

## TERMODINAMICA

### CONCETTO DI TEMPERATURA

Spesso associamo il concetto di temperatura alla percezione di caldo o freddo che un oggetto produce al tatto. I nostri sensi ci forniscono un'indicazione qualitativa della temperatura, ma sono inaffidabili e spesso ingannevoli.

Per esempio, se ci troviamo a piedi nudi con uno dei piedi poggiato su un tappeto e l'altro su un pavimento di piastrelle, quest'ultimo fornisce una sensazione di maggior freddo rispetto al tappeto nonostante entrambi siano alla stessa temperatura.

Ciò avviene perché le proprietà delle mattonelle sono tali che il trasferimento di energia (per mezzo del calore) dal piede al pavimento è più rapido del trasferimento al tappeto.

La pelle è sensibile alla rapidità con la quale l'energia viene trasferita (cioè la potenza) ma non alla temperatura dell'oggetto. Naturalmente, maggiore è la differenza di temperatura fra l'oggetto ed il piede, più rapido è il trasferimento di energia, cosicché la temperatura e la sensazione del contatto sono correlate in qualche modo.

Recenti studi suggeriscono che parte della sensazione della temperatura percepita della pelle sia legata alla proteina TRPV3 presente nei neuroni sensoriali che terminano nella pelle.

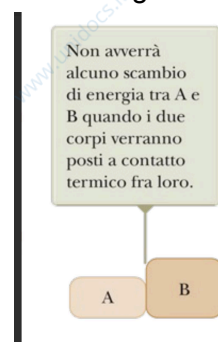
È necessario un metodo affidabile e riproducibile per stabilire il "caldo" o il "freddo" relativo degli oggetti che sia collegato solo alla temperatura dell'oggetto.

### TEMPERATURA E PRINCIPIO ZERO DELLA TERMODINAMICA

Immaginiamo due oggetti posti in un contenitore isolato. Se sono a temperature diverse, dell'energia può essere scambiata fra di essi per mezzo, ad esempio, di calore o di radiazione elettromagnetica.

Oggetti che possono scambiare fra di loro energia in questo modo si dicono in contatto termico. Alla fine, le temperature dei due oggetti diventeranno uguali, una diventando più calda e l'altra più fredda.

L'equilibrio termico è la situazione nella quale due oggetti in contatto termico tra loro cessano di avere qualunque scambio di energia mediante calore o radiazione elettromagnetica.

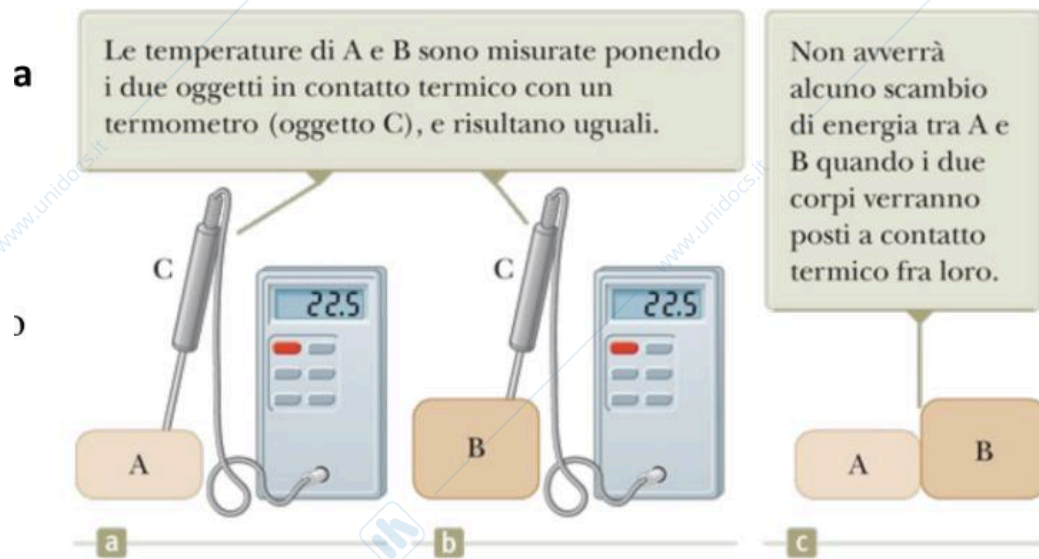


Consideriamo due oggetti, A e B, che non sono in contatto termico e un terzo oggetto, C, che sarà il nostro termometro, un dispositivo tarato per misurare la temperatura di un oggetto. Il termometro viene inizialmente messo in contatto termico con A e poi con B. Se le due letture sono le stesse, allora A e B sono in equilibrio termico fra loro.

