circonferenza. Se il sole si innalza, l'asse di visione si abbassa, e con esso anche l'arcobaleno. Finalmente, quando il sole è alto  $42^\circ 2'$ , l'arco sparisce totalmente al disotto dell'orizzonte. Per questo motivo l'arcobaleno si produce soltanto al mattino od alla sera.

Quanto fin qui abbian detto è applicabile all'arco interno. L'arco esterno è formato da raggi che hanno subito due riflessioni, come mostra il raggio  $S'idfeO$  nella goccia  $p$ . L'angolo  $S'IO$ , formato dal raggio emergente e dal raggio incidente, chiamasi ancora angolo di deviazione. In questo caso tale angolo non è più suscettibile di un massimo, ma solo di un minimo che varia per ciascuna specie di raggi, ed al quale corrispondono ancora i raggi efficaci. Si verifica col calcolo che pei raggi violetti l'angolo minimo è di  $54^\circ 7'$ , e pei raggi rossi soltanto di  $50^\circ 57'$ ; ciò che si spiega dall'essere qui l'arco rosso interno e l'arco violetto esterno. Siccome a ciascuna riflessione interna nella goccia di pioggia evvi perdita di luce, l'arcobaleno esterno presenta sempre delle tinte più deboli dell'arco interno. L'arco esterno cessa di essere visibile quando il sole è alto più di  $54^\circ$  sull'orizzonte.

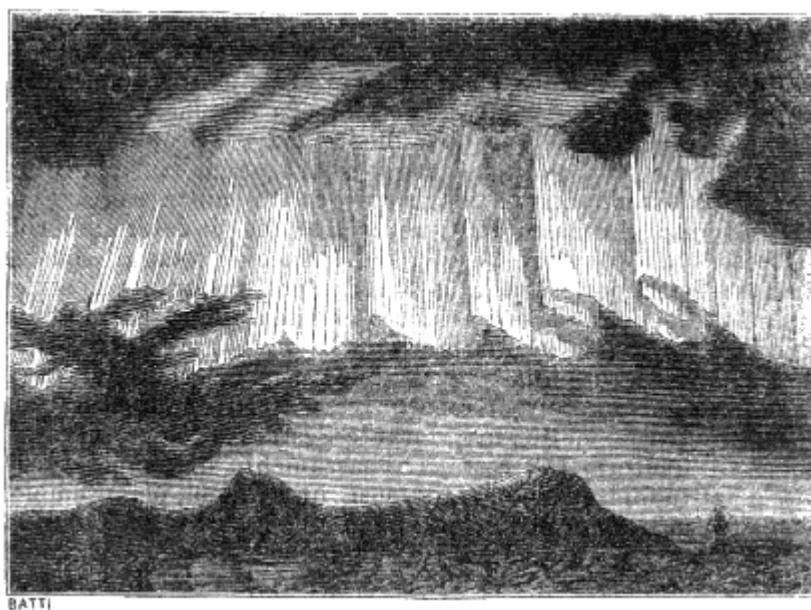
La luna produce talvolta degli arcobaleni come il sole, ma assai pallidi.

**763. Aurora boreale.** - Chiamasi *aurora boreale*, o piuttosto *aurora polare*, un fenomeno luminoso rimarchevolissimo che apparisce di frequente, nell'atmosfera, ai due poli terrestri. Quando il fenomeno si produce al polo nord riceve il nome di *aurora boreale*, e quando si produce al polo sud, quello di *aurora australe*. Le aurore boreali sembrano più numerose delle australi; ma questo può essere perchè si ha la maggiore opportunità di osservarle. Noi togliamo dal *Trattato di Meteorologia* di Becquerel la seguente descrizione di un'aurora boreale osservata a Bossekop, nella Laponia norvegiana, a  $70^\circ$  di latitudine nell'inverno dal 1838 al 1839.

Alla sera fra le 4 e le 8 ore, la nebbia che regna abitualmente al nord di Bossekop si colora alla parte superiore. Questo lucore diventa più regolare e forma un arco vago di un giallo pallido colla concavità rivolta verso la terra e la cui sommità si trova sensibilmente nel meridiano magnetico.

Ben presto alcune strisce nerastre dividono regolarmente le parti luminose dell'arco. Si formano dei raggi luminosi che si allungano e si raccorciano lentamente od istantaneamente, ed il loro splendore aumenta e diminuisce in un subito. Le parti basse di questi raggi presentano sempre la luce più viva e formano un arco più o meno regolare. La lunghezza dei raggi è assai varia, ma convergono tutti verso un punto del cielo indicato dal prolungamento dell'estremità sud dell'ago di inclinazione; qualche volta i raggi si prolungano fino al loro punto di concorso e rappresentano così la sezione di una cupola luminosa.

L'arco continua ad ascendere verso lo zenit, presentando nel suo splendore un moto ondulatorio. Talvolta uno de' suoi estremi, ed anche tutti e due, abbandonano l'orizzonte. Allora le pieghe sono più pronunciate e più numerose; l'arco non è più che una lunga lista luminosa che si avvolge e si rivolge e si separa in parecchie parti, formando delle curve graziose che si piegano sopra sè stesse e presentano ciò che si chiama la *corona boreale* (fig. 573). Lo splendore dei raggi, cangiando subitamente di intensità, raggiunge quello delle stelle di primo ordine, i raggi dardeggiano con rapidità, le curve si avvolgono e si svolgono come le spire di un serpente. Indi i raggi si colorano; la base è rossa, la metà è verde ed il resto conserva la sua tinta giallo-chiara. Infine lo splendore diminuisce, i colori spariscono, il tutto si indebolisce poco a poco o si spegne istantaneamente.



BATTI

Fig. 573.

La commissione scientifica del nord osservò in 200 giorni 150 aurore boreali; ma sembra che ai poli le notti senza aurora boreale siano affatto eccezionali, di modo che ve ne siano tutte le notti, di un'intensità però assai variabile. Le aurore boreali sono visibili a distanze considerevoli dal polo e sopra un'estensione immensa. Talvolta una stessa aurora boreale fu vista nel medesimo tempo a Mosca, a Varsavia, a Roma, a Cadice.

Furono fatte numerose ipotesi sulla causa delle aurore boreali. La direzione costante del loro arco rispetto al meridiano magnetico e le perturbazioni che esercitano sulle bussole (555) indicano che esse debbono essere attribuite a correnti elettriche che si svolgono dai poli verso le alte regioni dell'atmosfera. Questa ipotesi è confermata dal fatto, osservato il 29 agosto e il 1° settembre 1859, in Francia e in quasi tutta l'Europa, che due brillanti aurore boreali agirono potentemente sui fili dei telegrafi elettrici: i campanelli furono per lungo tempo agitati, e i dispacci frequentemente interrotti pel giuoco spontaneo ed anormale degli apparecchi. Secondo de La Rive, l'aurora boreale sarebbe dovuta a scariche elettriche operantesi nelle regioni polari tra l'elettricità positiva dell'atmosfera e l'elettricità negativa del globo terrestre; elettricità separate esse pure dall'azione diretta o indiretta del sole, principalmente nelle regioni equatoriali.





# CLIMATOLOGIA

**764 Temperature medie.** - Chiamasi *temperatura media* o semplicemente temperatura di un giorno, quella che si ottiene facendo la somma di 24 osservazioni termometriche fatte successivamente di ora in ora, e dividendola per 24. L'esperienza ha insegnato che si ottiene assai approssimativamente questa temperatura prendendo la media fra le temperature massima e minima del giorno e della notte, le quali si determinano per mezzo di termometri a massimo ed a minimo (244). Questi debbono essere difesi dai raggi solari, elevati al di sopra del suolo, e lontani da tutti i corpi che potrebbero influenzarli col loro irradiazione.

La temperatura di un mese è la media di quella dei 30 giorni, e la temperatura dell'anno è la media di quella dei 12 mesi. Infine, la temperatura di un luogo è la media della sua temperatura annuale durante un gran numero di anni. La temperatura di Parigi è 10°,8. In ogni caso queste temperature sono quelle dell'aria e non quelle del suolo (383).

**765. Cause che modificano la temperatura dell'aria.** - Le cause che fanno variare la temperatura dell'aria sono principalmente la latitudine, l'altezza, la direzione dei venti e la vicinanza dei mari.

1.° *Influenza della latitudine.* - L'influenza della latitudine risulta dalla maggiore o minore obliquità dei raggi solari, perchè la quantità di calorico assorbito essendo tanto maggiore quanto più i raggi si avvicinano all'incidenza normale (359), ne risulta che il calore assorbito dal suolo decresce dall'equatore verso i poli, giacchè i raggi sono sempre più obliqui all'orizzonte. Tuttavia, questa perdita durante l'estate, nelle zone temperate e nelle zone glaciali, è compensata in parte dalla lunghezza dei giorni. Sotto l'equatore, ove la lunghezza dei giorni è costante, la temperatura è quasi invariabile; alla latitudine di Parigi, ed anche nelle regioni più settentrionali, ove i giorni sono assai disuguali, la temperatura varia molto; ma, durante l'estate, si eleva talvolta quasi come sotto all'equatore. Del resto, l'abbassamento di temperatura risultante dalla latitudine è assai lento; così, in Francia, per esempio, bisogna avanzare verso il nord di 185 chilometri per trovare un raffreddamento di un grado nella temperatura dell'aria.

2.° *Influenza dell'altezza.* - L'altezza al disopra del livello dei mari imprime alla temperatura dell'atmosfera un abbassamento molto più rapido di quello che risulta dalla latitudine. Infatti, in una ascensione sul Monte Bianco, Saussure osservò un abbassamento di temperatura di 1 grado per un'altezza di 144 metri, ed Humboldt, sul Cimborasso, trovò 1 grado di abbassamento per 218 metri. Prendendo la media fra questi due numeri si ha un raffreddamento di 1 grado per un'altezza di 181 metri, il che dà un decremento di temperatura quasi di mille volte più rapido per l'altezza che per la latitudine.

Il raffreddamento dell'aria, a misura che si eleva nelle alte regioni dell'atmosfera, si constata nelle ascensioni aerostatiche; ed è provato anche dalle nevi perpetue che coprono le vette delle alte montagne. La causa di questo raffreddamento è dovuta alla rarefazione dell'aria, la quale diminuisce necessariamente il suo potere assorbente; questo raffreddamento risulta anche dall'allontanamento del suolo, il quale non può riscaldare l'aria col suo contatto, ed infine dalla grande facoltà diatermana dei gas.

La legge dell'abbassamento di temperatura a misura che si eleva nell'atmosfera, non è conosciuta a motivo delle molte cause perturbatrici che tendono a modificarla; tali cause sono i venti regnanti, il grado di umidità, l'ora della giornata, ecc. L'esperienza insegna che la differenza di temperatura di due luoghi disugualmente elevati non è proporzionale alla differenza di livello, ma che per altezze poco considerevoli si può ammettere approssimativamente questa legge. L'abbassamento di temperatura dell'aria in media si valuta di 1° per 187 metri di elevazione nella zona torrida, e di 1° per 150 metri nella zona temperata; ma questi numeri possono variare assai a norma delle circostanze locali.

3.° *Influenza della direzione dei venti.* - Siccome i venti partecipano necessariamente della temperatura delle regioni che hanno attraversate, la loro direzione, per uno stesso luogo, ha una grande influenza sulla temperatura dell'aria. A Parigi, il vento più caldo è quello di sud; in seguito

vengono i venti di sud-est, di sud-ovest, di ovest, di est, di nord-ovest, di nord, ed infine il vento di nord-est, che è il più freddo. Del resto, il carattere dei venti cangia colle stagioni; il vento di est, per esempio, che è freddo d'inverno, è caldo d'estate.

4.° *Influenza della vicinanza dei mari.* - La vicinanza dei mari tende ad elevare la temperatura dell'aria ed a renderla più uniforme. Infatti si osserva che sotto i tropici e principalmente nelle regioni polari la temperatura dei mari è sempre più elevata di quella dell'atmosfera. Riguardo all'uniformità di temperatura dei mari, l'esperienza insegna che nelle regioni temperate, comprese cioè tra i 25 ed i 50 gradi di latitudine, la differenza di temperatura fra la massima e la minima di una giornata non oltrepassa nel mare 2 a 3 gradi, mentre sul continente questa differenza può giungere fino ai 12 o 15 gradi. Nelle isole l'uniformità di temperatura è assai sensibile anche durante i maggiori caldi.

Nei continenti, a latitudine uguale, gli inverni sono più freddi e la differenza fra le temperature degli estati e degli inverni diventa maggiore.

**766. Linee isotermitiche.** - Quando si congiungono fra loro sopra una carta tutti i punti la cui temperatura media è la stessa, si ottengono delle curve che Humboldt pel primo fece conoscere, e che esso denominò *linee isotermitiche*. Se la temperatura di un luogo variasse solo coll'obliquità dei raggi solari, cioè colla latitudine, le linee isotermitiche sarebbero altrettante parallele all'equatore; ma siccome questa temperatura varia con parecchie cause locali e principalmente coll'altezza, queste linee sono sempre più o meno sinuose. Però, sui mari esse si allontanano poco dal parallelismo. Si considerano pure delle linee *isotere* (di egual estate), e delle linee *isochimene* (di egual inverno). Infine, si chiama *zona isotermitica* lo spazio compreso fra due linee isotermitiche.

**767. Clima.** - Si intende per *clima* un certo numero di zone isotermitiche caratterizzate dalla loro temperatura media annuale, dalle loro temperature estive ed invernali e dai limiti entro i quali sono comprese queste temperature. Si distinguono sette climi, classificati secondo le loro temperature medie: 1.° *clima abbruciante*, dai 27°,5 ai 25 gradi; 2.° *clima caldo*, dai 25 ai 20 gradi; 3.° *clima dolce*, dai 20 ai 15 gradi; 4.° *clima temperato*, dai 15 ai 10 gradi; 5.° *clima freddo*, dai 10 ai 5 gradi; 6.° *clima freddissimo*, dai 5 gradi a zero; 7.° *clima ghiacciato*, al disotto di zero.

Questi climi si suddividono in *climi costanti*, la cui differenza di temperatura fra l'inverno e l'estate noi oltrepassa 6 od 8 gradi; *climi variabili*, di cui la stessa differenza si eleva da 16 a 20 gradi; ed in *climi eccessivi*, pei quali questa differenza è maggiore di 30 gradi. I climi di Parigi e di Londra sono variabili; quelli di Pechino e di Nuova-York sono eccessivi. I climi delle isole sono generalmente poco variabili, giacchè la temperatura del mare è presso a poco costante; d'onde anche la distinzione in *climi marini* e *climi continentali*. Il carattere dei climi marini è che la differenza di temperatura fra l'estate e l'inverno è sempre molto minore che pei climi continentali. Del resto, la temperatura più o meno elevata non è il solo carattere che determina i climi; essi lo sono anche dalla maggiore o minor umidità dell'aria, dalla quantità e frequenza delle piogge, dal numero dei temporali, dalla direzione ed intensità dei venti, ed infine dalla temperatura del suolo. Tutte queste cause riunite fan sì che lo studio dei climi, o climatologia, è ancora una scienza assai poco conosciuta.

**768. Distribuzione della temperatura alla superficie del globo.** - La temperatura dell'aria alla superficie del globo va decrescendo dall'equatore ai poli; ma è soggetta a cause perturbatrici così numerose e talmente locali che il suo decremento non sembra sottomesso ad alcuna legge generale. Non si può fin qui constatare per mezzo di numerose osservazioni, che la temperatura media di ciascun luogo, o le temperature massima e minima. La tavola seguente presenta un riassunto della distribuzione del calore nell'emisfero settentrionale.

<i>Temperature medie a diverse latitudini</i>			
Abissinia	31°,0	Parigi	10°,8
Calcutta	28°,5	Londra	10°,4
Giamaica	26°,1	Brusselles	10°,2
Senegal (San Luigi)	24°,6	Strasburgo	9°,8

Rio-Janeiro	23°,1	Genova	9°,7
Cairo	22°,4	Boston	9°,3
Costantina	17°,2	Stoccolma	5°,6
Napoli	16°,7	Mosca	3°,6
Messico	16°,6	Pietroburgo	3°,5
Marsiglia	14°,1	Monte San Gottardo	-1°,0
Costantinopoli	13°,7	Mare di Groenlandia	-7°,7
Pechino	12°,7	Isola Melville	-18°,7

Le temperature ora esposte sono temperature medie; la più alta temperatura alla superficie del globo fu di 47°,4 a Esné, in Egitto, e la più bassa di -56°,7, a Fort-Reliance, al nord dell'America; il che dà

una differenza di 104°,1 fra le temperature osservate sui differenti punti del globo. La temperatura più alta osservata a Parigi fu di 38°,4, il giorno 8 giugno 1793, e la più bassa di -23°,5, il 26 dicembre 1798.

Siccome i navigatori non giunsero mai fino ai poli a motivo dei ghiacci, non si conosce la temperatura di questi punti. Dapprima si era ammessa, nel nostro emisfero, l'esistenza di un solo *polo glaciale*, cioè di un sol punto offrente un massimo di freddo. Ma le inflessioni che presentano le linee isotermitiche nell'emisfero boreale mostrano che vi esistono in quest'emisfero due poli di freddo, l'uno in Asia, al nord del golfo Taymour, e l'altro in America, al nord dello stretto di Barow, ambedue a circa 15 gradi dal polo boreale della terra. La temperatura media del primo di questi poli fu valutata a -17°, e quella del secondo a -19°. Riguardo all'emisfero australe non si hanno bastanti osservazioni per conoscere se abbia uno o due poli di freddo e per determinarne la posizione.

**769. Temperatura dei laghi, dei mari e delle sorgenti.** - La temperatura del mare, fra i tropici, è presso a poco uguale a quella dell'aria; nelle regioni polari, il mare è sempre più caldo dell'atmosfera.

La temperatura del mare, alla superficie, sotto la zona torrida, è costantemente di 26 a 27 gradi; diminuisce coll'aumentare della profondità, e, sì nelle regioni temperate che nelle regioni tropicali, la temperatura del mare a grandi profondità si mantiene fra 2°,5 e 3°,5. La bassa temperatura degli strati inferiori si spiega per effetto delle correnti sottomarine, le quali portano verso l'equatore l'acqua fredda dei mari polari.

La temperatura dei laghi presenta delle variazioni assai più grandi di quella dei mari; la loro superficie, che nell'inverno può congelarsi, in estate si riscalda fino a 20 o 25 gradi. Il fondo, all'incontro, conserva sensibilmente una temperatura di 4 gradi, che è quella del massimo di densità dell'acqua (265).

Le sorgenti, essendo provenienti dalle acque pluviali che si sono infiltrate nella scorza del globo, a profondità più o meno considerevoli, tendono necessariamente a mettersi in equilibrio di temperatura cogli strati terrestri che attraversano (386). Quindi, allorché giungono alla superficie del suolo, la loro temperatura dipende dalla profondità a cui son giunte; se questa profondità è quella dello strato invariabile, la temperatura delle sorgenti è di 11 a 12 gradi nelle nostre regioni, ove tale è la temperatura di questo strato, ed ha presso a poco la temperatura media annuale. Però, se la sorgente è poco abbondante, la sua temperatura è elevata in estate e raffreddata in inverno da quella degli strati che attraversa per arrivare dallo strato invariabile fino alla superficie del suolo. Ma se le sorgenti giungono da una profondità maggiore di quella a cui trovasi lo strato invariabile, la loro temperatura può oltrepassare di molto la temperatura media del luogo, ed esse prendono allora il nome di *acque termali*. Ecco la temperatura di alcune acque termali:

In Francia. Wichy	40°
Mont Dore	44°
Bourbonne	50°
Dax (Landes)	60°
Chaude-Aigues	88°
In America. Trincheras, vicino a Puerto-Cabello	97°

In Islanda. Le Grand-Geyser, a 20 metri di profondità 124°

Per la loro alta temperatura le acque termali acquistano la proprietà di sciogliere parecchie delle sostanze minerali che incontrano nel loro passaggio, ed allora si indicano col nome di *acque minerali*. Le sostanze che tengono disciolte il più delle volte sono gli acidi solforoso, solfidrico, cloridrico, solforico, e dei solfuri, degli iposolfiti, dei solfati, dei carbonati, dei cloruri e degli ioduri.

La temperatura delle acque termali, in generale, non è modificata dall'abbondanza delle piogge o dalla siccità; ma lo è dai terremoti, dopo i quali la si vide alcune volte innalzarsi ed altre abbassarsi.

**770. Distribuzione delle acque alla superficie del globo.** - La distribuzione delle acque alla superficie del globo esercita una grande influenza sui climi. Le acque presentano una superficie assai maggiore di quella dei continenti, e la loro distribuzione è assai disuguale nei due emisferi.

Infatti, la superficie del globo in miriametri quadrati essendo di 5,100,000, si trova che quella dei mari e dei laghi è di 3,700,000 miriametri quadrati, mentre quella dei continenti e delle isole 1,400,000; cioè la superficie delle acque è presso a poco tre volte maggiore di quella delle terre. Nell'emisfero australe, la superficie dei mari è maggiore che nell'emisfero boreale nel rapporto di 13 a 9.

La profondità dei mari varia di molto. Lo scandaglio trova il fondo, in generale, a 300 o 400 metri; ma in ampio mare discende sovente a 1200, e talvolta non raggiunge il fondo a 4000 metri.

Secondo questi numeri la massa totale delle acque alla superficie del globo non sorpassa uno strato liquido che avrebbe 1000 metri di altezza ed avvolgerebbe tutta la terra.

# APPENDICE - PARTE PRIMA

## PROBLEMI DI FISICA COLLA LORO SOLUZIONE

### PROBLEMI RELATIVI AI PESI SPECIFICI

#### I.

Abbiasi un vaso cilindrico il cui diametro interno sia  $0^m,1$ ; collocato questo vaso in modo che la sua base si trovi in un piano orizzontale, vi si versino 12 chilogrammi di mercurio; si domanda a quale altezza il liquido si eleverà nel cilindro, essendo la densità del mercurio 13,596.

Detto  $R$  il raggio interno del cilindro, sarà  $\pi R^2$  la superficie del suo fondo interno, e siccome  $R = 5$  centimetri, per l'enunciato, e  $r = 3,141592\dots$ , l'area del fondo del vaso sarà data dalla formola  $3,141592 \cdot 25 = 78^{\text{cent. quad.}},54$ .

Per conseguenza, denominando  $H$  l'altezza a cui giunge il mercurio nel vaso, il volume di questo liquido è  $78^{\text{cent. quad.}},54 \cdot H$ .

Ma dalla formola  $P = VD^{(21)}$ , si ha pure  $V = P/D = 12000^{\text{gr}}/13,596 = 882^{\text{cent. cub.}},612$ ; dunque si ha  $78,54 \cdot H = 882,612$ , da cui  $H = 11^c,24$ .

