



## Il numero di Avogadro e le dimensioni delle molecole



L'idea di grande e piccolo insomma è relativa, e una definizione chiara di questi aggettivi è preliminare a qualsiasi altra considerazione. A questo scopo è utile prendere confidenza con un numero molto particolare, una «costante» usata quotidianamente da chimici e fisici, il cui valore però è talmente enorme che occorre uno sforzo di immaginazione e persino di astrazione per comprenderne appieno il significato. Parlo del numero di Avogadro.

(Gianfranco Pacchioni, *Quanto è piccolo il mondo*, Zanichelli, 2008)

Gianfranco Pacchioni è direttore del Dipartimento di Scienze dei materiali dell'Università Milano Bicocca e ordinario di Chimica dello stato solido presso la stessa Università.

Il testo di divulgazione, da cui è tratto il brano sul numero di Avogadro, introduce il lettore alle nanotecnologie, cioè l'insieme delle scienze applicate che si occupano di osservare, misurare e manipolare la materia su scala dimensionale inferiore al micrometro. Le nanoscienze costituiscono il punto di incontro di discipline diverse che vanno dalla fisica quantistica alla chimica supramolecolare, dalla scienza dei materiali alla biologia molecolare.

Riportiamo di seguito un brano tratto da *Quanto è piccolo il mondo*.

### ■ Un numero con un lunga storia

Ma come nasce, che cos'è e perché è importante il numero di Avogadro? Per capirlo dobbiamo rifarci alla moderna teoria atomica e al suo padre riconosciuto, John Dalton.

Nato in Inghilterra da una famiglia quacchera, nell'estate del 1803 Dalton iniziò a riempire quaderni con appunti basati sull'idea che tutta la materia sia fatta di particelle estremamente piccole. Non fu il primo ad avere questa intuizione: molti pensatori greci – i più famosi sono Democrito ed Epicuro – ritenevano che il mondo fosse costituito da invisibili e

impenetrabili particelle fondamentali che chiamavano atomoi, in greco «indivisibili». Ma se i filosofi greci si erano limitati a immaginare e ipotizzare, Dalton invece usò i principi del moderno pensiero scientifico.

Grazie ai dati che erano stati raccolti in un secolo di sperimentazioni sui gas, Dalton concluse che ogni elemento chimico è formato da un particolare tipo di atomi, indistinguibili uno dall'altro, che non possono essere creati né distrutti ma si combinano tra loro a formare «atomi composti», quelle che oggi chiamiamo *molecole*. Il libro *A new system of chemical philosophy*, pubblicato da Dalton nel 1808, demoliva ogni residua speranza degli alchimisti di tramutare gli elementi in oro, gettando

invece le basi della chimica moderna.

Non più di tre anni dopo, nel 1811, il chimico torinese Amedeo Avogadro, studiando il comportamento dei gas giunse a un'altra importante conclusione: che volumi uguali di tutti i gas alla stessa temperatura e pressione contengono un identico numero di molecole. Questo risultato, perfettamente valido anche oggi, è noto come *principio di Avogadro* ed è la base da cui partire per ricavare il famoso numero.

Avogadro capì che in una data quantità di sostanza è contenuto un numero fisso di atomi o di molecole. Al contrario di quanto si potrebbe pensare, però, non giunse mai a definirne il valore numerico. Curiosamente dunque il numero di Avogadro non fu scoperto da Avogadro, il quale

neppure tentò la difficile impresa. Per arrivare a stabilirne con precisione il valore fu necessario un secolo esatto di ulteriori sforzi e intuizioni. In definitiva capire quanti atomi ci sono in un chicco di caffè o in un fiocco di neve equivale a capire quanto è grande una molecola di queste sostanze. È un po' come chiedersi quante zollette di zucchero ci sono in una confezione: basta dividere il volume totale della scatola per il volume di una singola zolletta e otterremo il numero di zollette.

Il primo a occuparsi del problema fu Thomas Young, contemporaneo di Dalton e Avogadro, che aveva escogitato un modo ingegnoso per stimare le dimensioni delle molecole di acqua studiando la tensione superficiale. Young calcolò che ognuna di quelle che chiamava «particelle d'acqua» dovesse avere dimensioni comprese tra i 5000 e i 25 000 milionesimi di centimetro. È una stima circa diecimila volte più grande delle reali dimensioni di una molecola d'acqua, ma sorprendentemente accurata se si pensa che fu ottenuta all'epoca delle guerre napoleoniche.

Intorno al 1865 poi il chimico austriaco Johann Loschmidt, studiando il volume occupato dall'acqua in fase liquida e in fase gassosa, giunse a stimare che le molecole avessero dimensioni di qualche milionesimo di millimetro. Perciò in una data quantità di sostanza, la cosiddetta *mole*, dovevano esserci circa  $5 \cdot 10^{22}$  molecole. Questa prima stima moderna del numero di Avogadro, sebbene ancora imprecisa, ci dà già un'idea dell'enormità di questo numero: 5 seguito da ben ventidue zeri!

