

Fondamenti di fisica generale - VIII Lezione

Cenni di struttura della materia.

Temperatura e termometri.

Dilatazione termica.

Temperatura ed energia cinetica delle molecole.

Andrea Bettucci

13 dicembre 2023

Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria
Sapienza Università di Roma

Cenni di struttura della materia

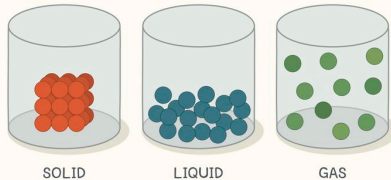
STATI DI AGGREGAZIONE DELLA MATERIA

SOLIDI Corpi dotato di volume e forma propria.

LIQUIDI Caratterizzati dall'averne un volume proprio e una forma che dipende dal recipiente che li contiene.

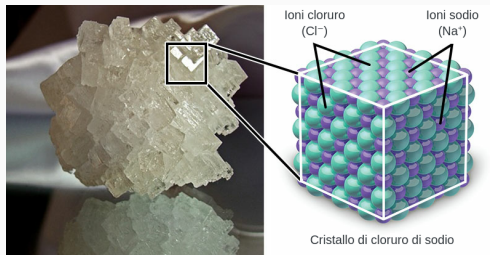
GAS Assumono forma e volume del recipiente che li contiene.

La differenza tra questi tre stati della materia nasce dalla loro struttura microscopica, ovvero tra le forze di interazione (di natura elettrica) tra gli atomi e le molecole costituenti.



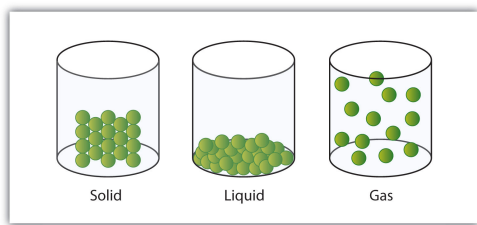
SOLIDI

In un solido le forze attrattive sono abbastanza forti da far sì che gli atomi e le molecole si muovano solo *leggermente* (oscillino) intorno a posizione più o meno fisse, spesso ordinate in una disposizione regolare chiamata reticolo cristallino.



FLUIDI (LIQUIDI E GAS)

- Nei **liquidi**, gli atomi e le molecole si muovono più liberamente e sono liberi di scorrere giacché le forze di interazione tra atomi e molecole sono più deboli rispetto a quelle di un solido.
- Nei **gas**, le forze tra le molecole sono così deboli, o le velocità così elevate, che le molecole non sono neppure vicine: esse si muovono rapidamente in tutte le direzioni riempiendo tutto un contenitore.



Temperatura e termometri

TEMPERATURA

- L'introduzione della grandezza fisica temperatura è suggerita dalle sensazioni che si provano toccando corpi diversi: uno di essi può apparire *più caldo* di un altro. Questa valutazione tattile è naturalmente soggettiva, poco precisa, suscettibile d'errori grossolani legati allo stato dell'osservatore, applicabile solo in certe condizioni fisiche dei corpi.
- I **termometri** sono gli strumenti con i quali si misura la temperatura
- Vi sono diversi tipi di termometri, ma il loro principio di funzionamento si basa sempre su una qualche proprietà della materia che cambia con la temperatura (**proprietà termometrica**)
- Ad esempio, I termometri più comuni si basano sull'espansione di un materiale (**sostanza termometrica**) in corrispondenza del suo riscaldamento (aumento di temperatura).

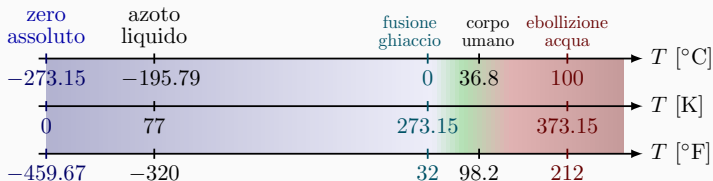
Nei termometri a liquido, ad esempio, quando la temperatura aumenta, il liquido si espande più del tubo di vetro in cui è contenuto, cosicché il livello del liquido nel tubo cresce.



- Per definire in maniera quantitativa la temperatura occorre definire una scala numerica adeguata.
- La scala più comunemente utilizzata è la **scala centigrada** detta anche scala **Celsius**.
- Un modo per definire una scala delle temperature è assegnare due valori distinti e convenzionali di temperatura a due diversi stati termici facilmente riproducibili.
- Per la scala centigrada questi due stati termici sono il punto di congelamento e quello d'ebollizione dell'acqua entrambi a pressione atmosferica: a essi si è convenuto assegnare i valori 0°C e 100°C (gradi centigradi o gradi Celsius $^{\circ}\text{C}$.)

- Negli Stati Uniti viene impiegata la **scala Fahrenheit** (gradi Fahrenheit °F.)
- In ambito scientifico viene utilizzata la **scala delle temperature assolute** (detta anche scala termodinamica delle temperature) la cui unità di misura è il **grado kelvin** (K).
- La temperatura assoluta T è legata a quella centigrada t dalla relazione

$$T = 273,15 + t$$



EQUILIBRIO TERMICO

È possibile misurare la temperatura di un corpo tramite un termometro perché due corpi che si trovano a temperature diverse se posti a contatto alla fine raggiungeranno la stessa temperatura

Dilatazione termica

La maggior parte delle sostanze
si espande quando viene riscaldata
e si contrae quando viene raffreddata

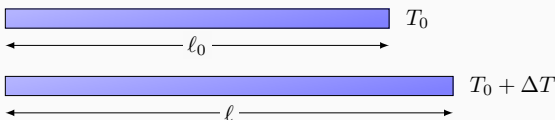
L'entità dell'espansione o della contrazione
varia a seconda della sostanza.