#### II.

Un rullo cilindrico di legno di rovere ha  $0^m,3$  di diametro,  $3^m,5$  di lunghezza; il peso specifico del legno di rovere è 1,17, Si domanda il volume ed il peso del rullo.

Sieno  $R$  il raggio del rullo,  $H$  la sua lunghezza e  $V$  il suo volume, si ha:

$$V = \pi R^2 H = 3,141392 \cdot 2^{\text{cent. quad.}},25 \cdot 25^{\text{dec. quad.}} = 176,71,$$

e, rappresentando con  $P$  il suo peso, dalla formola  $P = VD$  si ha:

$$P = 176,71 \cdot 1^{\text{chil.}},17 = 206^{\text{chil.}},76.$$

#### III.

Un bicchiere di forma conica ha internamente  $0^m,06$  di diametro all'orlo; esso fu completamente riempito mediante mercurio, acqua ed olio, in proporzione tale che ciascuno di questi liquidi forma una folda di  $0^m,65$  di spessore. Si sa che la densità del mercurio è 13,596, quella dell'olio 0,915, e quella dell'acqua 1. Calcolare il peso del mercurio, dell'acqua e dell'olio, trascurando l'influenza che la temperatura esercita sulla densità di questi liquidi.

---

<sup>(21)</sup> Nelle applicazioni della formola  $P = VD$  importa l'osservare, come già si disse al paragrafo 106, che valutandosi  $V$  in decimetri cubi,  $P$  deve valutarsi in chilogrammi, e se  $V$  si valuta in centimetri cubi, devesi valutare  $P$  in grammi: reciprocamente quando  $P$  sia valutato in chilogrammi od in grammi,  $V$  dovrà valutarsi in decimetri od in centimetri cubi. Infine se il volume  $V$  fosse misurato in metri cubi, come accade in alcuni dei problemi che stiamo risolvendo, ciascuna unità di  $P$  corrisponderebbe a 100 chilogrammi, poichè, siccome un metro cubo contiene 1000 decimetri cubi, ne consegue che un metro cubo d'acqua pesa 1000 chilogrammi, e quindi che per un'altra sostanza, due, tre volte più densa dell'acqua, il metro cubo pesa due, tre volte 1000 chilogrammi.

Devesi parimente osservare che la formola  $P = VD$  non è applicabile immediatamente ai gas. Perciò in tutti i problemi in cui si tratterà di calcolare il peso di un certo volume di gas, si dovrà dapprima calcolare il peso di un egual volume d'aria, appoggiandosi a ciò che un litro d'aria a zero ed alla pressione  $0^m,76$  pesa  $1^{\text{gr}},3$ ; moltiplicare quindi il peso ottenuto per la densità del gas proposto, il che deriva da ciò che le densità o pesi specifici dei gas indicano il peso di questi corpi rispetto all'aria.

Dietro l'enunciato, si ha  $om = 3^c$ , (fig. 574) e  $ok = ki = ia = 3$ . Inoltre, della simiglianza dei triangoli  $oma$ ,  $kna$  ed  $ipa$ , ne segue che

$$ip = 1/3 om = 1 \text{ e } kn = 2/3 om = 2.$$

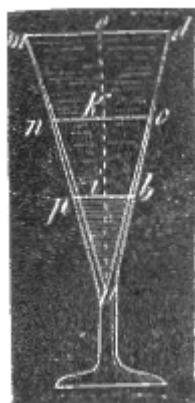


Fig. 574.

Ciò posto, trovandosi nella parte inferiore il mercurio, poi l'acqua e l'olio (88), il volume del cono  $abp$  occupato dal mercurio è

$$\pi ip^2 \cdot ai/3 = 3,1416 \cdot 1 \cdot 5/3 = 5^{\text{cent. cub}}, 236$$

I volumi dell'acqua e dell'olio sono tronchi di cono che si misurano colla nota formola  $\pi(R^2 + r^2 + Rr)H/3$  nella quale  $R$  ed  $r$  esprimono i raggi delle basi del tronco, ed  $H$  la sua altezza.

Per conseguenza il volume d'acqua:

$$bcnp = (3,141592 \cdot 5/3)(4+1+2) = 36^{\text{cent. cub}}, 652$$

ed il volume d'olio:

$$cdmn = (3,141592 \cdot 5/3)(9+4+6) = 99^{\text{cent. cub}}, 485.$$

Una volta conosciuti questi volumi, si avranno i pesi domandati, mediante la formola  $P = VD$ , moltiplicando ciascun volume per la corrispondente densità. Si trova per tal maniera, che il peso del mercurio è  $5,236 \cdot 13,596 = 71^{\text{gr}}, 188$ ; quello dell'acqua,  $36,652 \cdot 1 = 36^{\text{gr}}, 652$ ; e quello dell'olio,  $99,484 \cdot 0,915 = 91^{\text{gr}}, 027$ .

#### IV.

Un parallelepipedo di ghiaccio le cui dimensioni sono  $10^m, 50$ ,  $15^m, 75$  e  $20^m, 45$  galleggia sull'acqua del mare; la densità del ghiaccio è  $0,930$ , e quella dell'acqua di mare è  $1,026$ . Si domanda quale sarà l'altezza del parallelepipedo sopra la superficie del mare.

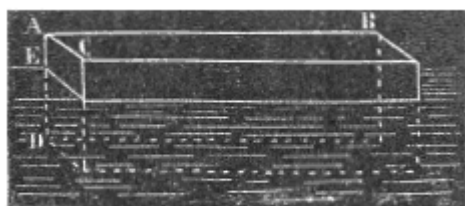


Fig. 575.

Supponiamo il parallelepipedo disposto come lo mostra la figura 575 ed i suoi tre spigoli  $AB$ ,  $AC$  ed  $AD$  sieno rispettivamente eguali a  $20,45$ ,  $15,75$ ,  $10,50$ . Essendo il volume di un parallelepipedo eguale al prodotto delle sue tre dimensioni, detto  $V$  il volume di tutta la massa di ghiaccio, si ha, in decimetri cubi,  $V = 204,5 \cdot 157,5 \cdot 105 = 3381918^{\text{dec. cub}}, 75$ , e per la formola  $P = VD$  il suo peso è  $V \cdot 0,93 = 3145184^{\text{chil}}, 44$ .

Ciò posto, rappresentando con  $x$  l'altezza  $DE$  della porzione immersa, il volume di questa porzione sarà  $AB \cdot AC \cdot x$ , o  $204,5 \cdot 157,5 \cdot x = 32208,75 \cdot x$ .

Questo è il volume d'acqua marina spostata dal ghiaccio; e, dalla formola  $P = VD$ , il suo peso  $P = 32208,75 \cdot 1,026 \cdot x$ .

Ora, per la condizione d'equilibrio dei corpi galleggianti, il peso dell'acqua spostata è eguale al peso di tutto il corpo galleggiante; dunque si ha:

$$32208,75 \cdot 1,026 \cdot x = 3145184,44, \text{ da cui } x = 95^{\text{dec}}, 17.$$

Dunque l'altezza fuori dell'acqua è  $105 - 95,17 = 9^{\text{dec}}, 83$ .

#### V.

Il peso dell'aria è  $1/700$  del peso dell'acqua; si domanda qual è il peso dell'aria contenuta in un cilindro di cui l'altezza è  $0^m, 8$ , e la periferia della base  $0^m, 3$ , non tenendo conto della temperatura.

Denominando  $R$  il raggio della base, si ha  $2\pi R = 3^{\text{dec}}$ , da cui:

$$R = 3/(2 \cdot 3,1416) = 0^{\text{dec}}, 477.$$

Si sa che il volume di un cilindro ha per misura il prodotto della sua base per la sua altezza, cioè  $\pi R^2 \cdot H$  formola che dà pel volume del cilindro di cui si tratta  $3,1416 \cdot (0^{\text{dec}}, 477)^2 \cdot 8^{\text{dec}} = 5^{\text{dec. cub}}.$

$718^{\text{cent. cub}}$ . Ora, se il cilindro fosse pieno d'acqua, il peso corrispondente al volume ottenuto sarebbe  $5^{\text{chil}}, 718^{\text{gr}}$ ; per conseguenza, essendo pieno d'aria che pesa 770 volte meno, il peso dell'aria contenuta nel cilindro è

$$5^{\text{chil}} \cdot 718 / 770 = 7^{\text{gr}}, 426.$$

#### VI.

Si domanda qual sia il peso dell'alcool contenuto in un cilindro cavo, la cui altezza interna sia di 369 millimetri, ed il diametro di 246 millimetri; sapendosi che la densità dell'alcool è 0,863.

La nota formola  $P = VD$  dà  $P = \pi R^2 \cdot HD = 15^{\text{chil}}, 136^{\text{gr}}, 5$

#### VII.

Si domanda qual superficie si potrà ricoprire con 10 grammi d'oro; fabbricandosi con questo metallo, la cui densità è 19,362, foglie aventi lo spessore di un decimillesimo di millimetro.

Ritenendo indicata con  $x$  la richiesta superficie, in centimetri quadrati, si ha:

$$x \cdot 0^{\text{c}}, 00001 \cdot 19,382 = 10^{\text{gr}}, \text{ d'onde } x = 5^{\text{m}}, 16^{\text{dec. q}}, 47^{\text{cent. q}}.$$

#### VIII.

Abbiasi un cilindro di ferro del peso di 21 chilogrammi; la sua altezza sia di  $2^{\text{m}}, 50$ ; la densità del ferro è 7,788; si domanda il diametro del cilindro.

Indicando con  $R$  il raggio del cilindro, il suo volume è  $\pi R^2 H$ , per cui sarà il peso

$$P = \pi R^2 H D \text{ da cui } \sqrt{\frac{P}{\pi H D}}$$

$$\text{sostituendo ne viene } R = \sqrt{\frac{21}{611,6695}} = \sqrt{0,0343} = 0^{\text{d}}, 18.$$

#### IX.

Due vasi di forma conica e del medesimo peso hanno internamente  $0^{\text{m}}, 25$  di altezza e  $0^{\text{m}}, 12$  di diametro all'orlo superiore; l'uno è ripieno d'acido solforico, la cui densità è 1,84, l'altro è ripieno d'etere, la cui densità è 0,71. Si domanda la differenza fra i pesi dei due vasi così ripieni.

Si ha  $V = \pi R^2 H / 3 = (3,1416 \cdot 36 \cdot 25^{\text{c}}) / 3 = 942^{\text{cent. cub}}, 48$ .

Per l'acido solforico si ha  $P = 942,48 \cdot 1,84$ .

Per l'etere  $P' = 942,48 \cdot 0,71$ .

D'onde la differenza  $(P - P') = (1,84 - 0,71) 942,48 = 1^{\text{chil}}, 065^{\text{gr}}$ .

#### X.

Data una sfera di rame di  $0^{\text{m}}, 18$  di raggio, cava, e contenente una sfera di platino di  $0^{\text{m}}, 05$  di raggio, in modo che non rimanga vuoto alcuno fra le due sfere, si vuol calcolare il peso della massa così formata, ritenendo che la densità del platino è 21,50, e quella del rame 8,85.

Volume del platino  $= 4 \pi r^3 / 3$ , volume del rame  $= 4 \pi (R^3 - r^3) / 3$ ;

peso del platino  $= 21,50 \cdot 4 \pi R^3 / 3$ , peso del rame  $= 8,85 \cdot 4 \pi (R^3 - r^3) / 3$ .

Somma dei pesi  $= 4/3 \pi (21,5 r^3 + 8,85 R^3 - 8,85 r^3) = 4,1888 (12,65 \cdot 5^3 + 8,85 \cdot 18^3) = 222^{\text{chil}}, 820^{\text{gr}}, 91$

#### XI.



La grande piramide d'Egitto ha per base un quadrato il cui lato è di  $23^m,48$ , e la sua altezza era primitivamente di  $146^m,18$  al di sopra del suolo: si domanda il peso di questa piramide ritenuta piena e ritenuto che la pietra di cui essa è formata abbia per densità 2,75.

$$\text{si ha } V = (23^m,48)^2 \cdot 146^m,18/3 \text{ e} \\ P = (23^m,48)^2 \cdot 146,18/3 \cdot 2,75 \cdot 1000^{\text{chil}} = 738765^{\text{chil}},349$$

## XII.

Calcolare il peso d'un pezzo di granito avente la forma d'un tronco di piramide a basi quadrate, sapendo che il lato della base inferiore è  $3^m,55$ , quello della base superiore  $0^m,87$ , l'altezza del tronco  $2^m,78$ , ed il peso di un metro cubo di granito 2780 chilogrammi.

$$\text{Volume del tronco} = 15^{\text{mc}},241,721; \text{ peso} = 2780^{\text{chil}} \cdot 15,241721 = 42371^{\text{chil}},984^{\text{gr}}.$$

## XIII.

Si domanda il prezzo d'un tubo di condotta di ferro strutto, avente  $0^m,245$  di diametro interno,  $0^m,014$  di spessore, e  $2134^m$  di lunghezza; la densità del ferro strutto è 7,207 ed il suo prezzo  $0^{\text{fr}},20$  al chilogrammo.

$$V = \pi H(R^2 - r^2) = 3,1416 \cdot 2134^m \cdot 0^{\text{mq}},003626 = 24^{\text{mc}},309^{\text{dec cub}},336^{\text{cent cub}}; \\ \text{peso} = 24,309336 \cdot 7,207 \cdot 1000 = 175197^{\text{chil}},385^{\text{gr}}. \quad \text{prezzo} = 35039^{\text{fr}},48.$$

## XIV.

Un filo cilindrico d'argento, del diametro di  $0^m,0015$ , pesa  $3^{\text{gr}},2875$ ; lo si vuol ricoprire d'un sottile strato d'oro dello spessore di  $0^m,0004$ ; si domanda il peso dell'oro che dovrassi impiegare, ritenendo che il peso specifico dell'argento è 10,47 e quello dell'oro 19,26.

Siano  $r$  il raggio del cilindro d'argento, ed  $R$  il raggio del medesimo cilindro ricoperto d'oro, si ha :  $r = 0^c,075$ ,  $R = 0^c,095$ , e  $r^2 = 0^{\text{cent quad}},005625$ ,  $R^2 = 0^{\text{cent quad}},009025$ .

Volume del cilindro d'argento  $= \pi r^2 H = 0,0176715 \cdot H$ .

Peso del medesimo  $= 0,0176715 \cdot 10,47 \cdot H = 3^{\text{gr}},2875$  d'onde  $H = 17^c,768$ .

Volume dello strato d'oro  $= \pi H(R^2 - r^2) = 3,1416 \cdot 17,768 \cdot 0,0034 = 0^c,189787$ .

Quindi il peso richiesto è  $= 0,0365529762$

## XV.

Si domanda qual sia il diametro di un tubo capillare nel quale una colonna di mercurio che, a zero gradi, pesa  $1^{\text{gr}}$ , occupa una lunghezza di  $0^m,137$ , ritenuto che la densità del mercurio è 13,598.

$$\text{Si ha } P = \pi r H D, \text{ da cui } r = \sqrt{\frac{P}{\pi H D}} = \sqrt{\frac{1}{3,1416 \cdot 13,7 \cdot 13,598}}; \\ \text{da cui } r = 0^c,0413; \text{ dunque il diametro sarà } = 0^m,000826.$$

## XVI.

Qual è la forza necessaria per sostenere nel mercurio a zero un decimetro cubo di platino, ammesso che la densità del mercurio sia 13,6, e quella del platino 21,5.

Dalla formola conosciuta  $P = VD$  si ha che il peso del decimetro cubo di platino in chilogrammi è  $1 \cdot 21,5 = 21^{\text{chil}},5$ ; per la stessa formola il peso del mercurio spostato dal platino è  $1 \cdot 13,6 = 13^{\text{chil}},6$ . Ora, pel principio d'Archimede, il platino immerso perde tanto del proprio peso, quanto è il peso del

mercurio spostato; dunque il suo peso in questo liquido è  $21^{\text{chil}},5 - 13^{\text{chil}},6 = 7^{\text{chil}},9$ ; tale sarà quindi la forza necessaria a sostenerlo sospeso nel mezzo della massa del mercurio.

### XVII.

Si impiega, come misura di litro, un vaso cilindrico la cui altezza interna è doppia del diametro della base. Questo vaso è in zinco, la cui densità è 7,19, e le sue pareti hanno  $0^{\text{m}},005$  di spessore; si domanda il suo peso.

Il volume interno  $= \pi r^2 h = 4\pi r^3$ , poichè  $h = 4r$ . Ora, essendo 1 il volume, si ha:

$$1 = 4\pi r^3, \text{ da cui } r = \sqrt[3]{\frac{1}{4 \cdot 3,1416}} = \sqrt[3]{0,079577} = 0^{\text{d}},430 \text{ ed } h = 1,72.$$

Denominando R il raggio esterno, v il volume dello zinco che entra nella parete laterale, escluso il fondo, si ha:

$$v = \pi h(R^2 - r^2) = 3,1416 \cdot 1^{\text{d}},72 \cdot 0,0455 = 0^{\text{dec cub}},245861.$$

In quanto al volume del fondo, esso è eguale a  $\pi R^2 \cdot 0^{\text{d}},05 = 0^{\text{dec cub}},036191$ ; dunque il volume totale dello zinco è  $0,245861 + 0,036191 = 0^{\text{dec cub}},282052$ : da cui il peso,

$$P = 0,282052 \cdot 7,19 = 2^{\text{chil}},027^{\text{gr}},954.$$

### XVIII.

Una palla di metallo pesa 12 chilogrammi; la densità del metallo è 7,35; si domanda il raggio di questa palla ed il peso dell'oro necessario a formare attorno d'essa uno strato dello spessore di  $0^{\text{m}},0006$ , essendo 19,26 la densità dell'oro.

Dalla formola  $P = VD$ , si ha  $V = P/D = 12/7,35 = 1^{\text{dec.cub}},63265$ . Ora, essendo la palla di forma sferica, il suo volume è dato dalla formola  $4\pi r^3/3$ ; si ha dunque  $4\pi r^3/3 = 1^{\text{dec. cub}},63265$  da cui

$$R = \sqrt[3]{\frac{4,89795}{12,56638}} = 0^{\text{d}},730.$$

Per calcolare il volume dello strato d'oro, sia R' il raggio esterno, eguale a  $0^{\text{d}},730 + 0^{\text{d}},006 = 0^{\text{d}},736$ ; essendo il volume V di questo strato eguale alla differenza fra il volume totale e quello della palla, si ha:  $V = 4\pi/3(R'^3 - R^3) = (4 \cdot 3,1416 \cdot 0,009669)/3 = 0^{\text{dec. cub}},0405015$ ; da cui si ha il peso dell'oro =  $40^{\text{cent. cub}},5015 \cdot 19,26 = 780^{\text{gr}},059$ .

### XIX.

Un pezzo di rame di forma cubica e del peso di  $5^{\text{chil}},75$  è posto sopra un tornio e ridotto ad una sfera il cui diametro è 0,75 della lunghezza del lato del cubo primitivo: si domanda il peso della tornitura di rame ottenuta, essendo 8,85 la densità del rame.

Sia V il volume del cubo, si ha  $V = P/D = 1^{\text{chil}},75/8,85 = 0^{\text{dec. cub}},197740$ ; da cui si ha il lato del cubo eguale alla  $\sqrt[3]{0,197740} = 0^{\text{d}},582$ .

Dunque il diametro della sfera  $= 0,582 \cdot 0,75 = 0^{\text{d}},4365$ , il volume della sfera  $= 4\pi r^3/3 = [4 \cdot 3,1416 \cdot (0,21825)^3]/3 = 0^{\text{dec. cub}},043548$ , ed il suo peso  $= 0,043548 \cdot 8,85 = 383^{\text{gr}},4$ ; dunque infine il peso della tornitura del rame è  $1^{\text{chil}},750 - 0^{\text{chil}},385 = 1^{\text{chil}},365$ .

### XX.

Si domanda il peso di un pezzo di basalto della forma di un prisma retto avente per base un esagono regolare; sapendosi che il raggio del cerchio circoscritto all'esagono è di  $0^{\text{m}},63$ , che l'altezza del prisma è di  $2^{\text{m}},45$ , e che la densità del basalto è 2,85.

Siano R ed r i raggi dei cerchi circoscritto ed inscritto all'esagono, si ha:

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{R^2}{4}} = \frac{R}{2} \sqrt{3}$$

Sostituendo per R il suo valore  $0^m,63$ , si trova  $r = 0^m,54558$ ; dunque la superficie dell'esagono è  $6 \cdot 0^m,63 \cdot 0,54558/2 = 0^{m. quad.},974484$ .

Dunque il volume del prisma è  $0^{m. quad.},974484 \cdot 2^m,43$ , ed il suo peso è  $0,974484 \cdot 2,45 \cdot 2,85 = 6804^{chil.},335^{gr}$ .

#### XXI.

Si domanda qual sia il volume di quaranta chilogrammi di mercurio a  $100^\circ$ , essendo 13,59 il peso specifico di questo liquido a  $0^\circ$ .

Per la formola  $P = VD$ , da cui  $V = P/D$ , il volume di  $40^{chil}$  a zero è  $40/13,59$ ; per conseguenza a  $100^\circ$ , egli è  $40/13,59 \cdot (1 + 1/5550 \cdot 100)$  (249), essendo  $1/5550$  il coefficiente di dilatazione del mercurio. Effettuando i calcoli, si trova  $V = 2^{lit},996$ .

#### XXII.

Determinare il volume di due liquidi, la densità dell'uno dei quali sia 1,3 e dell'altro sia 0,7; sapendosi che mescolandosi si ottiene un volume di 3 litri della densità 0,9.

Siano  $v$  e  $v'$  i due volumi richiesti, si ha primieramente  $v + v' = 3^{lit}$  [1]; e per la formola  $P = VD$ , essendo rispettivamente i pesi dei due liquidi  $v \cdot 1,3$  e  $v' \cdot 0,7$ , si ha  $1,3 v + 0,7 v' = 0,9 \cdot 3$  [2]. Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova  $v = 1$ ,  $v' = 2$ .

#### XXIII.

Una lama triangolare di rame dello spessore di  $0^m,005$ , ed avente per lato  $1^m,25$ , venne ricoperta d'uno strato d'argento dello spessore di  $0^m,00015$ . La densità del rame è 8,95, quella dell'argento è 10,47; si domanda il peso della lama così argentata.

Detta S la superficie del triangolo,  $a$  il suo lato, e V il volume della lama, si ha

$$S = a^2/4 \cdot \sqrt{3} = (1^m,25)^2/4 \cdot 1,7321 = 676^{dec. quad.},601^{cent. quad.},56$$

$$V = 676^{dec. quad.},60156 \cdot 0,05 = 33^{dec. cub.},830^{cent. cub.},078;$$

$$\text{Peso del rame} = 33,830078 \cdot 8,95 = 302^{chil},779^{gr},198;$$

$$\text{Volume dell'argento} = 2 \cdot 676^{dec. quad.},60156 \cdot 0,00015 = 2^{dec. cub.},02980468;$$

$$\text{Peso dell'argento} = 2,02980468 \cdot 10,47 = 21^{chil},252^{gr},055;$$

$$\text{Peso totale} = 302^{chil},779^{gr},198 + 21^{chil},252^{gr},055 = 324^{chil},031^{gr},253.$$

#### XXIV.

Si domanda qual sia il diametro di un filo di platino che pesa 28 grammi per ogni metro di lunghezza, ritenuto che la densità del platino è 22,06.

