

nella forma

$$[C] \quad T = \lim (p_0 \rightarrow 0) 273,15 \text{ K} \frac{p}{p_0}$$

vale a dire la misura Kelvin della temperatura del gas (e dei corpi in equilibrio termico col gas) è il limite al quale sempre più si avvicina il numero $273,15 p/p_0$ man mano che, al diminuire del quantitativo di gas presente nel contenitore, il valore della pressione p_0 (e ovviamente anche della pressione p) si approssima allo zero^[9].

Col termometro a gas si possono misurare temperature di pochi kelvin, quindi molto prossime allo zero assoluto: l'utilizzo a temperature ancor più basse è impedito dal fatto che a tali temperature si verifica il passaggio del gas allo stato liquido.

1.2 Temperatura e calore

1. Se i corpi non fossero costituiti da particelle (molecole, o altro^[10]) animate da «agitazione termica», animate cioè da un continuo, disordinato, casuale movimento l'una rispetto alle altre, l'idea di temperatura non esisterebbe. Al di là infatti della definizione operativa che ne è stata data, il significato del termine **temperatura** sta nella correlazione tra la temperatura di un corpo e l'energia cinetica «termica» delle sue particelle costitutive (l'energia cinetica che le particelle possiedono nel moto di agitazione termica): *la temperatura risulta tanto più elevata quanto più grande è il valore medio dell'energia cinetica di traslazione delle particelle nel moto di agitazione termica*^[11].

2. La relazione tra i valori di tali grandezze (temperatura e valore medio dell'energia termica di traslazione) è *diversa* a seconda della natura del materiale che si considera: l'uguaglianza della temperatura non assicura l'uguaglianza dell'energia termica di traslazione, e viceversa. Per piccole differenze di temperatura, è quindi possibile che ci sia una maggiore energia termica di traslazione là dove la temperatura è minore. È la differenza di temperatura, non la differenza nel valore medio dell'energia termica di traslazione, che determina quale dei due corpi si raffredderà: è quindi di per sé possibile che, al contatto, l'energia termica di traslazione aumenti là dove in partenza ce n'è già di più.

⁹ Valori di pressione troppo bassi non possono essere ovviamente più misurati: il limite di cui sopra deve essere valutato per estrapolazione. In pratica, come temperatura di riferimento è più facilmente ottenibile in laboratorio la temperatura di 273,16 K (temperatura dell'acqua «al punto triplo», vedere al cap. 7).

¹⁰ Nello stato di *plasma*, ad esempio, la materia non è costituita da molecole, ma da atomi che hanno perso gli elettroni più esterni (e al limite tutti gli elettroni) e da elettroni liberi. Altro esempio: le particelle di ciò che chiamiamo «fumo» sono costituite ognuna da milioni di molecole.

¹¹ L'energia cinetica di traslazione si ottiene moltiplicando la metà della massa della molecola per il quadrato della velocità del suo centro di massa. L'energia cinetica associata all'agitazione termica include anche termini rotazionali (rotazione della molecola attorno al centro di massa) e, alle alte temperature, vibrazionali (oscillazione del valore della distanza tra gli atomi costitutivi della molecola). Al crescere della temperatura cresce anche il valore di tali termini.

3. In ogni caso, per poter parlare di temperatura di un sistema di particelle occorre che il numero delle particelle sia molto elevato, se vogliamo che al contatto tra due corpi sia sempre quello più caldo a raffreddarsi (anche in intervalli di tempo molto brevi): in questo senso *la temperatura di una singola particella, o di un piccolo numero di particelle, non esiste*. Quando infatti due corpi sono a contatto, nella zona di contatto si verificano, per effetto dell'agitazione termica, urti tra particelle di un corpo e particelle dell'altro corpo, con conseguente, continuo trasferimento di energia cinetica, su scala particellare, da un corpo all'altro. In un singolo urto può accadere che si verifichi uno spostamento di energia cinetica da una molecola del corpo meno caldo a una molecola del corpo più caldo. Tuttavia è più probabile che lo spostamento avvenga in senso inverso: perciò, se il numero degli urti è molto elevato lo spostamento complessivo di energia cinetica avviene *sempre* dal corpo più caldo al corpo meno caldo.

