



La teoria cinetica dei gas e l'avvento dei metodi statistici

L'idea che il calore sia l'effetto di un movimento rapidissimo delle parti di un solido, un fluido o un gas è riemersa più volte nella storia della fisica. Solo verso la metà dell'Ottocento, però, essa ha portato a risultati quantitativi, grazie anche a un primo approccio probabilistico e statistico alla teoria dei gas.

Il calore è una sostanza?

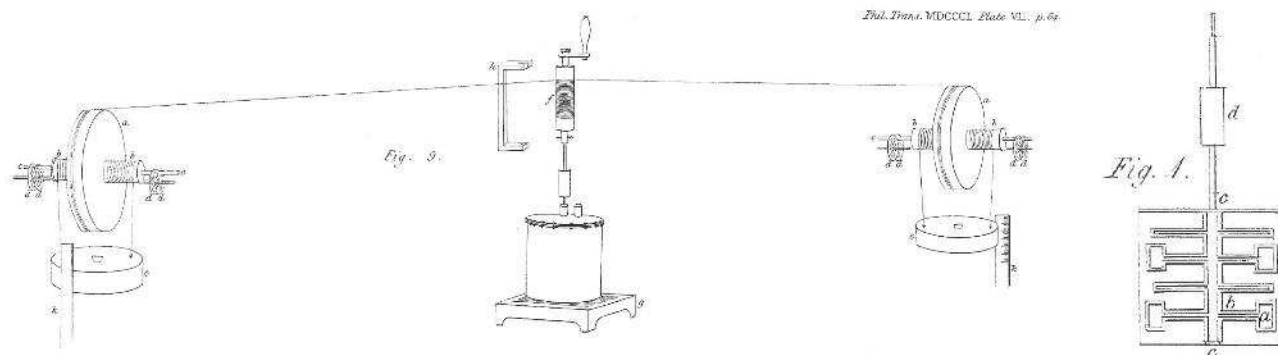
Come abbiamo accennato nel capitolo 11, tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento i ricercatori erano per lo più inclini a considerare il **calore** come una sostanza – più esattamente, un **"fluido" calorico** – che trapassava da un corpo all'altro per contatto. La "fisica del calorico" aveva numerosi supporti sperimentali, per esempio, le ricerche di **Joseph Black** (1728-1799) sui calori specifici, ed era compatibile con le ricerche sui "fluidi elettrici e magnetici". Tuttavia, alla fine del Settecento **Pierre-Simon de Laplace** (1749-1827) aveva sostenuto che era indifferente pensare il calorico come un fluido oppure come «la forza viva risultante [che oggi chiameremmo *energia cinetica*] dei moti non osservabili delle molecole di un corpo»: le equazioni che ci permettono di controllare i cambiamenti di temperatura e di misurare come il calore si trasmetta da un corpo all'altro sono le stesse.

L'esperimento di Joule

Soltanto verso la metà dell'Ottocento, forse in seguito all'**esperimento di Joule** per la misura dell'equivalente meccanico del calore, tornò a farsi strada l'idea che, in realtà, le due descrizioni non fossero del tutto equivalenti e che il modello

corpuscolare fosse più ricco e preciso di quello fluidodinamico. Joule aveva ideato un semplice apparato, costituito da un peso che, cadendo da un'altezza misurabile, poneva in rotazione un gruppo di pale immerse in acqua, mentre un termometro ne misurava la temperatura. Poiché si osservava un debole innalzamento di temperatura e nel sistema erano presenti unicamente «cause meccaniche», Joule ne concluse che il riscaldamento dell'acqua fosse dovuto agli attriti fra le sue particelle. In particolare, «la forza viva delle particelle di una libbra d'acqua a – diciamo – 51 °[F] è uguale alla forza viva posseduta da una libbra d'acqua a 50 °[F] più la forza viva che verrebbe acquisita da un corpo del peso di 817 libbre, che sia caduto dall'altezza di un piede lungo la perpendicolare»¹. Con ciò Joule esprimeva il **principio di conservazione dell'energia**: l'idea che una certa quantità di lavoro meccanico possa trasformarsi in calore (più tardi ciò avrebbe preso il nome di equivalente termico dell'energia meccanica). Implicitamente, però, sosteneva anche una concezione per cui «il calore è una rapidissima

¹ J. P. Joule, "On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the Ordinary Forms of Mechanical Power", *Philosophical Magazine*, Ser. 3, vol. 27, 1845, p. 207.



