

Serway, Jewett
Fisica per scienze ed
ingegneria
Capitolo 19

Temperatura e principio zero della termodinamica

I nostri sensi non sono affidabili per definire lo stato termico dei corpi. Occorre un metodo affidabile per misurare la temperatura.

Consideriamo due corpi isolati dall'ambiente esterno ma in contatto termico tra di loro. Se sono a temperatura diversa possono scambiarsi energia (fino a che raggiungono la stessa temperatura)

Meccanismi di trasferimento di energia: calore e radiazione elettromagnetica.

Due corpi si definiscono in contatto termico quando possono scambiarsi energia per mezzo di questi processi a causa di una differenza di temperatura.

Due corpi sono in equilibrio termico quando posti in contatto termico non scambiano energia.

Vogliamo stabilire se due corpi A e B sono in equilibrio termico.

Se mettiamo il corpo C (termometro) in contatto con il corpo A, dopo un certo tempo, darà una lettura stabile. Se mettiamo il corpo C in contatto con il corpo B, dopo un certo tempo, darà una lettura stabile. Se la lettura è la stessa, A e B sono in equilibrio termico.

Principio zero della Termodinamica: Se i corpi A e B sono separatamente in equilibrio termico con un terzo corpo C, allora A e B sono in equilibrio termico tra di loro.

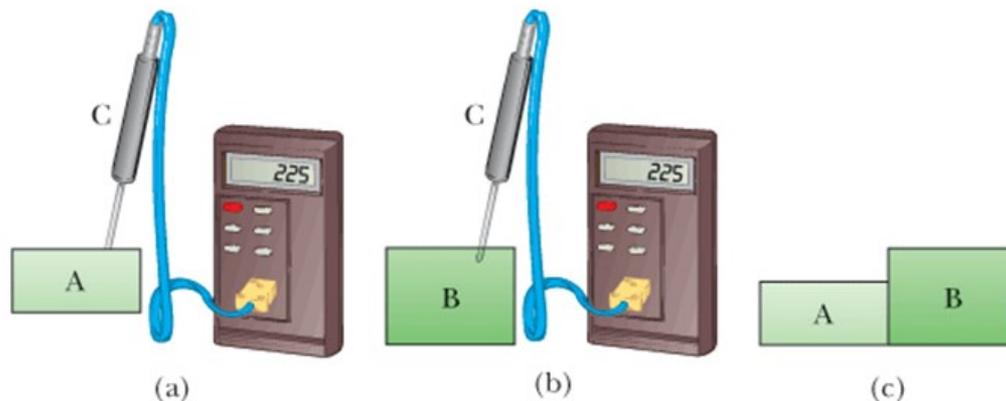


Figura 19.1 Il principio zero della termodinamica. (a, b) Se i corpi A e B vengono posti in equilibrio termico con un termometro (corpo C) e le temperature risultano le stesse, non ci sarà scambio di energia tra i corpi una volta messi in contatto termico tra loro (c).

I termometri e la scala Celsius delle temperature.

Tutti i termometri sono basati su una proprietà termometrica (una qualche proprietà fisica di un sistema che dipende, in maniera nota, dalla temperatura). Esempio volume di un liquido, resistenza elettrica, colore di un corpo etc.

Un termometro comune è costituito da una massa di liquido (Hg o Alcool) che si dilata in un capillare. La proprietà che cambia è il volume del liquido.

Una variazione di temperatura può essere definita come proporzionale alla variazione della lunghezza della colonna di fluido.

Taratura viene fatta mettendo il termometro a contatto con un corpo a temperatura costante.

Acqua/ghiaccio in equilibrio (a pressione atmosferica); nella scala Celsius a questo punto si associa il valore 0°C .

Acqua in equilibrio con il suo vapore, punto di ebollizione; 100°C .

Intervallo diviso in 100 parti, definisce il grado centigrado.



