

Lezione n°1

TITOLO: Introduzione alla Termodinamica

Premessa

La Fisica è la parte della scienza che si prefigge come obiettivo di spiegare e prevedere fenomeni che accadono nell'Universo di cui l'uomo alcune volte, nel bene e nel male, ne è protagonista. In ragione di questo fatto, per comprendere significativamente la fisica è necessario mettere in atto dei procedimenti razionali di indagine, di tipo scientifico e matematico, in cui il fattore metodologico è fondamentale per la comprensione dei meccanismi secondo cui la scienza evolve e di consolida nel tempo. La curiosità fu il fattore decisivo che fece scattare, nelle civiltà antiche, la sete del sapere. A questa profondo bisogno, tipico di ogni essere umano, vanno aggiunte le forti esigenze legate alla possibilità di dominare la natura attraverso la tecnica e la tecnologia.

Abbiamo molte ragioni per affermare che la fisica è uno dei tanti segmenti che compongono la scienza, intesa qui come conoscenza umana in grado di aiutare l'uomo a comprendere meglio il funzionamento dell'universo e, dunque, del mondo in cui esso vive. In quanto prodotto umano la scienza è soggetta alla imperfezione e, spesso, rende pericolose le sue stesse scoperte. In questa prospettiva possiamo dire che la scienza è caratterizzata da aspetti sia positivi che negativi. La produzione di spaventose armi convenzionali e termonucleari, la ricerca di armamenti di tipo chimico e batteriologico, l'inquinamento e l'effetto serra sempre più intensi nel nostro pianeta, gli aspetti decisamente rischiosi che coinvolgono l'ingegneria genetica, le ricerche nel mondo biologico per la clonazione umana e tanti altri analoghi aspetti, certamente inquietanti e per niente rassicuranti, rendono questa disciplina interessante, ricca di prospettive, ma per altri aspetti allarmante. In ogni caso, come prodotto del pensiero umano e come costruzione intellettuale essa ci aiuta a comprendere come sia possibile intervenire concretamente per migliorare la vita dell'umanità nella sua quotidiana esigenza di conoscenza e di applicazioni pacifiche volte ad aiutare le persone più bisognose.

La scienza, in quanto conoscenza dei fattori di sviluppo dell'universo, è, secondo un'interpretazione, neutrale. In questo senso la cultura scientifica si prefigge soltanto lo scopo di sviluppare e migliorare la vita umana. Secondo un'altra interpretazione, la scienza non è per niente neutrale e partecipa a pieno titolo alle concezioni politiche e sociali degli uomini che vivono nella società. La caratteristica principale di chi ha operato in passato nella fondazione di questa disciplina è la modestia e il senso dei limiti dell'umana natura: lo stesso Galileo Galilei affermava che la fisica non risponde al *perché*, ma al *come* dei fenomeni, mentre Newton paragonò la scienza come il tentativo di un bambino di svuotare tutte le acque dell'oceano (l'intera conoscenza) con una semplice *ciotolina*. Si rimane sorpresi e meravigliati di fronte alla riflessione di Newton tutta incentrata su una dichiarazione di grande modestia. Egli si guarda bene dal proporre un'immagine di sé volta a ribadire la propria affermazione personale. Eppure avrebbe avuto più di una ragione a sostenere la tesi della propria grandezza nel mondo della scienza. Invece marcò deliberatamente la differenza: si mantenne nell'umiltà. In ogni caso, il senso di questa scienza è cambiato nei secoli. Da concezione che descriveva la natura in quanto tale, secondo una ingenua e acritica fede scientifica nelle illimitate capacità dell'uomo, la fisica si è trasformata in conoscenza empirica limitata secondo modelli approssimativi e tuttavia ricchi di una potente capacità conoscitiva, interpretativa e applicativa. In questa prospettiva il libro della natura di Galileo, scritto in caratteri matematici, non ci appare più come libro reale della natura ma, come ha scritto chiaramente Luigi A. Radicati di Brozolo nel suo bel libro *Pensare la natura*, come “libro di modelli della natura che via via ci facciamo sulla base delle nostre limitate conoscenze fenomenologiche”. Vedremo che nello studio della termodinamica i modelli avranno un peso molto importante per spiegare il comportamento

fisico dei gas e spiegare le conclusioni e i risultati a cui perviene la stessa termodinamica con i suoi principi.

