

Quat cont an s'na mongolfiera

Carlo Demichelis

Tuti a san che, pèr l'òm, la prima manera 'd volé a l'è stàita cola 'd dovré un balon a ària càoda, ciamà mongolfiera. Sòn a l'è capità 'l 21 november 1783, cand Pilâtre de Rozier, e François Laurent a son fàsse un giròt ant èl cel davzin a Paris, su un balon imaginà e costruiv dai fratej Montgolfier (che a j'ero piàsse bin varda 'd provelo lor). Giusta pèr un pluch, l'aria càoda a l'è stàita la prima manera 'd volé, dal moment che pòchi di dòp, un fisich (sempe fransèis), che a-j disio Charles, a fa volé so balon èd tèila vernisà, ma cost a l'è pien d'idrògen.

Ij balon a idrògen (con na possà a monté motobin pi àuta) a treuvo bin prest aplicassion an camp militar, ma pi che d'àutr coma balon frenà, vis-a-di balon ancorà a tèra da un fil pi ò manch long, pèr osservassion. Sòn pèrchè un balon liber a peul nen manevré e a vè andova a lo pòrta èl vent.

La mongolfiera a ària càoda a l'ha anvece sùbit un bel sucess da na mira sportiva. Fin-a tròp, se as pensa che, fra incident e bòsch a feu, ij pompista a bastavo pi nen e la Fransa a l'ha dovù proibì "le mongolfiere privà". An efèt, se a l'era nen facil procuresse l'idrògen, a smijava anvece sempi, a tanta gent, fésse antècà na mongolfiera a ària caoda.

Da na mira scientifica

Che l'aria càoda a tira a monté a l'è na còsa che tuti a l'han avù manera d'esperimenté, a la mira 'd consideréla na còsa pi che natural (la fum càoda a monta ant èl canon dla suva, e via fòrt). Ma vardoma an manera sèmpia quale che a son le legi fisiche che a giustifìco 'l fàit che na mongolfiera a peul ausésse ant l'aria e volé.

La possà d'Archimede.

Èl prinsipi d'Archimede a dis che un còrp, fongà ant un flùid, a sperimenta na possà, da part dèl flùid, che a l'è ugual al pèis dèl flùid èspostà¹. Sòn a veul di che un qualonque volum V che as treuva ant l'aria a ven sostnù, da l'aria midema, con na fòrsa che a corrispond a la fòrsa pèis d'un midem volum V d'aria.

Arcordoma èd nen confonde la massa, che as misura an chilogram (Kg), con la fòrsa, che as misura an Newton (N). La massa a l'è na carateristica spessifica d'un còrp, che ant la Fisica Clàssica, a cambian nen an tuti cas², e a corrispond a la quantità 'd matéria dont èl còrp a l'è fàit³. La fòrsa pèis che a agiss su na massa M a dipend da l'acelerassion èd gravità g, consequensa d'l'atrassion dla Tèra. Costa acelerassion a val, an sla surfassa dla Tèra, pi ò manch istess daspèrtut, $9,81 \text{ m/sec}^2$.

Na massa d'un chilo a pèisa $P = 1 \times 9,81 = 9,81$ Newton. Ant la pràtica, vist che g a l'è praticament costant, ciamoma pèis e i lo disoma an chilo, lòn che a l'è anvece na massa. Pèr fé la spèisa a cambia pòch, ma vardoma lòn che a càpita a un meter cubo èd bòsch, con na densità (massa per unità 'd volum) $m = 400$ chilo a meter cubo (pi ò manch coma l'arbra).

Un meter cubo d'èsto bòsch a l'ha na massa che a-peu-pré a l'è èd 400 kg e donca su costa massa a agiss na fòrsa pèis, vers èl bass, èd $400 \times 9,81 = 3924 \text{ N}$

La densità dl'aria a cambia con l'autèssa, e con le condission metereològiche. Suponoma che a sia (e pi ò manch a l'è lòn) $m_a = 1,2$ kg a meter cubo, ant le condission èd nòstra misura. La possà d'Archimede, an sèl meter cubo 'd nòstr bòsch, a val antlora $1,2 \times 9,81 = 11,77 \text{ N}$. La fòrsa total risultant, vers èl bass a l'è donca $3924 - 11,77 = 3912,23 \text{ N}$.