▲ Il "mulinello di Joule": due pesi legati da un filo azionano un mulinello immerso in un recipiente d'acqua (in dettaglio a destra). La corsa dei pesi è misurata da un'asta graduata, mentre la temperatura del liquido del recipiente è misurata da un termometro.

agitazione delle parti impercettibili di un oggetto, che produce in noi la sensazione per cui chiamiamo quell'oggetto "caldo"; dunque, ciò che nella nostra sensazione è *calore*, nell'oggetto è nient'altro che *movimento*².

Entrano in campo la statistica e il calcolo delle probabilità

Qualche anno dopo, il tedesco **August Karl Krönig** (1822-1879) si sarebbe servito di questa immagine nello studio dei gas, proponendo di considerare come irregolari le traiettorie seguite da ciascuna particella. Ciò, osservava Krönig, impediva di applicare i consueti metodi di calcolo «esatto», poiché il comportamento delle singole particelle è pressoché irrilevante di fronte a una popolazione di milioni di «individui»; ciò che conta è invece il «comportamento medio» dell'intera popolazione. In altre parole, una proprietà *macroscopica* come il calore dipenderebbe dalla distribuzione media di una proprietà *microscopica* come la velocità (o l'energia cinetica) delle molecole che formano un gas. Per calcolarla era sufficiente applicare i metodi, all'epoca già noti, della **statistica** e del **calcolo delle probabilità**: poiché un volume significativo di gas è formato da un numero elevatissimo di particelle, possiamo ipotizzare un gas omogeneo (le cui particelle, cioè, abbiano uguale massa e forma approssimativamente sferica) e, nota la disposizione degli angoli del recipiente, possiamo calcolare le traiettorie medie delle particelle che lo occupano. Le successive generazioni di ricercatori, in particolare **Rudolf Clausius** (1822-1888),

James Clerk Maxwell (1831-1879) e **Ludwig Boltzmann** (1844-1906), avrebbero eretto, sulla base di questa ipotesi, i fondamenti fisico-matematici di una nuova disciplina: la **meccanica statistica**. Uno dei suoi primi risultati si può considerare la relazione quantitativa tra la pressione e il volume di un gas ricavata da Clausius, che abbiamo espresso nella formula riportata nel paragrafo 4. *La teoria cinetica dei gas*. Detta p la pressione e v la velocità delle particelle di un gas confinato in un volume V , costituito da n molecole di massa molare M , possiamo scrivere:

$$p = \frac{1}{3} \frac{nM}{V} \overline{v^2}$$

Dato che, come sappiamo, temperatura, volume e pressione sono grandezze correlate, la formula dà un senso quantitativamente definito alla concezione del filosofo inglese **John Locke** (1632-1704) secondo cui il calore sarebbe un tipo di movimento. Questo aspetto è colto dal secondo membro dell'equazione, dove compare appunto la nozione di "velocità quadratica media" delle molecole. L'equazione ci dice che solo considerando la velocità media di un numero n di molecole (che possiamo pensare molto elevato), otteniamo la pressione totale di un gas. Ciò significa, d'altra parte, che non è rilevante il comportamento di un singolo individuo (che può essere persino "estremo"), poiché esso viene "compensato" dal comportamento di segno opposto di altri individui e contribuisce al "comportamento medio", come mostra il grafico di figura 10 a pag. 78.

2 J. P. Joule, "On the Mechanical Equivalent of Heat", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 140, 1850, p. 61.

DOMANDE E ATTIVITÀ



- 1 La frase di Joule citata nel testo suona, nell'originale inglese, «heat is a very brisk agitation of the insensible parts of the object, which produces in us that sensation from whence we denominate the object hot; so what in our sensation is *heat*, in the object is nothing but *motion*». Essa compare in esergo all'articolo di Joule e viene attribuita al filosofo inglese John Locke. Aiutandoti con i testi di filosofia, scova la citazione nelle opere di Locke. In quale contesto compare? Quali sono le differenze e le somiglianze con la posizione espressa da Joule?
- 2 Commenta l'esperimento di Joule e spiega perché egli ne conclude che «la forza viva delle particelle di una libbra d'acqua a – diciamo – 51 °[F] è uguale alla forza viva posseduta da una libbra d'acqua a 50 °[F] più la forza viva che verrebbe acquisita da un corpo del peso di 817 libbre, che sia caduto dall'altezza di un piede lungo la perpendicolare». (Tieni presente che per «forza viva» Joule intende la quantità mv^2 .)

► Alfred Gilbert (1854-1934), *James Prescott Joule*, marmo, Manchester Town Hall (Regno Unito).