DILATAZIONE LINEARE

Se si considera una sottile sbarra solida di lunghezza ℓ_0 alla temperatura T_0 , si trova sperimentalmente che la lunghezza ℓ alla temperatura $T = T_0 + \Delta T$ è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura $\Delta T = T - T_0$ e alla lunghezza originale ℓ_0 :

$$\ell = \ell_0(1 + \alpha\Delta T).$$

Il coefficiente di proporzionalità $\alpha > 0$ è detto **coefficiente di espansione lineare** per quel dato materiale e si misura in $(^\circ\text{C})^{-1}$.
Ne deriva che: $\ell > \ell_0$ per $\Delta T > 0$; $\ell < \ell_0$ per $\Delta T < 0$.



Esempio

Un perno di titanio utilizzato in una protesi dentale è lungo 10,0000 mm alla temperatura di 10 °C. Sapendo che il coefficiente di espansione lineare del titanio vale $8,41 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, si determini la variazione percentuale di lunghezza del perno quando la sua temperatura viene portata a 50 °C.

Se $\ell_0 = 10,0000 \text{ mm}$ è la lunghezza del perno alla temperatura $T_0 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$, la lunghezza ℓ alla temperatura $T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ è data da:

$$\ell = \ell_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad \Rightarrow \quad \ell = 10 \text{ mm} [1 + 8,41 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}(40 \text{ } ^\circ\text{C})]$$

da cui si ricava $\ell \simeq 10,0034 \text{ mm}$. Si ha perciò:

$$\frac{\Delta \ell}{\ell_0} = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \simeq 3,36 \times 10^{-4} \simeq 0,034\%.$$

DILATAZIONE VOLUMICA

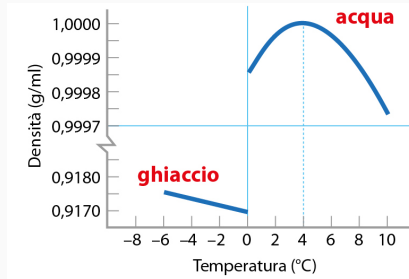
Al variare della temperatura tutte le dimensioni lineari di un solido si alterano e la dilatazione di volume risulta naturalmente legata a quella lineare. Se V_0 e V sono i volumi alle temperature di riferimento T_0 e $T = T_0 + \Delta T$, si può scrivere:

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T).$$

Il coefficiente di proporzionalità $\beta > 0$ è detto **coefficiente di espansione volumica** per quel dato materiale e si misura in $(^\circ\text{C})^{-1}$.
Si ha: $V > V_0$ per $\Delta T > 0$; $V < V_0$ per $\Delta T < 0$.

IL COMPORTAMENTO ANOMALO DELL'ACQUA AL DI SOTTO DI 4°C

L'acqua ha la sua massima densità a 4°C. Tale comportamento anomalo della densità in funzione della temperatura rispetto ad altri liquidi è di grande importanza per la sopravvivenza della vita acquatica durante inverni freddi poiché evita il congelamento delle acque profonde.



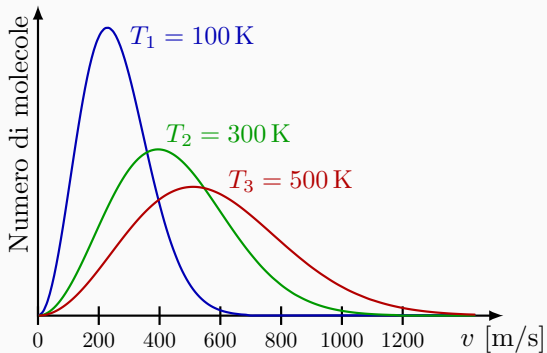
Temperatura ed energia cinetica delle molecole

- Le molecole di un solido o di un fluido sono continuamente in moto detto moto di **agitazione termica**: il moto è casuale per gas, mentre per gli altri materiali si ha un moto di oscillazione intorno alle loro posizioni di equilibrio.
- La temperatura è sempre proporzionale all'energia cinetica media posseduta dalle molecole.
- In particolare, per un gas rarefatto (**gas perfetto**) si trova che: **la temperatura assoluta del gas è direttamente proporzionale all'energia cinetica media delle molecole in moto casuale.**

$$T_{\text{assoluta}} = \frac{1}{3k_b} \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right)$$

essendo m la massa di una molecola e $\overline{v^2}$ il valore medio del quadrato della velocità della molecola. La costante $k_b = 1,380\,650\,5 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ è detta **costante di Boltzmann**.

**Più alta è la temperatura del gas,
più velocemente si muovono le molecole.**



Distribuzione delle velocità delle molecole di un gas perfetto: distribuzione di Maxwell

Velocità media a 0 °C e 1 atm per alcuni gas

Gas	\bar{v} (m/s)
H ₂	1838
He	1311
N ₂	493
O ₂	461
CO	493
CO ₂	393