Charles D. Winters

Figura 19.2 A causa della dilatazione termica il livello del mercurio nel termometro si innalza quando il mercurio è riscaldato dall'acqua nella provetta.

I termometri a liquido possono dare letture poco accurate.

Inoltre funzionano in un intervallo di temperature limitato (lontano dai punti di congelamento e evaporazione).

TERMOMETRO A GAS A VOLUME COSTANTE E SCALA ASSOLUTA DELLE TEMPERATURE

Proprietà termometrica: pressione del gas a V costante.

1) Si inserisce il contenitore del gas in una miscela acqua/ghiaccio e si aggiusta l'altezza del serbatoio B in modo che il livello del serbatoio in A sia sullo zero. h misura la pressione nel contenitore del gas a 0°C .

2) Si inserisce il contenitore del gas in acqua all'ebollizione e si aggiusta l'altezza del serbatoio B in modo che il livello del serbatoio in A sia ancora sullo zero (volume cost). h misura la pressione nel contenitore del gas a 100°C .

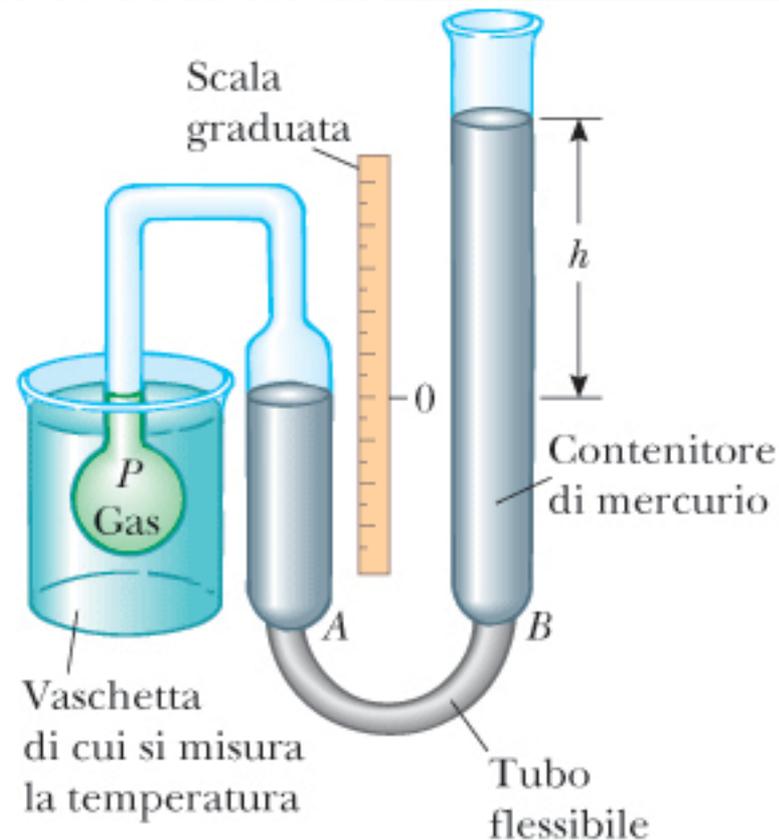


Figura 19.3 Un termometro a gas a volume costante misura la pressione del gas racchiuso nel contenitore immerso nella vaschetta. Il volume del gas nel contenitore è mantenuto costante sollevando o abbassando il serbatoio di mercurio B in modo che il livello del mercurio nella colonna A rimanga costante.

Si riportano su un grafico i valori di pressione a 0°C e 100°C e si ottiene una retta di calibrazione (altri dati confermano l'assunzione di proporzionalità tra t e P). Usando questa calibrazione possiamo misurare la temperatura di un qualunque corpo.