Se essi fossero posti in contatto termico fra loro, non vi sarebbe trasferimento di energia.

Principio zero della termodinamica:

Se gli oggetti A e B sono separatamente in equilibrio termico con un terzo oggetto C, allora A e B sono in equilibrio termico fra loro.



Il principio zero della termodinamica può essere usato per definire la temperatura: possiamo riferirci alla temperatura come alla proprietà che determina se un oggetto è in equilibrio termico con altri oggetti oppure no.

**Due oggetti in equilibrio termico fra loro sono alla stessa temperatura.**

## I TERMOMETRI

Tutti i termometri sfruttano una qualche proprietà fisica che dipende dalla temperatura per rendere misurabile la temperatura stessa. Alcune delle proprietà fisiche utilizzate sono il volume di un liquido, la lunghezza di un solido, la pressione di un gas mantenuto a volume costante, il volume di un gas mantenuto a pressione costante, la resistenza elettrica di un conduttore e il colore di un oggetto caldo.

Termometro a mercurio (o ad alcool) Quale proprietà fisica sfrutta il termometro a mercurio?

Il livello del mercurio nel termometro sale quando il mercurio viene riscaldato dall'acqua contenuta nella provetta.



## TARATURA DI UN TERMOMETRO E SCALA CELSIUS

Un termometro può essere tarato nel seguente modo:

Si pone il termometro in contatto termico con una miscela di acqua e ghiaccio in equilibrio termico tra loro a pressione atmosferica e si contrassegna sul termometro l'estremo della colonna liquida corrispondente. Questa temperatura è definita come zero gradi Celsius, scritta  $0^{\circ}\text{C}$  e si chiama punto di congelamento dell'acqua.

Si pone poi il termometro a contatto termico con una miscela di acqua e vapore in equilibrio termico tra loro a pressione atmosferica. Il corrispondente contrassegno sul termometro è definito come  $100^{\circ}\text{C}$  e si chiama punto di ebollizione dell'acqua.

Una volta stabiliti i livelli della colonna liquida in questi due punti, la distanza fra essi viene divisa in 100 segmenti uguali, ognuno dei quali indica una variazione di temperatura di un grado Celsius.

Una tale scala è la scala di temperatura Celsius (oppure centigrada).

## LA SCALA FAHRENHEIT

La scala di temperatura più comune usata quotidianamente negli Stati Uniti è la scala Fahrenheit. Questa scala pone la temperatura di fusione del ghiaccio a  $32^{\circ}\text{F}$  e la temperatura del punto di ebollizione dell'acqua a  $212^{\circ}\text{F}$ . La relazione fra le scale Celsius e Fahrenheit è:

$$T_F = 9/5 T_C + 32^{\circ}$$

Per la conversione da Fahrenheit a Celsius si utilizza invece la relazione inversa

$$T_C = 5/9 (T_F - 32^{\circ})$$

## IL TERMOMETRO A GAS A VOLUME COSTANTE E LA SCALA KELVIN

Soltanto un tipo di termometro offre la maniera di definire correttamente la temperatura e di metterla in relazione diretta con l'energia interna: il termometro a gas. In un termometro a gas, le misure di temperatura sono indipendenti dalla sostanza usata nel termometro.

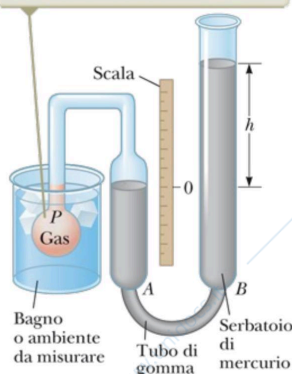
Si mette il termometro in una miscela di acqua e ghiaccio e poi in acqua e vapore come per il termometro a mercurio. In entrambi i casi si alza o abbassa il serbatoio di mercurio in maniera da mantenere il volume del gas costante nel pallone (corrispondente allo 0 nella scala).

