

PREFAZIONE

La storia della meccanica quantistica è una storia scientifica straordinaria sotto molti punti di vista. Nella seconda metà del XIX secolo la fisica classica sembrava ormai posare su basi assolutamente solide costituite dalla meccanica di Newton per il moto dei corpi macroscopici e sulla teoria elettromagnetica di Maxwell per la radiazione e le manifestazioni delle sue interazioni con la materia. Questa convinzione è espressa nella affermazione di Lord Kelvin che: «Non c'è niente di nuovo da scoprire ora nella fisica. Tutto quello che resta da fare è misure sempre più precise». Ma si trattava solo di una calma apparente: varie insidie erano in agguato per minare la solidità dell'edificio della fisica classica. Del resto, lo stesso Lord Kelvin, in una famosa lezione del 1900: *Nineteenth-century clouds over the dynamical theory of heat and light* (Nuvole del diciannovesimo secolo sulla teoria dinamica del calore e della luce) così si esprimeva: «La bellezza e la chiarezza della teoria dinamica che asserisce che calore e luce sono modi di movimento sono ora oscurate da due nuvole». Le nuvole a cui Lord Kelvin faceva riferimento erano connesse con il concetto di etere, il *Deus ex machina* della fisica dell'Ottocento, incapace di spiegare gli esperimenti di Michelson e Morley e la incapacità della meccanica statistica di spiegare l'andamento in funzione della frequenza della emissione di radiazione di un corpo caldo (emissione del corpo nero). Ma Lord Kelvin era troppo ottimista perché le 'nuvole' che si addensavano sulla scienza del XIX secolo, quando si scendeva verso il mondo microscopico degli atomi e delle molecole, erano più fosche e in numero ben maggiore di due pronte e a indebolire la stabilità dell'edificio teorico della fisica classica.

A parte lo strano comportamento della radiazione nell'effetto fotoelettrico in cui, contraddicendo le equazioni di Maxwell, l'intensità della radiazione sembrava non contare al di sotto di una certa soglia di frequenza, c'era una serie di questioni sollevate dall'atomismo dei chimici dopo la sistematizzazione di Dalton e la intuizione di Avogadro. La periodicità delle proprietà chimiche e fisiche degli elementi, scandita nella tavola periodica di Mendeleev, era saldamente fondata su una grande messe di precisi dati sperimentali accumulati nei laboratori chimici ma non aveva una solida giustificazione teorica. Il peso atomico degli elementi su cui la tavola era costruita non sembrava costituire l'essenza del problema anche per la sua crescita non regolare lungo la tavola, per non parlare dell'inversione dell'ordine

del peso atomico per due elementi consecutivi come nel caso del tellurio e dello iodio. Da un punto di vista più generale, la spiegazione delle proprietà chimiche degli elementi trovava un elemento sostanziale di difficoltà nel fatto che la natura delle forze di interazione tra gli atomi era sconosciuta, nonostante la scoperta delle interazioni elettriche e delle leggi dell'elettrolisi. Anche se si trattava di esperimenti non noti a tutti i fisici e i chimici, la straordinaria regolarità della successione delle frequenze di emissione o di assorbimento negli spettri degli elementi, espresse inizialmente nelle formule di Balmer e di Rydberg, appariva misteriosa. Inoltre, l'edificio già non perfettamente definito dell'atomo dei chimici veniva sostanzialmente rimesso in discussione verso la fine del secolo dalla scoperta della radioattività prima e dalla scoperta dell'elettrone successivamente, fino ad arrivare alla identificazione dell'atomo planetario di Rutherford, una struttura che l'elettromagnetismo classico riconosceva intrinsecamente instabile.