Vardand la figura 1 i podoma vèdde facilment da andova a ven la possà d'Archimede. Disoma prima che la pression, an nòstr cas, a l'è la fòrsa che un flùid a esercita pèr unità 'd surfassa, contra ògni surfassa a contat con èl flùid midem. La pression a l'è sempe direta

¹ Motobin evident ant l'aqua, sòn a l'è vèra pèr tuti ij flùid, e donca 'dcò ant l'aria, ma si a l'è meno evident.

² La Fisica Clàssica a l'è cola 'd nòstra esperiensa. Sòn a val nen ant la Fisica Relativistica, dont cola clàssica a l'è na pi che bon-a aprossimassion fin a cand le velocità an geugh a son motobin lontan-e da cola dla lus.

³ I dovroma le definission intuitive 'd massa e fòrsa, mentre definission rigorose a pòrto a bej problema.

perpendicolarment contra a la surfassa e, ant un dàit pont a l'ha sempe l'istess valor qualonque a sia la diression dla surfassa.

Suponoma l'aria fërma. Se pensoma a un sutil seul d'aria orisontal, con na surfassa S , dal moment che l'aria a l'è fërma, suponoma che as trata d'un "feuj d'aria" rèid, che a l'è fèrm an més a l'otra aria. Coma se a fussa pogià ansima a sto feuj, a-i è na colòna d'aria che a l'ha un dàit pès. Sto pès, dividù pèr la surfassa S , a dà la pression $-p$ che a agiss an sla fàcia superior dèl seul, direta vers èl bass.

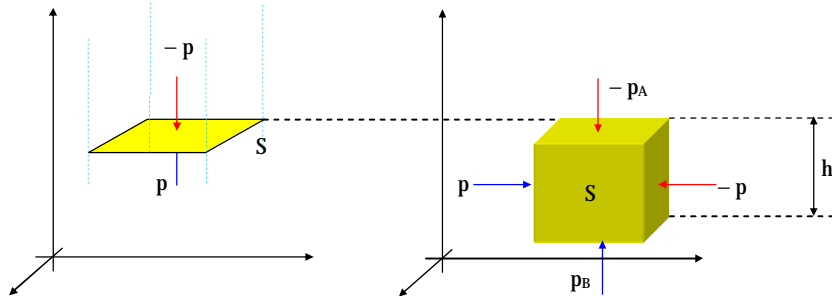


Figura 1

Ma la pression as èsvilupata istessa an tute le diression, e nòstr seul a l'ha èdcò na fàcia inferior. Dal moment che i l'oma imaginà un seul sutil com un pont, tant da podèj consideré le doe face a la stessa autèssa, la pression p direta vers l'aut che a agiss an sla fàcia inferior a sarà ugual e contraria a cola che a agiss an sla fàcia superior. Le corrispondente fòrse as anulo e 'l seul a sta fèrm. Se adess i consideroma 'l cubet dla sconda part èd figura 1, i vèddoma che se la pression $-p_A$ an sla fàcia superior a corrispond al pès dla colòna d'aria che a jè stà ansima dividù pèr la surfassa S , la pression sla fàcia inferior a corrispond al pès dl'istessa colòna con la giunta dl'autèssa h . Se la densità dl'aria ant èl tràit fra le doe surfasse a val m_a , la fòrsa an sla surfassa inferior a l'è pi gròssa èd cola an sla surfassa superior dla quantità

$$\Delta F = \mu_a \cdot S \cdot h \quad \text{e la pression a sarà} \quad p_B = -p_A + \frac{\Delta F}{S} = -p_A + \mu_a \cdot h$$