L'altezza della colonnina di mercurio permette di ottenere la pressione ...

Per mezzo di quale relazione?

NB: si possono anche fare termometri a gas a pressione costante ...

Il volume di gas nel pallone è mantenuto costante aumentando o abbassando il serbatoio B per mantenere costante il livello di mercurio nella colonna A.

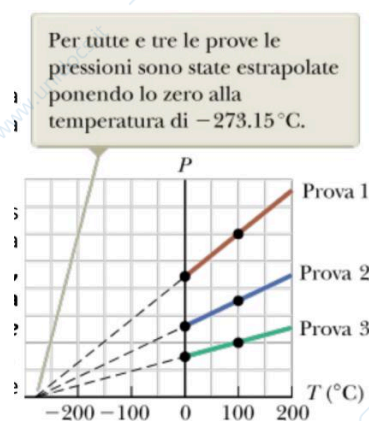


Poiché, come vedremo, la pressione del gas varia linearmente con la sua temperatura, tracciamo una linea retta congiungente i due punti.

Come troviamo una temperatura incognita? Se facciamo diverse misure con pressioni del gas differenti, si ottengono diverse rette come in figura, ma con un risultato sorprendente: in tutti i casi, indipendentemente dal tipo di gas o dal valore della pressione iniziale (assunta bassa), la pressione viene estrapolata a zero quando la temperatura è  $-273.15^{\circ}\text{C}$ .

Tale risultato suggerisce che questa temperatura è universale poiché essa non dipende dalla sostanza usata.

Inoltre, poiché la pressione più bassa possibile è  $P = 0$ , che dovrebbe essere quella del vuoto assoluto, questa temperatura deve rappresentare il limite inferiore per i processi fisici. Quindi, definiamo questa temperatura come zero assoluto. Essa è usata come base nella scala di temperatura Kelvin, che pone a  $-273.15^{\circ}\text{C}$  il suo punto zero (0 K).



## LA SCALA KELVIN (TEMPERATURA ASSOLUTA)

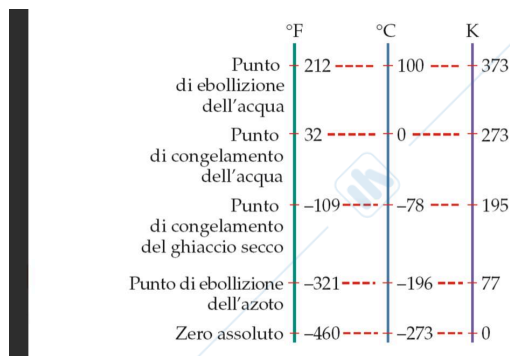
L'unità nella scala Kelvin è scelta identica all'ampiezza di un grado nella scala Celsius. Quindi la relazione tra scala Kelvin e scala Celsius è  $T_{\text{C}} = T_{\text{K}} - 273,15$ .

Lo zero della scala Celsius è arbitrario, esso dipende da una proprietà associata ad una particolare sostanza: l'acqua. Lo zero della scala Kelvin non è arbitrario, poiché esso è caratteristico di un comportamento associato a qualunque sostanza. Conseguentemente, quando un'equazione contiene  $T$  come variabile, deve essere usata la temperatura assoluta. Invece di utilizzare come riferimenti la miscela di acqua e ghiaccio e acqua e vapore alla pressione atmosferica, che sono punti difficili da riprodurre sperimentalmente, i due punti di riferimento per la scala Kelvin sono:

- lo zero assoluto
- il punto triplo dell'acqua, che corrisponde all'unica temperatura e pressione alla quale acqua, vapor d'acqua e ghiaccio coesistono in equilibrio. Questo punto è un riferimento di temperatura conveniente e riproducibile per la scala Kelvin. Ciò accade alla temperatura di  $0.01^{\circ}\text{C}$  e alla bassissima pressione di 4.58 mm di mercurio. Alla temperatura del punto triplo dell'acqua è stato assegnato nella scala Kelvin il valore di 273.16 K.

L'unità di temperatura nel SI, il kelvin, è definito come  $1/273.16$  della temperatura del punto triplo dell'acqua.

