

Quat cont an 's na mongolfiera

Cita nòta 'd 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 Pilàtre de Rozier, e François Laurent a son fàsse un giròt ant èl cel davzin a Paris, su un balon anmaginà e costruivì dai fratej Montgolfier (che però a j'ero piàsse bin varda 'd provelo lor èd pèrson-a). 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 disìo Charles, a fa volé so balon èd tèlla vernisà, ma cost a l'è pien d'idrògen.

Ij balon a idrògen (con na possà a monté motobin pì àuta) a treuvo bin prest aplicassion an camp militar, ma pì che d'òutr coma balon frenà, vis-a-di balon ancorà a tèra da un fil pì ò manch long, pèr osservassion. Sòn perchè un balon liber a peul nen manevré ant l'aria se nen pèr monté e calé, e a và 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 pì nen e la Fransa a l'ha dovù proibì "le mongolfiere privà". An efèt, se a l'era nen fàcil procuresse l'idrògen, a smijava anvece sempi, a tanta gent, fésse antèca 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'èssperimenté, a la mira 'd consideréla na còsa pì che natural (la fum càoda a monta ant èl canon dla suva, l'aria scaoda dal termosifon a monta vers la vòlta, e via fòrt). Ma vardoma an manera sèmpia quale che a son le legi fisiche che a giustifico '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 flüid, a sperimenta na possà, da part dèl flüid midem, che a l'è ugual al pèis dèl flüid 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 corispond 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 (disendla a la bon-a) a l'è na carateristica spessifica d'un còrp, che ant la Fisica Clàssica, a cambia nen an tuti cas², e a corispond a la quantità 'd matèria 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, pì ò manch istess daspèrtut, $9,81 m/sec^2$.

Na massa d'un chilo a pèisa $P = 1 \times 9,81 = 9,81 \text{ Newton}$. Ant la pràtica, vist che g a l'è pitòst costant daspèrtut an sla surfassa dla tèra, ciamoma pèis e i lo disoma an chilo, lòn che a l'è anvece na massa. Pèr fé la spèisa al mercà a cambia pòch, ma vardoma lòn che a càpita a un meter cubo èd bòsch, con na densità (massa per unità 'd volum) $\mu = 400$ chilo a meter cubo (pì 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 $400 \times 9,81 = 3924 \text{ N}$.

¹ Motobin ecvident ant l'aqua, sòn a val pèr tuti ij flüid, e donca 'dcò ant l'aria, ma sì a l'è motobin manch evident.

² La Fisica Clàssica a l'è cola 'd nòstra esperiensa. Sòn a val nen ant la Fisica Relativìstica, dont la Fisica Clàssica a l'è na pì che bon-a apossimassion fintant che le velocità an geugh a son lontan-e da cola dla lus.

³ I dovroma le definission intuitive 'd fòrsa e 'd massa, mentre definission rigorose a pòrto 'd bėj problema, ma sì an servo nen.

La densità d'aria a cambia con l'autèssa, e con le condission metereologiche. Suponoma che a sia (e pi ò manch a l'è lòn) $\mu_a = 1,2$ chilo a meter cubo, ant le condission ed nòstra misura. La possà d'Archimede, an sèl meter cubo 'd nòstr bòsch, a val antlora $1,2 \times 9,81 = 11,77$ N. La fòrsa total risultant vers èl bass (vis-a-di 'l pèis dèl bòsch) a l'è donca $3924 - 11,77 = 3912,23$ N.

Vardand la figura 1 i podoma vèdde an manera fàcil da andova a ven la possà d'Archimede. Disoma prima che la pression, an nòstr cas, a l'è la fòrsa che un flüid a esercita pèr unità 'd surfassa, contra ògni surfassa a contat con èl flüid midem. La pression a l'è sempe direta an manera pèrpendicolar contra a la surfassa e, ant un dàit pont a l'ha sempe l'istess valor qualonque a sia la diression dla surfassa (sòn as peul dimostré, ma s'ì i lo fama nen).