La fòrsa F_a esercitá da l'aria an sèl cubet a sarà la diferensa fra la fòrsa da sota (pi gròssa) e cola da dzora, dal moment che tute le fòrse lateraj as anulo a doe a doe.

$$F_a = S \cdot p_B - S \cdot p_A = S \cdot m_a \cdot h = m_a \cdot V \quad \text{dal moment che} \quad S \cdot h \quad \text{a l'è 'l volum } V \quad \text{dèl cubet}$$

Ma $m_a \times V$ a l'è la massa d'un volum d'aria istess al volum dèl cubet, che moltiplicà pèr g a dà so pès an Newton. As peul dèmonstré che sòn a val pèr qualonque forma a l'abia 'l volum considerà. Costa a l'è la giustificassion dèl prinsipi d'Archimede. Èl cubet a stà fèrm pèrchè so pès a l'è compensà da la possà d'Archimede.

Le lej dij gas

Sensa andé ant l'ancreus, e pijand pèr bon senza dèmostrassion lòn che i disoma, vardoma adess com a son anlià fra èd lor la pression, èl volum e la temperatura d'un gas qualonque. I notoma che an coste lej la temperatura a ven misurà an gré Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), che a son ij sòlit gré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) che i dovroma sempe, ma che i-j giontoma 273,16. Sì i stoma nen a giustificé sto fàit, che an Termodinàmica a l'è motobin amportant.

$$^{\circ}\text{K} = 273,16 + ^{\circ}\text{C}$$

As sà che se as comprim un gas ampresa, cost as èscàoda e se as expand an pressa as èsfrèida (a basta prové con la pompa dla bici). Se la compression ò la depression a son fàite motobin adasi, an manera che la temperatura dèl gas a peussa adatesse a la temperatura esterna, scambiand calor con le surfasse che a lo conten-o, as peul parlé èd na trasformassion a temperatura costanta. A-i è antlora na proporsionalità fra pression e volum, che a ven dèscrivùda da la relassion

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{andova} \quad 1, 2 \quad \text{a son j' indes dj' èstat inissial e final}$$

Se un gas, liber d'expand-se, a ven scaodà, a chèrs èd volum second la lege :

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{andova } 1,2 \quad \text{a son j' indes dj' èstat inissial e final e } T_i \text{ le temperature an gré Kelvin}$$

Coste a son le relassion che a n'antersso an costa cita tratassion simplificà. Vardoma adess le carateristiche fisiche dl'atmosfera teòrica. An fonsion dl'autèssa an sèl livèl dèl mar, la pression a cambia, e a cambia 'dcò la temperatura. Naturalment costi a son parameter che an pràtica a son anlià al temp metereologich, al leu considerà e a la stagion, ma s'as considero valor medi d'arferiment. Èdcò la densità dl'aria a l'avrà so valor a ògni quòta.