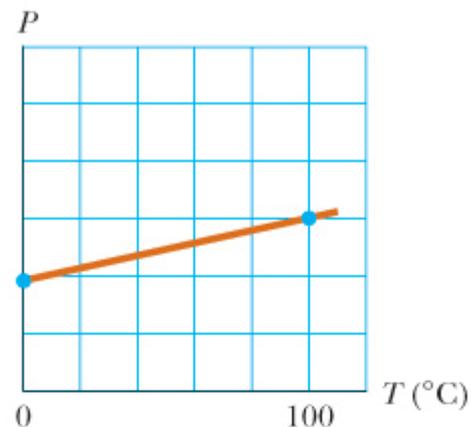


Figura 19.4 Un tipico grafico della pressione in funzione della temperatura ottenuto da un termometro a gas a volume costante. I due punti corrispondono alle temperature di riferimento note (punti di congelamento e di ebollizione dell'acqua).



Serway, Jewett
Fisica per scienze ed ingegneria
EdiSES



Gli esperimenti indicano che le letture di diversi termometri (cioè la pressione del gas) sono quasi indipendenti dal tipo di gas usato fino a che il gas è a bassa pressione e la temperatura molto al di sopra del punto di liquefazione del gas.

Inoltre quando la temperatura si avvicina a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, la pressione tende a 0. Raggiungerebbe lo 0 a $t=-273.15^{\circ}\text{C}$ e valori negativi al di sotto. Fisicamente impossibile.

Temperatura limite, zero assoluto, origine della scala Kelvin.

$$T_c = T - 273.15$$

Dal 1954 sono stati adottati due nuovi punti fissi: il punto triplo dell'acqua (unico punto di pressione e temperatura in cui coesistono liquido solido e gas, $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4.58 mmHg) e lo zero assoluto.

Punto triplo corrisponde a 273.16 K ; $1\text{ K} = 1/273.16$ della differenza tra temperatura del punto triplo e 0 assoluto

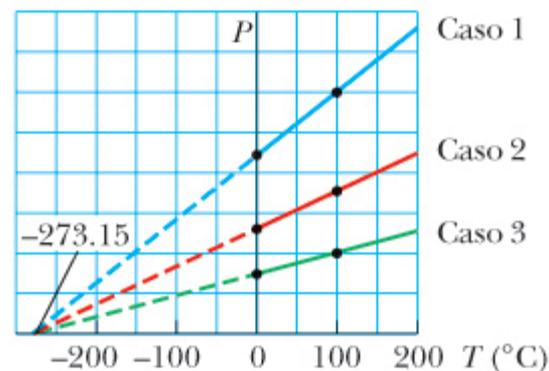


Figura 19.5 Pressione in funzione della temperatura in tre casi in cui i gas in un termometro a gas a volume costante hanno pressioni diverse. Si noti che, in tutti e tre i casi, il valore zero della pressione ottenuto per estrapolazione corrisponde alla temperatura di -273.15°C .

Scala Celsius e Kelvin differiscono solo nell'origine:

$$\Delta T (\text{kelvin}) = \Delta T_C$$

Scala Fahrenheit: congelamento acqua 32°F e ebollizione 212 °F. Intervallo diviso in 180 gradi

$$(T_C - 0)/100 = (T_F - 32)/180$$

$$T_F = (9/5) T_C + 32$$

$$\Delta T_C = \Delta T = (5/9) \Delta T_F$$

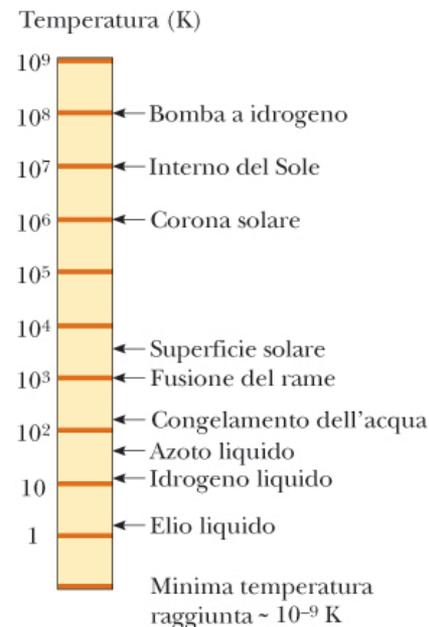


Figura 19.6 Temperature assolute alle quali avvengono vari processi fisici. Si noti che la scala è logaritmica.