4. L'energia che i corpi scambiano in relazione al valore della loro temperatura ha, in fisica, un nome preciso: **calore**. Potremmo quindi definire il calore come *energia cinetica che un corpo riceve o perde direttamente a livello del moto di agitazione termica*^[12]. Se i corpi non fossero costituiti da particelle animate da un moto interno di agitazione termica, il termine «calore» – come il termine «temperatura» – non esisterebbe. Chiaramente, in uno scambio di energia cinetica da una singola molecola a un'altra molecola il termine calore non può essere usato.

Si noti che non dobbiamo, in fisica, concepire il calore come un qualche cosa che i corpi possiedono, non ha senso parlare di «calore contenuto in un corpo» (come accade spesso nel linguaggio corrente, e come per molto tempo si è fatto anche in fisica^[13]): l'idea di calore si riferisce esclusivamente a *energia in fase di transito*.

5. È tipico che lo spostamento di calore produca variazioni di temperatura, tuttavia lo spostamento di calore non rappresenta di per sé, nei riguardi delle variazioni di temperatura, né una condizione necessaria, né una condizione sufficiente. Non è necessaria perché *effetti di variazione della temperatura possono verificarsi anche indipendentemente da scambi di calore*. Un filo metallico, ad esempio, si riscalda al passaggio della corrente elettrica, senza aver ricevuto calore: l'effetto di riscaldamento deriva dagli «urti» tra gli elettroni di conduzione, in movimento lungo il filo, e le particelle (atomi o gruppi di atomi) del reticolo cristallino, con conseguente spostamento di energia cinetica dal moto ordinato degli elettroni di conduzione al moto di agitazione termica delle particelle del reticolo. Un pistone mobile che comprime il gas contenuto in un recipiente produce un effetto di riscaldamento senza che il gas abbia ricevuto calore: l'energia cinetica prodotta dal movimento del pistone a livello di moto d'insieme, ordinato, collettivo delle molecole ricompare poi, per effetto degli urti tra molecole, come energia cinetica del moto disordinato di agitazione termica. Le vibrazioni macroscopiche prodotte dalle forze di

¹² *Direttamente* significa senza passaggi energetici intermedi. Si veda il punto 5.

¹³ Come nella vecchia teoria del *fluido calorico*.

attrito su due superfici che scivolano l'una sull'altra si smorzano subito con conseguente trasmissione di energia cinetica al livello del moto di agitazione termica, e conseguente effetto di riscaldamento non imputabile a scambio di calore (*entrambi* i corpi a contatto si riscaldano).

Reciprocamente, *scambi di calore possono non produrre variazioni di temperatura*, e dunque rispetto agli effetti di riscaldamento o raffreddamento lo scambio di calore non può essere considerato una condizione sufficiente. Nel caso, ad esempio, si mantenga costante la pressione ambiente, il processo di fusione di un solido (o di ebollizione di un liquido) richiede una somministrazione di calore che trova riscontro nella disgregazione del reticolo cristallino (o nella produzione di vapore in seno alla massa liquida) senza che si verifichi alcun aumento nel valore della temperatura.

6. Nel Sistema Internazionale il calore, in quanto energia, viene misurato in joule. Nella pratica viene molto spesso usata un'altra unità, la **caloria** (simbolo cal): una caloria è la quantità di calore che occorre fornire a 1 g di acqua distillata per portarne la temperatura da 14,5 a 15,5 °C. Risulta 1 cal = 4,19 J (1 J = 0,239 cal). La kilocaloria (simbolo kcal oppure Cal) è un'unità 1000 volte più grande^[14].