Sia V il volume, in centimetri cubi di un metro di filo, si ha  $V = \pi r^2 \cdot 100$ , ed il peso  $28^{gr} = \pi r^2 \cdot 100 \cdot 22,06$ ; da cui  $r^2 = 28/(3,1416 \cdot 2206) = 0^c,00404$ , e  $r = 0^c,063$ .

Dunque il diametro richiesto è  $0^c,126$ .

#### XXV.

Una sfera di vetro pesa 1 chilog.; se ne domanda la superficie, sapendosi che la densità del vetro è 2,7.

Dalla formola  $P = VD$ , si ha  $V = P/D = \frac{1000^{\text{gr}}}{2,7} = 370^{\text{cent. cub}}, 3707$ .

Ora, essendo  $4\pi R^3/3$  il volume della sfera, si ha  $4\pi R^3/3 = 370^{\text{cent. cub}}, 3707$ ; d'onde  $R = 4^{\text{c}}, 43$ .  
Ma, detta  $S$  la superficie della sfera, si sa che  $S = 4\pi R^2 = 2^{\text{dec. quad}}, 48^{\text{c. q.}}, 846$ .

#### XXVI.

I pezzi da 10 centesimi pesano  $10^{\text{gr}}$ , e sono composti d'una lega di 0,95 di rame, 0,04 di stagno e 0,01 di zinco; la densità del rame è 8,85, quella dello stagno 7,29 e quella dello zinco 7,12; domandasi quanti di questi pezzi occorrerebbero per fornire il metallo necessario alla formazione d'una sfera della medesima lega, dal diametro di  $0^{\text{m}}, 25$  a zero.

Il volume  $v$  d'un pezzo da 10 centesimi, per l'enunciato e per la formola  $V = P/D$ ,  
 $v = 9,5/8,85 + 0,4/7,29 + 0,1/7,12 = 17491735/15311916$ .

Ora il volume della sfera è  $4\pi R^3/3$ , quindi il numero dei pezzi sarà

$$4\pi R^3/3 : v = (4 \cdot 3,1416 \cdot 12^{\text{c}}, 5)/3 \cdot 15311916/17491735 = 7161,7$$

#### XXVII.

Un bicchiere di forma conica contiene un litro; il suo diametro al lembo superiore è di  $0^{\text{m}}, 25$ , ed è riempito d'acqua e mercurio; il peso di questi due liquidi è il medesimo, e la densità del mercurio è 13,596. Si domanda qual sia lo spessore dello strato formato dall'acqua.

Siano  $V$  il volume totale del cono,  $H$  la sua altezza,  $R$  il raggio della sua base,  $v$  il volume dell'acqua,  $v'$  il volume del mercurio, e  $d$  la densità di quest'ultimo liquido; si ha:

$$V = 1/3\pi R^2 H \quad [1], \quad v + v' = 1 \quad [2], \quad v = v'd \quad [3].$$

Dall'equazione [1], ponendovi  $V = 1$  e  $R = 0^{\text{m}}, 125$ , si ha  $H = 0^{\text{m}}, 06111$ ; e le equazioni [2] e [3] danno  $v' = 0^{\text{lit}}, 068512$  e  $v = 0^{\text{lit}}, 931488$ .

Ora i volumi  $V$  e  $v'$  essendo simili, sono direttamente proporzionali ai cubi delle loro altezze, cioè  $V/v' = H^3/h^3$  da cui

$$H' = H\sqrt[3]{v'} = 0^{\text{c}}, 111\sqrt[3]{0,068512} = 2^{\text{c}}.$$

#### XXVIII.

L'uno dei rami di un sifone è riempito di mercurio all'altezza di un  $0^{\text{m}}, 175$ , l'altro è riempito di un altro liquido all'altezza di  $0^{\text{m}}, 42$ ; si domanda qual dovrà essere la densità del secondo liquido rispetto al mercurio ed all'acqua, affinché queste due colonne si facciano equilibrio.

Rappresentando con  $d$  la densità rispetto al mercurio e con  $d'$ , la densità rispetto all'acqua, si ha  $1 \cdot 0,175 = 0,42 \cdot d$  e  $13,6 \cdot 0,175 = 0,42 \cdot d'$ , da cui  $d = 0,416$  e  $d' = 5,666$ .

#### XXIX.

Un corpo pesa nell'aria  $7^{\text{gr}}, 234$ , nell'acqua  $4^{\text{gr}}, 525$ , ed in un altro liquido  $5^{\text{gr}}, 417$ ; trovare la densità del corpo e quella del secondo liquido rispetto all'acqua.

La densità del corpo = 2,670, quella del liquido = 0,670.

#### XXX.

Una sfera cava d'argento pesa, quando è vuota,  $726^{\text{gr}}, 03$ , riempita d'acqua a  $40^{\circ}$  esso pesa  $2521^{\text{gr}}, 35$ ; domandasi il perimetro esterno di questa sfera, essendo 10,47 la densità dell'argento.

Il peso dell'acqua contenuta nella sfera è  $2521,35 - 726,03 = 1795,32$ ; quindi il suo volume interno è  $1^{\text{lit}},795,32$ . Il volume poi della massa d'argento costituente le pareti della sfera, si ha dalla formola  $P = VD$  da cui

$$V = P/D = 726^{\text{gr}},03/10,47 = 0^{\text{lit}},069,343.$$

Dunque il volume esterno della sfera è  $1^{\text{lit}},795,32 + 0,069,34 = 1^{\text{lit}},864,66$ .

Ora, essendo il volume della sfera  $4\pi r^3/3$ , si ha  $4\pi r^3/3 = 1^{\text{c.d.}},86466$ , da cui  $r = 0^{\text{d}},763$  e la circonferenza  $= 2\pi r = 0^{\text{d}},4794$ .

### XXXI.

Abbiassi un vaso cilindrico il cui diametro interno sia  $0^{\text{m}},25$ ; vi si versino 30 chilog. di mercurio, la cui densità è 13,6, e 2 chilog. di alcool, la cui densità è 0,79. Domandasi a quale altezza questi due liquidi si eleveranno nel vaso.

Siano  $R$  il raggio interno del vaso cilindrico,  $x$  l'altezza dell'alcool ed  $y$  quella del mercurio.

Dalla nota formola  $P = VD$ ; si ha, pel volume dell'alcool,  $P/D = 2/0,79$ , e per quello del mercurio  $P/D = 30/13,6$ ; ma questi volumi sono altresì rappresentati rispettivamente da  $\pi R^2 x$  e  $\pi R^2 y$ ; dunque si ha:

$$\pi R^2 x = 2/0,79 \text{ e } \pi R^2 y = 30/13,6 \text{ da cui} \\ x + y = 2 / \pi R^2 (1/0,79 + 15/13,6) = 0^{\text{m}},0965$$

### XXXII.

Un cilindro di ferro della lunghezza di  $2^{\text{m}},55$  pesa  $41^{\text{chil}}$ , si domanda qual sarà il diametro della sezione perpendicolare all'asse del cilindro, essendo 7,788 la densità del ferro.

L'area della sezione è  $= V/H = P/DH = 41/(7,788 \cdot 25,5)$ , ma essa è pure uguale a  $\pi D^2/4$ , dunque si ha  $\pi D^2/4 = 41/(7,788 \cdot 25,5)$ , da cui  $D = 0^{\text{m}},0512$ .

### XXXIII.

Un pezzo di metallo pesa, nell'aria,  $7^{\text{gr}},234$ ; nell'acqua,  $4^{\text{gr}},523$ ; in un liquido A,  $5^{\text{gr}},417$ ; in un liquido B,  $3^{\text{gr}},215$ . Si domanda la densità del metallo e di ciascuno dei liquidi A e B rispetto all'acqua.

Densità del metallo, 2,66; densità del liquido A, 0,670; densità del liquido B, 1,482.

### XXXIV.

Si domanda il peso di una sfera, in oro strutto, la cui circonferenza, alla temperatura zero, è di  $0^{\text{m}},3248$ , sapendosi che la densità dell'oro strutto è di 19,20.

Il raggio della sfera è  $0^{\text{m}},05169$ , ed il suo peso  $11^{\text{chil}},142^{\text{gr}}$ .

### XXXV.

Qual è il diametro di un filo d'oro che pesa  $26^{\text{gr}}$ , per ogni metro di lunghezza, essendo 19,36 la densità dell'oro.

$$D = 0^{\text{m}},001307.$$

### XXXVI.

Per iscavare una miniera di salgemma, si praticò, in un terreno salifero, un foro di scandaglio nel quale si introdusse un tubo lungo 100 metri. Questo tubo non riempie esattamente l'apertura, si eleva di 1 metro sopra il suolo, e s'attuffa per  $0^{\text{m}},75$  in una soluzione salina, la cui densità è 1,3. Si

versa dell'acqua dolce nello spazio interposto fra il tubo e le pareti del foro di scandaglio. Si domanda l'altezza a cui s'eleverà la soluzione nel tubo.

Rappresentiamo con AB il foro di scandaglio (fig 579), con aO il tubo, e con mn il livello della soluzione salina. Dietro l'enunciato, CO, porzione immersa del tubo, è 0<sup>m</sup>,75, ed ab, porzione fuori dell'acqua, è 1 metro; per conseguenza la porzione aC ha una lunghezza di metri 98,25.

Ciò posto, supponiamo che l'acqua dolce e la salata non si mescolino, e cioè la soluzione salina, al fondo del foro di scandaglio, conservi sempre lo stesso livello mn. Siccome i due scompartimenti iB e aC formano due vasi comunicanti, sappiamo che le altezze delle colonne liquide, in questi due vasi, sono in ragione inversa delle loro densità. Essendo 1 la densità dell'acqua dolce contenuta nella parte iB, ed essendo h, l'altezza della soluzione salina nel tubo, si ha:

$$1/1,3 = h/aC \text{ ma } aC = 98^{\text{m}},25;$$

$$\text{dunque } h = 98,25/1,3 = 75,58.$$

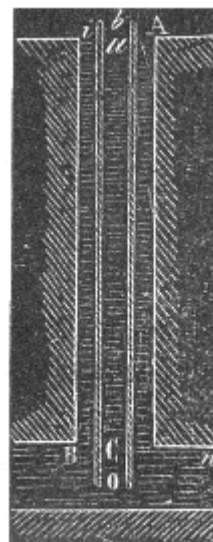


Fig. 576.

### XXXVII.

Un tubo, che poggia sovr'un vaso a mercurio, contiene una colonna d'aria di 1<sup>m</sup>,85 alla pressione 0<sup>m</sup>,75; si domanda qual pressione si dovrà esercitare sul mercurio onde la colonna d'aria si riduca a 0<sup>m</sup>,35 di altezza.

Il volume d'aria, che dapprima era 1,85 alla pressione 0,75, attualmente è 0<sup>m</sup>,35 alla pressione P, e siccome i volumi sono in ragione inversa delle pressioni, si ha:

$$1^{\text{m}},85/0^{\text{m}},35 = P/0^{\text{m}},75, \text{ da cui } P = 3^{\text{m}},964.$$

Tale è la forza elastica dell'aria compressa, cioè l'altezza d'una colonna di mercurio a cui la sua tensione farebbe equilibrio. Dunque la pressione da esercitarsi fuori del tubo uguaglia questa pressione, più l'altezza 1<sup>m</sup>,50, di cui il mercurio s'è innalzato nel tubo, cioè 3<sup>m</sup>,964 + 1<sup>m</sup>,50 = 5<sup>m</sup>,464.

### XXXVIII

Un vaso di forma conica ha 0<sup>m</sup>,08 di diametro alla sua base, e 0<sup>m</sup>,12 di altezza; egli è disposto a piombo, e riempito di mercurio e d'acqua in proporzioni tali che il peso del mercurio sia il triplo del peso dell'acqua. La temperatura è zero, la densità del mercurio 13,598, e quella dell'acqua 1. Si domanda lo spessore di ciascun strato liquido.

Volume totale =  $1/3\pi R^2 H$ , volume del mercurio =  $1/3\pi r^2 y$ , e volume dell'acqua =  $1/3\pi(R^2 H - r^2 y)$ . Dunque il peso del mercurio è  $1/3\pi r^2 y d$ , e quello dell'acqua  $1/3\pi(R^2 H - r^2 y)$ ; e per l'enunciato  $1/3r^2 y d = R^2 H - r^2 y$ , da cui  $y = 3R^2 H / r^2(d+3) = R^2 / r^2 \cdot 3H / (d+3)$ .

Ora  $R^2 / r^2 = H^2 / y^2 = 144 / y^2$  dunque  $y = 144 / y^2 \cdot 36 / 16,598$ , da cui

$$y = \sqrt[3]{\frac{144 \cdot 36}{16,598}} = 0^{\text{m}},0678 \text{ e } H-y = 0^{\text{m}},0522.$$

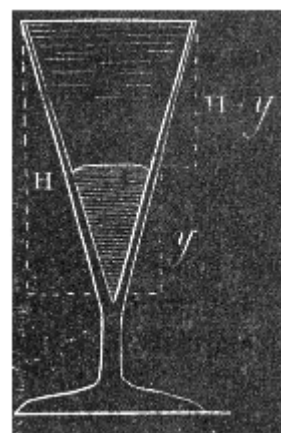


Fig. 577.

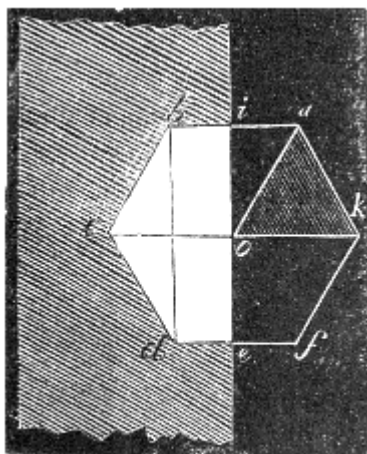


Fig. 578.

### XXXIX.

Un triangolo equilatero d'acciaio, avente 0<sup>m</sup>,15 per lato, ruota attorno ad uno de' suoi lati, e penetra completamente in un pezzo di marmo la cui densità è 2,72. L'asse di rotazione è normale alla superficie del masso, ed il triangolo penetra in esso mediante il vertice. Si domanda qual sia la perdita di peso subita dal masso, per questa operazione.

Essendo il triangolo penetrato nel masso, come lo mostra la figura 555, il volume asportato è

$$V = \pi \overline{oi}^2 \cdot \frac{ab}{2} + \pi \overline{oi}^2 \cdot \frac{ab}{6} = \frac{4}{6} \pi \overline{oi}^2 \cdot ab. \quad \text{Ma } \overline{oi}^2 = \overline{ab}^2 - \frac{\overline{ab}^2}{4} = \frac{3}{4} \overline{ab}^2;$$

dunque

$$V = \frac{\pi ab^3}{2} = \frac{3,1416 \cdot (15)^3}{2} = 5301^{\text{cent.cub}}, 450 \cdot 2,72 = 14^{\text{chil}}, 419^{\text{gr}}, 944.$$

### XL.

Si domanda il peso di un pezzo di marmo di forma cilindrica avente 3<sup>m</sup>,75 di altezza, e 0<sup>m</sup>,85 di diametro, essendo 2,72 la densità del marmo.

$$P = 5788^{\text{chil}}, 005^{\text{gr}}.$$

### XLI.

Un tubo cilindrico di bronzo ha 0<sup>m</sup>,75 di lunghezza, 0<sup>m</sup>,36 di diametro internamente, e le sue pareti hanno uno spessore di 0<sup>m</sup>,08. La densità di questo bronzo è 8,46. Si domanda il peso di questo tubo, 1.° quando è vuoto, 2.° quando è pieno d'acqua a 4 gradi.

Siano R il raggio esterno, r il raggio interno, H l'altezza e D la densità: si ha pel peso del tubo vuoto  $P = \pi H D (R^2 - r^2) = 701^{\text{chil}}, 657$ ; ed il suo peso, quando è pieno, è dato da  $P \pi r^2 H = 777^{\text{chil}}, 997$ .

### XLII.

Un pezzo di legno, la cui densità è 0,729, ha la forma di un cono retto. Lo si fa galleggiare sull'acqua di maniera che il suo asse sia verticale. Ponendo dapprima il vertice in basso, poi il vertice in alto, si domanda qual porzione dell'altezza del cono s'immergerà nell'acqua in ciascun caso.

1.° Sieno V il volume totale del cono, e v il volume della parte immersa; sieno H ed h le altezze dei due coni; D la densità del legno, d quella dell'acqua.

I volumi V e v avendo lo stesso peso stanno fra loro in ragione inversa delle loro densità; si ha dunque  $V/v = d/D$ , o  $H^3/h^3 = d/D$ ; da cui  $h^3 = H^3 D/d$ , essendo  $D = 1$ , e ponendo anche  $H = 1$ , ne viene  $h = \sqrt[3]{D} = \sqrt[3]{0,729} = 0,9$  di H

2.° Nella seconda posizione del cono si ha

$$V/(V-v) = d/D, \text{ o } H^3/(H^3-h^3) = d/D; \text{ da cui } H^3/(d-D) = 1 - D$$

facendo  $H = 1$ , e  $d = 1$ . Dunque si ha:  $h = \sqrt[3]{1 - 0,729} = 0,647$  di H

### XLIII.

Un areometro di Baumé (pesa-acidi), a fusto perfettamente cilindrico, s'affonda fino alla 66<sup>a</sup> divisione nell'acido solforico, la cui densità è 1,8. Ciò posto si domanda: 1.° qual è la densità dell'acqua salata che serve a graduare l'istrumento; 2.° qual rapporto avvi fra il volume di una divisione ed il volume dell'areometro fino allo zero.



Fig. 379.

1.° Sieno  $V$  il volume dell'areometro fino allo zero della scala,  $v$  il volume fino a 66 e  $v'$  il volume fino a 15, si ha  $V/v = 1,8/1$ , o  $(v+66)/v=1,8$ , d'onde  $v = 82,5$ ; e  $V = 148,5$  dall'eguaglianza  $V-v' = 15$ , ne viene  $v' = 133,5$ . Dunque la densità  $d$  dell'acqua salata è data dall'eguaglianza  $V/v = d/1$ , da cui  $d=148,5/133,5=1,112$   
 2.° Il rapporto del volume d'una divisione al volume dell'areometro fino allo zero è  $1/148,5$ .

#### XLIV.

Sapendosi che un litro d'aria, a 0° e alla pressione 0<sup>m</sup>,76, pesa 1<sup>gr</sup>,293, si domanda quanto pesi, alla medesima temperatura e pressione, un mezzo metro cubo di legna la cui densità è 0,5. Si domanda in oltre qual sarebbe il lato del cubo d'ottone la cui densità è 8,3, il cui peso, nell'aria, eguaglierebbe quello del mezzo metro cubo di legna.

1.° Nel vuoto, il mezzo metro cubo di legna peserebbe  $500^{\text{chil}} \cdot 0,5 = 250^{\text{chil}}$ ; dunque nell'aria egli pesa  $250^{\text{chil}}$ , meno il peso del mezzo metro cubo d'aria spostata, cioè  
 $250^{\text{chil}} - 0^{\text{chil}},646^{\text{gr}},5 = 249^{\text{chil}},353^{\text{gr}},5$ .

2.° Sia  $x$  il lato del cubo espresso in decimetri; il suo volume è  $x^3$ , ed il suo peso nel vuoto, in chilogrammi, è  $x^3 \cdot 8,3$ ; ora, il volume d'aria spostata dal cubo è  $x^3$ , ed il peso di quest'aria è  $1^{\text{gr}},293 \cdot x^3$ ; dunque il peso del cubo di ottone, nell'aria, è  
 $x^3 \cdot 8,3 - 0^{\text{chil}},001^{\text{gr}},293 \cdot x^3$

Si ha dunque  $(8,3 - 0,001293) x^3 = 249^{\text{chil}},3535$ , da cui  $x = 0^{\text{m}},3107$ .

#### XLV.

Si ha un cilindro di platino di 0<sup>m</sup>,02 di altezza; vi si adatta un cilindro di ferro dello stesso diametro. Quale altezza si dovrà assegnare al cilindro di ferro affinché la sua base superiore si mantenga alla superficie del mercurio, quando si tuffino in questo liquido i due cilindri; e se il diametro dei cilindri fosse 0<sup>m</sup>,03, qual sarebbe il peso del mercurio spostato? Dato che la densità del platino è 21,59, quella del mercurio 13,596, e quella del ferro 7,778.

1.° Siano  $D$  la densità del platino,  $D'$  quella del ferro e  $D''$  quella del mercurio, e siano  $h$  l'altezza del cilindro di platino ed  $x$  quella del cilindro di ferro.

Il peso del platino è  $\pi r^2 h D$ ;  
 Quello del ferro  $\pi r^2 x D'$ ;  
 E quello del mercurio spostato  $\pi r^2 (h + x) D''$ .

Si ha dunque, sopprimendo il fattore comune  $\pi r^2$ ,

$hD + xD' = (h + x) D''$ , da cui  $x=h(D-D'')/(D''-D)=2 \cdot 7,994/5,808=2^{\circ},75$ .

2.° Essendo 3° il diametro del cilindro, il peso del mercurio spostato è  
 $3,1416 \cdot 9(2+2,75) \cdot 13,596/4=456^{\text{gr}},497$ .

#### XLVI.



Si suppone che un uomo sollevi d'un tratto 125 palle da cannone del peso di 2 chilogrammi; si domanda qual numero di palle simili potrebbe sollevare, impiegando la stessa forza muscolare, se la terra avesse il volume della luna, rimanendo eguale tutto il resto.

Preso per unità il raggio della terra, si riterrà il raggio della luna eguale a 0,27234, e non si terrà calcolo dello schiacciamento della terra e della luna ai loro poli.

Siano  $R$  il raggio della terra ed  $M$  la sua massa; siano parimente  $r$  ed  $m$  il raggio e la massa della luna; siano infine  $P$  il peso portato alla superficie della terra, essendo  $R$  il suo raggio;  $P'$  quello che sarebbe portato se, rimanendo costante la massa della terra, il suo raggio fosse  $r$ ; e  $P''$  il peso che sarebbe portato sempre alla superficie della terra, se, col raggio  $r$ , ella avesse la massa  $m$  della luna.