A dare un contributo decisivo alla determinazione del numero di Avogadro provvide il solito Albert Einstein in uno dei suoi articoli fondamentali degli anni 1905-1906. Già nella sua tesi di dottorato Einstein aveva calcolato il valore del numero di Avogadro, trovandolo pari a  $2,1 \cdot 10^{23}$ . Poi nel 1906, in seguito a calcoli più accurati, corresse il valore a  $4,15 \cdot 10^{23}$ . Infine nel 1911 giunse a una stima finale:  $6,6 \cdot 10^{23}$ . Oggi sappiamo che il valore

è  $6,0221367 \cdot 10^{23}$ , quindi poco diverso dalla migliore stima di Einstein. Ma che cosa significa esattamente questo numero?

Proviamo a scrivere per esteso il numero di Avogadro:

602 213 670 000 000 000 000 000, vale a dire circa seicentomila miliardi di miliardi. Questo è il numero delle molecole contenute in una mole d'acqua, cioè in 18 grammi, più o meno un cucchiaino. Se avessimo a disposizione un numero di Avogadro di lattine di birra, potremmo ricoprire la superficie della Terra non una, non due, ma talmente tante volte da formare uno spessore di oltre 300 chilometri, riempiendo praticamente l'intera atmosfera. Si stima che il numero delle formiche sulla Terra sia 10 milioni di miliardi ( $10^{16}$ ). È un numero così grande che la loro biomassa praticamente equivale a quella di tutto il genere umano. E tuttavia per mettere insieme un numero di Avogadro di formiche ci vorrebbero 60 milioni ( $6 \cdot 10^7$ ) di pianeti come la Terra! Ma se un cucchiaino d'acqua contiene un numero di molecole molto più grande del numero di tutte le formiche presenti sulla Terra, allora le dimensioni delle molecole devono essere non piccole, neppure piccolissime, ma più piccole dell'immaginabile.

### ■ Piccolo o grande?

Per dare un'idea di come la materia possa occupare volumi ridottissimi, come negli atomi e nelle molecole, oppure infinitamente grandi, come nello spazio interstellare, Phil e Phylis Morrison e Charles e Ray Eames pubblicarono negli anni Ottanta quello che è divenuto un classico della divulgazione scientifica: *Potenze di dieci*, un viaggio nelle dimensioni relative degli oggetti nell'universo, basato sui multipli e sui sottomultipli del metro che è l'unità di misura delle lunghezze.

Il metro è la dimensione dell'uomo, quella a cui facciamo riferimento ogni giorno per confrontarci con quanto ci circonda. Ecco quindi che partendo dalle dimensioni di una per-

sona,  $10^0$  m ossia 1 metro, possiamo espandere il nostro orizzonte a una città,  $10^4$  metri (10 chilometri), all'Italia,  $10^6$  metri (1000 chilometri), alla Terra,  $10^7$  metri (diecimila chilometri), e così via fino al Sistema solare, alla Via Lattea, agli ammassi di galassie, in un crescendo che si conclude ai confini dell'universo, con distanze dell'ordine di  $10^{25}$  metri (circa un miliardo di anni luce).

Un numero di Avogadro di passi, dunque, ci porterebbe vicino ai limiti dell'universo. E se facessimo il percorso inverso?

Scendere a scale sempre più piccole ci porta a vedere cose incredibili. Già alle dimensioni del decimo di millimetro ( $10^{-4}$  m) entriamo nei pori della pelle, per poi scendere alle dimensioni di una cellula ( $10^{-5}$  m), incontrare i cromosomi ( $10^{-7}$  m) e le molecole di DNA ( $10^{-8}$  m).

Continuando a scendere troviamo molecole ancora più piccole, fatte di pochi atomi, come lo zucchero o l'etanolo che hanno dimensioni di  $10^{-9}$  m, un miliardesimo di metro. È questo il famoso *nanometro*, che si abbrevia con il simbolo nm (il prefisso *nano* indica proprio il fattore  $10^{-9}$ ).

Ecco che il nostro viaggio è arrivato al punto centrale di tutto il nostro discorso: la materia a livello molecolare, nanometrico appunto, la base delle nanotecnologie.

Non che il viaggio si fermi qui: al di sotto delle molecole troviamo i singoli atomi, con dimensioni dell'ordine di  $10^{-10}$  m (o 1 Ångstrom), e poi ancora più giù i nuclei atomici formati da protoni e neutroni, grandi appena  $10^{-15}$  m (o 1 fermi), ai limiti dell'infinitamente piccolo.

Con 40 scalini fatti di potenze di 10, insomma, si passa dai limiti dell'universo ( $10^{25}$  m) alle particelle elementari ( $10^{-15}$  m). L'uomo sta più o meno in mezzo, con le sue dimensioni molto particolari. A questo punto potremmo chiederci se siamo grandi o piccoli, ma credo sia ormai chiaro che la domanda non ha senso se non si specifica «rispetto a cosa».