L'atmosfera

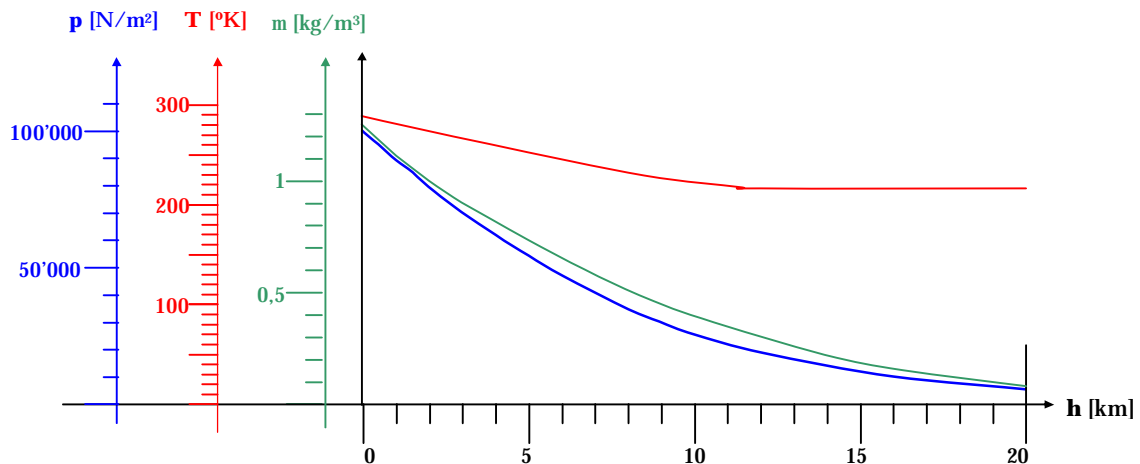


Figura 2

Pèr fé le còse sempie, consideroma i gràfich che a dan pression, temperatura e densità dl'atmosfera an fonsion dl'autèssa an sèl livèl dèl mar. Costi a son dàit sperimentaj, pijà coma arferiment an camp internassional. La pression a l'è arportà an Newton su meter quadrà, la temperatura an gré Kelvin e la densità an kg su meter cubo. Beleché sta manera a sia nen vaire precisa, a va pì che bin an nòstr but. La figura 2 a arpòrta ij gràfich. As vèdd che la temperatura, dai 12000 meter an su, a ven considerà costanta, a -56,5 gré Celsius vis-a-di 216,66 gré Kelvin.

Balon a ària càoda

Suponoma un balon, disoma sfèrich, con na massa total M_B (anlup, echipagi e tut lòn che a serv, senza conté l'aria ant l'anlup), e con un volum total V_B , dont V_A a l'è 'l volum ocupà da l'aria andrinta a l'anlup, che i suponoma an quàich manera rèid.

La densità media dla massa M_B a sia m_m e la densità dl'aria, che an prinsipi i suponoma a l'istessa temperatura andrinta e fòra dèl balon, a sia m_a . Èl balon a l'è duvert da sota, e donca la pression p drinta e fòra a l'è sempe l'istessa. Suponoma adess d'anvisché èl feu sota la boca e speté che l'aria andrinta al balon as èscaoda. La temperatura dl'aria esterna ch'a sia T_e (sempe misurà an gré Kelvin) e suponoma che a regim èl feu a fasa aussé la temperatura interna d'un DT , an manera che la temperatura intena a vada a $T_i = T_e + DT$.

I l'oma vist che l'aria scaoda a chèrs èd volum, e che V_A a diventa V'_A tal che:

$$V'_A = V_A \cdot \frac{T_i}{T_e}$$

A la temperatura T_i la densità m_i dl'aria a sarà dàita da soa massa dividua pèr èl neuu volum, e donch

$$\mu_i = \frac{\mu_a \cdot V_A}{V'_A} = \mu_a \cdot \frac{T_e}{T_i}$$

Dal moment che 'l volum dl'anlup a l'è costant e l'aria che as expand a seurt dal beucc inferior, èl balon a perd na massa d'aria Dm , a la temperatura T_i dàita da:

$\Delta m = \mu_i \cdot (V'_A - V_A)$ che a corisponda un pèis $\Delta P = \Delta m \cdot g$ (con $g =$ acelerassion 'd gravità)

Èl pèis total dël balon P_B , comprèisa l'ària, e la possà d'Archimede P_B an sël balon a saran:

$$P_B = g \cdot (M_B + \mu_i \cdot V_A) \quad ; \quad \Pi_B = g \cdot V_B \cdot \mu_a$$

$$\text{ma } V_B = V_A + \frac{M_B}{\mu_m} \quad \text{e donca} \quad \Pi_B = g \cdot \left(V_A + \frac{M_B}{\mu_m} \right) \cdot \mu_a$$