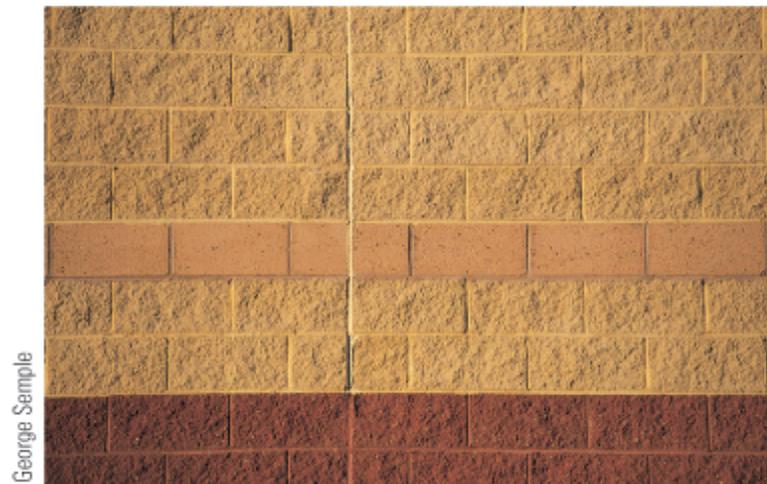
Dilatazione termica di solidi e liquidi

All'aumentare della temperatura il volume di una sostanza aumenta (dilatazione termica)

Varie applicazioni:



(a)



(b)

Figura 19.7 (a) Giunti di dilatazione termica utilizzati per separare sezioni di carreggiata sui ponti. Senza questi giunti in giornate molto calde le superfici si deformerebbero a causa della dilatazione termica o nei giorni molto freddi si fessurerebbero a causa della contrazione. (b) Il lungo giunto verticale è riempito di materiale molle che permette al muro di espandersi e contrarsi al variare della temperatura.

La dilatazione termica è una conseguenza del fatto che all'aumentare della temperatura aumenta la distanza media tra gli atomi.

Supponiamo che L sia una delle dimensioni di un corpo che viene riscaldato e aumenta la sua temperatura di ΔT

Si vede sperimentalmente che ΔL è proporzionale alla prima potenza di ΔT .

Si definisce **coefficiente medio di dilatazione lineare** la quantità:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

Unità di misura di $\alpha = ^\circ\text{C}^{-1}$

α ha il significato di variazione percentuale di lunghezza per grado di temperatura.

$$L_F - L_i = \alpha L_i (T_F - T_i)$$

Vedi tabella

TABELLA 19.1

Coefficienti medi di dilatazione per alcuni materiali a temperatura ambiente

Materiale	Coefficiente medio di dilatazione lineare $(\alpha) (^{\circ}\text{C})^{-1}$	Materiale	Coefficiente medio di dilatazione di volume $(\beta) (^{\circ}\text{C})^{-1}$
Alluminio	24×10^{-6}	Alcool etilico	1.12×10^{-4}
Ottone e bronzo	19×10^{-6}	Benzene	1.24×10^{-4}
Rame	17×10^{-6}	Acetone	1.5×10^{-4}
Vetro (ordinario)	9×10^{-6}	Glicerina	4.85×10^{-4}
Vetro (Pyrex)	3.2×10^{-6}	Mercurio	1.82×10^{-4}
Piombo	29×10^{-6}	Trementina	9.0×10^{-4}
Acciaio	11×10^{-6}	Benzina	9.6×10^{-4}
Invar (lega Ni-Fe)	0.9×10^{-6}	Aria ^a a 0°C	3.67×10^{-3}
Cemento	12×10^{-6}	Elio ^a	3.665×10^{-3}

^a I gas non hanno un coefficiente di espansione di volume determinato poiché le modalità dell'espansione dipendono dal tipo di processo che il gas subisce. Per i valori riportati si assume che il gas compia una trasformazione a pressione costante.

