

Prologo

Non abbiate paura

Non serve un dottorato in fisica teorica per aver paura della meccanica quantistica. Ma aiuta.

Può sembrare strano. La meccanica quantistica è la nostra migliore teoria sul mondo microscopico. Descrive come gli atomi e le particelle interagiscono attraverso le forze fisiche e fa previsioni sperimentali incredibilmente precise. Certo, la meccanica quantistica ha la reputazione di essere difficile e misteriosa, appena appena al di qua della magia. Ma almeno i fisici professionisti dovrebbero sentirsi relativamente a proprio agio con una teoria così. Fanno in continuazione calcoli complessi sui fenomeni quantistici e costruiscono macchine gigantesche che servono a verificare le loro previsioni. Non è che avranno finto per tutto questo tempo, no?

No, certo, ma non sono nemmeno stati del tutto sinceri con se stessi. Da un lato, la meccanica quantistica è il cuore e l'anima della fisica contemporanea. Astrofisici, fisici delle particelle, fisici atomici, fisici del laser: tutti usano in continuazione la meccanica quantistica e la conoscono molto bene. Non stiamo parlando solo di ricerche avanzatissime. La meccanica quantistica è onnipresente nella tecnologia contemporanea: semiconduttori, transistor, microchip, laser e memorie dei computer si basano sulla meccanica quantistica per funzionare. Se è per questo, la meccanica quantistica è indispensabile per dare un senso ai fenomeni più elementari del mondo che ci circonda. Fondamentalmente tutta la chimica è meccanica quantistica applicata. Per capire come splende il Sole o perché i tavoli sono solidi, serve la meccanica quantistica.

Immaginiamo di chiudere gli occhi. Presumibilmente è tutto buio. Sembra ovvio, perché non arriva luce, ma non è esattamente così; la luce infrarossa, che ha una lunghezza d'onda di poco maggiore della luce visibile, viene emessa continuamente da qualsiasi oggetto caldo, e quindi anche dal nostro corpo. Se gli occhi fossero sensibili alla luce infrarossa come lo sono a quella visibile

saremmo accecati dalla luce emessa dai nostri stessi globi oculari, anche con le palpebre abbassate. Ma i bastoncelli e i coni che agiscono da recettori di luce negli occhi sono sensibili alla luce visibile e non a quella infrarossa. Come ci riescono? In ultima analisi, la risposta viene dalla meccanica quantistica.

La meccanica quantistica non è magia. È la visione della realtà piú profonda e piú completa che conosciamo. Per quanto ne sappiamo attualmente, non è solo un'approssimazione della verità: è la verità. Questo discorso potrà cambiare di fronte a risultati sperimentali inaspettati, ma finora non abbiamo nulla che ci faccia pensare a sorprese simili. Lo sviluppo della meccanica quantistica a opera di nomi come Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger e Dirac ci ha lasciato nel 1927 con una teoria matura che è sicuramente uno dei piú grandi successi intellettuali della storia umana. Abbiamo tutti i motivi per esserne orgogliosi.

D'altro canto, per dirla con le memorabili parole di Richard Feynman: «Credo di poter dire con sicurezza che nessuno ancora comprende la meccanica quantistica»¹. *Usiamo* la meccanica quantistica per progettare nuove tecnologie e prevedere i risultati degli esperimenti, ma i fisici onesti ammettono che non *capiamo* veramente la meccanica quantistica. Abbiamo una ricetta che sappiamo bene come applicare in determinate situazioni specifiche, e che ci fornisce previsioni precisissime, confermate trionfalmente dai dati. Ma se vogliamo scavare piú a fondo e chiederci che cosa stia succedendo davvero, la risposta è che non lo sappiamo. I fisici tendono a trattare la meccanica quantistica come un robot senza cervello su cui fanno affidamento per svolgere determinati compiti, non come un amato membro della famiglia a cui tengono a livello personale.

Questo atteggiamento dei professionisti passa anche nel modo in cui la meccanica quantistica viene presentata al pubblico. Quello che ci piacerebbe è offrire un'immagine compiuta della natura, ma non lo sappiamo fare, dal momento che i fisici non sono d'accordo su che cosa dica davvero la meccanica quantistica. Le esposizioni divulgative tendono invece a sottolineare quanto la meccanica quantistica sia misteriosa, sconcertante, impossibile da capire. Questo messaggio va contro i principî alla base della scienza stessa, tra cui l'idea che il mondo sia fondamentalmente intelligibile. Abbiamo una specie di blocco mentale quando si parla di meccanica

¹ Richard P. Feynman, *La legge fisica*, trad. di Luca Radicati di Brozolo, Bollati Boringhieri, Torino 1971, p. 146.

quantistica e abbiamo bisogno di un po' di terapia quantistica che ci aiuti a superarlo.