## LE SCALE TERMOMETRICHE



## DILATAZIONE TERMICA DI SOLIDI E LIQUIDI

Se la dilatazione termica di un oggetto è sufficientemente piccola confrontata con le sue dimensioni iniziali, allora la variazione di ogni dimensione è, con buona approssimazione lineare con la temperatura. Supponiamo che un oggetto abbia una lunghezza iniziale  $L_i$  lungo una certa direzione a una certa temperatura. La lunghezza aumenta di  $\Delta L$  per una variazione di temperatura  $\Delta T$ . Gli esperimenti mostrano che, quando  $\Delta T$  è sufficientemente piccolo,  $\Delta L$  è proporzionale a  $\Delta T$  ed a  $\Delta L = \alpha L_i \Delta T$

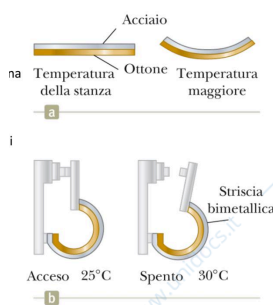
La costante di proporzionalità  $\alpha$  (positiva) è chiamata coefficiente medio di dilatazione lineare per un dato materiale ed è espressa in unità pari all'inverso di un grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

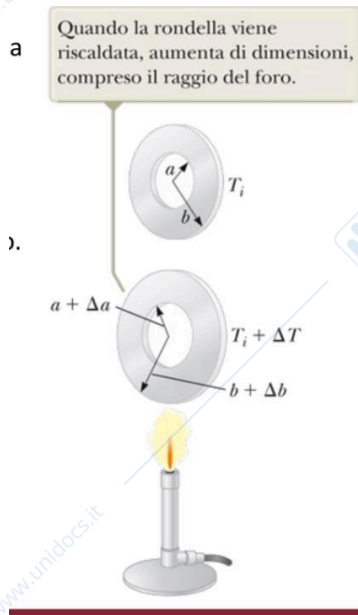
TABELLA 16.1 | Coefficienti di dilatazione per alcuni materiali a temperatura ambiente

Materiale	Coefficiente di dilatazione lineare ( $\alpha$ ) ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	Materiale	Coefficiente di dilatazione cubica ( $\beta$ ) ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Acciaio	$11 \times 10^{-6}$	Acetone	$1.5 \times 10^{-4}$
Alluminio	$24 \times 10^{-6}$	Alcool etilico	$1.12 \times 10^{-4}$
Calcestruzzo	$12 \times 10^{-6}$	Aria <sup>a</sup> a 0°C	$3.67 \times 10^{-5}$
Invar (lega Ni-Fe)	$0.9 \times 10^{-6}$	Benzene	$1.24 \times 10^{-4}$
Ottone e bronzo	$19 \times 10^{-6}$	Benzina	$9.6 \times 10^{-4}$
Piombo	$29 \times 10^{-6}$	Elio	$3.665 \times 10^{-5}$
Rame	$17 \times 10^{-6}$	Glicerina	$4.85 \times 10^{-4}$
Vetro	$9 \times 10^{-6}$	Mercurio	$1.82 \times 10^{-4}$
Vetro (Pyrex)	$3.2 \times 10^{-6}$	Trementina	$9.0 \times 10^{-4}$

<sup>a</sup> I gas non hanno un valore unico per il coefficiente di espansione cubica perché l'espansione dipende dal tipo di processo a cui sono sottoposti. I valori riportati qui sono relativi ad una espansione a pressione costante.

Un semplice dispositivo che sfrutta la dilatazione termica è formato da una lamina bimetallica e viene utilizzato come termostato nei forni di uso domestico. La lamina è realizzata saldando due metalli diversi lungo la loro superficie (esempio ottone e acciaio). Quando la temperatura della lamina aumenta, i due metalli si dilatano di quantità differenti e la lamina si piega.