Poiché variano le dimensioni lineari, anche l'area o il volume variano. Possiamo scrivere:

$$\Delta V = \beta V_i \Delta T$$

Con β = coefficiente medio di dilatazione di volume. Cerchiamo la relazione tra α e β . Assumiamo stesso coefficiente di dilatazione in tutte le dimensioni (l , w , h). Se V_i è il volume iniziale, con un aumento di temperatura ΔT avremo un volume $V_i + \Delta V$:

$$V_i + \Delta V = (l + \Delta l)(w + \Delta w)(h + \Delta h)$$

$$= (l + \alpha l \Delta T)(w + \alpha w \Delta T)(h + \alpha h \Delta T)$$

$$= lwh (1 + \alpha \Delta T)^3$$

$$V_i + \Delta V =$$

$$V_i \left[1 + 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3 \right]$$

Dividiamo per V_i

$$\frac{V_i + \Delta V}{V_i} = \left[1 + 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3 \right]$$

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3$$

Essendo $\alpha \Delta T \ll 1$

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 3\alpha \Delta T$$

$$\Delta V = 3\alpha V_i \Delta T$$

$$\beta = 3\alpha$$

Se avessimo fatto il calcolo per la dilatazione superficiale avremmo avuto 2α .

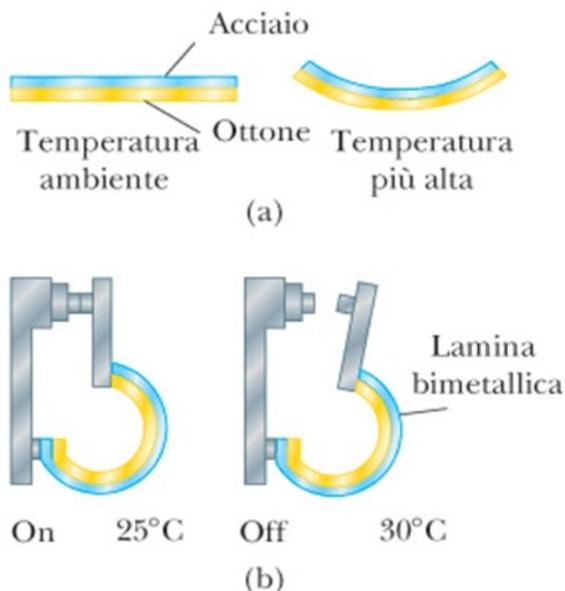


Figura 19.9 (a) Una lamina bimetallica si piega quando la temperatura varia, perché i due metalli hanno coefficienti di dilatazione diversi. (b) Una lamina bimetallica utilizzata in un termostato per attivare o disattivare il contatto elettrico.

Comportamento anomalo dell'acqua.

In generale i liquidi aumentano di volume all'aumentare della T e hanno coefficienti medi di dilatazione del volume circa dieci volte maggiori di quelli dei solidi. Eccezione l'acqua, il cui volume diminuisce da 0°C a 4°C (densità aumenta)