La fòrsa total F_T che a agiss an sël balon a l'è donca:

$$F_T = \Pi_B - P_B = g \cdot \left[\left(V_A + \frac{M_B}{\mu_m} \right) \cdot \mu_a - (M_B + \mu_i \cdot V_A) \right]$$

Se i tnoma cont che èl volum dij materiaj dont èl balon a l'è fàit, e col dl'echipagi, a son motobin cit rispèt al volum total, i podoma trascuré èl termo M_B / m_m e nòstra espression a dventa

$$F_T = \Pi_B - P_B = g \cdot [V_A \cdot \mu_a - M_B - \mu_i \cdot V_A] = g \cdot [V_A \cdot (\mu_a - \mu_i) - M_B]$$

Èl pèis dël balon a ven compensà a parte da cand $V_A \cdot (\mu_a - \mu_i) = M_B$. Ma i l'oma vist che $\mu_i = \mu_a \cdot \frac{T_e}{T_i}$ e donca èl pèis dël balon a ven compensà a parte da cand $V_A \cdot \mu_a \left(1 - \frac{T_e}{T_i} \right) = M_B$.

I podoma 'dcò fé n'àutr rasonament: Se, scaodand l'ària, a seurt na massa Dm , com i l'oma vist, èl balon a dventa pì legèr, e cand $Dm = M_B$, èl pèis a l'è compensà. Ma:

$$\Delta m = \mu_i \cdot (V'_A - V_A) = \mu_a \cdot \frac{T_e}{T_i} \cdot V_a \left(\frac{T_i}{T_e} - 1 \right) = \mu_a \cdot V_a \cdot \left(1 - \frac{T_e}{T_i} \right)$$

pròpi com i l'oma vist prima.

Pr' esempi

Con dàit imaginari, senza pretèise che as trata 'd na possibilità real, foma n' esempi ant l'aprossimassion fàita sù dzora (che a l'è bon-a). Un balon con 20 meter èd diàmeter a l'ha na massa total $M_B = 320$ kg, mentre 'l volum V_A a val 4188 m³. A tèra la densità dl'aria m_a a val 1,226 kg/ m³, con na temperatura 288,16 °K (15 °C) com as arleva dai gràfich. I sercoma a che temperatura dl'aria interna èl balon as àussa. A basta scrive:

$$\Delta m = M_B = \mu_a \cdot V_a \cdot \left(1 - \frac{T_e}{T_i} \right) \quad ; \quad 320 = 1,226 \cdot 4188 \cdot \left(1 - \frac{288,16}{T_i} \right)$$

$$320 = 5134,488 - \frac{1479554,062}{T_i} \quad ; \quad 4814,488 = \frac{1479554,062}{T_i}$$

$$T_i = \frac{1479554,062}{4814,488} = 307,31 \text{ °K } (34,15 \text{ °C})$$

A 3000 meter d'autèssa, suponoma che nòstr feu a peussa ten-e ant èl balon na diferenza èd temperatura con l'aria da fòra èd 24 °. Vardoma se èl balon a stà ancora su. Adess m_a a val 0,909 kg/ m³, con na temperatura 268,66 °K (- 4,5 °C). J'istessi cont a diso che pèr compensé 'l pèis la temperatura interna a venta che a sia:

$$\Delta m = M_B = \mu_a \cdot V_a \cdot \left(1 - \frac{T_e}{T_i} \right) \quad ; \quad 320 = 0,909 \cdot 4188 \cdot \left(1 - \frac{268,66}{T_i} \right)$$

$$320 = 3806,892 - \frac{1022759,605}{T_i} \quad ; \quad 3486,892 = \frac{1022759,605}{T_i}$$

$$T_i = \frac{1022759,605}{3486,892} = 293,32 \text{ °K } (20,16 \text{ °C})$$

La diferenza èd temperatura a venta che a sia 24,66 °C e donca, pèr giusta 0,66 °C èl balon a peul nen rivé a 3000 meter d'autèssa. Sòn, naturalment, mach se e cand a son possibile le semplificassion che i l'oma dit.