La fisica, ricordiamolo, opera su idee misurabili, che sono le grandezze fisiche, le quali attraverso un processo di matematizzazione adeguato producono equazioni che sono le leggi della natura e che stanno alla base della formulazione delle teorie fisiche. Per indagare i fenomeni naturali, la fisica usa pertanto dei modelli, i quali non sono delle semplici riduzioni in scala della realtà indagata ma delle complesse rappresentazioni fisico-matematiche di tipo teorico che ineriscono alla stessa realtà. Queste rappresentazioni fisico-matematiche generalmente si basano sull'astrattezza e, quindi, risultano più efficaci della semplice, concreta e riduttiva riduzione in scala dell'immagine della realtà. Il problema del modello fisico sarà importante in termodinamica perché sarà la base interpretativa dell'intera categoria di fenomeni termici che dovremo studiare. Anzi. Il modello *cinetico-molecolare* dei gas perfetti rappresenta uno degli strumenti preferiti dal fisico per indagare, con adeguata consapevolezza, la complessa fenomenologia della fisica microscopica della materia.

Il modello atomico

Iniziamo il nostro discorso sulla termodinamica mettendo a fuoco, in modo semplice ed elementare, il modello atomico nella sua duplice veste contenutistica e metodologica.

Per comprendere meglio il senso della termodinamica è necessario capire il quadro concettuale nel quale essa si creò e successivamente si sviluppò. Senza voler essere riduttivi diciamo subito che lo studio della termodinamica procedette in parallelo con lo studio della struttura della materia, per il semplice fatto che i due campi di indagine spesso si sovrapponevano, in quanto avevano in comune l'aspetto energetico dei fenomeni indagati (calore, temperatura, passaggi di stato, ecc) anche se, per la verità, l'indagine non fu certamente una esplorazione sistematica e coerente così come si realizza oggi. Si ricorda a questo proposito che la concezione teorica della fenomenologia termica era, a quel tempo, molto confusa. Grandezze fisiche come *temperatura*, *calore* e *lavoro* non erano concetti chiari agli scienziati del passato, spesso erano considerati sinonimi, come non era unanimemente condivisa l'idea di una struttura atomico-granulare della materia, tanto che nella seconda metà dell'Ottocento il filosofo e fisico Mach aveva dipinto l'atomo come un “ente mentale” senza alcuna corrispondenza reale.

Si comprende, pertanto, perché il valore dello studio del modello atomico e delle proprietà fisiche e chimiche ad esso legate assumono, nella prospettiva di un'introduzione allo studio della termodinamica, un valore euristico e propedeutico per l'intera fenomenologia in esame. Il modello atomico e le conseguenze che da esso ne derivano (modello cinetico-molecolare degli aeriformi) servono obbligatoriamente come introduzione adeguata e necessaria allo studio dei fenomeni termodinamici, che sono poi tutti quegli accadimenti che costituiscono il ramo privilegiato della fisica che studia le trasformazioni da energia termica a energia meccanica (il viceversa è meno importante).

Prima di entrare nel merito di questa tematica si ritiene necessario fare un cenno al problema energetico, non foss'altro perché dagli inizi degli anni dopo il 1970 esso domina lo scenario internazionale e condiziona la vita, l'organizzazione e lo sviluppo della società contemporanea di tipo industriale. Si ritiene importante a questo proposito fare un cenno alle fonti di energia che non solo l'Europa ma l'intero pianeta in generale hanno bisogno e che sono diventate nel tempo sempre più necessarie e indispensabili per far fronte al crescente e insaziabile bisogno di energia che serve per far funzionare il nostro modello di società. D'altronde la tematica è di notevole interesse soprattutto per la presa di posizione dei movimenti giovanili contemporanei che vedono gli aspetti ambientali in un'ottica di priorità nelle politiche nazionali e internazionali. Dall'altro, l'importanza dei fatti energetici ha a che vedere con un'informazione più corretta e approfondita che viene richiesta alle istituzioni scolastiche per permettere di comprendere meglio, nei suoi aspetti particolari e generali, il rapporto “energia-modello di sviluppo-qualità della vita”.