Essendo i pesi  $P$  e  $P'$  a parità di massa, direttamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze dal centro della terra, si ha  $P/P' = R^2/r^2$  [1]; al contrario, essendo i pesi  $P'$  e  $P''$ , per distanze eguali, inversamente proporzionali alle masse, si ha  $P'/P'' = m/M$ , ovvero sia, a densità eguale,  $P'/P'' = R^3/r^3$  [2]. Moltiplicando membro a membro le eguaglianze [1] e [2], ne viene  $P'/P'' = r/R$ ; d'onde

$$P'' = P \cdot R / r = 250^{\text{chil}} / 0,27234 = 918^{\text{chil}},$$

dunque il numero. richiesto di palle è  $918/2 = 459$ .

## PROBLEMI SUL PRINCIPIO D'ARCHIMEDE, SULLA DENSITÀ DEI GAS E SULLA PRESSIONE ATMOSFERICA

### XLVII.

Dato un corpo A, il cui peso nell'aria sia  $7^{\text{gr}},55$ , nell'acqua  $5^{\text{gr}},17$ , ed in un altro liquido B,  $65^{\text{gr}},35$ ; dedurre da questi dati la densità del corpo A e quella del liquido B.

Per l'enunciato, la perdita di peso del corpo A nell'acqua è  $7^{\text{gr}},55 - 5^{\text{gr}},17 = 2^{\text{gr}},38$ ; questo è il peso dell'acqua smossa. Nel liquido B egli perde  $7^{\text{gr}},55 - 65^{\text{gr}},35 = 1^{\text{gr}},20$ ; questo è il peso del volume di liquido B eguale al volume del corpo e dell'acqua. Per conseguenza, il peso specifico del corpo A è  $755/238 = 3,173$ , e quello del liquido B è  $120/238 = 0,504$ .

### XLVIII.

Calcolare il valore numerico della pressione che si esercita sopra di un cerchio il cui diametro è  $1^{\text{m}},37$ , supponendo l'altezza barometrica eguale a  $0^{\text{m}},76$ .

Rappresentando con R il raggio del cerchio e con S la sua superficie, si ha dalla geometria  $S = \pi R^2$ , essendo  $\pi$  il rapporto della circonferenza al diametro ed eguale a 3,141592 ... Ora essendo, per l'enunciato,  $R = 68^{\text{cent}},5$ , si ha  $R^2 = 4692^{\text{cent. quad}},25$ , e  $\pi R^2 = 14741$  centimetri quadrati.

Ma abbiamo visto che, allorché il barometro segna  $0^{\text{m}},76$ , la pressione atmosferica, sopra un centimetro quadrato, è  $1^{\text{chil}},033$ ; quindi sopra 14741 centimetri quadrati è  $1^{\text{chil}},033 \cdot 14741$ , ossia  $15227^{\text{chil}},6$ .

### XLIX.

Si ha un aerostato sferico di 4 metri di diametro; lo si riempie d'idrogeno impuro che pesa 100 grammi al metro cubo; il taffetà verniciato di cui è formato l'involuppo pesa 250 grammi al metro quadrato. Si domanda quanto idrogeno occorre per riempirlo, ed a qual peso possa far equilibrio, sapendosi che l'aria pesa 1300 grammi al metro cubo.

Si sa, dalla geometria, che il volume di una sfera di raggio R è rappresentato da  $4\pi R^3/3$ , e la superficie da  $4\pi R^2$ . Quindi, detto V il volume del pallone pieno, ed S la sua superficie, si ha:

$$V = 4\pi R^3/3 = 4 \cdot 3,1416 \cdot 8/3 = 33^{\text{met. cub.}},510$$

$$\text{Ed } S = 4\pi R^2 = 4 \cdot 3,1416 \cdot 4 = 50^{\text{met. quad}},2655$$

Per conseguenza, il peso dell'idrogeno contenuto nel pallone dietro l'annunciato è 100 grammi  $\cdot 33,510 = 3^{\text{chil}},351$ ; e quello dell'involuppo è 250 grammi  $\cdot 50,2655 = 12^{\text{chil}},566$ . Dunque il peso totale del pallone, compreso quello dell'idrogeno e dell'involuppo, è  $3^{\text{chil}},351 + 12^{\text{chil}},566 = 15^{\text{chil}},917$ .

Ma il peso dell'aria smossa dal pallone, e quindi la spinta dal basso in alto, è per l'enunciato  $1^{\text{chil}},300 \cdot 33,510 = 43^{\text{chil}},563$ . Dunque infine il peso a cui può fare equilibrio il pallone è  $43^{\text{chil}},563 - 15^{\text{chil}},917 = 27^{\text{chil}},646$ .

### L.

Un pallone pesa  $254^{\text{gr}},735$  quando è vuoto, e  $5^{\text{chil}},422^{\text{gr}},737$  quando è pieno d'aria alla temperatura di 4 gradi. Si sa che a questa temperatura il peso dell'aria sta a quello dell'acqua, come 129 sta a 100000; si domanda la capacità del pallone. Lo stesso pallone pieno d'un altro gas a 4 gradi pesa  $651^{\text{gr}},175$ , essendo 0,76 la pressione; qual ne sarebbe il peso se la pressione fosse  $1^{\text{m}},23$ ?

1.° Il peso dell'aria contenuta nel pallone =  $5^{\text{chil}},422^{\text{gr}},738 - 254^{\text{gr}},735 = 5^{\text{chil}},168^{\text{gr}},003$ .

Rappresentando con  $P$  il peso dell'acqua a  $4^{\circ}$  che il pallone può contenere, si ha  $P/5^{\text{chil}},168003=100000/129$ , da cui  $P = 4006^{\text{chil}},204$ . Ora, essendo un litro il volume d'un chilogrammo d'acqua a  $4^{\circ}$ , la capacità del pallone è  $4006^{\text{lit}},204$ .

2.° Essendo  $651^{\text{gr}},175 - 254^{\text{gr}},735 = 396^{\text{gr}},440$  il peso del gas contenuto nel pallone alla pressione  $0^{\text{m}},76$ , il peso dello stesso volume alla pressione  $0^{\text{m}},01$  è  $396^{\text{m}},440/76$ , e alla pressione  $1^{\text{m}},23$ , questo peso è  $396,440 \cdot 123/76 = 641^{\text{gr}},607$ .

## LI.

Un pallone vuoto pesa  $150^{\text{gr}},475$ ; pieno d'aria pesa  $160^{\text{gr}},158$ ; pieno d'un altro gas pesa  $168^{\text{gr}},235$ .

1.° Rimanendo costante la pressione, si domanda la densità di questo gas rispetto all'aria; 2.° qual correzione avrebbesi dovuto fare se la pressione fosse stata  $0^{\text{m}},75$  durante la pesata dell'aria, e  $0^{\text{m}},77$  durante la pesata del gas.

1.° Peso dell'aria =  $160^{\text{gr}},158 - 150^{\text{gr}},475 = 9^{\text{gr}},683$ ; peso del gas =  $162^{\text{gr}},235 - 150,475 = 11^{\text{gr}},760$ ; quindi la densità del gas per rapporto all'aria è

$$11,760/9,683=1,2145$$

2.° La correzione da farsi si è di ricondurre il peso dell'aria e quello del gas alla pressione  $0^{\text{m}},76$ . Per ciò, essendo il peso dell'aria  $9^{\text{gr}},683$  alla pressione  $0^{\text{m}},75$ , egli è  $9^{\text{gr}},683/75$  alla pressione  $1^{\text{cent}}$ , e  $9^{\text{gr}},683 \cdot 76/75$  alla pressione  $0^{\text{m}},76$ . Si troverà del pari che il peso del gas a questa pressione è

$$(11,760 \cdot 76)/77 : (9^{\text{gr}},683 \cdot 76)/75 = (11,760 \cdot 75)/(9,683 \cdot 77) = 1,183.$$

## LII.

Una sfera di platino pesa nell'aria  $84^{\text{gr}}$ , nel mercurio pesa solo  $22^{\text{gr}},6$ ; si domanda qual sia la densità del platino.

Perdita di peso nel mercurio =  $84^{\text{gr}} - 22^{\text{gr}},6 = 61^{\text{gr}},4$ ; quindi la densità del platino rapporto al mercurio è  $84/61,4$ , e quella del platino rapporto all'acqua è  $(84 \cdot 13,6)/61,4 = 18,55$ , essendo  $13,6$  la densità del mercurio.

## LIII.

Si è pesato, alla medesima temperatura, un pezzo di metallo successivamente nell'aria, nell'acqua ed in un liquido A; si è trovato che il suo peso nell'aria è  $5^{\text{gr}},219$ ; nell'acqua,  $4^{\text{gr}},132$ , nel liquido A,  $5,009$ . Si domanda la densità del metallo e quella del liquido A rapporto all'acqua.

Densità del metallo =  $4,801$ ; densità del liquido =  $0,193$ .

## LIV.

Un pallone vuoto pesa  $771^{\text{gr}},177$ ; pieno d'aria,  $773^{\text{gr}},228$ ; pieno d'un altro gas,  $775^{\text{gr}},537$ .

Si domanda: 1.° la densità di questo gas, essendosene trovato il peso alla pressione  $0^{\text{m}},76$  ed alla temperatura  $0^{\circ}$ ; 2.° quali correzioni si dovrebbero fare se si fosse eseguita la pesata alla pressione  $0^{\text{m}},74$ , ed alla temperatura di  $15$  gradi.

1.° Densità del gas =  $1,076$ .

2.° Nel caso in cui si fossero eseguite le pesate alla pressione  $0^{\text{m}},74$  ed a  $15$  gradi, bisognerebbe ricondurre il peso dei due gas alla pressione  $0^{\text{m}},76$  ed alla temperatura  $0^{\circ}$ , poi dividere il peso del gas per quello dell'aria.

## LV.

Si fa agire lo stantuffo di una macchina pneumatica; la capacità del recipiente è di  $7^{\text{lit}},53$ , ed è ripieno d'aria alla pressione  $0^{\text{m}},76$  ed alla temperatura  $0^{\circ}$ . Si domanda:

1.° il peso dell'aria quando la pressione sia ridotta a  $0^m,021$ ; 2.° il peso dell'aria estratta dallo stantuffo; 3.° il peso dell'aria che resterebbe nella campana alla temperatura di  $15^\circ$ .

1.° A  $0^\circ$  e  $0^m,76$  di pressione,  $7^{lit},53$  d'aria pesano  $1^{gr},3 \cdot 7,53 = 9^{gr},789$ .

A  $0^\circ$  e  $0^m,021$  di pressione il medesimo volume pesa  $9,789 \cdot 21/760 = 0^{gr},270$ .

2.° Il peso dell'aria estratta è  $9^{gr},789 - 0^{gr},270 = 9^{gr},519$ .

3.° Il peso dell'aria che resterebbe, a  $15^\circ$ , sarebbe  $0^{gr},270/(1+0,00366 \cdot 15) = 0^{gr},256$ .

#### LVI.

Abbiassi un pallone avente per raggio 1 metro; lo si riempia per tre quarti di gas idrogeno; domandasi qual peso esso potrebbe innalzare, sapendosi che la densità dell'idrogeno è  $0,069$ , e che un litro d'aria pesa  $1^{gr},3$ . L'aria e l'idrogeno sono alla pressione  $0^m,76$ , ed alla temperatura  $0$  gradi.

Volume del pallone =  $4\pi r^3/3$ , di cui i  $3/4 = 4\pi r^3/3 \cdot 3/4 = \pi r^3 = 3^{met. cub.},1416$

Un metro cubo d'aria pesa  $1^{chil},300^{gr}$ , quindi il peso dell'aria spostata dal pallone è  $1^{chil},300 \cdot 3,1416 = 4^{chil},084^{gr}$ . Il peso poi dell'idrogeno che riempie il pallone è  $4^{chil},084 \cdot 0,069 = 0^{chil},281$ . Dunque il peso che il pallone può sollevare, compresi il peso proprio, è  $4^{chil},084 - 0^{chil},281 = 3^{chil},803^{gr}$ .

#### LVII.

Calcolare la forza d'ascensione d'un pallone sferico di taffetà, che, essendo vuoto, pesa  $63^{chil},620$ , e che vien riempito d'idrogeno impuro, sapendosi che il taffetà verniciato pesa  $0^{chil},250^{gr}$ , al metro quadrato, un metro cubo d'aria pesa  $1^{chil},300^{gr}$ , ed un metro cubo d'idrogeno  $0^{chil},100^{gr}$ .

La superficie del pallone =  $63^{chil},620/0^{chil},250 = 254^{met. quad.},48$ . Ora, la superficie del pallone essendo quella d'una sfera, è eguale a  $4\pi R^2$ ; si ha dunque  $4\pi R^2 = 254^{met. quad.},48$ ; da cui

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{254,48}{3,1416}} = \frac{1}{2} \sqrt{81,0033} = 4^m,50.$$

Per conseguenza, detto  $V$  il volume della sfera, si ha:

$$V = 4\pi r^3/3 = 4 \cdot 3,1416 \cdot (4,5)^3/3 = 381^{m. cub.},7044.$$

Quindi il peso dell'aria spostata è  $1^{chil},3 \cdot 381,7044 = 496^{chil},216^{gr}$ .

Il peso dell'idrogeno è  $0^{chil},1 \cdot 381,7044 = 38^{chil},1704$ , dunque la forza d'ascensione è  $496,216 - 38,1704 - 63,620 = 392^{chil},4264^{gr}$ .

#### LVIII.

Una colonna d'acqua di  $1^m,55$  d'altezza, ed una colonna d'un altro liquido di  $3^m,17$  di altezza si fanno equilibrio nei rami di un sifone, avendo ambedue i liquidi la temperatura di  $4$  gradi; si domanda qual sia la densità del secondo liquido rispetto all'acqua, e quale l'altezza a cui giungerebbe elevandosi la sua temperatura a  $25$  gradi, rimanendo a  $4$  gradi quella dell'acqua, ed essendo  $1/6000$  il coefficiente di dilatazione assoluta del liquido.

1.° Siccome le altezze delle colonne liquide che si fanno equilibrio sono in ragione inversa delle densità, si ha  $1,55 \cdot 1 = 3,17 \cdot d'$ , da cui  $d' = 0,4889$ , a  $4^\circ$ .

2.° Rappresentando con  $h$  l'altezza dello stesso liquido a  $25^\circ$ , con  $d$  la sua densità a  $4^\circ$ , e con  $d'$  la sua densità a  $25^\circ$ , si ha  $3,17 \cdot d = h \cdot d'$  [1], ora  $d' = d/(1+(1/6000) \cdot 25)$  (254, prob. IV).

Sostituendo questo valore nell'eguaglianza [1], si ha  $3^m,17 = h/(1+25/6000)$ , da cui  $h = 3^m,183$ .

#### LIX.

Si domanda qual sarebbe nell'aria e nell'idrogeno la perdita di peso di un corpo che nell'acido carbonico perde  $1^{gr},15$  del suo peso, essendo  $1$  la densità dell'aria,  $0,069$  quella dell'idrogeno, e  $1,524$  quella dell'acido carbonico a  $0^\circ$  e alla pressione  $0^m,76$ .

Si domanda inoltre: 1.° se il rapporto fra le perdite di peso rimanga il medesimo alla temperatura di 200 gradi, rimanendo inalterata la pressione; 2.° se questo rapporto rimanga il medesimo alla pressione di 30 atmosfere, essendo la temperatura 0 gradi.

Un litro d'aria, a 0° ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76, pesa 1<sup>gr</sup>,3; quindi un litro d'acido carbonico, la cui densità è 1,524, pesa  $1,3 \cdot 1,524 = 1,9812$ . Dunque il volume di acido carbonico corrispondente ad 1<sup>gr</sup>,15 si otterrà dividendo 1,15 per 1,9812, il che dà per quoto 0<sup>lit</sup>,5804. Ora, essendo questo il volume del corpo, esso sposta 0<sup>lit</sup>,5804 d'aria, e, per conseguenza, la sua perdita di peso nell'aria è  $1,3 \cdot 0,5804 = 0,75452$ . E la sua perdita di peso nell'idrogeno è  $0,75452 \cdot 0,069 = 0,052061$ .

Il rapporto fra le perdite di peso nell'acido carbonico e nell'idrogeno non rimane rigorosamente lo stesso, variando la temperatura o la pressione, poichè questi due gas non sono nè egualmente dilatabili, nè egualmente compressibili.

#### LX.

Il *provino* d'una macchina a compressione contiene un volume d'aria di 137 parti. Posta in azione la macchina, questo volume fu ridotto a 25 parti, ed il mercurio si innalzò nel provino a 0<sup>m</sup>,45; si domanda il rapporto fra la quantità primitiva d'aria contenuta nel recipiente e la quantità che vi si trova dopo l'esperienza.

Siccome l'aria contenuta nel provino è alla pressione di 1 atmosfera quando il suo volume è 137; rappresentando con F la sua tensione allorchè il volume si ridusse da 137 a 25, si ha, per la legge di Mariotte,  $F \cdot 25 = 137 \cdot 1$ , da cui  $F = 5,48$ . Quanto all'altezza del mercurio nel provino, essa equivale, in atmosfere, a  $45/76 = 0,59$ . Ora, poichè la tensione dell'aria nel recipiente fa equilibrio alla pressione dell'aria del provino e alla colonna di mercurio che si eleva in esso, bisogna che questa tensione eguagli  $5,48 + 0,59 = 6,07$ . Essendo la pressione dell'aria nel recipiente divenuta 6,07 volte più grande, lo stesso avviene della massa dell'aria; dunque il rapporto domandato è 1/6,07.

#### LXI.

Un corpo perde nell'aria 7 grammi del proprio peso; domandasi quanto perderebbe nell'acido carbonico e nell'idrogeno, ritenuto che la densità dell'acido carbonico è 1,524, e quella dell'idrogeno 0,069.

Perdendo il corpo 7 grammi del proprio peso nell'aria, in un gas due, tre volte più denso, ne perde il doppio, il triplo; dunque, nell'acido carbonico, egli perde  $7 \cdot 1,524 = 10,668$ , e nell'idrogeno  $7 \cdot 0,069 = 0,483$ .

#### LXII.

Calcolare, a 0 gradi ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76, il peso dell'idrogeno contenuto in un pallone sferico avente 10 metri quadrati di superficie, sapendosi che il peso specifico dell'idrogeno, riferito a quello dell'aria, è di 0,0692, e che quello dell'aria, riferito all'acqua è 1/770.

Calcolare inoltre il peso dello stesso volume di idrogeno misurato alla temperatura di 15° ed alla pressione 0<sup>m</sup>,77 (si suppone conosciuto il coefficiente di dilatazione del gas).

Superficie del pallone  $= 4\pi R^2 = 10^{m.q.}$ , da cui  $R = \sqrt{\frac{10}{4\pi}} = \sqrt{0^{m.q.},795772} = 0,892$ .

Rappresentando quindi con V il volume del pallone, si ha

$$V = 4\pi R^3 / 3 = 4 \cdot 3,1416 \cdot (0,892)^3 / 3 = 2972^{lit.},330.$$

Quindi se il pallone fosse pieno d'acqua, il suo peso sarebbe 2972<sup>chil</sup>,330<sup>gr</sup>; pieno d'aria, che pesa 770 volte meno, il suo peso sarebbe 2972<sup>lit.},330/770; dunque infine, pieno d'idrogeno, la cui densità rispetto all'aria è 0,0692, il suo peso è  $2972^{lit.},330 \cdot 0,0692 / 770 = 0,267^{gr},13$ .</sup>

Per ottenere il peso dello stesso volume d'idrogeno a 15° bisogna osservare che la densità di questo gas, che è 0,0693 alla temperatura zero, è  $0,0692/(1+0,003668 \cdot 15)$  a 15° (prob. IV), essendo 0,003668 il coefficiente di dilatazione dell'idrogeno.

Per conseguenza il peso dell'idrogeno a 15° è  $2972^{\text{lit.}},330 \cdot 0,0692/770 \cdot (1+0,003668 \cdot 15)$ .

### LXIII.

Trovare il valore numerico della pressione che l'atmosfera esercita sopra un rettangolo di cui un lato è eguale a 0<sup>m</sup>,26, e la diagonale a 0<sup>m</sup>,44. Si suppone che l'altezza del barometro sia 0<sup>m</sup>,76 e la temperatura zero.

L'area del rettangolo in centimetri quadrati è 920,4, e siccome la pressione atmosferica sopra un centimetro quadrato è 1<sup>chil</sup>,033<sup>gr</sup>, la pressione domandata è  $1,033 \cdot 920,4 = 950^{\text{chil}},773^{\text{gr}}$ .

### LXIV.

Un pallone di vetro contiene 8<sup>gr</sup>,558 d'aria; lo si riempie di protossido d'azoto, la cui densità è 1,52, essendo 1 quella dell'aria: si domanda qual sarà il peso del protossido. 1.° se la pressione rimane la medesima in ambedue i casi; 2.° se la pressione dell'aria è 0,76, e quella del protossido 0,78. Si suppone che rimanga costante la temperatura.

1.° Il peso del protossido d'azoto è  $8^{\text{gr}},558 \cdot 1,52 = 12^{\text{gr}},993$ .

12,993 x 78

2.° Alla pressione 0,78 il suo peso è  $12,993 \cdot 78/76 = 13,334$ .

### LXV.

In pallone di vetro vuoto pesa 152<sup>gr</sup>,475; pieno d'aria, pesa 168<sup>gr</sup>,386, e pieno d'un altro gas pesa 157<sup>gr</sup>,235. Si domanda la densità di questo gas, rispetto a quella dell'aria presa per unità, nel caso che la pressione rimanga invariabile. Si domanda altresì qual correzione dovrebbe fare se la pressione fosse stata di 0<sup>m</sup>,77 durante la pesata dell'aria, e di 0<sup>m</sup>,74 durante la pesata del gas.

Nel primo caso, la densità del gas è  $(157,235-152,475)/(168,386-152,475)=0,299$ .

Nel secondo caso, essa è  $0,299 \cdot 77/44=0,311$ .

### LXVI.

Pongasi in un recipiente di 3 litri, 1.° 2 litri d'idrogeno alla pressione di 5 atmosfere; 2.° 5 litri d'acido carbonico alla pressione di 5 atmosfere; 3.° 3 litri d'azoto alla pressione di  $\frac{1}{2}$  atmosfera. Domandasi la pressione finale del miscuglio, supponendo rimaner costante la temperatura durante la esperienza.

La pressione =  $(5 \cdot 3)/3 - 4 \cdot 4/3 + 3/(2 \cdot 3) = 9^{\text{atm}} + 1/6$ .

### LXVII.

La campana d'una macchina pneumatica sostiene  $3^{\text{lit}},17$  d'aria; un barometro che comunica colla parte superiore della campana marca zero quando questo è in comunicazione coll'atmosfera. Si chiude il robinetto e si mette in azione la macchina; allora il mercurio si innalza nel barometro di  $0^{\text{m}},65$ . Un secondo barometro collocato presso la macchina segnò  $0,76$  durante l'esperienza. Domandasi il peso dell'aria estratta dalla campana ed il peso di quella che vi rimane, essendo zero la temperatura.