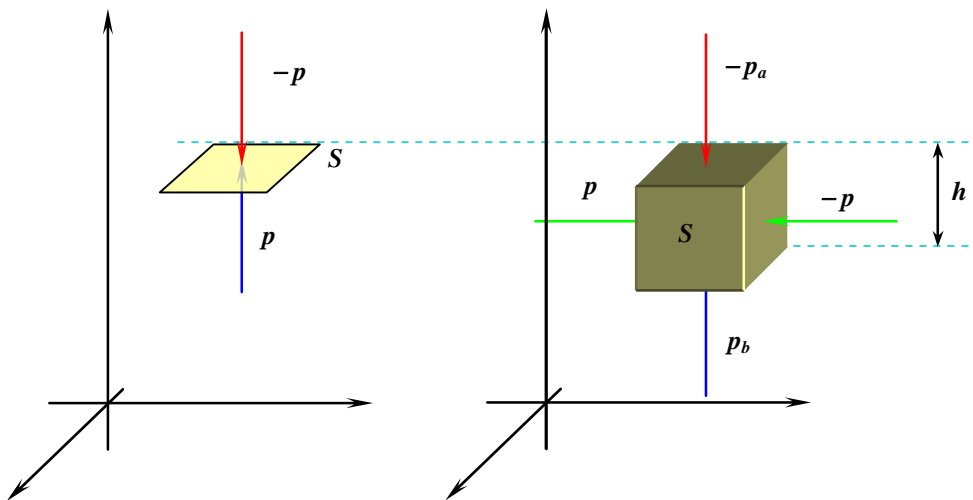


Figura 1

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

Ma la pression as èsvilupa 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'òut che a agiss an sla fàcia inferior a sarà ugal e contraria a cola che a agiss an sla fàcia superior. Le corispondente fòrse as anulo e 'l seul a sta fèrm. Se adess i consideroma 'l cubet dla sconda part ed figura 1, i vèddoma che se la pression $-p_a$ an sla fàcia superior a corispond al pèis dla colòna d'aria che a jè stà ansima dividù pèr la surfassa S , la pression sla fàcia inferior a corispond al pèis d'istessa colòna con la gionta d'autèssa h . Se la densità d'aria ant èl tràit fra le doe surfasse a val μ_a , la fòrsa an sla surfassa inferior a l'è pi gròssa ed cola an sla surfassa superior dla quantità;

$$\Delta F = \mu_a \cdot S \cdot h \text{ e la pression inferior a sarà } p_b = p_a + \frac{\Delta F}{S} = p_a + \mu_a \cdot h$$

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

$$F_a = S \cdot p_b - S \cdot p_a = \mu_a \cdot S \cdot h = \mu_a \cdot V$$

andova $V = S \cdot h$ a l'è 'l volum ed nòstr cubet.

Ma $\mu_a \cdot V$ a l'è la massa d'un volum d'aria istess al volum dèi cubet, che multiplicà pèr g a dà so pèis an Newton. As peul dimostré che sòn a vai pèr qualonque forma a l'abia 1 volum considerà. Costa a l'è la giustificassion dèi prinsipi d'Archimede. Èl cubet a stà fèrm pèrchè so pèis a l'è compensà da la possà d'Archimede.

Le lèj dij gas

Sensa andé ant l'ancreus, e pijand pèr bon sensa 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. Si i stoma nen a giustifiché 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 parle èd na trasformassion a temperatura costanta. A-i è antlora na proporsionalità fra pression e volum, che a ven dèscrivùda da la relassion

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} \text{ andova 1 e 2 a son j'ìndes djè stat inissial e final}$$

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

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1} \text{ andova 1 e 2 a son j'ìndes djè stat inissial e final, e } T_i \text{ a son le temperature an gré Kelvin.}$$

Coste a son le relassion che a n'antèresso an costa cita tratassion semplificà. 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. Natural che costi a son parameter che an pràtica a son anlià al temp metereologich, al leu considerà e a la stagion, ma si as considero valor medi d'arferiment (aria tipo internassional). Èdcò la densità dl'aria a l'avrà so valor a ògni quòta.

L'atmosfera

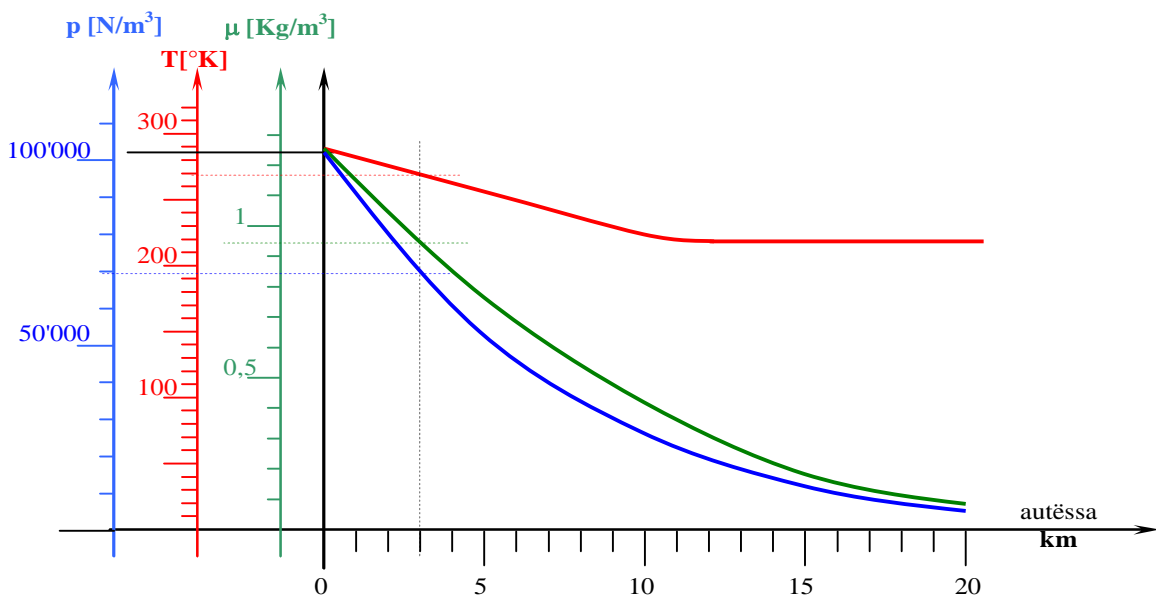


Figura 2

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-dì 216,66 gré Kelvin.