Quando insegniamo la meccanica quantistica agli studenti, presentiamo loro un elenco di regole. Alcune sono di tipo familiare: c'è una descrizione matematica dei sistemi quantistici, piú una spiegazione di come questi si evolvono nel tempo. Poi, però, c'è un mucchio di regole aggiuntive che non hanno analoghi in nessun'altra teoria fisica. Queste regole extra ci dicono che cosa succede quando *osserviamo* un sistema quantistico e che il comportamento è completamente diverso da come si comporta il sistema quando non lo osserviamo. Che succede?

Ci sono sostanzialmente due possibilità. Una è che la storia che raccontiamo ai nostri studenti sia del tutto incompleta e che, affinché la meccanica quantistica possa dirsi una teoria vera e propria, sia necessario capire che cos'è una «misura» o un'«osservazione» e che cos'ha di speciale rispetto a quello che fa per il resto il sistema. L'altra opzione è che la meccanica quantistica rappresenti una rottura netta rispetto al modo in cui abbiamo sempre pensato alla fisica: che ci faccia passare da una visione in cui il mondo esiste in modo oggettivo e indipendente da come lo percepiamo, a una in cui l'atto dell'osservazione è in qualche modo fondamentale per la natura della realtà.

In entrambi i casi, i libri di testo farebbero bene ad affrontare queste possibilità e ad ammettere che, malgrado la meccanica quantistica funzioni benissimo, non possiamo affermare di aver finito di svilupparla. E invece no: i testi, per la maggior parte, passano questo problema sotto silenzio e scelgono di rimanere nell'ambito piú tranquillo per i fisici: quello in cui si scrivono equazioni e si sfidano gli studenti a risolverle.

È una cosa imbarazzante; e non è tutto.

Potreste pensare, data la situazione, che l'impresa di comprendere la meccanica quantistica sia l'obiettivo piú importante dell'intera fisica. Che fondi di milioni di dollari siano dati a chi fa ricerca, che le menti piú brillanti si dedichino a questo problema e che le idee piú rilevanti vengano ricompensate con premi e prestigio. Che le università facciano a gara per assumere i nomi di maggior spicco, offrendo stipendi da rockstar per rubarli agli atenei rivali.

Purtroppo non è cosí. Non solo cercare un senso nella meccani-

ca quantistica non è considerato una specialità di alto livello nella fisica contemporanea, ma in molti ambiti è considerato a malapena rispettabile, se non attivamente mal visto. Nella maggior parte dei dipartimenti di Fisica non c'è nessuno che si occupi del problema e chi decide di farlo è guardato con sospetto. (Di recente, mentre redigevo una richiesta di fondi per un progetto, mi è stato consigliato di concentrarmi sulla descrizione del mio lavoro sulla gravità e sulla cosmologia, che è giudicato legittimo, e di soprassedere sulle mie ricerche sui fondamenti della meccanica quantistica, perché mi avrebbero fatto apparire meno serio). Ci sono stati notevoli passi avanti negli ultimi novant'anni, ma in genere sono dovuti a individui testardi che ritenevano importanti questi problemi nonostante l'opinione avversa dei colleghi, oppure a giovani studenti sprovveduti che poi si sono occupati di tutt'altro.

In una delle favole di Esopo, una volpe vede un succoso grappolo d'uva e balza per raggiungerlo, ma non riesce ad arrivare all'altezza necessaria. Frustrata, afferma che probabilmente l'uva era acerba e che comunque non ne aveva realmente voglia. La volpe rappresenta i fisici e l'uva è la comprensione della meccanica quantistica. Molti ricercatori hanno deciso che capire come funziona davvero la natura non è mai stato veramente importante; tutto ciò che conta è la capacità di formulare previsioni in casi specifici.