A  $0^\circ$  ed alla pressione  $0,76$ , il peso dell'aria contenuta nella campana è

$$1^{\text{gr}},3 \cdot 3,17 = 4^{\text{gr}},121.$$

A  $0^\circ$  ed alla pressione  $76 - 65 = 11$ , il peso dell'aria che rimane ancora nella campana è

$$1^{\text{gr}},3 \cdot 3,17 \cdot 11/76 = 0,596.$$

Dunque il peso dell'aria estratta dalla campana è  $4^{\text{gr}},121 - 0^{\text{gr}},596 = 3^{\text{gr}},525$ .

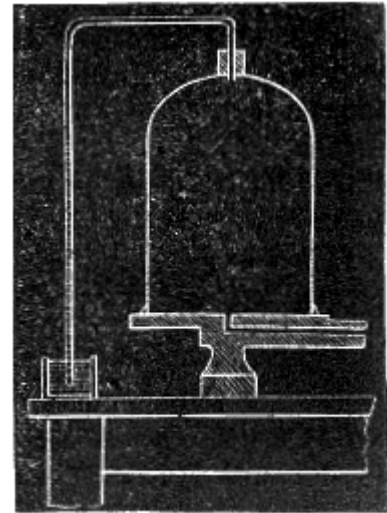


Fig. 580.

#### LXVIII.

Il volume d'aria, nel provino d'una macchina di compressione, è eguale a 152 parti. Per l'azione della macchina, questo volume fu ridotto a 37 parti ed il mercurio si elevò, nel tubo del manometro a  $0^{\text{m}},48$ . Si domanda in qual rapporto aumentò la quantità d'aria nel recipiente della macchina.

Nella figura qui contro si ha  $AB = 152$  parti,  $AC = 37$  parti, e  $BC = 0^{\text{m}},48$ . Ciò posto, per la legge di Mariotte, la pressione dell'aria in  $AC$  è  $= 152/37 = 4^{\text{atm}},108 = 3^{\text{m}},122$ , poichè un'atmosfera è rappresentata da  $0,76$ . Quindi la pressione nel recipiente  $M$ , ove si comprime l'aria, è  $3^{\text{m}},122 + 0^{\text{m}},48 = 3^{\text{m}},602$ . Ora, aumentandosi la massa d'aria come la pressione, essa è attualmente, nel recipiente,  $3^{\text{m}},602/0,76 = 4,7$ . Cioè essa divenne 4 volte  $7/10$  più grande.

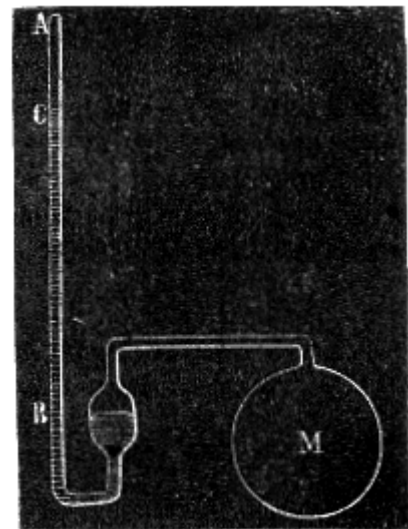


Fig. 581.

#### LXIX.

Sapendosi che la capacità del corpo di tromba di una macchina pneumatica è  $1/3$  della capacità del recipiente, calcolare quante corse di stantuffo occorrono affinchè la pressione interna sia la ducesimesima parte della primitiva.

Rappresentiamo con  $1$  la pressione atmosferica, e con  $l$  il volume del recipiente.

Salito lo stantuffo, questo volume sarà  $1 + 1/3$ , e per conseguenza la pressione dell'aria sotto il recipiente sarà  $1/(1 + 1/3)$ , essendo essa in ragione inversa del volume.

Parimenti alla seconda salita dello stantuffo, essa è  $1/(1 + 1/3)$  di quanto era dopo la prima cioè  $1/(1 + 1/3)$  di  $1/(1 + 1/3)$  ossia  $1/(1 + 1/3)^2$ .

Si troverà così che dopo  $n$  corse semplici di stantuffo, la pressione è  $1/(1 + 1/3)^n$ .

Adunque si ha  $1/(1 + 1/3)^n = 1/200$ , da cui  $(1 + 1/3)^n = 200$ ; ossia  $(4/3)^n = 200$ .

Prendendo i logaritmi, si ha  $n = \log 200 / (\log 4 - \log 3) = 18,4$ .

#### LXX.

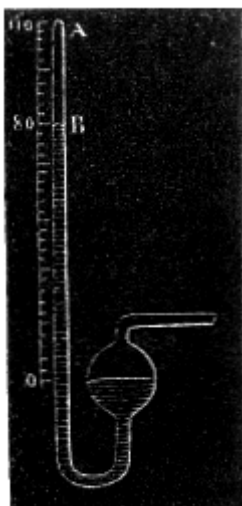


Fig. 582.

Un manometro ad aria compressa è diviso in 110 parti d'ugual capacità; quando la pressione esterna è di  $0^m,76$ , il mercurio, nell'interno del tubo e della vaschetta, rimane allo zero della scala. Si colloca il manometro sotto il recipiente d'una macchina di compressione e si vede innalzarsi il mercurio fino alla  $80^{ma}$  divisione; misurando allora l'altezza del mercurio nel tubo, la si trova di  $0^m,45$ ; domandasi la pressione che si esercita nella macchina.

Sia  $P$  la pressione dell'aria in  $AB$  (fig. 582); essendo 30 la porzione di scala  $c$  corrispondente ad  $AB$ , si ha  $P/76 = 110/30$ , da cui  $P = 2^m,787$ . Aggiuntavi l'altezza  $0^m,45$  del mercurio nel tubo, la pressione totale è  $3^m,237$ .

Per ridurla in atmosfere, dividasi  $3^m,237$  per  $0^m,76$ , dal che si ha  $4^{atm} + \frac{1}{4}$ .



## PROBLEMI SUI COEFFICIENTI DI DILATAZIONE

### LXXI.

Le altezze dei due barometri A e D furono osservate, l'una a -10 gradi, l'altra a +15; domandasi qual correzione si dovrebbe fare alle stesse onde ridurle a quell'altezza che avrebbero avuta alla temperatura di zero, sapendosi che il coefficiente di dilatazione cubica del mercurio è  $1/5550$ . Ritengasi l'altezza del barometro A di 737 millimetri, quella del barometro B di 763.

Questo problema si risolve col mezzo della formola  $H = h (1 + Dt)$ , considerandovi  $t$  col segno + per le temperature al disopra dello zero, e col segno - per le temperature al disotto. Da questa formola si ricava  $h = H/(1+Dt)$ . Questa, pel barometro A, dà  $h = 737 \cdot 5550 / (5550 - 10) = 738^{\text{mm}},3$ ; e pel barometro B,  $h = 763 \cdot 5550 / (5550 + 15) = 760^{\text{mm}},9$ .<sup>(22)</sup>

### LXXII.

Si ha una spranga di 3 metri d'un metallo che ha per coefficiente di dilatazione  $1/754$ ; un'altra spranga di 5 metri, d'un altro metallo, si dilata per un egual numero di gradi tanto quanto la prima; trovarne il coefficiente di dilatazione.

Sia  $K$  il coefficiente di dilatazione di questa seconda spranga, il suo allungamento totale, per un grado, sarà  $5 \cdot K$ , e quello della prima spranga  $3 \cdot 1/754$ ; quindi si ha:

$$5 \cdot K = 3 \cdot 1/754 \text{ da cui } K = 3/3770.$$

### LXXIII.

Si ha un quadrato di latta il cui lato, a zero, è 3 metri; se ne eleva la temperatura a 64 gradi. Calcolare ciò che diverrà la sua superficie, sapendosi che il coefficiente di dilatazione del ferro è 0,0000122.

Rappresentando con  $l$  il lato dato a zero, con  $l'$  lo stesso lato a  $t$  gradi, e con  $k$  il coefficiente di dilatazione del ferro, si ha la nota formola:  $l' = l (1 + kt)$ , per mezzo della quale si trova il lato  $l'$  a 64 gradi, facendo in essa  $l = 3$ ,  $t = 64$ , e  $k = 0,0000122$ , dal che si ha:

$$l' = 3 (1 + 0,0000122 \cdot 64) = 3^{\text{m}},0023424.$$

Ciò posto, essendo la superficie di un quadrato eguale al quadrato del suo lato, la superficie richiesta è  $(3^{\text{m}},0023424)^2 = 9^{\text{mc}},0141$ .

### LXXIV.

Si vuol fare con acciaio ed ottone un pendolo compensatore la cui lunghezza costante, sia di  $0^{\text{m}},50$ . Si sa che il coefficiente di dilatazione dell'acciaio impiegato a quest'uso è di 0,000010788, e quello dell'ottone di 0,000018782. Si domanda qual disposizione si dovrà dare a questo pendolo e quali dovranno essere le lunghezze delle aste d'acciaio e d'ottone affinché abbia luogo la compensazione.

Per soddisfare alle condizioni di questo problema, bisogna: 1.° che l'asta del pendolo sia formata d'un sistema di spranghe d'acciaio e d'ottone, disposte in modo che le loro dilatazioni avvengano in senso contrario; 2.° che le rispettive lunghezze dell'ottone e dell'acciaio siano in ragione inversa dei loro coefficienti di dilatazione, a queste condizioni si soddisfa disponendo il pendolo come già vedemmo.

Rappresentando con  $x$  la lunghezza totale delle spranghe d'acciaio, e con  $y$  quella delle spranghe d'ottone, si avrà per l'equazione [1]  $x - y = 50^{\circ}$  [1].

---

<sup>(22)</sup> Nel testo si legge " $h = 737 \cdot 5550 / (5550 \times 10) = 738^{\text{mm}},3$ " e " $h = 763 \cdot 5550 / (5550 \times 15) = 760^{\text{mm}},9$ " [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

Inoltre, dovendo le lunghezze  $x$  ed  $y$  essere in ragione inversa dei coefficienti, si ha:

$$x/y = 18762/10788 \text{ [2]}.$$

Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova  $x = 1^m,1747$ , e  $y = 0^m,6747$ .

### LXXV.

Un vaso sferico il cui raggio interno, a 0 gradi, è  $2/3$  di metro, è formato d'una materia il cui coefficiente di dilatazione lineare uguaglia  $1/2500$ , domandasi quanti chilogrammi di mercurio conterrà questo vaso: 1.° a 0 gradi; 2.° a 25 gradi.

Siano  $R$  il raggio del vaso,  $V$  il suo volume a zero,  $V'$  il suo volume a  $t$  gradi, e  $K$  il suo coefficiente di dilatazione lineare; il raggio, a  $t$  gradi, sarà  $R(1 + Kt)$  e si avrà

$$V = 4\pi R^3/3, \text{ e } V' = 4\pi R^3(1 + Kt)^3/3; \text{ da cui } V' = 4\pi R^3(1 + 3Kt + 3K^2t^2 + K^3t^3)/3.$$

Ora, essendo  $K$  eguale a  $1/2500$ , i termini che contengono  $K^2$  e  $K^3$  sono abbastanza piccoli per essere trascurati, con che si ha  $V' = 4\pi R^3(1 + 3Kt)/3$ .

Sostituendo ad  $R$ ,  $K$  e  $t$  i loro valori, si ha

$$V = 1241^{\text{lit}},11 \text{ e } V' = 1278^{\text{lit}},333.$$

Essendo  $13,596$  la densità del mercurio a  $0^\circ$ , quella dello stesso corpo a  $25^\circ$  è  $13,596/(25 \cdot 1/5550) = 13,535$ .

Dunque il peso del mercurio a  $0^\circ$  è  $1241^{\text{lit}},11 \cdot 13,596 = 16863^{\text{chil}},996$ , ed il peso a  $25^\circ$  è  $1278^{\text{lit}},333 \cdot 13,535 = 17302^{\text{chil}},237$ .

### LXXVI.

Un vaso sferico di  $0^m,25$  di diametro è pieno di gas idrogeno alla temperatura di 35 gradi ed alla pressione di  $0^m,78$ . Si domanda il peso del gas e qual ne sarebbe il volume se la temperatura si abbassasse a 5 gradi sotto zero, e la pressione atmosferica a  $0^m,74$ .

Il volume del vaso  $= 4\pi r^3/3 = 4 \cdot 3,1416 \cdot (0^m,125)^3/3 = 8^{\text{lit}},18125$ . Ora,  $1^{\text{lit}}$  d'aria a  $0^\circ$  ed alla pressione  $0^m,76$  pesa  $1^{\text{gr}},3$ ; per conseguenza  $1^{\text{lit}}$  d'idrogeno, alla stessa temperatura e pressione, pesa  $1^{\text{gr}},3$  moltiplicato per la densità dell'idrogeno, pesa cioè  $1,3 \cdot 0,692$ . Dunque alla pressione di  $0^m,78$ , il peso d'un litro d'idrogeno è  $(1,3 \cdot 0,692 \cdot 78)/76$ ; finalmente, a quest'ultima pressione ed a  $35^\circ$ , il suo peso è  $(1,3 \cdot 0,692 \cdot 78)/76(1 + 0,003668 \cdot 35)$  (266, prob. VI); dunque il peso dell'idrogeno contenuto nel vaso è  $(1^{\text{gr}},3 + 0,692 \cdot 78 \cdot 8^{\text{lit}},181)/76(1 + 0,003668 \cdot 35)$ .

Per passare dal volume a  $35^\circ$  al volume a  $-5^\circ$ , si farà uso della formola  $V' = V(1 + \alpha t')/(1 + \alpha t)$ , considerandovi  $t'$  col segno  $-$ ; si trova così che il volume, a  $-5^\circ$  ed alla pressione  $0^m,74$  è

$$8^{\text{lit}},181(1 - 0,003668 \cdot 5)78/(1 + 0,003668 \cdot 35)74.$$

### LXXVII.

Una spranga formata d'un metallo, il cui coefficiente di dilatazione lineare è  $1/754$ , ha due metri di lunghezza. Si domanda qual lunghezza si dovrebbe assegnare ad una spranga di un altro metallo, il cui coefficiente di dilatazione è  $1/1150$ , onde la sua dilatazione totale, per un grado, sia eguale a quella della prima spranga.

Rappresentando con  $l$  la lunghezza richiesta, si ha  $l/1150 = 2 \cdot 1/754$ , donde  $l = 3^m,050$ .

### LXXVIII.

Una spranga di  $7^m$  formata di un metallo il cui coefficiente di dilatazione è  $1/735$ , ed un'altra di  $9^m$ , formata d'un altro metallo, si dilatano egualmente. Si domanda qual sia il coefficiente di dilatazione di quest'ultimo metallo.

Sia  $K$  questo coefficiente di dilatazione, si ha  $K \cdot 9 = 1/735 \cdot 7$ , d'onde  $K = 1/945$ .

### LXXIX.

Il peso dell'atmosfera, alla temperatura 0 gradi, fa salire il mercurio a 0<sup>m</sup>,76 nel barometro; si domanda: 1.° a quale altezza si eleverebbe il mercurio se la temperatura fosse di 25°, essendo 1/5550 il coefficiente di dilatazione del mercurio; 2.° a quale altezza si eleverebbe, a 0°, l'alcool la cui densità è 0,79. Si sa che la densità del mercurio è 13,6.

1.° Rappresentando con  $H$  l'altezza del barometro a 25°, e con  $h$  la sua altezza a zero, la formula  $H=h(1+t/5550)$  (1258) dà  $H=76(1+25/5550)=76^c,34$ .

2.° Siccome le altezze del mercurio e dell'alcool che fanno equilibrio alla pressione atmosferica sono in ragione inversa delle loro densità, rappresentando con  $h'$  l'altezza dell'alcool, si ha:

$$h' \cdot 0,79 = 76 \cdot 13,6; \text{ d'onde } h'=76 \cdot 13,6/0,79=13^m,0835.$$

### LXXX.

Un pallone vuoto pesa 137<sup>gr</sup>,435; pieno d'aria pesa 145<sup>gr</sup>,237; pieno d'un altro gas 152<sup>gr</sup>,118. Si domanda: 1.° la densità del gas rispetto all'aria, essendo rimaste invariabili e la pressione e la temperatura; 2.° la stessa densità nel caso in cui la pressione fosse stata di 75 centimetri durante la pesata dell'aria e di 77 centimetri durante la pesata dell'altro gas; 3.° qual correzione avrebbesi dovuto fare se la temperatura fosse stata di 8 gradi durante la pesata dell'aria e di 11 gradi durante quella del gas.

1.°  $145,237 - 137,435 = 7^{\text{gr}},802$ ;  $152,118 - 137,435 = 14^{\text{gr}},683$ ;  
densità del gas =  $14,683/7,802=1,8806$ .

2.° Essendo il peso dell'aria alla pressione di 0,75,  $75 \cdot 7^{\text{gr}},802$  alla pressione 76<sup>c</sup>, egli è  $7,802 \cdot 76/75$ ; quello del gas, alla pressione 76, è  $14,683 \cdot 76/77$ ; dunque la densità del gas, nel secondo caso, è  $(14,683 \cdot 76)/(7,802 \cdot 77)=1,8337$ .

3.° Si dovrebbe ricondurre i pesi dei due gas a zero, moltiplicando il peso dell'aria per  $1 + 0,00366 \cdot 8$ , e quello del gas per  $1 + 0,00366 \cdot 11$ .

### LXXXI.

Il ferro, per ciascun grado d'elevazione di temperatura, si dilata di 0,000122 della lunghezza misurata a zero. Si domanda qual sarà, a 60 gradi, la superficie di un disco circolare di latta che, a zero, ha 2<sup>m</sup>,75 di diametro.

$$S = \pi R^2 (1 + kt)^2 = 3,1416 \cdot (1^m,375)^2 \cdot (1 + 0,0000122 \cdot 60)^2 = 5^m,9483.$$

### LXXXII.

Un pallone di vetro vuoto pesa 263<sup>gr</sup>,525; pieno d'aria, alla temperatura di 4° ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76 esso pesa 375<sup>gr</sup>,826; quale ne è la capacità? Lo stesso pallone pieno d'un gas a 4° pesa 293<sup>gr</sup>,687, essendo 0<sup>m</sup>,81 la pressione; qual è il peso di un litro di questo gas, a 4° ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76?

1.° Il peso dell'aria contenuta nel pallone, a 4°, è  $375^{\text{gr}},826 - 263^{\text{gr}},525 = 112^{\text{gr}},301$ .

Ora a 4° un litro d'aria pesa

$$1^{\text{gr}},3/(1+0,00366 \cdot 4) = 1^{\text{gr}},3/1,01364$$

Dunque il volume del pallone, a 4°, è

$$112,301 : 1/1,01364 = 87^{\text{lit}},650.$$

2.° Il peso di un litro di gas, a 4° e alla pressione 0<sup>m</sup>,81, è

$$(293^{\text{gr}},687 - 263^{\text{gr}},525)/87,650 = 30^{\text{gr}},162/87,650.$$

Dunque alla pressione 0<sup>m</sup>,76 esso è

$$(30,162/87,650) \cdot 76/81 = 0^{\text{gr}},322.$$

### LXXXIII.

Trovare la lunghezza di una spranga di piombo, sapendo che questa spranga ed un'altra d'acciaio di 3 metri di lunghezza si dilatano egualmente, e sapendo inoltre che il coefficiente di dilatazione del piombo è  $1/351$ , e quello dell'acciaio di  $1/327$ .

Detta  $l$  la lunghezza richiesta si ha:

$$l=3^{\text{m}},220.$$

#### LXXXIV.

A qual temperatura un litro d'aria asciutta alla pressione di  $0^{\text{m}},77$  peserà 1 grammo, essendo  $0,00366$  il coefficiente di dilatazione dell'aria, e  $1^{\text{gr}},299$  il peso d'un litro d'aria asciutta, a  $0^{\circ}$  ed alla pressione  $0^{\text{m}},76$ ?

Si ha  $(1,299 \cdot 77)/(1+0,00366 \cdot t)76=1^{\text{gr}}$ , d'onde  $t = 86^{\circ}$ .

#### LXXXV.

Si domanda qual sia il volume di 30 chilogrammi di mercurio, a  $85^{\circ}$ , essendo  $13,59$  il peso specifico di questo metallo, a zero. Si assumerà per coefficiente di dilatazione del mercurio  $1/5550$ .

Il volume, a zero, è  $P/D = 30/13,59$ ; quindi il volume a  $85^{\circ}$  è  
 $30/13,59(1+85 \cdot 1/5550)=2^{\text{lit}},241.$

#### LXXXVI.

Il rapporto fra il peso specifico del rame a zero, e quello dell'acqua a  $4^{\circ}$  è  $8,88$ . Il coefficiente di dilatazione cubica del rame è  $1/58200$ , e la frazione che rappresenta la dilatazione totale dell'acqua, fra  $4$  e  $15$  gradi, è  $1/1360$ . Ciò posto, si domanda qual sia, a  $15$  gradi, il rapporto fra i pesi specifici di questi due corpi.

L'acqua, pesando 1 a  $4^{\circ}$ , a  $15^{\circ}$  peserà  $1/(1+11/1360)$ .

A zero il rame pesa  $8,88$ , a  $15^{\circ}$  peserà  $8,88/(1+15/58200)$ . Dunque il peso specifico del rame a  $15^{\circ}$  sarà

$$8,88/(1+15/58200) : 1/(1+11/1360) = 8,88 \cdot 58,200/58,215 \cdot 1371/1360=8,94$$

#### LXXXVII.

Si hanno due termometri a mercurio costruiti collo stesso vetro; l'uno ha una bolla del diametro interno di  $0^{\text{m}},0075$  ed un tubo del diametro interno di  $0^{\text{m}},0025$ ; l'altro ha una bolla di  $0^{\text{m}},0062$  di diametro, ed un tubo di  $0^{\text{m}},0015$  di diametro interno. Si domanda qual sia il rapporto fra la lunghezza di un grado del primo termometro e quella d'un grado del secondo.

Siano A e B due termometri dati, D e D' i diametri delle bolle, d e d' i diametri dei tubi. Se si concepisce un terzo termometro avente la bolla eguale a quella del termometro B ed il tubo eguale a quello del termometro A, e se si rappresentano con  $l, l', l''$  le rispettive lunghezze di un grado nei tre termometri, si hanno le proporzioni

$$l/l''=D^3/D'^3 \text{ e } l''/l'=d^2/d'^2;$$

moltiplicandole fra loro membro a membro, si ha

$$l/l'=D^3 d^2/D'^3 d'^2.$$

Sostituendo alle lettere i loro valori, risulta:

$$l/l'=421875 \cdot 225/238328 \cdot 625=0,63.$$

#### LXXXVIII.

Si immergono  $6^{\text{chil}},17$  di un corpo, alla temperatura di  $80^{\circ}$ , in  $25^{\text{chil}},45$  d'acqua a  $12^{\circ},5$ ; il miscuglio prende una temperatura di  $14^{\circ},17$ ; domandasi qual sia il calore specifico di questo corpo.