La dilatazione dell'area di un oggetto piano si ottiene dalla dilatazione lineare in entrambe le dimensioni

$$\Delta A \approx 2aA_i\Delta T$$

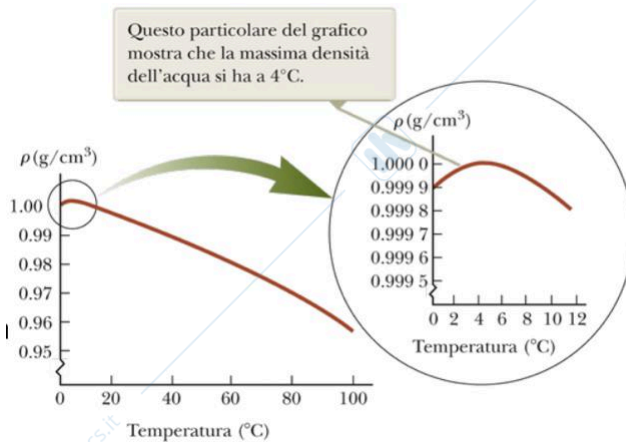
Per esempio, quando una rondella metallica è riscaldata, tutte le dimensioni, incluso il raggio del buco, aumentano.

Nel caso di un solido, si può dimostrare facilmente che la variazione di volume del solido è data da

$$\Delta V \approx 3aV_i\Delta T$$

dove  $3a = B$  [ si chiama coefficiente medio di dilatazione cubica (o volumica).

## IL COMPORTAMENTO ANOMALO DELL'ACQUA



In generale i liquidi aumentano il loro volume all'aumentare della temperatura e hanno coefficienti di dilatazione cubica circa dieci volte maggiori di quelli dei solidi. In uno stretto intervallo di temperature l'acqua è un'eccezione a questa regola. Quando la temperatura aumenta da 0° C a 4° C, l'acqua si contrae e pertanto la sua densità aumenta. Per temperature superiori a 4° C, l'acqua si comporta nel modo atteso dilatandosi all'aumentare della

temperatura. In altre parole, la densità dell'acqua raggiunge un valore massimo di 1000 kg/m<sup>3</sup> a 4° C.

Perché uno stagno si congela solo in superficie?

Perché il ghiaccio galleggia?

Quando l'acqua congela, il ghiaccio rimane in superficie perché è meno denso dell'acqua.

Il ghiaccio continua a formarsi in superficie mentre l'acqua vicina al fondo dello stagno rimane a 4° C.

Se così non fosse, pesci e altre forme di vita acquatica non potrebbero sopravvivere durante l'inverno.

Attenzione se surgelate una bottiglia d'acqua piena: passando da 4° C a 0° C, la densità diminuisce, il volume aumenta e potrebbe scoppiare!

## LA LEGGE DEI GAS PERFETTI

Le proprietà dei gas sono molto importanti in numerosi processi termici.

Se introduciamo un gas in un recipiente, esso si espande riempiendo uniformemente tutto il recipiente. Quindi, il gas non ha un volume o una pressione fissati. Il suo volume è quello del contenitore e la sua pressione dipende dalla dimensione del contenitore. Esiste una relazione tra la pressione  $P$ , la temperatura  $T$ , e il volume del recipiente  $V$  in cui il gas è confinato. L'equazione che collega queste grandezze, chiamata equazione di stato, può essere molto complicata.

Tuttavia, se il gas viene mantenuto a pressione molto bassa (oppure a bassa densità), si trova sperimentalmente che l'equazione di stato è molto semplice.

Ci si riferisce comunemente a un simile gas a bassa densità come a un gas perfetto. La maggior parte dei gas a temperatura ambiente e a pressione atmosferica si comporta approssimativamente come un gas perfetto.

Un gas perfetto è un insieme di atomi o molecole che si muovono casualmente. Tra essi non si esercitano forze a lunga distanza e sono così piccoli da occupare una frazione trascurabile del volume del loro contenitore.

Per un gas perfetto, gli esperimenti forniscono le seguenti informazioni:

- Quando il gas viene tenuto a temperatura costante, la sua pressione è inversamente proporzionale al volume (questa è nota storicamente come legge di Boyle).
- Quando la pressione del gas è mantenuta costante, il volume è direttamente proporzionale alla temperatura (questa è storicamente nota come legge di Charles).
- Quando il volume del gas è mantenuto costante la pressione è direttamente proporzionale alla temperatura (questa è storicamente nota come legge di Gay-Lussac).