QUESITI E PROBLEMI

- 1 Se sappiamo che l'oggetto *B* (fig. 3) è in equilibrio termico sia con l'oggetto *A* che con l'oggetto *C*, possiamo senz'altro escludere che il contatto diretto di *A* con *C* possa determinare un passaggio di calore tra i due (*vero/falso*).
- 2 Due termometri, uno ad alcol, l'altro a mercurio, sono stati tarati in modo che, sotto una pressione di 1 atm, segnino entrambi zero quando sono immersi in acqua di fusione del ghiaccio, e 100 °C quando sono immersi in acqua che bolle sotto la stessa pressione. Dobbiamo aspettarci che i due termometri diano entrambi la stessa indicazione in qualsiasi altro caso?
- 3 Il concetto di «temperatura di una molecola» non ha alcun significato: la temperatura di una molecola non esiste (*vero/falso*).
- 4 Se le particelle costitutive dei corpi non fossero animate da un moto individuale disordinato, incessante, del tutto indipendente da un eventuale moto macroscopico d'insieme, il concetto di *calore* non esisterebbe (*vero/falso*).
- 5 Si potrebbe sciare a una temperatura di 0 °F?
- 6 Si esprima in gradi Fahrenheit la temperatura di 1000 °C.
- 7 Si esprima in kelvin la temperatura di -40 °F.
- 8 È possibile una temperatura di -500 °F?

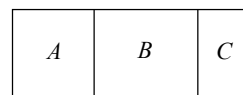


Fig. 3

¹⁴ Le calorie di cui si parla a proposito degli alimenti sono in realtà kilocalorie.

- 9 Si esprima in gradi Fahrenheit la temperatura di 200 K.
- 10 Secondo la definizione originaria, la temperatura di 100 °F avrebbe dovuto rappresentare la temperatura media del corpo umano. A quanti gradi Celsius corrisponde?
- 11 Esiste una temperatura per la quale il termometro Celsius e il termometro Fahrenheit danno esattamente la stessa indicazione?
- 12 Esiste una temperatura per la quale il termometro Fahrenheit e il termometro Kelvin danno esattamente la stessa indicazione?
- 13 Quale eventuale significato potrebbe avere l'affermazione secondo cui un corpo A è «tre volte più caldo» del corpo B ?
- 14 Rispetto alla variazione di temperatura di un corpo, il fatto che il corpo scambi calore rappresenta una condizione:
 - (a) necessaria e sufficiente, (b) né necessaria, né sufficiente, (c) necessaria ma non sufficiente, (d) sufficiente ma non necessaria.
- 15 Che cosa significa, esattamente, che un corpo «viene riscaldato»?
 - (a) che gli viene somministrato calore, (b) che la sua temperatura viene aumentata, (c) entrambi i significati, (d) l'uno o l'altro significato, a seconda dei casi.
- 16 Supponiamo che un termometro a mercurio sia esposto direttamente alla radiazione solare: che significato possiamo dare in tal caso alla temperatura indicata dal termometro?
- 17 Un termometro a mercurio indica la temperatura del mercurio: perché allora viene usato ad esempio per misurare la temperatura di un ambiente?
- 18 Un termometro posto nel vuoto segnerebbe zero (*vero/falso*).
- 19 Quando un corpo entra in movimento, subito la sua temperatura subisce un piccolo aumento, perché col movimento aumenta l'energia cinetica media delle sue molecole (*vero/falso*).
- 20 Si legge a volte che il passaggio di corrente elettrica in un filo conduttore determina nel filo uno «sviluppo di calore». È corretta tale terminologia?

RISPOSTE

- 1 Vero: è la proprietà transitiva sancita dal *principio zero* della termodinamica.
- 2 No: le leggi della dilatazione termica sono diverse per ogni diverso liquido (ad esempio, al crescere della temperatura tra 0 e 4 °C il volume dell'acqua diminuisce). Alla temperatura alla quale un liquido X si posiziona nel capillare del termometro esattamente a metà strada tra la posizione zero e la posizione 100, segnando quindi 50, un liquido Y si troverà in generale un po' più vicino a una o all'altra delle due suddette posizioni di riferimento, segnando con ciò una temperatura un po' inferiore o un po' superiore a 50.