Rappresentando con  $c$  il calorico specifico richiesto, si ha

$$6^{\text{chil}},17 (80 - 14,17) c = 25^{\text{chil}},45 (14,17 - 12,5); \text{ d'onde } c = 0,104.$$

### LXXIX.

La capacità dell'oro pel calorico, presa per unità quella dell'acqua, è di 0,0298, domandasi quanto occorrerà di questo metallo a 45 gradi per innalzare da  $12^{\circ},3$  a  $15^{\circ},7$  la temperatura di  $1^{\text{chil}},000,51^{\text{gr}},58$  d'acqua.

Sia  $x$  il peso cercato, espresso in chilogrammi. Per la nota formola  $m (t' - t) c$ , il calorico che l'oro cede raffreddandosi da 45 gradi a  $15^{\circ},7$ , è  $x (45 - 15,7) 0,0208$ , e quello assorbito dall'acqua, riscaldandosi da  $12^{\circ},3$  a  $15^{\circ},7$  è  $1^{\text{chil}},00058 (15,7 - 12,3)$ . Ora, siccome la quantità di calorico ceduta dall'oro eguaglia necessariamente quella assorbita dall'acqua, si ha

$$x (45 - 15,7) 0,0208 = 1^{\text{chil}},00058 (15,7 - 12,3), \text{ d'onde } x = 3^{\text{chil}},896.$$

### XC.

Si ha una sfera di platino di  $0^{\text{m}},05$  di raggio a 95 gradi, la si immerge in  $2^{\text{lit}}$  d'acqua a 4 gradi; domandasi la temperatura dell'acqua quando siasi stabilito l'equilibrio. La capacità calorifica del platino è 0,0324; il suo coefficiente di dilatazione è 0,000008842, e la sua densità 22,07.

Siano  $V'$  il volume della sfera a 95 gradi, e  $V$  il volume a zero; si ha:

$$V' = V (1 + Kt), \text{ da cui } V = V' / (1 + Kt).$$

$$\text{Ma } V' = 4\pi r^3 / 3 = (4 \cdot 3,141592 \cdot 125^{\text{cent.cub.}}) / 3 = 523^{\text{cent.cub.}},598.$$

$$\text{quindi } V = 523,598 / (1 + 0,000008892 \cdot 95) = 523^{\text{cent.cub.}},158$$

Dunque il peso della sfera di platino sarà:

$$P = 523^{\text{cc}},158 \cdot 22,07 = 11^{\text{chil}},546^{\text{gr}}.$$

Ora, la massa di platino, raffreddandosi da 95 a  $x$  gradi, perde, per la formola  $m (t' - t) c$ , una quantità di calorico espressa da  $11^{\text{chil}},546 (95 - x) \cdot 0,0324$ , ed i due litri d'acqua, riscaldandosi da 4 ad  $x$  gradi, assorbono  $2 \cdot (x - 4)$ .

Quindi si ha  $2 (x - 4) = 11,546 \cdot 0,0324 (95 - x)$ , da cui  $x = 18^{\circ},3$ .

### XCI.

Un pallone sferico di  $0^{\text{m}},14$  di raggio è pieno di mercurio a 70 gradi, un vaso cilindrico di  $0^{\text{m}},40$  di altezza e  $0^{\text{m}},20$  di raggio è pieno per metà d' acqua a 4 gradi; si versa il mercurio nell'acqua. Sapendosi che la capacità calorifica del mercurio è 0,0330; si domanda qual sarà la temperatura del miscuglio, trascurando la temperatura delle pareti del vaso.

Siano  $V$  il volume del pallone ed  $R$  il suo raggio, dalla geometria sappiamo essere  $V = 4\pi r^3 / 3$ . Quindi, in questo caso, sarà:

$$V = (4 \cdot 3,1416 \cdot 2^{\text{dec.cub.}},744) / 3 = 11^{\text{dec.cub.}},494.$$

Ora, ritenendo essere 13,6 la densità del mercurio, avremo la sua densità a  $70^{\circ}$  espressa dalla formola  $d' = d / (1 + Dt)$  (254), che dà  $d' = 13,6 / (1 + 70 / 5550) = 13,4306$ .

Dunque il peso del mercurio contenuto nel pallone sarà:

$$11^{\text{dec. cub.}},494 \cdot 13,4306 = 154^{\text{chil}},371^{\text{gr}}.$$

La metà del volume del cilindro è:

$$\pi r^2 H / 2 = 3.141592 \cdot 4 \cdot 4 / 2 = 25^{\text{dec.cub.}},133$$

ed il peso dell'acqua che esso contiene è  $25^{\text{chil}},133^{\text{gr}}$ .

Ciò posto, rappresentando con  $\theta$  la temperatura del miscuglio, la quantità di calore assorbito dall'acqua è rappresentata da  $25^{\text{chil}},133 (\theta - 4)$ , e quella perduta dal mercurio lo è da  $154,371 \cdot 0,033 \cdot (70 - \theta)$ , per la formola data al paragrafo 332. Da qui si ha l'equazione

$$154,371 \cdot 0,033 (70 - \theta) = 25,133 (\theta - 4)$$

d'onde  $\theta = 15^{\circ},12$ .

### XCII.

Calcolare la potenza calorifica di un metro cubo di legna del peso di 400 chilogrammi, e composto di legna di quercia e di legna d'abete, sapendo che un metro cubo di legna di quercia pesa  $450^{\text{chil}}$ , e un metro cubo di legna d'abete pesa 325 chilogrammi, e sapendo che la quantità d'acqua la cui temperatura s'innalza da zero gradi a  $100^{\circ}$  per la combustione d'un metro cubo di legna, è 12150 chilogrammi per la quercia e 8775 chilogrammi per l'abete.

Siano  $x$  il volume di quercia che entra nel metro cubo, ed  $y$  il volume d'abete, si ha  $x + y = 1$  [1]. Essendo  $450^{\text{chil}}$  il peso di un metro cubo di quercia, il volume  $x$  peserà  $450 x$ ; parimenti il volume  $y$  d'abete peserà  $323 y$ ; dunque

$$450 x + 325 y = 400 \quad [2].$$

Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova  $x = 3/5$  e  $y = 2/5$ .

Ora, essendo 12150 la potenza calorifica d'un metro cubo di quercia, quella del volume  $x$  sarà  $12150 \cdot 3/5$ , così quella del volume  $y$  sarà  $8775 \cdot 2/5$ ; dunque la potenza calorifica richiesta sarà  $(12150 \cdot 3 + 8775 \cdot 2)/5 = 10800$ .

## PROBLEMI SUI CALORICI LATENTI

### XCIII.

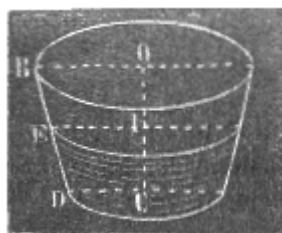


Fig. 583

Si ha un bacino ad orlo circolare e fondo orizzontale; la sua circonferenza superiore è di  $8^m,30$ , l'inferiore di  $6^m,15$  la sua altezza è di  $1^m,76$ . Questo bacino per metà dell'altezza è pieno d'acqua alla temperatura di 30 gradi. Si domanda, quanti chilogrammi di ghiaccio a zero occorrerebbero per ridurre a 14 gradi l'acqua in esso contenuta.

Siano  $R$  il raggio  $OB$  (fig. 583) della base superiore,  $r$  il raggio  $CD$  della base inferiore,  $r'$  il raggio medio  $IE$ , ed  $h$  l'altezza  $IC$  del liquido contenuto nel bacino. Per l'enunciato si ha:

$$R=8,30/2\pi=1^m3210, r=6,15/2\pi=0^m,9788. IC=0^m,88 \text{ e } r'=(R+r)/2=1^m,1499.$$

Ciò posto, siccome il volume  $V$  del liquido è quello di un tronco di cono di cui l'altezza è  $h$ , ed i raggi delle basi sono  $r$  ed  $r'$ , si ha, per un teorema di geometria,  $V=\pi h/3(r^2+r'^2+rr')$ ; e sostituendo alle lettere i loro valori,

$$V=(3,1416 \cdot 0,88)/3[(1,1499)^2+(0,9788)^2+1,1499 \cdot 0,9788]$$

Fatti i calcoli si trova  $V=3^{m.cub},138,583$ , volume che rappresenta un peso di acqua di  $3138^{chil},583^{gr}$ . Ora sia  $x$  il peso del ghiaccio necessario per raffreddare questa massa d'acqua da 30 a 10 gradi. Siccome abbiamo visto che un chilogrammo di ghiaccio, fondendosi, assorbe 79 unità di calore,  $x$  chilogrammi di ghiaccio ne assorbiranno  $79x$ , per dare  $x$  chilogrammi d'acqua a zero. Ma, pei dati del problema, questa massa per ridursi a 10 gradi dovrà ancora assorbire una quantità di calorico eguale a  $10x$  (332); ed essendo inoltre il calorico ceduto dall'acqua eguale a  $3138^{chil},583 \cdot (30 - 10) = 62771,6$ . Si avrà dunque l'eguaglianza

$$79x + 10x = 62771,6 \text{ da cui } x = 705^{chil},300.$$

### XCIV.

Cercare quanti chilogrammi di vapore acqueo occorrono per portare da 13 a 28 gradi un bagno di 246 chilogrammi d'acqua, sapendo che il calorico latente del vapore acqueo è 540.

Sia  $x$  il peso del vapore richiesto; 1 chilogrammo di vapore, che si condensa per dare un chilogrammo d'acqua a 100 gradi, cede 540 unità di calore;  $x$  chilogrammi di vapore ne cederanno  $540 \cdot x$ ; inoltre, gli  $x$  chilogrammi d'acqua così formati raffreddandosi in seguito da 100 gradi a 28, cedono essi stessi un numero d'unità espresso da  $(100 - 28)x$  (332). Ora i 246 chilogrammi d'acqua, che costituiscono il bagno entro cui il vapore si condensa, riscaldandosi da 13 a 28 gradi, assorbono una quantità di calore uguale a  $246(28 - 13)$ . Da qui si ha l'equazione:

$$540x + (100 - 28)x = 246(28 - 13), \text{ ossia } (540 + 72)x = 246 \cdot 15 \\ \text{e } x = 6^{chil},029^{gr}.$$

### XCv.

Trovare quanti chilogrammi di vapore acqueo a 100 gradi occorrono per innalzare 20 chilogrammi d'acqua da zero a 90 gradi.

Sia  $x$  il numero di chilogrammi richiesto, essendo 540 il calorico latente del vapore acqueo,  $x$  chilogrammi di vapore, condensandosi per fornire  $x$  chilogrammi d'acqua a  $100^\circ$ , danno  $540x$  unità di calore (332), ed  $x$  chilogrammi d'acqua raffreddandosi da  $100^\circ$  a  $90^\circ$ , danno  $10x$  unità; e siccome 20 chilogrammi d'acqua, riscaldandosi da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  assorbono  $20 \cdot 90$  unità, si ha l'equazione:

$$540x + 10x = 20 \cdot 90, \text{ da cui } x = 3^{chil},272^{gr}.$$

### XCVI.

In un bagno di 20 litri d'acqua a 80 gradi si immerge una sfera di ghiaccio di 134 millimetri di raggio; si domanda la temperatura del bagno dopo la fusione del ghiaccio (senza tener conto della densità dell'acqua a 4° e a 80°), sapendo che il calorico latente del ghiaccio è 79.

Rappresentando con V il volume della sfera e con R il suo raggio, si ha:

$$V=4\pi R^3/3=4\cdot 3,1416\cdot (0^m,134)^3=10^{\text{dec.cub.}},078688.$$

Essendo 0,93 la densità del ghiaccio, il peso della sfera sarà

$$10,078688 \cdot 0,93 = 9^{\text{chil}},373.$$

Dunque, indicando con  $\theta$  la temperatura del bagno dopo la fusione, si ha:

$$20 (80^\circ - \theta) = 79 \cdot 9,373 + 9,373 \theta \text{ d'onde } \theta = 29^\circ,26.$$

### XCVII.

Un recipiente cilindrico, a fondo piano ed orizzontale, ha internamente 1<sup>m</sup>,30 di diametro e 0<sup>m</sup>,75 di altezza; esso è pieno per metà d'acqua a 4 gradi, e si riscalda questo liquido mediante vapore a 100° fornito da 5<sup>chil</sup>,250 d'acqua. Domandasi la temperatura ed il volume del bagno così riscaldato.

Si trascurerà la temperatura del vaso e si terrà per coefficiente di dilatazione dell'acqua 1/2200.

Il volume dell'acqua =  $\pi R^2 \cdot H/2 = 3,1416 \cdot (0^m,65)^2 \cdot 0^m,75/2 = 497^{\text{lit}},747$ .

Essendo  $\theta$  la temperatura finale e 540 il calorico di vaporizzazione dell'acqua, si ha (343, prob. V)

$$5^{\text{chil}},250 \cdot 540 + 5,250 (100 - \theta) = 497,747 (\theta - 4), \text{ d'onde } \theta = 10^\circ,6.$$

Il volume d'acqua, dopo la condensazione, sarebbe, a 4 gradi,

$$497^{\text{lit}},747 + 5^{\text{lit}},250 = 502,997.$$

Dunque il volume a 0°, sarà 502,997/(1+4 · 1/2200) e a 10°,6 sarà

$$502,997(1+10,6/2200)/(1+4 \cdot 1/2200)=504^{\text{lit}},503$$

### XCVIII.

Si mescolano 7<sup>chil</sup> di ghiaccio a 0 gradi con 38<sup>chil</sup> d'acqua a 47 gradi, quale sarà la temperatura del miscuglio?

Sia  $\theta$  la temperatura richiesta; essendo 79 il calorico di fusione del ghiaccio, il calorico assorbito per la fusione dei 7 chilogrammi sarà 79 · 7; inoltre l'acqua così ottenuta, riscaldandosi da 0° a  $\theta$ , assorbe 7 $\theta$ . I 30 chilogrammi d'acqua poi si raffreddano da 47° a  $\theta$ , e cedono 30 (47 -  $\theta$ ). Dunque si ha:

$$79 \cdot 7 + 7\theta = 30 (47 - \theta), \text{ d'onde } \theta = 23^\circ,16.$$

### XCIX.

Si domanda a qual temperatura si eleveranno 20 litri d'acqua a 4°, condensandovi 1 chilogrammo di vapore a 100° ed alla pressione 0<sup>m</sup>,76, ritenuto eguale a 540 il calore latente del vapore acqueo.

Sia  $\theta$  la temperatura finale, il calorico ceduto da un chilogrammo è 540, quello ceduto dall'acqua risultante dalla condensazione sarà 100 -  $\theta$ , dunque si avrà l'equazione

$$540 + 100 - \theta = 20 (\theta - 4), \text{ da cui } \theta = 34^\circ,28.$$

### C.

Quanti chilogrammi di ghiaccio a zero occorrono per liquefare e ridurre a zero 25 chilogrammi di vapore, derivato da un apparecchio in cui il termometro segna 100°, ed il barometro 0<sup>m</sup>,76?

Si ha 79  $x = 25 \cdot 540 + 25 \cdot 100$ , d'onde  $x = 202^{\text{chil}},532^{\text{gr}}$ .



### CI.

Quanti chilogrammi di vapore acqueo, a  $100^\circ$ , occorrono per portare da  $8^\circ$  a  $25^\circ$  uno strato d'acqua, dello spessore di  $0^m,75$ , contenuta in un tino cilindrico a fondo piano, del raggio di  $1^m,25$ ?

Il volume dell'acqua è  $\pi R^2 H = 3681^{lit},562$ . Dunque rappresentando con P il peso domandato si avrà:  
 $540 P + (100 - 25) P = 3681^{chil},562 (25 - 8)$ , e quindi  $P = 101^{chil},766$ .

### CII.

Si domanda a qual temperatura si eleveranno 20 litri d'acqua presa a  $4^\circ$ , condensandovi 1 chilogrammo di vapore a  $100^\circ$ , sotto la pressione  $0^m,76$ , essendo 540 il calor latente del vapore acqueo.

Si ha  $1^{chil} \cdot 540 + 1^{chil} \cdot (100 - t) = 20 (t - 4)$ , da cui  $t = 34^\circ,28$

### CIII.

Avendo mescolato undici chilogrammi di ghiaccio a zero con P chilogrammi d'acqua a  $45^\circ$ , il miscuglio prese la temperatura di  $12^\circ$ ; si domanda il peso P.

Si ha  $P (45 - 12) = 79 \cdot 11 + 12 \cdot 11$ , da cui  $P = 30^{chil},333^{gr}$ .

### CIV.

Un vaso metallico, del peso di 350 grammi, contiene  $32^{chil},50$  d'acqua a  $14^\circ,5$ ; il calor specifico del metallo è 0,12, essendo 1 quello dell'acqua; nell'acqua di questo vaso si immergono  $8^{chil},25$  di un altro metallo a  $60^\circ,5$ , la temperatura dell'acqua si innalza a  $15^\circ,4$ ; si domanda il calorico dell'ultimo metallo.

Per una formola conosciuta, si ha  $c = [(m + m'c')(t - t_0)] / M(T - t)$ , e sostituendo  
 $c = [(32^{chil},5 + 0^{chil},35 \cdot 0,12)(15^\circ,4 - 14^\circ,5)] / 8^{chil},25(60^\circ,5 - 15^\circ,4) = 0,0787$ .

### CV.

In una certa massa d' acqua a  $14^\circ$  si fecero condensare 25 chilogrammi di vapore d'acqua bollente all'ordinaria pressione atmosferica; essendosi elevata a  $61^\circ,4$  la temperatura della massa d'acqua, si domanda il peso di questa massa, ammettendo che nessuna porzione di calore siasi impiegata a riscaldare il vaso, e che non se ne sia perduto durante l'esperienza. Si sa inoltre che il calorico latente del vapore acqueo è 540.

$$P = 302^{chil},446^{gr}$$

### CVI.

Condensandosi 25 chilogrammi di vapore d'acqua bollente alla pressione 0,76, in 300 litri d'acqua a  $14^\circ$ , la temperatura della massa si innalza a  $61^\circ,4$ . Si domanda qual sia il calorico latente del vapore acqueo.

$$x = 530,2.$$

### CVII.

Si mescolano  $3^{chil},5$  di ghiaccio a zero con 45 chilogrammi d'acqua a  $32^\circ$ . Si domanda la temperatura del miscuglio.

Si ha  $45 (32 - t) = 3,5 \cdot 79 + 3,5 t$ , e quindi  $t = 23^\circ,9$ .

Mescolando 1 chilogrammo d'acqua a zero con un 1 chilogrammo di mercurio a  $100^{\circ}$ , si trova che la temperatura del miscuglio è  $3^{\circ}$ ; qual è la capacità calorifica del mercurio?  
 $c = 0,0309$ .

## PROBLEMI SUI VAPORI

### CVIII.

In un vaso vuoto, della capacità di  $2^{\text{lit}},02$ , si introdusse dapprima un litro d'aria asciutto sotto la pressione  $0^{\text{m}},76$ , poi si introdusse acqua in tal quantità che ne resta definitivamente 20 centimetri cubi allo stato liquido. Domandasi qual sia la pressione interna, supponendo che la temperatura sia di  $30^\circ$  al momento dell'esperienza, e che la massima tensione del vapore acqueo, a questa temperatura, sia di  $0^{\text{m}},031$ .

La capacità del pallone, essendo diminuita dai 20 centimetri d'acqua che vi rimangono allo stato liquido, è  $2^{\text{lit}},02$  meno  $0^{\text{lit}},020$ , ossia 2 litri. Dunque il volume d'aria si trova raddoppiato, e per conseguenza, la sua tensione, che era 0,76, ora è solamente 0,38 per la legge di Mariotte. Aggiungendo a questa pressione quella del vapore, che è  $0^{\text{m}},031$ , si ha per la pressione totale interna  $0^{\text{m}},411$ .

### CIX.

Una certa quantità d'aria, alla temperatura  $0^\circ$  ed alla pressione  $0^{\text{m}},76$ , pesa  $5^{\text{gr}},2$ . La si riscalda a  $30^\circ$ , sotto la pressione  $0^{\text{m}},77$ , permettendole di saturarsi di vapore acqueo.

Si domanda qual sarà allora il suo volume. La tensione massima del vapore a  $30^\circ$  è di  $0^{\text{m}},0315$ , e si prenderà  $1^{\text{gr}},3$  per peso di un litro d'aria asciutta alla temperatura di  $0^\circ$  ed alla pressione  $0^{\text{m}},76$

Essendo  $1^{\text{gr}},3$  il peso d'un litro d'aria asciutta, il volume corrispondente a  $5^{\text{gr}},2$  sarà  $5,2/1,3 = 4$  litri, a  $0^\circ$  ed alla pressione  $0^{\text{m}},76$ . Dunque, a  $30^\circ$ , il volume sarà  $4(1 + 0,00366 \cdot 30)$ ; volume che alla pressione  $0^{\text{m}},77$ , sarebbe

$$4 \cdot 76(1 + 0,00366 \cdot 30)/77,$$

essendo asciutta l'aria. Ma quando l'aria è satura di vapore la cui tensione è  $0^{\text{m}},0315$ , è questa tensione, più la forza elastica dell'aria, che, dietro la seconda legge della mescolanza dei gas e dei vapori, fa equilibrio alla pressione  $0^{\text{m}},77$ ; dunque la pressione dell'aria è  $0^{\text{m}},77 - 0^{\text{m}},0315$  e, per conseguenza, il volume richiesto sarà:

$$4 \cdot 76(1 + 0,00366 \cdot 4)/(77 - 3,15) = 4^{\text{lit}},68.$$

### CX.

Il peso di un litro d'aria a zero ed alla pressione  $0^{\text{m}},76$  è  $1^{\text{gr}},299$ , e la densità del vapore acqueo rapporto all'aria è  $5/8$ . Ciò posto, domandasi qual sia, a  $30$  gradi ed alla pressione  $0^{\text{m}},77$ , il peso di un metro cubo d'aria il cui stato igrometrico è  $3/4$ , essendo  $0^{\text{m}},0315$  la massima tensione del vapore a  $30$  gradi.

Per risolvere questo problema bisogna dapprima cercare il peso d'un metro cubo d'aria asciutta a  $30^\circ$  ed alla pressione  $(0^{\text{m}},77 - 0^{\text{m}},0315)$ ; poi il peso di un metro cubo di vapore la cui tensione è  $0^{\text{m}},0315$ , e dedurre il peso di un metro cubo, di vapore non saturo, alla stessa pressione ed allo stato igrometrico  $3/4$ : la somma del primo e del secondo peso darà il peso domandato.