La granularità della materia

Il filosofo greco Democrito formulò per primo l'ipotesi che la materia fosse costituita da minuscole particelle, dette “atomi” (dal greco *átomos*, indivisibile). Gli atomi sono i costituenti fondamentali della materia ed in natura se ne possono trovare 92 specie diverse tra di loro, più altri 18 circa (il loro numero continua ad aumentare sempre di più) trovati in laboratorio in modo artificiale. Gli atomi, aggregandosi fra loro, formano le molecole che sono le unità più piccole di cui è costituita una sostanza, che ne mantengono inalterate le proprietà fisiche. La massa di un atomo è detta massa atomica, la cui unità di misura (u.m.a.) è la dodicesima parte della massa dell'isotopo più “leggero” del carbonio, detto isotopo C_6^{12} . Le masse molecolari si ottengono sommando le masse atomiche. Il chimico inglese John Dalton riprese l'idea democritea e newtoniana della “granularità” della materia e propose una teoria scientifica di grande valore euristico, basata su tre leggi fondamentali:

- **Legge di Lavoiser:** in tutte le trasformazioni chimiche, relative a un sistema isolato, la somma delle masse dei reagenti è uguale alla somma dei prodotti della reazione (principio di conservazione della massa) ovvero $\sum m_i = \text{cost}$;
- **Legge di Proust:** quando due o più elementi reagiscono per formare un determinato composto, si combinano sempre secondo proporzioni di massa definite e costanti (legge con la quale si spiegano le reazioni chimiche);
- **Legge delle proporzioni multiple:** le diverse masse di un elemento che si combinano con una massa fissata di un altro elemento, per formare composti diversi, stanno tra loro in rapporti espressi da numeri interi (legge con la quale si spiegano la formazione di diversi composti, combinando gli stessi elementi).

Queste tre leggi sono importanti perché rappresentano il primo, concreto e valido contributo alla formalizzazione e unificazione dei fenomeni chimici volti a dare una sistemazione più stabile e sicura delle basi scientifiche della chimica moderna. L'esistenza di atomi e molecole uguali tra loro permette di interpretare queste leggi chimiche in modo chiaro ed estremamente semplice, oltreché valido. Nella materia, atomi e molecole sono animati da un moto caotico, velocissimo, imprevedibile e casuale, in grado di urtare piccoli oggetti come granuli di polline e di imprimere loro un movimento sussultorio, *a zig zag*, detto “moto browniano” (dal botanico Robert Brown). Si tratta del moto irregolare di particelle, relativamente grandi rispetto alle molecole, immerse in un gas o in un liquido. Questo fenomeno è molto importante nella termodinamica perché sottolinea e conferma sperimentalmente il moto di agitazione termica disordinato delle molecole di un fluido che, colpendo mediante urti elastici la particella, la costringono a muoversi in modo irregolare.

Nel Sistema Internazionale, la mole è l'unità di misura della quantità di sostanza. Una mole di una sostanza contiene sempre un numero di Avogadro ($6,22 \times 10^{23}$) di molecole della sostanza¹. La legge scoperta da Amedeo Avogadro afferma che una mole di un gas qualunque, a temperatura e pressione fissata, occupa sempre lo stesso volume: il volume di un gas è direttamente proporzionale al numero di moli. A temperatura di 0°C e pressione atmosferica $1,01 \times 10^5$ Pa, il volume di un gas sarà sempre di $22,4 \text{ dm}^3$, ovvero $0,0224 \text{ m}^3$. Questo valore sarà d'importanza rilevante nell'economia dello studio delle leggi dei gas.