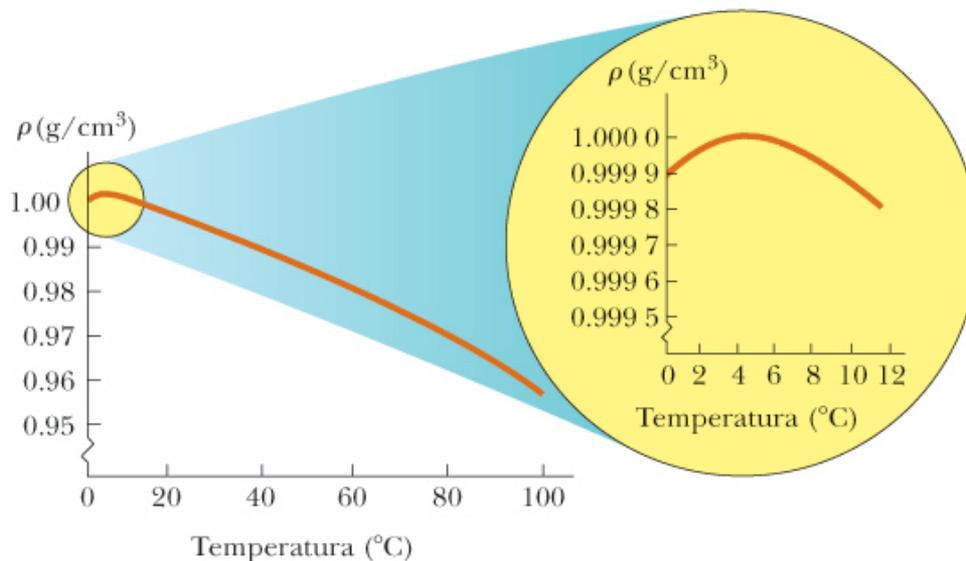


Figura 19.11 La variazione della densità dell'acqua in funzione della temperatura a pressione atmosferica. L'ingrandimento a destra mostra che il valore massimo della densità dell'acqua si ha a 4°C .

Descrizione macroscopica dei gas

Per un gas, all'aumentare della temperatura, non possiamo usare la relazione che vale per i solidi

$$\Delta V = \beta V_i \Delta T$$

perché il volume iniziale non è ben fisso.

Nel caso dei gas esiste una legge (equazione di stato dei gas perfetti) che lega P, V e T (che vale per i gas a bassa densità o a bassa pressione, gas perfetti).

La quantità di gas viene definita in termini di numero di moli n. Una mole di ogni sostanza contiene un $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ atomi o molecole.

Il numero di moli di una sostanza è legato alla sua massa (m) dalla relazione

$$n = m/M$$

Dove M è la massa molare numericamente uguale alla massa atomica.

Esempio: massa atomica He 4.00 g/mole. Una mole contiene 4 g di He

Supponiamo di avere un certo numero di moli (n) di gas contenute in un cilindro. Valgono le seguenti leggi sperimentali:

1) A $T=\text{cost}$, P inversamente proporzionale a V . (Legge di Boyle).

2) $P=\text{costante}$, V è direttamente proporzionale alla T (legge di Charles)

3) $V=\text{cost}$, P è direttamente proporzionale a T (Legge di Gay-Lussac).

Queste leggi possono essere combinate nella:

$$PV = nRT$$

Con $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$, uguale per tutti i gas a bassa pressione, $R =$ costante universale dei gas. $R = 0.08206 \text{ L}\cdot\text{atm/mol}\cdot\text{k}$

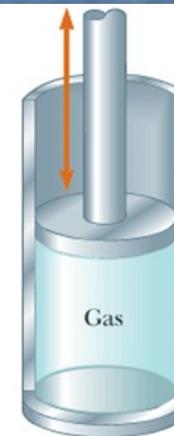


Figura 19.12 Un gas perfetto racchiuso in un cilindro il cui volume può essere variato mediante un pistone mobile.

Dalla

$$PV = nRT$$

Otteniamo che 1 mole di qualunque gas occupa a pressione atmosferica e a 0°C (273 K) occupa 22.4 L.

L'equazione di stato dei gas perfetti viene spesso espressa in numero totale di molecole N . $N = n \cdot N_A$

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A} RT$$

$$= N k_B T$$

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

P , V e T sono dette variabili termodinamiche del gas.