1.° Per l'enunciato metro cubo d'aria asciutta, a  $0^\circ$  ed alla pressione  $0^{\text{m}},77 - 0^{\text{m}},0315 = 0^{\text{m}},7385$ , pesa  $1299^{\text{gr}},73,85/76$ , ed a  $30^\circ$  lo stesso volume pesa  $1299 \cdot 73,85/(1 + 30\alpha) \cdot 76$  [1].

2.° Essendo  $1299 \cdot 3,15/(1 + 30\alpha) \cdot 76$  il peso di un metro cubo d'aria asciutta, a  $30^\circ$  ed alla pressione  $0,0315$ , quello di un metro cubo di vapore saturo, la cui densità è  $5/8$ , e preso alla stessa temperatura e tensione, sarà  $1299 \cdot 3,15 \cdot 5/(1 + 30\alpha) \cdot 76 \cdot 8$ ; dunque, pel vapore non saturo il cui stato igrometro è  $3/4$  (316), alla temperatura e tensione uguali alle sopraccennate, il peso di un metro cubo sarà:

$$1299^{\text{gr}},3,15 \cdot 5/(1 + 30\alpha) \cdot 76 \cdot 8 \quad [2].$$

Sommando insieme le formole [1] e [2], si ha per il peso domandato,

$$1299/(1+30\alpha)\cdot 76 [73,85+(3,15\cdot 5\cdot 3)/8\cdot 4=1160^{\text{gr}},100.$$

## APPENDICE - PARTE SECONDA

### ENUNCIATI DI PROBLEMI PROPOSTI ALLA FACOLTA' DELLE SCIENZE IN PARIGI

#### I.

Un pezzo di ghiaccio prismatico, galleggiante sul mare, s'innalza 6 metri sopra la sua superficie. Domandasi l'altezza totale del pezzo, prendendo 1,026 per densità del mare, e 0,80 per quella del ghiaccio.

#### II.

Un corpo poroso ha per densità 0,854; il suo volume è di  $0^{\text{m.c.}},13$ ; domandasi quant'acqua debba assorbire per immergersi totalmente in questo liquido.

#### III.

Qual è il rapporto dei pesi  $x$  ed  $y$  di due cilindri l'uno di ferro e l'altro di platino, che si dovrebbero unire onde il sistema possa tenersi in equilibrio nel mercurio, essendo 21 la densità del platino, 13,6 quella del mercurio, e 7, 8 quella del ferro.

#### IV.

Si colloca in uno dei piatti d'una bilancia un corpo, e nell'altro dei pesi fino a  $240^{\text{gr}}$ , così che si abbia l'equilibrio. Poi si cangia di piatto il corpo, ed allora occorrono  $28^{\text{gr}}$ , per tenerlo in equilibrio. Domandasi il peso del corpo.

#### V.

Si fa agire una macchina pneumatica fino a che la tensione, che era  $0^{\text{m}},75$  sia ridotta a  $0^{\text{m}},15$ ; la campana ha la capacità di  $6^{\text{lit}},45$ , ed il corpo di tromba di 1 litro; rimanendo costante la temperatura; si domanda qual sarà il minor numero di corse di stantuffo occorrenti, rimanendo costante la temperatura.

#### VI.

Esprimere in gradi centigradi la differenza fra -15 gradi Réaumur, e -10 gradi di Fahrenheit.

#### VII.

Due corpi di tromba verticali e cilindrici comunicano fra loro mediante un tubo orizzontale; l'uno ha una sezione di 10 centimetri quadrati, l'altro di 2 decimetri quadrati; essendo l'acqua in equilibrio nell'apparecchio, si colloca sulla superficie del liquido, nel corpo di tromba più grande, uno stantuffo del peso di 200 chilogrammi. Si domanda qual forza si dovrà esercitare sulla superficie del liquido, nel piccolo corpo di tromba, per impedire che lo stantuffo discenda.

#### VIII.

Un barometro segna  $0^{\text{m}},775$  alla temperatura di  $15^{\circ},2$ ; quest'altezza è presa sopra un regolo metallico il cui coefficiente di dilatazione è  $1/21000$ ; il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio è  $1/5550$ ; si domanda l'altezza del barometro ridotta a zero.

#### IX.

Qual sarà l'altezza dello strato d'acqua di pioggia necessaria per sciogliere uno strato di ghiaccio a  $0^{\circ}$ , dello spessore di  $0^{\text{m}},05$ , supponendo l'acqua di pioggia alla temperatura di 15 gradi.

**X.**

Un vaso d'ottone, del peso di 100 grammi, contiene 220 grammi d'acqua a  $0^{\circ}$ , e 100 grammi di ghiaccio pure a  $0^{\circ}$ . Domandasi quanto vapore acqueo a  $100^{\circ}$ , alla pressione  $0^m,76$  occorra affinché il ghiaccio si sciogla, ed il miscuglio acquisti la temperatura di  $10^{\circ}$ .

La capacità dell'ottone pel calore è 0,0939; il calore di fusione del ghiaccio è 79,25; ed il calor latente del vapore acqueo è 537.

**ENUNCIATI DI PROBLEMI PROPOSTI ALLE FACOLTA'  
DELLE SCIENZE DI PROVINCIA**

**I.**

Un liquido, la cui densità è 1,82, riempie un vaso avente internamente la forma di tronco di cono; l'altezza del tronco di cono è 20 centimetri, i raggi delle basi sono 12 e 15 centimetri. Determinare il volume ed il peso del liquido contenuto in questo vaso.

**II.**

Calcolare in chilogrammi la pressione che l'atmosfera esercita sopra una sfera di 675 centimetri di raggio, essendo 720 millimetri l'altezza del barometro.

**III.**

Trovare la densità della materia componente una sfera del peso di  $561^{chil},731$  e di  $0^m,25$  di raggio.

**IV.**

Si ha un vaso cilindrico di 31 centimetri d'altezza e di 50 centimetri di diametro. Le sue pareti metalliche hanno un centimetro di spessore ed una densità eguale a 7.

1.° Trovare il peso del vaso espresso in grammi.

2.° Calcolare, in centimetri, l'altezza di quella porzione del vaso che resterebbe immersa se lo si tuffasse nell'acqua.

**V.**

Un cono la cui altezza è eguale a 15 decimetri e la cui base ha 6 decimetri di raggio galleggia sopra un liquido, avendo l'asse verticale e la sua base immersa e vi si affonda di 2 decimetri.

1.° Si domanda il volume del liquido spostato dal tronco di cono immerso.

2.° Si capovolge lo stesso cono e lo si immerge pel suo vertice: si domanda l'altezza della porzione di cono che in allora resterà immersa.

**VI.**

Calcolare la pressione atmosferica esercitata, nel senso verticale, sopra una sfera di  $1^{cent},25$  di diametro, essendo  $76^{cent}$  l'altezza del barometro.

**VII.**

Calcolare il peso dell'atmosfera, supponendo che l'altezza del barometro sia di  $0^m,76$  e che il raggio della terra, considerata come sferica, sia di 6366 chilometri. Calcolare il volume della massa d'oro equivalente, essendo 19,363 la densità dell'oro e 13,593 quella del mercurio.

**VIII.**

Trovare, coll'approssimazione di un centimetro, il raggio d'una sfera di piombo del peso di 527 chilogrammi, essendo 11,35 la densità del piombo.

**IX**

Un vaso cilindrico di  $0^m,315$  di diametro fu riempito d'acqua fino ad un certo livello il 1.° luglio 1853; cinque giorni dopo si trovò che per ridurre l'acqua allo stesso livello bisognava aggiungervi  $4^{chil},320^{gr}$  d'acqua; si domanda l'altezza dello strato evaporato.

Supponendo che si abbia il peso dell'acqua coll'approssimazione di un grado, qual è il grado di approssimazione col quale è determinata l'altezza dello strato evaporato?

#### **X.**

Un cilindro attaccato all'uno dei piatti d'una bilancia idrostatica, ed immerso nell'acqua, si equilibrò, essendo l'acqua a  $+1^\circ$ . Si porta quest'acqua a  $+9^\circ$ . Si domanda in qual senso verrà rotto l'equilibrio e qual peso si dovrà aggiungere per ristabilirlo.

Si farà uso dei seguenti dati: circonferenza del cilindro =  $0^m,135$ , altezza =  $0^m,12$ ; densità dell'acqua a 4 gradi = 1; densità dello stesso liquido a  $+9$  gradi = 0,98809.

#### **XI.**

Un cilindro d'ottone pesa 50 chilogrammi: la circonferenza della sua base è di  $0^m,650$ , la densità dell'ottone è di 8,44; si domanda l'altezza del cilindro.

#### **XII.**

Un cilindro di latta, chiuso da tutte le parti, ha esteriormente  $2^m,50$  di diametro e  $1^m,75$  d'altezza e 0,01 di spessore. Si domanda se, immerso nell'acqua, esso galleggerà, e, nel caso affermativo, da quanto il suo asse sarà immerso nel liquido. Si suppone che la densità della latta sia 7,79.

#### **XIII.**

Un cono, la cui altezza è di 5 metri, ed eguale al diametro della sua base, immerso nell'acqua in modo che il suo asse rimanga verticale, vi rimane in equilibrio quando il livello del liquido arriva a  $\frac{2}{3}$  della sua altezza partendo dal vertice; se ne domanda il peso.

#### **XIV**

Calcolare lo spessore d'una sfera vuota d'ottone, il cui diametro esterno è di  $0^m,750$ , il peso di  $67^{chil},800$ , e la densità dell'ottone 8,39.

#### **XV.**

Un cilindro a base circolare, essendo immerso nell'acqua in modo che il suo asse sia orizzontale, vi resta in equilibrio quando l'asse del cilindro si trova al disopra del livello d'una quantità eguale alla metà del raggio. Se ne domanda il peso, sapendo che la lunghezza del cilindro =  $20^m$  e che il diametro della sua base =  $12^m$  (calcolando mediante i logaritmi).

#### **XVI.**

Calcolare lo spigolo di un tetraedro regolare, d'oro, il cui peso è di 2 chilogrammi, sapendo che il peso specifico dell'oro è 19,20.

#### **XVII.**

Un corpo immerso in un liquido di densità maggiore della sua, ne sposta un volume di 3 decimetri cubi: quale sarebbe il nuovo volume spostato se la temperatura del liquido s'innalzasse di  $100^\circ$ , essendo  $\frac{1}{500}$  il suo coefficiente di dilatazione?

#### **XVIII.**

Calcolare i coefficienti di dilatazione lineare e cubica del metallo componente una spranga la cui lunghezza è di  $3^m,930$  alla temperatura di  $0^\circ$ , e di  $3^m,951$  alla temperatura di  $83^\circ$ .

#### **XIX.**

Dato il volume  $V$  di un gas alla temperatura  $t$  ed alla pressione  $h$ , dimostrare la formola che dà il volume  $V'$  del gas alla temperatura  $t'$  e sotto la pressione  $h'$ .

**XX.**

Trovare la temperatura dell'aria alla pressione di 540 millimetri d'altezza del mercurio, essendo 832 grammi il peso di un metro cubo. Si sa che il coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00366, e che il peso di un metro cubo d'aria è  $1^{\text{chil}},3$  alla temperatura zero ed alla pressione di 760 millimetri.

**XXI.**

Essendo  $0^{\text{m}},757$  l'altezza del barometro, a  $12^{\circ}\frac{7}{10}$ , ridurla a  $0^{\circ}$ .

**XXII.**

Il volume di una massa di gas a  $-11^{\circ},2$  e sotto la pressione di 765 millimetri, è di  $47^{\text{lit}},250$ ; si domanda qual sarà il volume della stessa massa gasosa a  $+35^{\circ}$  e sotto la pressione di 7,8 millimetri.

**XXIII.**

Sapendo che la temperatura di fusione di un corpo è  $120^{\circ}$ , che il suo calore specifico è 0,03 allo stato solido e 0,04 allo stato liquido, dedurre dai seguenti dati il suo calore latente di fusione: 3 chilogrammi del corpo allo stato solido ed alla temperatura di  $100^{\circ}$  furono immersi in un bagno liquido della stessa sostanza avente  $135^{\circ}$  di temperatura e 80 chilogrammi di peso; si trovò, dopo la fusione del corpo solido, che la temperatura finale del bagno era di  $130^{\circ}$ .

**XXIV.**

Calcolare il calore specifico dell'essenza di trementina ed esporre in pari tempo il metodo generale impiegato per determinare il calore specifico dei liquidi, sapendo che  $42^{\text{gr}},57$  d'essenza a  $33^{\circ},7$  furono mescolati con  $470^{\text{gr}},3$  di acqua a  $12^{\circ},23$  e che il miscuglio acquistò la temperatura di  $15^{\circ},57$ . Si supporrà che l'essenza di trementina sia rinchiusa in un tubo di vetro del peso di  $5^{\text{gr}},25$ , e d'un calore specifico uguale a 0,177; essendo  $45^{\text{gr}},25$  il peso dell'acqua contenuta in un vaso di rame, e 0,035 la sua capacità calorifica.

**XXV.**

Si mescolano 750 grammi di ferro a  $100^{\circ},75$  con 425 grammi d'acqua a  $10^{\circ},24$ ; essendo 0,1138 il calore specifico del ferro, qual sarà la variazione di temperatura dell'acqua, fatta astrazione dal riscaldamento o dal raffreddamento pel contatto dell'aria ambiente del vaso.

**XXVI.**

Si mescolarono 575 chilogrammi di ghiaccio con 2250 chilogrammi d'acqua a  $30^{\circ}$ ; decidere se il ghiaccio verrà fuso e, nel caso affermativo, calcolare la temperatura finale, fatta astrazione dalle perdite e dai guadagni di calore.

**XXVII.**

Trovare, in chilogrammi, il peso di un metro cubo di vapore acqueo a  $25^{\circ}$  ed alla pressione di 20 millimetri di altezza del mercurio, sapendo che un metro cubo di aria asciutta pesa  $1^{\text{chil}},300^{\text{gr}}$ , a  $0^{\circ}$  ed alla pressione 760 millimetri, e che la densità del vapore acqueo rapporto a quella dell'aria è 0,625. Trovare, in metri, il raggio d'una sfera che potrebbe contenere un chilogrammo dello stesso vapore.



## APPENDICE - PARTE SECONDA

### SCELTA DI PROBLEMI DELL'AUTORE

#### I.

Quale sarebbe la lunghezza da darsi al pendolo a Parigi, perchè la durata delle oscillazioni fosse di sette secondi?

Dalla formula  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  (59), si deduce

$$L = g \cdot T^2 / \pi^2 = 9,8088 \cdot 49 / (3,1416)^2 = 48^m,69.$$

#### II.

Quale è l'intensità della gravità sotto l'equatore, ove la lunghezza del pendolo a secondi è  $0^m,991$ ?

La formula  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  dà

$$g = \pi^2 \cdot l / T^2 = (3,1416)^2 \cdot 0,991 = 9^m,7808.$$

#### III.

Una palla di platino pesa 100 grammi nell'aria,  $95^{\text{gr}},4$  nell'acqua, e  $91^{\text{gr}},5$  nell'acido solforico; si domanda il peso specifico del platino e quello dell'acido solforico.

Il peso dell'acqua spostata è  $100 - 95,4 = 4,6$ , ed il peso dell'acido spostato è  $100 - 91,5 = 8,5$ ; adunque il peso specifico del platino è uguale a  $100/4,6 = 21,7$ , e quello dell'acido è uguale a  $8,5/4,6 = 1,84$ .

#### IV.

Essendo 7 il peso specifico dello zinco e 9 quello del rame, quale quantità di ciascuno di questi due metalli si dovrà prendere per formare una lega che pesi 50 grammi, ed il cui peso specifico sia 8,2, ammettendo che il volume della lega sia esattamente la somma dei due metalli allegati?

Siano  $x$  ed  $y$  i pesi domandati dello zinco e del rame.

Si ha dapprima  $x + y = 50$  [1]; e per la formola conosciuta  $P = VD$ , la quale da  $V = P/D$  i volumi dei due metalli e delle loro leghe sono rispettivamente

$$x/7, y/9 \text{ e } 50/8,2; \text{ adunque si ha } x/7 + y/9 = 50/8,2 \text{ [2]}$$

Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova  $x = 17,07$ , ed  $y = 32,93$ .

#### V.

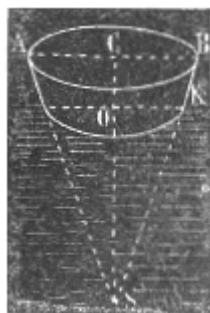


Fig. 584.

Avendosi un cono di ferro ASB (fig. 584) immerso nel mercurio pel suo vertice, si domanda il rapporto della porzione di cono immersa OS all'altezza totale CS, sapendosi che la densità del ferro è  $d$  e quella del mercurio  $d'$ .

Siano  $h$  l'altezza totale SC,  $h'$  l'altezza SO,  $R$  ed  $r$  i raggi CB ed OK.

Per la formola conosciuta  $P = VD$  essendo  $\pi R^2 h / 3$ , il volume del cono più grande il suo peso sarà  $\pi R^2 h d / 3$ . Parimenti, il volume del cono immerso è  $\pi r^2 h' / 3$ , e per conseguenza, il peso del mercurio spostato dal cono di ferro è  $\pi r^2 h' d' / 3$ . Ma questi pesi devono essere uguali (69); adunque, sopprimendo il fattore comune  $\pi / 3$  si ha:

$$R^2 h d = r^2 h' d';$$

$$\text{d'onde } h'/h = R^2/r^2 \cdot d/d' [1]$$

Ma siccome i triangoli BCS e KOS sono simili, si ha  $R/r = h/h'$ .

Sostituendo questo valore di  $R/r$  nell'equazione [1], si ha  $h'/h = h^2/h'^2 \cdot d/d'$ ;

$$\text{d'onde } h^3/h'^3 = d/d';$$

ed estraendo la radice cubica dei due membri, si ha finalmente

$$\frac{h'}{h} = \frac{\sqrt[3]{d}}{\sqrt[3]{d'}};$$

vale a dire che le altezze dei due coni sono in ragione inversa delle radici cubiche delle densità del corpo immerso e del liquido, qualunque sia l'angolo al vertice del cono.

## VI.

Un regolo di platino lungo 2 metri è diviso ad una delle sue estremità in quarti di millimetro; un regolo di rame di 1<sup>m</sup>,950 applicatovi al di sopra, a zero, ne differisce di 0<sup>m</sup>,050, cioè di 200 divisioni del regolo di platino. Si domanda quale sia la temperatura comune ai due regoli quando differiscono di 164 divisioni del regolo di platino, essendo 0,000008842 il coefficiente di dilatazione del platino e 0,000017182 quello del rame.

La lunghezza del regolo di platino, che è 8000 divisioni a zero, è

$$8000 (1 + 0,000008812 \cdot t) \text{ a } t \text{ gradi } (253).$$

Il regolo di rame, che a zero vale 7800 divisioni, a  $t$  gradi vale

$$7800 (1 + 0,000017182 \cdot t).$$

Infine, le 164 divisioni apparenti equivalgono realmente a

$$164 (1 + 0,000008812 \cdot t).$$

Adunque si ha:

$$8000 (1 + 0,000008842 \cdot t) - 7800 (1 + 0,000017182 \cdot t) = 164 (1 + 0,000008842 \cdot t),$$

$$\text{d'onde } t = 36/0,0647337 = 556^\circ.$$

## VII.

Volendo paragonare l'intensità di una lampada Carcel con quella di una candela, per mezzo del fotometro di Rumford (fig. 244), si trova che le ombre portate sul diaframma sembrano della stessa intensità, quando la candela è distante 2 metri dal diaframma, e la lampada ne è distante.

Quale è l'intensità della lampada, prendendo per unità quella della candela?

Sia  $I$  l'intensità della lampada all'unità di distanza; alla distanza di 4<sup>m</sup>,74 sarà  $1/(4,74)^2$  (408); parimenti, quella della candela, che è 1 all'unità di distanza, sarà  $1/4$ , alla distanza di 2 metri. Ma a queste distanze le due intensità sono eguali; adunque si ha:

$$I/(4,74)^2 = 1/4, \text{ d'onde } I = (4,74)^2/4 = 5^{\text{m}},615.$$

## VIII.

Una lampada ed una candela distano l'una dall'altra di 3<sup>m</sup>,15, ed essendo 1 l'intensità della luce della candela all'unità di distanza e 5,6 quella della lampada; a quale distanza dalla lampada, sulla retta che congiunge le due luci, si deve porre un diaframma perchè sia egualmente rischiarato dall'una e dall'altra, sapendosi che l'intensità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza.

Sia  $x$  la distanza che il diaframma deve aver dalla lampada; la sua distanza dalla candela sarà 3<sup>m</sup>,15 -  $x$ . Ciò posto, l'intensità della lampada, che è 5,6, all'unità di distanza è  $5,6/x^2$  alla distanza  $x$ ; e quella della candela, essendo 1, all'unità di distanza, è  $1/(3,15-x)^2$  alla distanza 3,15 -  $x$ . Ma allora le intensità sono eguali; adunque si ha:

$$5,6/x^2 = 1/(3,15-x)^2, \text{ ovvero } [(3,15-x)/x]^2 = 1/5,6 = 10/56 = 5/28.$$

ed estraendo la radice,  $\frac{3,15-x}{x} = \pm \sqrt{\frac{5}{28}} \pm 0,422$ ; d'onde si deducono i due valori  $x = 2^m,21$  ed  $x = 5^m,45$  il primo corrisponde ad un punto situato fra le due luci, il secondo ad un punto situato sul prolungamento della retta che li congiunge.

### IX.

Davanti ad uno specchio sferico concavo del raggio di  $0^m,95$  si colloca alla distanza di  $3^m,4$  un oggetto RD (fig. 264) la cui altezza è di  $0^m,12$ ; si domanda la distanza dell'immagine dallo specchio e la sua grandezza.

Questo problema si risolve per mezzo della formola  $1/p + 1/p' = 2/R$  data in ottica (425), nella quale  $p$  rappresenta la distanza dell'oggetto dallo specchio,  $p'$  la distanza dell'immagine ed  $R$  il raggio di curvatura dello specchio. Dall'enunciato si ha, in centimetri,  $p = 340$  ed  $R = 95$ ; sostituendo nell'equazione superiore, si ottiene  $1/340 + 1/p' = 2/95$ ; togliendo i denominatori, si ottiene:  $95 p' + 340 \cdot 95 = 2 \cdot 340 p'$ , ovvero  $585 p' = 32300$ , d'onde  $p' = 55^c,2$ .