Gli scienziati studiano per imparare ad apprezzare i risultati tangibili, che siano entusiasmanti risultati sperimentali o modelli teorici quantitativi. L'idea di lavorare per comprendere una teoria che già possediamo, senza che ciò porti a nuove tecnologie o previsioni specifiche, non è in genere tenuta in grande considerazione. Questa tensione di fondo è ben rappresentata nella serie televisiva *The Wire*, in cui un gruppo di investigatori scrupolosi indaga per mesi nell'intento di raccogliere le prove che incrimineranno una potente banda di trafficanti di droga. I loro capi, invece, non hanno la pazienza di aspettare queste lente frivolezze. Vogliono solo vedere mucchi di droga da mostrare nella prossima conferenza stampa e incoraggiano la polizia a usare metodi energici e a compiere arresti clamorosi. Gli enti che erogano finanziamenti e le commissioni che decidono le assunzioni sono come questi capi. In un mondo in cui tutti gli incentivi ci spingono verso risultati concreti e quantificabili, l'attenzione per aspetti più generali ma considerati meno pressanti si può mettere da parte, mentre procediamo verso il prossimo obiettivo immediato.

Questo libro ha tre messaggi principali. Il primo è che la meccanica quantistica dev'essere comprensibile; non ci siamo ancora, ma arrivare a questo livello dovrebbe essere un obiettivo prioritario della scienza contemporanea. La meccanica quantistica è l'unica tra le teorie fisiche a tracciare un'apparente distinzione tra *ciò che vediamo* e *ciò che succede veramente*. Questo pone una sfida insolita alle menti degli scienziati (e di tutti gli altri), che sono abituati a considerare senza problemi ciò che vediamo come «reale» e che lavorano per spiegare le cose di conseguenza. Ma questa sfida non è insormontabile, e se liberiamo la mente da certi modi di pensare intuitivi vecchio stile, scopriamo che la meccanica quantistica non è irrimediabilmente mistica o inspiegabile. È solo fisica.

Il secondo messaggio è che abbiamo già fatto grandi passi avanti in questa direzione. Mi concentrerò sull'approccio che ritengo di gran lunga la via più promettente, la formulazione di Everett o dei molti mondi della meccanica quantistica. I molti mondi sono stati accolti con entusiasmo da un gran numero di fisici, ma hanno una fama dubbia presso chi ritiene sgradevole una proliferazione di altre realtà che contengono copie di se stessi. Se siete una di queste persone, voglio almeno convincervi che i molti mondi sono il modo più *puro* di dare un senso alla meccanica quantistica: sono il punto a cui arriviamo se seguiamo semplicemente il percorso di minor resistenza nel prendere sul serio i fenomeni quantistici. In particolare, i mondi multipli sono previsioni del formalismo che è già in atto, non una cosa aggiunta a mano. I molti mondi non sono però l'unico approccio rispettabile e, infatti, menzionerò alcuni dei suoi principali concorrenti. (Cercherò di essere corretto, anche se non necessariamente imparziale). L'importante è che i vari approcci siano tutte teorie scientifiche ben costruite, con diverse possibili conseguenze sperimentali, e non solo «interpretazioni» bizantine di cui discutere al momento del cognac e dei sigari dopo aver finito il vero lavoro.

Il terzo messaggio è che tutto ciò è importante, e non solo per l'integrità della scienza. Il successo dell'attuale quadro della meccanica quantistica, adeguato ma non perfettamente coerente, non deve farci dimenticare che ci sono circostanze in cui questo approccio semplicemente non è all'altezza del compito. In particolare, quando cerchiamo di comprendere la natura dello spaziotempo, e l'origine e il destino finale dell'intero universo, le basi della meccanica quantistica sono assolutamente cruciali. Presenterò alcune

proposte nuove, entusiasmanti e senza dubbio congetturali che istituiscono collegamenti provocatori tra l'entanglement quantistico e il modo in cui lo spaziotempo si curva e deforma: il fenomeno che in genere chiamiamo «gravità». Da ormai molti anni la ricerca di una teoria quantistica della gravità che sia completa e convincente è riconosciuta come obiettivo scientifico importante (prestigio, premi, rubare ricercatori alle altre università e così via). Il segreto forse è che non dobbiamo iniziare con la gravità e «quantizzarla», ma scavare a fondo nella meccanica quantistica e scoprire che vi si nasconde da sempre la gravità.

Non lo sappiamo per certo. È l'entusiasmo e l'incertezza della ricerca piú avanzata. Ma è giunto il momento di prendere sul serio la natura fondamentale della realtà, e ciò significa confrontarsi faccia a faccia con la meccanica quantistica.