È in questo scenario del mondo microscopico che la meccanica quantistica interviene a mettere ordine con una serie di assunzioni successive che, anche se inizialmente presentate come ipotesi di lavoro, o addirittura come idee fantasiose per alcuni scienziati, acquistano gradualmente una consistenza teorica sulla base di nuovi sempre più sorprendenti esperimenti. La meccanica quantistica è una grande rivoluzione scientifica che getta nuova luce nel mondo microscopico e subatomico e che avrà un straordinario impatto di nuove tecnologie connesse alla fisica dei semiconduttori e all'elettronica, al laser con tutte le sue applicazioni, alla risonanza magnetica, alla microscopia elettronica, alla chimica computazionale. Ma la meccanica quantistica è stata molto di più di una rivoluzione scientifica perché ha cambiato completamente il nostro modo di rapportarci al mondo naturale microscopico. La doppia natura, particellare e ondulatoria, delle particelle elementari e della radiazione è un concetto intrinsecamente contro-intuitivo che ci costringe a interrogarci sulla reale conoscenza del mondo naturale che possiamo raggiungere. Secondo il principio di complementarità e di indeterminazione in ogni esperimento potremo esplorare la natura di onda o di particella di un oggetto microscopico ma non entrambi simultaneamente. Questo pone un limite al livello possibile della nostra esplorazione del mondo microscopico tanto da spingere Heisenberg ad affermare che gli atomi o le particelle elementari non sono reali; essi formano un mondo di potenzialità o possibilità piuttosto che uno di cose e fatti. La nostra possibile conoscenza del mondo microscopico rimane confinata nella dimensione probabilistica. Come dice Heisenberg, il mondo microscopico è un altro mondo:

Le leggi matematiche formulate dalla teoria quantistica mostrano chiaramente che tutti i concetti ordinari intuitivi non possono essere applicati senza ambiguità alle particelle più piccole. Tutte le parole o i concetti che usiamo per descrivere gli oggetti ordinari, come posizione, velocità, colore, dimensione e così via, diventano indefiniti e problematici quando tentiamo di usarli per le particelle elementari.

Il concetto di misura cambia radicalmente nella meccanica quantistica. Lo sperimentatore da soggetto osservatore passivo e fedele del mondo fisico con strumenti con strumenti della precisione voluta si trasforma in un protagonista attivo che con il suo esperimento determina quale aspetto delle 'potenzialità' dell'oggetto osservato verrà portato alla luce: «Non esiste alcun mondo quantistico. C'è solo una astratta descrizione fisica. È sbagliato pensare che il compito della fisica sia di scoprire come è la natura. La fisica riguarda quello che noi possiamo dire a riguardo della natura» (Niels Bohr). Questo ci costringe infine alla domanda su cosa esista veramente del mondo microscopico indipendentemente dalle nostre misure.

È interessante confrontare lo sviluppo della meccanica quantistica con quelle delle altre grandi rivoluzioni scientifiche di Galileo e Newton. Queste ultime, nell'immaginario popolare, sono legate a un singolo scienziato geniale, Galileo o Newton appunto, che con folgoranti intuizioni ha cambiato il mondo della scienza. Basti pensare all'*annus mirabilis* di Newton che confinato nella sua casa natale dall'esplosione della peste ha messo a punto la teoria della gravitazione, il calcolo differenziale, le leggi dell'ottica. Naturalmente, la realtà è più complessa di questa narrazione e, infatti, Newton stesso riconosce di aver visto più lontano di altri perché ha viaggiato sulle spalle di giganti, gli scienziati che lo avevano preceduto fornendo elementi o indizi per le sue grandi scoperte. La meccanica quantistica ha costituito uno straordinario affresco dipinto da una moltitudine di pittori, fisici, matematici, astronomi, chimici, tecnologi, di provenienza e con interessi iniziali diversi che sono stati attratti dal fascino di nuove scoperte che sembravano andare contro il senso comune. È stata un'avventura durata vari decenni con più protagonisti che hanno portato contributi distinti, talora convergenti, tal'altra corrispondenti a punti di vista e formalismi diversi, che si sono gradualmente composti in un quadro di insieme organico. Si è affermata in questo modo l'idea moderna di una ricerca scientifica come impresa collettiva o, se vogliamo, pubblica.

Il proposito di questo volume è di ripercorrere la storia della meccanica quantistica dalle sue origini. Lo scopo non è di presentare un trattato ma di introdurre i concetti fondamentali, per come si sono andati gradualmente affermando, attraverso la storia personale e scientifica dei protagonisti, i loro dubbi, i modelli che nascono e decadono, le discussioni e le interazioni tra i vari gruppi. Una attenzione particolare è stata data all'impatto della meccanica quantistica sulla chimica, sulle conoscenze della struttura e reattività delle molecole. La meccanica quantistica ha proiettato la chimica in una nuova dimensione che alcuni hanno chiamato una dimensione 'virtuale' in cui sarebbe possibile interrogare un calcolatore su quello che dovrebbe avvenire nel laboratorio. Ma la complessità del mondo chimico e biochimico va oltre il richiamo del mondo virtuale.