Queste osservazioni possono essere riassunte nella seguente equazione di stato, nota come legge dei gas perfetti:

$$PV=nRT$$

In questa espressione  $n$  è il numero di moli. Una mole di una qualunque sostanza è quella massa di sostanza che contiene un numero di Avogadro,  $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ , di molecole. Il numero di moli  $n$  presente in un campione di sostanza è legato alla sua massa,  $m$ , dalla relazione  $n=m/M$  dove  $M$ =massa molare della sostanza, espressa in grammi su mole. Per esempio, la massa molare della molecola di ossigeno  $O_2$ , è 32.0 g/mol. Quindi, la massa di una mole di ossigeno è 32.0 g.

$R$  è una costante per uno specifico gas che può essere determinata sperimentalmente, e  $T$  è la temperatura assoluta in kelvin. Esperimenti effettuati su parecchi gas dimostrano che quando la pressione si avvicina a zero, la quantità  $PV/nT$  si avvicina allo stesso valore di  $R$  per tutti i gas. Per questa ragione  $R$  è chiamata costante universale dei gas. In unità del SI, dove la pressione viene espressa in pascal e il volume in metri cubi,  $R$  ha il valore di 8.314 J/mol K.

Il volume occupato da una mole di qualunque gas alla pressione atmosferica e  $0^\circ C$  (273 K) è 22.4 L.

**QUANTI MOLI E MOLECOLE D'ACQUA POSSIEDE IL CORPO UMANO?**

Consideriamo una persona di 75 kg con una percentuale d'acqua dell'60% (in realtà la percentuale è intorno al 60-65% e varia con l'età).

Quale è il numero di moli e di molecole d'acqua possedute dal corpo umano?

Una molecola d'acqua  $H_2O$  pesa circa  $2 \cdot 016 + 16 = 18$  uma (unità di massa atomica).

Una mole d'acqua pesa quindi 18 g. Il 60% di 75 kg è pari a 45 kg d'acqua che diviso per 18 g danno 2500 moli d'acqua.

Una mole contiene un numero di Avogadro di molecole =  $6.022 \times 10^{23}$

$$\Rightarrow N_{\text{molecole}} = 15 \times 10^{26}$$

**TEORIA CINETICA DEI GAS**

La teoria cinetica mette in relazione quantità microscopiche (posizione, velocità) e macroscopiche (pressione, temperatura) partendo dalle assunzioni seguenti:

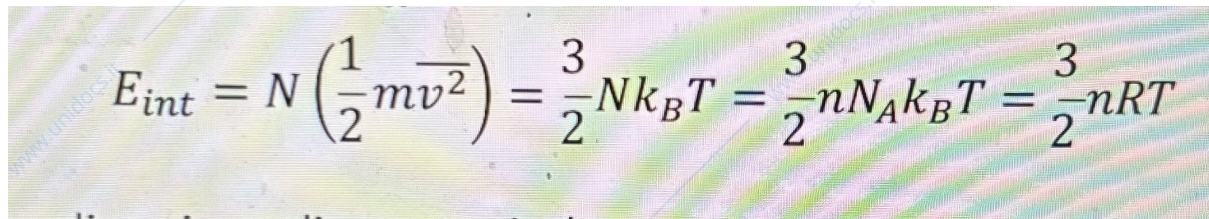
- In un contenitore di volume  $V$  sono presenti  $N$  molecole identiche di massa  $m$ ; ogni molecola si comporta come una particella puntiforme
- Le molecole si muovono in modo casuale e obbediscono in ogni istante alle leggi di Newton
- Gli urti con le altre molecole e con le pareti del contenitore sono elastici La pressione è il risultato degli urti tra le molecole del gas e le pareti del contenitore. Utilizzando la seconda legge di Newton, e mettendo in relazione la variazione della quantità di moto di una molecola con la forza esercitata dalla parete, si

ricava che

$$P = \frac{1}{3} (N/V) (m \overline{v^2}) \quad \text{e} \quad \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T$$

dove  $\overline{v^2}$  è la velocità quadratica media delle molecole e  $k_B$  è la costante di Boltzmann, pari a  $k_B = R/N_A = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

L'energia interna di un gas ideale è data dalla somma delle energie cinetiche di tutte le sue molecole



$$E_{\text{int}} = N \left( \frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = \frac{3}{2} N k_B T = \frac{3}{2} n N_A k_B T = \frac{3}{2} n R T$$

Una generalizzazione di questo risultato, nota come teorema di equipartizione dell'energia, dice che:

ogni grado di libertà contribuisce per  $\frac{1}{2} k_B T$  all'energia del sistema, dove i gradi di libertà possibili sono associati a traslazione, rotazione, e vibrazione delle molecole.