Per calcolare la grandezza  $bd$  dell'immagine bisogna richiamare quanto si disse al paragrafo 427, nel quale si è veduto che essendo simili i triangoli BDC e Cdb (fig. 264), si ha  $bd/BD = Co/CK$ , d'onde  $bd = BD \cdot Co/CK$ . Ora, per ipotesi,

$$BD = 12, CK = p - R = 3^m,4 - 0^m,95 = 2^m,45;$$

e pel valore di  $p'$ , si ha  $Co = CA - Ao = 95^c - 55^c,2 = 39^c,8$ ; adunque

$$bd = 12 \cdot 39,8 / 245 = 1^c,95$$

### X.

Si domanda qual peso possa sollevare ad 8 metri d'altezza in ogni minuto primo una macchina a vapore, quando il manometro della caldaia segni 2 atmosfere e  $3/4$  e lo stantuffo abbia 22 centimetri di raggio e compia una corsa di  $1^m,25$  per secondo<sup>(23)</sup>, fatta astrazione da qualsiasi resistenza.

Siccome il raggio dello stantuffo è di 22 centimetri, la sua superficie, in centimetri quadrati, sarà  $\pi R^2 = 1520^{\text{cent. quad.}},53$ . Ora siccome la pressione sopra un centimetro quadrato è  $1^{\text{chil}},033$  per una atmosfera, così per 2 atmosfere e  $3/4$  è di  $1^{\text{chil}},033 \cdot (2 + 3/4) = 2^{\text{chil}},841$ . Adunque la pressione sulla superficie totale dello stantuffo è  $2^{\text{chil}},841 \cdot 1520,53 = 4319^{\text{chil}},825$ .

Per conseguenza, essendo la corsa dello stantuffo di  $1^m,25$  per secondo, può sollevare in un secondo, ad  $1^m,25$  d'altezza,  $4319^{\text{chil}},825$ .

Nello stesso tempo solleverebbe all'altezza di 1 metro soltanto un peso eguale a  $4319^{\text{chil}},825 \cdot 1^m,25$ , perché il peso sollevato dalla macchina è evidentemente tanto più grande quanto più piccola è l'altezza: per conseguenza il peso sollevato ad 8 metri in un secondo sarà  $4319^{\text{chil}},825 \cdot 1^m,25/8$ , e finalmente il peso sollevato in un minuto primo sarà  $4319^{\text{chil}},825 \cdot 1^m,25 \cdot 60/8 = 80996$  chilogrammi.

### XI.

Si domanda quale sia il diametro di un filo d'argento lungo 125 metri del peso di 6 grammi, sapendosi che il peso specifico dell'argento è 10,474.

Questo filo non è altro che un cilindro la cui altezza è 125 metri e la cui base è un piccolo cerchio che ha per diametro il diametro cercato; rappresentando con  $x$  questo diametro, il volume del filo sarà rappresentato da  $125 \cdot \pi x^2/4$  [1]; ora siccome la nota formola  $P = VD$  dà  $V = P/D = 6^{\text{gr}}/10,474$  [2], si può eguagliare l'espressione [2] all'espressione [1], giacché ambedue rappresentano il volume del filo. Però bisogna ridurle ambedue alla stessa unità di volume, porche la prima dà il volume del filo in metri cubici e la seconda lo dà in centimetri cubici. Perciò bisogna convertire l'espressione

<sup>(23)</sup> Nel testo si legge "1<sup>m</sup>,15 per secondo" [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

[1] in centimetri cubici moltiplicandola per un milione, giacchè si sa che un metro cubico contiene un milione di centimetri cubici. Si potrà adunque

$$\pi x^2 \cdot 125000000/4 = 6/10,474 ;$$

$$\text{d'onde } x = \sqrt{\frac{24}{125000000 \cdot 10,474 \cdot 3,1416}} = 0^{\text{mill}},00076.$$

## XII.

Calcolare il raggio di una palla di ghisa del peso di 24 chilogrammi, sapendo che il peso specifico della ghisa è 7,21.

Per la formola  $P = VD$ , si ha  $V = P/D = 24/7,21$ , esprimendo il volume in decimetri cubi.

Ora essendo  $R$  il raggio della palla, si sa che il suo volume è  $4\pi R^3/3$ . Adunque si ha

$$4\pi R^3/3 = 24/7,21; \text{ d'onde } R^3 = 3,24/4\pi \cdot 7,21 = 72/(4 \cdot 3,1416 \cdot 7,21) = 0^{\text{dec}},794.$$

## XIII.

Domandasi quale sarà il peso specifico di una lega di due metalli, i cui pesi specifici sono  $D$  e  $D'$  ed i pesi totali  $P$  e  $P'$ , sapendosi che il volume della lega ha subito una contrazione uguale ad  $1/m$  della somma dei volumi componenti.

I volumi dei due metalli che compongono la lega, per la formola  $P = VD$ , che dà  $V = P/D$ , sono rispettivamente  $P/D$  e  $P'/D'$ , e la  $m^{\text{a}}$  parte della loro somma è  $1/m(P/D + P'/D')$ ; per conseguenza il volume della lega è:

$$P/D + P'/D' - 1/m(P/D + P'/D') = (P/D + P'/D')[(m-1)/m].$$

Ma rappresentando con  $d$  il peso specifico cercato, il volume della lega sarà rappresentato da  $(P+P')/d$ . Adunque si ha

$$(P+P')/d = (P/D + P'/D')[(m-1)/m];$$

$$\text{d'onde } d = (P+P')DD'/m/(PD' + P'D)(m-1) \quad [A].$$

Se invece di una contrazione la lega avesse subito una dilatazione, con un calcolo analogo si troverebbe:

$$d = (P+P')DD'/m/(PD' + P'D)(m+1) \quad [B].$$

## XIV.

Si domanda il peso specifico di un miscuglio composto di 18 chilogrammi d'acido fosforico e di 8 chilogrammi d'acqua, sapendosi che il peso specifico dell'acqua è 1, quello dell'acido fosforico 1,84, e supponendo che il volume del miscuglio abbia subito una contrazione di  $1/32$ .

Usando della formola [A] del problema precedente, si trova:

$$d = (P+P')DD'/m/(PD' + P'D)(m-1) = (8+18')1,84 \cdot 32/(32,72 \cdot 31) = 1,50$$

## XV.

Fondendo insieme  $P$  chilogrammi di un metallo il cui peso specifico è  $D$ , con  $P'$  chilogrammi di un altro metallo il cui peso specifico è  $D'$ , si trova che il peso specifico della lega è  $d$ ; si domanda se sia avvenuta contrazione o dilatazione, e quale sia il valore del coefficiente di dilatazione  $1/m$ .

La formola [A] del problema XIII, la quale corrisponde alla contrazione di volume della lega, risolta rispetto ad  $m$ , dà:

$$m = (PD' + P'D)d/(PD' + P'D)d - (PD' + P'D)DD' \quad [C]$$

Ora, la quantità  $m$ , che è il denominatore della frazione di contrazione deve essere necessariamente positiva, altrimenti il coefficiente  $1/m$  sarebbe esso pure negativo, il che non avrebbe significato; quindi, affinchè avvenga contrazione è necessario che si abbia

$$(PD' + P'D)d > (P+P')DD', \text{ ossia } d > (PD' + P'D)DD'/(PD' + P'D).$$

E dividendo il numeratore ed il denominatore per  $DD'$ , quest'ultima formola diventa  $d > (P+P')/(P/D+P'D')$ , ed allora è facile interpretarla. Infatti,  $P + P'$  essendo il peso della lega, e  $P/D+P'D'$  la somma dei volumi dei metalli allegati, ne segue che l'espressione  $(P+P')/(P/D+P'D')$  è precisamente per la formola  $D = P/V$  il peso specifico che avrebbe la lega se non avvenisse né contrazione né dilatazione. Ora, quando avvi contrazione, il peso specifico è aumentato, per cui bisogna che si abbia

$$d > (P+P')/(P/D+P'D').$$

Ne segue altresì che quando avvi dilatazione bisogna che si abbia  $d < (P+P')/(P/D+P'D')$  infatti si è condotti a questa condizione risolvendo rispetto ad  $m$  la formola [B] del problema XIII.

Se fosse  $d = (P+P')/(P/D+P'D')$  la formola [C] darebbe  $m = \infty$  d'onde la frazione  $1/m = 0$ ; cioè in tal caso non vi sarebbe né contrazione né dilatazione.

## XVI.

Conoscendo il volume  $V$  d'aria contenuto nel recipiente  $c$  nel condotto d'una macchina pneumatica, il volume  $v$  di uno dei corpi di tromba, e rappresentando con  $M$  la massa totale dell'aria del recipiente e del condotto, si domanda quale massa d'aria rimanga nella macchina dopo  $n$  corse semplici di stantuffo, e quale ne sia la tensione.

Quando lo stantuffo ascende dal basso del corpo di tromba sino alla sommità, il volume d'aria  $V$  diventa  $V + v$ , e la sua massa è sempre  $M$ . Ora, la massa d'aria sottratta essendo proporzionale al volume  $v$ , rappresentandola con  $m$ , si ha  $m/M = v/(V+v)$ ,

$$\text{d'onde } m = Mv/(V+v)$$

L'aria che rimane è adunque  $M - Mv/(V+v) = MV/(V+v) = M'$ .

Parimenti si trova che la quantità d'aria levata alla seconda corsa di stantuffo è

$$M'v/(V+v) = Mv/(V+v) \cdot V/(V+v)$$

$$\text{alla terza, } MV/(V+v) \cdot V^2/(V+v)^2$$

$$\text{all'n-esima è } MV/(V+v) \cdot V^{n-1}/(V+v)^{n-1}$$

Adunque tutta l'aria estratta dopo  $n$  corse di stantuffo è

$$Mv/(V+v)(1 + V/(V+v) + V^2/(V+v)^2 + \dots + V^{n-1}/(V+v)^{n-1}) \quad [A]$$

Ora, siccome la quantità fra parentesi non è altro che una progressione geometrica decrescente, il cui primo termine è 1 ed il rapporto  $V/(V+v)$ , facendo uso della formola  $S = (a-l^i)/(l-r)$ , che in algebra serve a calcolare i termini di una progressione geometrica decrescente, il cui primo termine sia  $a$ , l'ultimo  $l$ , ed il rapporto  $r$ , si trova che la somma dei termini fra parentesi è

$$V/(V+v) - V/v \cdot V^{n-1}/(V+v)^{n-1}.$$

La formola [A] diventa adunque

$$Mv/(V+v) [ V/(V+v) - V/v \cdot V^{n-1}/(V+v)^{n-1} ] = M - M \cdot V^n/(V+v),$$

il cui secondo membro rappresenta la massa d'aria estratta dopo  $n$  corse di stantuffo; epperò quella che rimane nella macchina è  $M \cdot V^n/(V+v)$ ,

Per calcolare la tensione  $f$ , che si supporrà essere stata dapprima  $0^m,76$ . basta osservare che, per la legge di Mariotte, la tensione dell'aria sotto il recipiente è proporzionale alla sua massa, il che dà:

$$f/0,76 = M \cdot V^n/(V+v); \text{ d'onde } f = 0,76 \cdot V^n/(V+v)^n.$$

## XVII.

Quante corse semplici di stantuffo  $n$  abbisognano per ridurre dalla pressione  $0^m,76$  alla pressione  $0^m,002$  l'aria contenuta nel recipiente della macchina pneumatica, il quale abbia la capacità di 10 litri, supposto che il corpo di tromba abbia la capacità di 1 litro?

Questo problema si risolve facilmente per mezzo della formola  $f = 0,76 \cdot V^n/(V+v)^n$  ottenuta nel problema XVI, ponendovi  $t = 0,002$ ,  $V = 10$  e  $v = 1$ , il che dà  $2/760 = (10/11)^n$ , ossia  $(10/11)^n = 380$ .

Prendendo i logaritmi dei due membri, si ha:

$$n \cdot \log(11/10) = \log 380, \text{ d'onde } n = \log 380 / (\log 11 - \log 10) = 62.$$

### XVIII.

Si vuol sostenere entro l'acqua un cubo di piombo avente 4 centimetri di lato, attaccandolo ad una sfera di sughero. Quale diametro potrà avere quest'ultima perchè la spinta dal basso all'alto faccia equilibrio al peso del cubo di piombo, sapendosi che il peso specifico di questo corpo è 11,35, e quello del sughero 0,24?

Il volume del cubo di piombo è di 64 centimetri cubi; quindi il suo peso nell'aria è  $64 \cdot 11,35$ , ed il suo peso nell'acqua è  $64 \cdot 11,35 - 64 = 662^{\text{gr}},40$ .

Rappresentando con  $r$  il raggio della sfera di sughero in centimetri, il suo volume in centimetri cubi sarà  $\frac{4\pi r^3}{3}$ ; adunque il suo peso in grammi sarà  $\frac{4\pi r^3}{3} \cdot 0,24/3$ .

Ciò posto, essendo il peso dell'acqua spostata dalla sfera di sughero in grammi  $\frac{4\pi r^3}{3}$ , ne risulta una spinta dal basso all'alto eguale a

$$\frac{4\pi r^3}{3} - \frac{4\pi r^3}{3} \cdot 0,24/3 = \frac{4\pi r^3}{3} \cdot 0,76/3.$$

Ora questa spinta deve essere uguale al peso del piombo, adunque si ha:

$$\frac{4\pi r^3}{3} \cdot 0,76/3 = 662^{\text{gr}},40,$$

$$\text{d'onde } r = \sqrt[3]{\frac{1987,20}{3,04 \cdot 3,1416}} = 5^{\text{cent}},92;$$

quindi il diametro domandato è  $11^{\text{cent}},84$ .

### XIX.

Si vuol costruire una sfera cava di rame che, immersa nell'acqua a  $4^\circ$ , vi si affondi precisamente per una metà; quale dovrà essere il rapporto fra la grossezza della parete della sfera ed il suo raggio esterno, il quale è indeterminato, sapendosi che il peso specifico del rame è 8,788?

Siano, a  $4^\circ$ ,  $R$  il raggio esterno ed  $r$  il raggio interno; la grossezza della parete sarà  $R-r$ , ed il rapporto domandato  $(R-r)/r$ .

Ora, essendo  $\frac{4\pi R^3}{3}$  il volume esterno della sfera, e  $\frac{4\pi r^3}{3}$  il suo volume interno, il volume della parete sarà  $\frac{4\pi R^3}{3} - \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi(R^3 - r^3)}{3}$ , ed il suo peso sarà  $\frac{4\pi R^3}{3} - \frac{4\pi r^3}{3} = 8,788 \cdot \frac{4\pi(R^3 - r^3)}{3}$ .

Inoltre essendo il peso dell'acqua spostata  $\frac{1}{2} \cdot \frac{4\pi R^3}{3}$ , sopprimendo il fattor comune  $\frac{4\pi}{3}$ , si dovrà avere:

$$(R^3 - r^3) \cdot 8,788 = R^3/2 \text{ d'onde } R^3 \cdot 16576 = r^3 \cdot 17576$$

$$\text{d'onde si deduce } \frac{R}{r} = \sqrt[3]{\frac{17576}{16576}} = 1,02.$$

Quest'ultima equazione dà successivamente<sup>(24)</sup>

$$R/1,02 = r/1, (R-r)/0,02 = R/1,02, \text{ ed } (R-r)/R = 2/1,02 = 1,51$$

cioè la grossezza della parete deve essere  $1/51$  del raggio,

### XX.

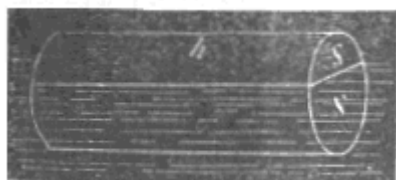


Fig. 833.

Un cilindro di legno di faggio galleggia orizzontalmente sull'acqua (fig. 585); si domanda il rapporto tra il volume della parte immersa e quello della parte sporgente, sapendosi che il peso specifico del faggio è 0,852, e che quello dell'acqua è 1.

I due volumi, di cui si cerca il rapporto, hanno la stessa altezza  $h$ ; siano  $S$  ed  $S'$  i segmenti di circolo che loro servono di base, il segmento  $S$  essendo immerso, e sporgente il segmento  $S'$ .

<sup>(24)</sup> Nel testo "00,2" [Nota per l'edizione elettronica Manuzio]

Il volume della parte immersa è  $Sh$ , quello della parte sporgente  $S'h$ , ed il volume totale del cilindro è  $(S + S') h$ . Il peso del cilindro è dunque  $(S + S') h \cdot 0,852$ , e quello dell'acqua spostata  $Sh$ ; adunque, per la condizione di equilibrio dei corpi galleggianti, si dovrà avere:

$$(S + S') h \cdot 0,852 = Sh; \text{ d'onde } (1 - 0,852)/0,852 = 0,173.$$

## XXI.

Diviso un tubo capillare in 180 parti di ugual capacità, si trova che una colonna di mercurio occupando 25 di queste divisioni pesa  $1^{\text{gr}},2$  a zero gradi. Volendosi con questo tubo costruire un termometro, si domanda qual raggio interno dovrà avere il serbatoio sferico che si deve saldare al tubo, affinché le 180 divisioni del medesimo comprendano 150 gradi centesimali.

Siccome 25 divisioni del tubo contengono  $1^{\text{gr}},2$  di mercurio, una sola divisione contiene  $1^{\text{gr}},2/25$ , e le 180 divisioni ne contengono  $1,2 \cdot 180/25 = 8^{\text{gr}},64$ . Dovendo queste 180 divisioni comprendere 150 gradi, ne segue che il peso del mercurio corrispondente ad un sol grado è  $8^{\text{gr}},64/150$ . Ma siccome la dilatazione corrispondente ad un grado, non è che la dilatazione apparente del mercurio nel vetro (259), il peso  $8^{\text{gr}},64/150$ , deve essere  $1/6480$  del peso del mercurio contenuto nel serbatoio, peso che è uguale a  $4\pi R^3 \cdot 13,596/3$ , chiamando  $R$  il raggio del serbatoio, ed essendo 13,596 il peso specifico del mercurio.

$$\text{adunque si ha } 4\pi R^3 \cdot 13,596/3 \cdot 1/6480 = 8,64/150, \text{ d'onde } R = 1^{\text{cent}},8.$$

## XXII.

Quale è il valore dello sforzo  $F$  necessario per sostenere una campana piena di mercurio ed immersa nello stesso liquido, sapendo che il diametro interno di essa è di 6 centimetri, che la sua altezza  $ob$  (fig. 586), al disopra del livello del bagno è di 18 centimetri, e che l'altezza barometrica è  $0^{\text{m}},77$ ?

All'esterno questa campana sopporta dall'alto al basso una pressione uguale al peso di una colonna di mercurio che avrebbe per base la sezione  $cd$  della campana e per altezza quella del barometro; per conseguenza, questa pressione è uguale a

$$\pi R^2 \cdot 0,77 \cdot 13,596.$$



Fig. 586.

All'interno la campana soffre una pressione dal basso all'alto eguale alla pressione atmosferica, meno il peso di una colonna di mercurio avente per base la sezione della campana e per altezza  $ob$ ; cioè la pressione dal basso all'alto eguaglia

$$\pi R^2 \cdot (0,77 - 0,18) \cdot 13,596 = \pi R^2 \cdot 0,59 \cdot 13,596.$$

Lo sforzo necessario per sostenere la campana sarà dunque uguale alla differenza di queste due pressioni, ossia a

$$\pi R^2 \cdot (0,77 - 0,59) \cdot 13,596 = \pi R^2 \cdot 18 \cdot 13,596.$$

Ponendo  $R = 3$  centimetri, conforme all'enunciato, ed effettuando i calcoli nella espressione precedente, si trova

$$F = 6^{\text{chi}},919^{\text{gr}},5.$$

## XXIII.

In un vaso vuoto della capacità di 60 litri ed a pareti inestensibili, si fanno passare 30 litri di azoto alla pressione  $0^{\text{m}},72$ ; 15 litri d'ossigeno alla pressione  $0^{\text{m}},61$ ; e 5 litri d'acido carbonico alla pressione  $0^{\text{m}},78$ : quale sarà la forza elastica del miscuglio?

Siccome, per la legge di Mariotte (149) la forza elastica di un gas è in ragione inversa del suo volume, ciascuno dei gas mescolati avrà, dopo il miscuglio, una forza elastica tanto minore, quanto

maggiore sarà diventato il suo volume. Quindi l'azoto, il cui volume da 30 divenne 60, cioè doppio, avrà una forza elastica eguale alla metà di quella che aveva dapprima, ossia di  $0^m,36$ ; del pari l'ossigeno che assume un volume quadruplo, avrà una tensione uguale ad un quarto di  $0^m,64$ , ossia di  $0^m,16$ ; infine l'acido carbonico che assume un volume 12 volte maggiore del primitivo, avrà una tensione che sarà la dodicesima parte di  $0^m,76$ , ossia  $0^m,065$ .

Adunque, per la seconda legge delle mescolanze di gas (156), la forza elastica del miscuglio sarà:

$$0^m,36 + 0^m,16 + 0^m,065 = 0^m,585$$

#### XXIV.

Lasciata cadere una pietra in un pozzo, il suono che la pietra produce incontrando l'acqua si ode 3 secondi dopo che fu abbandonata. Si domanda a quale profondità trovasi l'acqua, sapendo che il suono percorre 337 metri per secondo.

Si rappresenti con  $v$  la velocità del suono, con  $x$  la profondità a cui trovasi l'acqua, e con  $T$  il tempo che passa dal principio della caduta alla percezione del suono. Dalla formola nota  $e=1/2gt^2$  (55), si

deduce  $t = \sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{\frac{2x}{g}}$ ; che rappresenta il tempo impiegato dalla pietra a cadere.

Per trovare il tempo impiegato dal suono per giungere all'orecchio dell'osservatore, siccome lo spazio percorso in un secondo è  $v$ , per percorrere lo spazio  $x$ , occorreranno tanti secondi quante volte  $x$  contiene  $v$ , cioè  $x/v$ .

Si dovrà dunque avere  $\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{v} = T$ , ossia  $\sqrt{\frac{2x}{g}} = T - \frac{x}{v}$ ; d'onde  $\frac{2x}{g} = T^2 - \frac{2Tx}{v} + \frac{x^2}{v^2}$ .

Togliendo i denominatori e trasportando, si ha:

$$gx^2 - 2v(v + gT)x + v^2gT^2 = 0.$$

Risolvendo,  $x = \frac{v}{g} \left\{ gT + v \pm \sqrt{v(2gT + v)} \right\}$ .

E sostituendo a  $v$ ,  $g$  e  $T$  i loro valori, si trova:

$$x = \frac{337}{9,81} \left\{ 9,81 \cdot 3 + 337 \pm \sqrt{337(2 \cdot 9,81 \cdot 3 + 337)} \right\}$$

$$\text{d'onde } x = \frac{337}{9,81} (366,43 \pm 365,24);$$

la quale dà due soluzioni  $x = 25134^m,9$ , ed  $x = 40^m,8$ . Bisogna rifiutare la prima perchè rappresenta uno spazio maggiore di quello che percorre il suono in 3 secondi. È una soluzione estranea dovuta

all'innalzamento a quadrato del radicale  $\sqrt{\frac{2x}{g}}$ , nell'equazione del problema. Adunque la profondità del pozzo è di  $40^m,8$ .

**FINE**