

## Prefazione

Noi esseri umani abbiamo sempre avuto un problema con il confine tra realtà e fantasia. Per spiegare il mondo a noi stessi inventiamo storie e poi, essendo bravi narratori, ce ne infatuiamo e confondiamo le nostre rappresentazioni del mondo con il mondo stesso. Questa confusione affligge tanto gli scienziati quanto i profani; in verità, tormenta di più noi, che abbiamo storie tanto straordinarie nel nostro corredo di strumenti.

Via via che approfondiamo la nostra comprensione del mondo naturale, passando a fenomeni più elementari e di dimensioni minori, i nostri successi pongono ostacoli a ulteriori progressi. Per evitare di restare bloccati, dobbiamo bilanciare la nostra giustificata fiducia nel potere della conoscenza consolidata con un'acuta consapevolezza del fatto che anche le nostre ipotesi di maggior successo sono, appunto, ipotesi. Una lezione difficile da imparare è che le nostre sensazioni in parte sono causate dalla realtà, ma sono costruite interamente dal nostro cervello per presentarci il mondo proprio nella forma di cui abbiamo bisogno per farci strada nella natura. Al di là di queste sensazioni, si aggira la natura, fondamentalmente misteriosa e proprio al confine di ciò che possiamo conoscere.

Quelle che in base alle nostre conoscenze attuali sono le caratteristiche più importanti della natura non vengono percepite. I più semplici fatti generali a noi noti – che la materia è fatta di atomi, per esempio, o che la Terra è un guscio sferico di roccia attorno a un nucleo fuso, avvolto da una sottile atmosfera, che si muove, e sospeso in qualcosa di simile al vuoto, mentre orbita intorno a un reattore termonucleare naturale –, questi dati di fatto che impariamo appena usciti dalla culla sono il risultato di secoli di intensi sforzi di studiosi e scienziati. Ciascuno di questi fatti in origine fu considerato un'idea quasi folle in contrasto con un'ipotesi molto più ovvia e ragionevole – però sbagliata.

Avere una mentalità scientifica vuol dire rispettare i fatti su cui esiste un consenso generale, che sono la soluzione di generazioni di dispute, restando al contempo aperti nei confronti di ciò che è ancora ignoto. Provare un senso di umiltà davanti al mistero essenziale del mondo è utile perché gli aspetti conosciuti diventano ancora più misteriosi quando li esaminiamo più a fondo. Quanto più sappiamo, tanto più tutto è curioso. In natura nulla è così ordinario che la sua contemplazione non possa portarci a una muta sensazione di meraviglia e gratitudine per il solo fatto di far parte di tutto ciò.

In questa mattina primaverile, l'aria che arriva dalla finestra aperta fa entrare i freschi profumi del giardino – ma qual è il miracolo che lo fa accadere? Com'è che molecole diffuse da una brezza vengono trasformate dal mio naso in questa fragranza? Quando vediamo colori vivaci, ci ricordiamo che esiste una storia sul fatto che diverse lunghezze d'onda della luce eccitano neuroni diversi. Ma com'è possibile che le sensazioni del rosso o del blu siano causate dall'eccitazione di neuroni diversi? Che genere di cose sono le sensazioni, i *qualia*, come li chiamano i filosofi, dei diversi colori, o dei diversi profumi? In quali modi i profumi sono diversi dai colori, e perché differiscono, se si tratta in ogni caso di impulsi elettrici dei neuroni? Chi è l'io che si sveglia e che cos'è l'universo che mi circonda quando apro gli occhi? I fatti più semplici della nostra esistenza e del nostro rapporto con il mondo sono misteri.

Allontaniamoci prudentemente dalla questione difficile della coscienza e consideriamo interrogativi più semplici. Come scienziato, credo che questo sia il modo migliore per arrivare da qualche parte. Iniziamo da una domanda fondamentale: che cos'è la materia? Mio figlio ha lasciato un sasso sul tavolo. Lo prendo; dati il suo peso e la sua forma, si adatta perfettamente alla mia mano – quella che provo è di certo una sensazione antica.