Per un gas monoatomico, che possiede solo tre gradi di libertà traslazionali, si ha la relazione di sopra.

**CALORE ED ENERGIA INTERNA**

È necessario fare una fondamentale distinzione tra energia interna e calore poiché questi termini hanno un significato molto diverso.

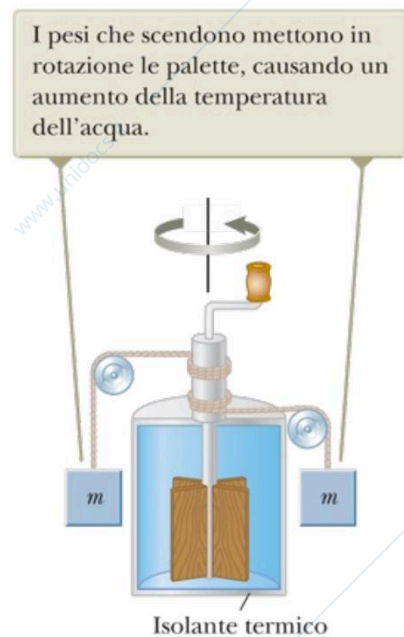
L'energia interna  $E_{int}$  è l'energia dei componenti microscopici di un sistema, atomi e molecole. Essa include l'energia cinetica e potenziale associata con il moto casuale di tipo traslazionale, rotazionale e vibrazionale degli atomi o molecole che costituiscono il sistema così come l'energia potenziale intermolecolare. Ad esempio, l'energia interna di un gas perfetto monoatomico è l'energia cinetica traslazionale totale degli atomi; più alta è la temperatura del gas, più alta è l'energia cinetica degli atomi e più alta è l'energia interna del gas. Per gas più complessi di tipo biatomico o poliatomico, l'energia interna include altre forme di energia molecolare, come l'energia cinetica rotazionale e l'energia cinetica e potenziale associata con le vibrazioni molecolari.

Il **calore** è un meccanismo col quale l'energia è trasferita fra un sistema e il suo ambiente circostante a causa di una differenza di temperatura fra essi. Esso è pari alla quantità di energia, che indicheremo con  $Q$ , trasferita con questo meccanismo.

Come ulteriore chiarificazione dell'uso della parola calore, consideriamo la distinzione fra lavoro ed energia. Il lavoro svolto su (o da) un sistema è una misura della quantità di energia trasferita fra il sistema e il suo ambiente circostante, mentre l'energia meccanica del sistema (cinetica o potenziale) è una conseguenza del suo moto e delle sue coordinate.

Quindi, quando una persona svolge **lavoro** su un sistema, dell'energia è trasferita dalla persona al sistema. Non ha senso parlare del lavoro in un sistema; ci si riferisce soltanto al lavoro svolto sul o dal sistema quando è avvenuto qualche processo in cui dell'energia è stata trasferita al o dal sistema. Analogamente, non ha senso usare il termine calore a meno che dell'energia sia stata trasferita come conseguenza di una differenza di temperatura.

#### UNITA' DI MISURA DEL CALORE



Il calore rappresenta la quantità di energia trasferita a causa di una differenza di temperatura. Un mulinello come quello in figura fu utilizzato da James Joule per misurare l'equivalente meccanico del calore. La caloria (cal) è definita come il calore necessario per aumentare la temperatura di 1 g di acqua da  $14.5^{\circ}\text{C}$  a  $15.5^{\circ}\text{C}$ . La "Caloria", con la C maiuscola, usata per indicare il contenuto di energia del cibo, è in realtà una chilocaloria (kcal)! Dagli esperimenti di Joule risulta che la caloria è pari a 4.186 J:

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

Questa relazione è storicamente nota come equivalente meccanico del calore.