Balon a ària càuda

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'é '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 μ_m e la densità dl'aria, che an prinsipi i suponoma a l'istessa temperatura andrinta e fòra dèl balon, a sia μ_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 ΔT , an manera che la temperatura intena a vada a $T_i = T_e + \Delta T$.

I l'orna vist che l'aria scaodà a chèrs èd volum, e donca 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 μ_i dl'aria a sarà dàita da soa massa dividua pèr èl neuv 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 Δm , a la temperatura T_i , dàita da:

$$\Delta m = \mu_i \cdot (V'_A - V_A) \text{ che a corispònd a un pèis } \Delta P = \Delta m \cdot g \text{ (con } g = \text{acelerassion èd gravità).}$$

I podoma scrive che 'l pèis total dèl balon P_B , comprèisa l'aria, e la possà d'Archimede Π_B an sèl balon a a saran dàite, ant l'òrdin:

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

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

La fòrsa total F_T che a agiss an sèl balon a l'è donca dàita da

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

Se i tnima cont che èl volum dij materiaj dont èl balon a l'è fàit, e col dl'equipagi, a son motobin cit rispèt al volum total, i podoma trascuré èl termo M_B / μ_m senza fé un gròss eror, e nòstra espression a peul simplifichesse e a diventa :

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

Èl pèis dèi balon a ven compensà a parte da cand $V_A \cdot (\mu_a - \mu_i) = M_B$. Ma i l'orna vist che $\mu_i = \mu_a \cdot \frac{T_e}{T_i}$ e donca èl pèis dèi 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'aria, a seurt na massa d'aria Δm , com i l'orna vist, èl balon a diventa pì legér, e cand $\Delta m = M_B$, 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 coma i l'avìo vist prima.

I notoma che a ògni autèssa a venta consideré soa temperatura esterna e soa densità dl'aria.

Pr'esempi

Con dàit imaginari, senza pretèise che as trata 'd na possibilità real, foma n'esempi ant l'aprossimassion fàita si dzora (che a l'è bon-a). Un balon con 20 meter ëd diàmeter a l'ha na massa total $M_B = 320 \text{ kg}$, mentre sò volum V_A a val 4188 m^3 . A tèra la densità dl'aria μ_a a val $1,226 \text{ kg/m}^3$, con na temperatura $288,16 \text{ }^\circ\text{K}$ (che a corispondo a $15 \text{ }^\circ\text{C}$) com as arleva dai gràfich. I sercoma a che temperatura dl'aria interna ël balon as àussa. A basta scrive:

$$\Delta m = M_B = \mu_a \cdot V_A \cdot \left(1 - \frac{T_e}{T_i} \right) \text{ e donca } 320 = 1,226 \cdot 4188 \cdot \left(1 - \frac{288,16}{T_i} \right)$$

$$320 = 5134,488 - \frac{1478554,062}{T_i} \quad ; \quad 4814,488 = \frac{1478554,062}{T_i} \quad ; \quad T_i = \frac{1478554,062}{4814,488} = 307,31 \text{ }^\circ\text{K} \quad (34,15 \text{ }^\circ\text{C})$$

A 3000 meter d'autèssa, suponomia che nòstr feu a peussa ten-e ant ël balon na diferensa ëd temperatura con l'aria da fòra ëd $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Vardoma se ël balon a stà ancora su. Adess μ_a a val $0,909 \text{ kg/m}^3$, con na temperatura $268,66 \text{ }^\circ\text{K}$ ($-4,5 \text{ }^\circ\text{C}$). J'istessi cont a diso che për compensé 'l pèis la temperatura interna a venta che a sia:

$$\Delta m = M_B = \mu_a \cdot V_A \cdot \left(1 - \frac{T_e}{T_i} \right) \text{ e donca } 320 = 0,909 \cdot 4188 \cdot \left(1 - \frac{268,66}{T_i} \right)$$

$$320 = 3806,892 - \frac{1022759,605}{T_i} \quad ; \quad 3486,892 = \frac{1022759,605}{T_i} \quad ; \quad T_i = \frac{1022759,605}{3486,892} = 293,32 \text{ }^\circ\text{K} \quad (20,16 \text{ }^\circ\text{C})$$

Ma la temperatura da fòra a l'è $-4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e donca, për avèj la temperatura intena calcolà, la diferensa ëd temperatura a venta che a sia $24,66 \text{ }^\circ\text{C}$. Donca, dal moment che i l'oma dit che nòstr feu a riva a fê na diferensa ëd mach $24 \text{ }^\circ\text{C}$, për giusta $0,66 \text{ }^\circ\text{C}$ ël balon a peul nen rivé a 3000 meter d'autèssa. Sòn, natural, mach se e cand a son possibile le semplificassion che i l'oma dit, e ant le condission d'atmosfera standar.