*Ma che cos'è un sasso?*

Sappiamo che aspetto hanno i sassi e che cosa ci fanno provare, ma sono tutte caratteristiche che hanno a che fare con noi almeno quanto con i sassi. Ben poco della consistenza o dell'aspetto di un sasso fornisce indizi su ciò che costituisce, essenzialmente, l'esistenza di un sasso – il suo essere un sasso. Sappiamo che la maggior parte del sasso è spazio vuoto in cui sono disposti gli atomi. La solidità e la durezza del sasso sono costruzioni della nostra mente, che integra le percezioni a scale molto grossolane in confronto alle dimensioni degli atomi.

La materia esiste in molte forme, e di alcune, come i sassi, come il materiale organico intessuto nelle coperte, nelle lenzuola e nei vestiti, sappiamo che sono complesse. Consideriamo quindi per prima una forma piú semplice di materia: l'acqua che beviamo. Che cos'è?

Alla vista e al tatto, l'acqua appare regolare, continua. Sino a tempi relativamente recenti, un po' piú di un secolo fa, i fisici pensavano che la materia fosse continua. All'inizio del Novecento, Albert Einstein mostrò che si trattava di un'idea sbagliata e che l'acqua è fatta di miriadi di atomi. Nell'acqua, questi atomi sono organizzati in triplette, legati insieme a formare le molecole, ciascuna costituita da due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno.

Sí, ma che cos'è un atomo? Meno di dieci anni dopo, si capí che ogni atomo è come un minuscolo sistema solare, con un nucleo al centro al posto del Sole e i pianeti rappresentati dagli elettroni.

Fin qui tutto bene, ma che cos'è un elettrone? Sappiamo che gli elettroni sono unità discrete, ciascuna con una certa quantità di massa e di carica. Un elettrone può avere una posizione nello spazio. Può muoversi: quando guardiamo una prima volta, si trova lí, ma quando guardiamo di nuovo, è là.

Oltre a questi attributi, non è facile descrivere che cos'è un elettrone. Ci vorrà gran parte di questo libro.

La comprensione migliore di ciò che è l'acqua, di ciò che sono i sassi, le molecole, gli atomi e gli elettroni è espressa dal ramo della scienza che si chiama *fisica quantistica*. Tuttavia, come ormai sembra che tutti sappiano, questo è un dominio pieno di paradossi e di misteri. La fisica quantistica descrive un mondo in cui nulla ha un'esistenza stabile: un atomo o un elettrone possono essere un'onda o una particella a seconda di come li si guarda e i gatti sono allo stesso tempo vivi e morti. Tutto ciò è perfetto per la cultura popolare, che ha fatto di «quantistico» un termine di moda sinonimo di «notevole» o «importante», però è terribile per noi che vogliamo capire il mondo in cui viviamo, dato che non sembra esistere una risposta facile alla semplice domanda «che cos'è un sasso?»

Nel primo quarto del Novecento, per spiegare la fisica quantistica fu elaborata una teoria detta *meccanica quantistica*. Sin dal principio, questa teoria è stata la creatura preferita della scienza. È la base della nostra comprensione degli atomi, della radiazione e di molto altro, dalle particelle elementari alle forze fondamentali e al comportamento dei materiali. È stata altresí, per un tempo al-

trettanto lungo, una creatura problematica. Fin dall'inizio, i suoi inventori furono profondamente divisi su che cosa farne. Alcuni espressero turbamento e timori, persino indignazione. Altri la dichiararono un nuovo tipo rivoluzionario di scienza, che demoliva gli assunti metafisici sulla natura e sul nostro rapporto con essa che le generazioni precedenti avevano giudicato essenziali per il successo della scienza.

Nelle pagine che seguono spero di convincervi che i problemi concettuali e i violenti disaccordi che hanno tormentato la meccanica quantistica sin dagli inizi sono irrisolti e irrisolvibili, per la semplice ragione che la teoria è sbagliata. È una teoria di grande successo, ma è incompleta. Il nostro compito – se vogliamo ottenere risposte semplici per le domande semplici su ciò che sono i sassi – deve essere andare al di là della meccanica quantistica e ottenere una descrizione del mondo a una scala atomica che abbia senso.