Supponiamo che una quantità  $Q$  di energia venga trasferita a una massa  $m$  di una sostanza, per cui la sua temperatura vari di  $\Delta T$ . Il calore specifico  $c$  della sostanza è definito come

$$c = Q / m \Delta T$$

**TABELLA 17.1** | Calore specifico di alcune sostanze a 25 °C e a pressione atmosferica

Sostanza	Calore specifico $c$	
	J/kg · °C	cal/g · °C
<b>Elementi solidi</b>		
Alluminio	900	0.215
Argento	234	0.056
Berillio	1 830	0.436
Cadmio	230	0.055
Ferro	448	0.107
Germanio	322	0.077
Oro	129	0.030 8
Piombo	128	0.030 5
Rame	387	0.092 4
Silicio	703	0.168
<b>Altri solidi</b>		
Ghiaccio (-5°C)	2 090	0.50
Legno	1 700	0.41
Marmo	860	0.21
Ottone	380	0.092
Vetro	837	0.200
<b>Liquidi</b>		
Acqua (15°C)	4 186	1.00
Alcool (etilico)	2 400	0.58
Mercurio	140	0.033
<b>Gas</b>		
Vapore (100°C)	2 010	0.48

Le unità del calore specifico sono joule per chilogrammo e per kelvin, cioè J/kg·K. Dalla definizione di caloria, il calore specifico dell'acqua è 4186 J/kg·K.

Quando la temperatura aumenta,  $\Delta T$  e  $Q$  sono positivi, e l'energia entra nel sistema. Quando la temperatura diminuisce,  $\Delta T$  e  $Q$  sono negativi e l'energia esce dal sistema.

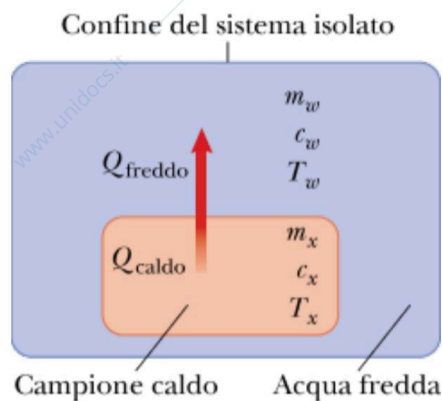
Si definisce la capacità termica il prodotto  $C = Q / \Delta T$

Si noti che la capacità termica dipende dalla massa dell'oggetto.

L'acqua ha il calore specifico più alto tra le sostanze con le quali abbiamo ordinariamente a che fare (i calori specifici dell'idrogeno e dell'elio sono più alti). L'alto calore specifico dell'acqua è responsabile delle temperature moderate che si riscontrano nelle regioni vicine a grandi estensioni d'acqua.

Perché al mare di giorno c'è vento da mare e di notte da terra?

## IL CALORIMETRO



Un calorimetro è un contenitore isolato leggero contenente acqua utilizzato (anche) per misurare il calore specifico delle sostanze. Immergendovi un oggetto, quest'ultimo raggiunge l'equilibrio termico con il liquido.

Il principio di conservazione dell'energia per questo sistema isolato richiede che l'energia rilasciata, tramite il calore, dalla sostanza più calda (di calore specifico incognito) sia uguale all'energia ceduta all'acqua:

$$Q_{\text{freddo}} = -Q_{\text{caldo}}$$

Sia  $m_x$  è la massa di una sostanza di cui vogliamo determinare il calore specifico,  $c_x$  sia il suo calore specifico e  $T_x$  la sua temperatura iniziale.

Siano  $m_w$ ,  $c_w$  e  $T_w$  i valori corrispondenti per l'acqua.

Se  $T$  è la temperatura finale di equilibrio dopo che la sostanza e l'acqua sono state mescolate, allora l'energia acquistata dall'acqua è  $m_w c_w (T - T_w)$  e l'energia perduta dalla sostanza è  $m_x c_x (T - T_x)$ .

Si ha quindi

$$m_w c_w (T - T_w) = -m_x c_x (T - T_x)$$

da cui si può ricavare il calore specifico incognito.

NB: Per misure di precisione il contenitore dell'acqua dovrebbe essere incluso nei calcoli perché anch'esso cambia temperatura. Questo richiederebbe la conoscenza della sua massa

e della sua composizione. Se, tuttavia, la massa dell'acqua è grande rispetto a quella del recipiente, possiamo adottare un modello semplificato in cui l'energia assorbita dal recipiente è trascurabile.