

***Risposta alla domanda: "In quale epoca storica si può collocare l'inizio dello studio della Meccanica Statistica? Quali sono le difficoltà che hanno portato alla nascita e allo sviluppo di tale teoria?" Ulisse, portale di divulgazione scientifica della Sissa, Trieste (Domanda posta da Graziano Incalza il 7 giugno 2008, risposta apparsa il 20 ottobre 2008)***

La meccanica statistica ha origine alla fine del XIX secolo, grazie agli studi di Ludwig Eduard Boltzmann, che riuscì ad interpretare le leggi della termodinamica in termini microscopici, sviluppando la cosiddetta teoria cinetica dei gas, che si basava sull'idea che la materia è composta di atomi e molecole. A quell'epoca la maggioranza della comunità scientifica (con qualche notevole eccezione, quali per esempio Maxwell e Gibbs) non accettava l'idea che atomi e molecole fossero entità reali, e preferiva considerarli come convenienti costruzioni teoriche, prive di realtà fisica.

La nuova scienza di Boltzmann si basava sull'idea rivoluzionaria che le proprietà macroscopiche della materia sono interpretabili in senso "statistico": il numero di costituenti elementari dei sistemi fisici con cui abbiamo a che fare nel nostro quotidiano è talmente elevato da necessitare di una descrizione efficace, probabilistica, in ultima analisi statistica. Le caratteristiche macroscopiche che ne emergono, quali ad esempio energia, lavoro, calore, pressione e temperatura, sono tutte comprensibili in chiave microscopica.

Oltre a spiegare tutta la termodinamica, la meccanica di Boltzmann aveva notevoli capacità interpretative e prevedeva fenomeni che non potrebbero neanche essere formulati in termini termodinamici classici. L'equazione più celebre della nuova teoria è probabilmente quella che lega l'entropia  $S$  di un sistema fisico al numero  $W$  di stati microscopici che corrispondono allo stesso stato macroscopico del sistema stesso:

$$S = k_B \ln W .$$

Questa equazione è un vero capolavoro di sintesi, legando un concetto macroscopico a primo membro ad un'idea microscopica a secondo membro. Poche altre formule hanno tale potere di sintesi. Originariamente concepita per un gas, tale equazione è oggi ritenuta valida in qualsiasi sistema, classico e quantistico, relativistico o meno.  $k_B$  è chiamata giustamente costante di Boltzmann.

Successivamente si capì che il formalismo introdotto per studiare le proprietà della materia nello stato gassoso è altrettanto efficace per studiare liquidi e solidi, nonché le proprietà dei materiali. A questi studi contribuirono, fra gli altri, numerosi studenti di Boltzmann, quali Arrhenius, Ehrenfest, Meitner e Nerst. L'influenza di Boltzmann fu dunque notevole e duratura, ed è per questo motivo che è facile attribuire al fisico austriaco la paternità della teoria.

E' curioso notare che la meccanica statistica, nata come teoria efficace, in un certo senso ingegneristica, si è evoluta nel corso degli ultimi decenni in una branca della fisica di amplissimo respiro, caratterizzata da legami profondi con la teoria dei campi, la meccanica quantistica e la matematica. E' questa una caratteristica molto affascinante della meccanica statistica: concepita per spiegare le proprietà dei gas e della materia in termini microscopici, arriva attraverso un percorso storico e scientifico emblematico, a fornire strumenti di indagine matematici e concettuali utili in molte altre discipline scientifiche, quali la fisica delle alte energie e dei sistemi complessi.

Boltzmann morì suicida a Duino, vicino Trieste, nel settembre 1906. Era soggetto ad attacchi di depressione e probabilmente sul suo suicidio influì in modo determinante il fatto che la maggior parte dei fisici dell'epoca non credeva nelle teorie da lui proposte. Pochi anni dopo, Perrin confermò sperimentalmente il valore del numero di Avogadro e della costante di Boltzmann, convincendo gli scettici e provando la validità delle idee del grande fisico austriaco. Boltzmann è sepolto nel cimitero centrale di Vienna, il Zentralfriedhof. Sulla sua tomba, austera, molto suggestiva e che vale la pena di visitare, è incisa la formula  $S = k_B \ln W$ .

Saverio Pascazio  
Dipartimento di Fisica  
Università di Bari