Questo compito potrebbe sembrare estremamente difficile, se non fosse per un aspetto a lungo ignorato e quasi dimenticato della storia della meccanica quantistica. Sin dagli inizi dell'era quantistica, negli anni Venti del secolo scorso, è sempre esistita una versione alternativa della fisica quantistica che è perfettamente sensata. Questa teoria ombra risolve gli evidenti paradossi e misteri del dominio quantistico. Lo scandalo – sono convinto che il termine sia giustificato – è che questa forma alternativa della teoria quantistica viene insegnata di rado. È citata raramente, nei libri di testo per gli aspiranti fisici come nei libri e negli articoli divulgativi per i profani.

Esistono diverse formulazioni alternative della fisica quantistica che hanno un senso coerente. La sfida ora consiste nel basarsi su queste per trovare il modo giusto di interpretare la fisica quantistica – quello usato dalla natura. Credo che ciò avrà ampie ripercussioni, poiché la nuova forma di fisica quantistica sarà la base delle soluzioni di molti problemi irrisolti della fisica. A mio avviso, problemi quali la gravità quantistica e l'unificazione delle forze, sui quali abbiamo fatto pochi progressi definitivi, non vengono risolti perché alla base della nostra teorizzazione vi è una teoria che non è corretta.

I fisici sono d'accordo sul comportamento del mondo quantistico. Conveniamo tutti che gli atomi e la radiazione si comportano in modo diverso dai sassi e dai gatti e che la meccanica quantistica riesce a prevedere alcuni aspetti di quel comportamento. Non siamo invece d'accordo su cosa significhi che il nostro mon-

do è un mondo quantistico. Un cambiamento radicale della nostra comprensione della natura è chiaramente necessario, però abbiamo opinioni diverse su quale dovrebbe essere questo cambiamento. Alcuni sostengono che dobbiamo rinunciare ad avere una qualche immagine della realtà e accontentarci di una teoria che descrive la conoscenza che possiamo avere del mondo. Altri ritengono che il nostro concetto di realtà debba essere ampliato tanto da comprendere un'infinità di realtà parallele.

Di fatto, nulla di tutto ciò è necessario. I modi alternativi di comprendere il mondo quantistico non ci impongono di rinunciare a pensare che la fisica descriva una realtà indipendente dalla conoscenza che ne abbiamo né di espandere la realtà al di là del concetto sensato dell'esistenza di un solo mondo, quello che vediamo quando ci guardiamo intorno. Come spiegherò nelle pagine di questo libro, il realismo di buon senso, secondo cui la scienza può aspirare a fornire un quadro completo del mondo naturale così com'è, o come sarebbe in nostra assenza, in realtà non è minacciato da nulla di ciò che sappiamo della fisica quantistica.

È quindi inopportuno e non necessario che il dominio quantistico sia stato presentato come misterioso e controintuitivo. Uno degli obiettivi di questo libro è esporre le teorie quantistiche alternative ai profani e, così facendo, eliminare il mistero e presentare il mondo quantistico in maniera intuitiva e comprensibile dalle persone che non hanno una conoscenza approfondita della fisica.

Immagino che i miei lettori siano persone con una forte curiosità per la natura, che forse seguono la scienza attraverso i notiziari, i blog e i libri divulgativi, ma che non hanno studiato la matematica di solito assunta come linguaggio della fisica. Al suo posto, uso parole e immagini per dare l'idea dei fenomeni fondamentali che troviamo nel mondo quantistico e dei principi che il loro studio ha ispirato. Dopo questa introduzione, il libro inizia con tre brevi capitoli che descrivono le basi essenziali della fisica quantistica. Queste ci permetteranno di esplorare i vari universi concettuali che emergono dalle diverse forme di teoria quantistica che sono state proposte.