Le forze di natura elettrica, che si esercitano tra le molecole e che impediscono loro di allontanarsi l'una dall'altra, sono le forze intermolecolari. Due molecole si attraggono quando i loro centri sono a distanza maggiore della somma dei loro raggi; quando invece i loro centri sono a distanza minore della somma dei loro raggi, si respingono.

¹ Così come una dozzina assume il significato di 12 elementi, allo stesso modo la mole assume il significato di una quantità di sostanza, variando da elemento a elemento e da composto a composto, che contiene un numero N di particelle (atomi o molecole).

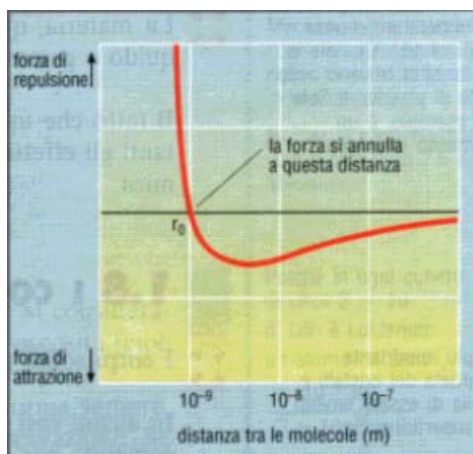


Fig.1 – Andamento della forza intermolecolare in funzione della distanza tra le molecole.

Le forze intermolecolari determinano alcune proprietà della materia:

- **Coesione:** effetto attrattivo che si esercita tra molecole dello stesso tipo;
- **Adesione:** effetto che porta una molecola ad aderire a molecole diverse;
- **Moto di agitazione termica:** movimento incessante e velocissimo dei componenti microscopici della materia.

Gli stati della materia sono due: i solidi ed i fluidi. I fluidi si suddividono in liquidi e aeriformi, questi ultimi a loro volta suddivisi in gas e vapori.

La differenza tra solidi, liquidi e aeriformi è nell'energia di legame a livello microscopico:

- **Solidi:** energia di legame fortissima;
- **Liquidi:** energia di legame meno intensa dei solidi;
- **Aeriformi:** energia di legame debolissima.

Nei solidi, le molecole interagiscono con una notevole intensità, così che ognuna di esse tende a mantenere una posizione fissata rispetto alle altre in un reticolo cristallino. Esso è la distribuzione *ordinata* di atomi o molecole all'interno di un cristallo solido. Altri corpi, che hanno alcune proprietà dei solidi, non hanno una struttura cristallina e vengono chiamati amorfi: sono liquidi che hanno un *attrito* interno tra le molecole molto alto, detto viscosità. La forza elastica di un corpo, scoperta dall'inglese Robert Hooke (antagonista di Newton in molte polemiche scientifiche), è quella forza che il corpo deformato esercita per ritornare alla sua forma iniziale. Ma se la deformazione supera il limite di elasticità, il corpo può deformarsi in modo permanente (plasticità) o, addirittura, rompersi².

Nei liquidi le molecole interagiscono con una certa intensità, così che esse *rotolano* le une sulle altre. I liquidi però, hanno un volume proprio e sono incompressibili. I liquidi hanno due proprietà importanti, la tensione superficiale e la capillarità. La prima è la proprietà della superficie dei liquidi di comportarsi come una membrana elastica: questo è dovuto alle forze di coesione tra le molecole del liquido. La seconda spiega perché i liquidi tendono a salire o scendere spontaneamente in tubi di diametro molto piccolo: quando le forze di coesione sono minori di quelle di adesione, il liquido tende a salire e quando avviene il contrario, il liquido scende.

Nei gas, le molecole interagiscono poco tra loro, per questo tendono ad espandersi ma anche ad essere compressi. Una proprietà comune sia ai gas che ai liquidi è la resistenza che si attua quando si fa scorrere una parte di un fluido rispetto alle parti vicine. Nei gas, la viscosità varia a seconda della temperatura e della pressione cui sono sottoposti.

² Hooke la enunciò così: “*Ut tensio, sic vis*”. La sua rappresentazione più efficace sta nella deformazione di una molla, cioè: $F = K s$, dove K è la costante elastica della molla e si misura in N/m.