

L'Universo secondo la meccanica quantistica

Giuseppe Mussardo

Ci sono rivoluzioni che nascono da un lampo d'ingegno, e altre che maturano lentamente, scavando nelle certezze più profonde del pensiero umano. La meccanica quantistica appartiene a entrambe le categorie. È nata come un'eresia, una ribellione contro l'idea che l'Universo potesse essere descritto con la stessa chiarezza con cui un orologiaio regola gli ingranaggi del suo meccanismo. Eppure, un secolo dopo, è diventata la più solida e precisa delle teorie fisiche, il fondamento su cui si regge la nostra comprensione del mondo microscopico. Ma anche la più misteriosa.

Nessun'altra teoria ha saputo unire, come la meccanica quantistica, la potenza del calcolo alla vertigine del pensiero. Essa ci obbliga a riconoscere che la realtà, quando la si osserva da vicino, non è un mosaico di oggetti ben definiti, bensì un tessuto di possibilità, un intreccio di probabilità che solo l'atto della misura fa collassare in un evento concreto. In questo senso, la meccanica quantistica non descrive soltanto la materia: descrive anche i limiti della nostra conoscenza. È un'epistemologia incastonata nella fisica.

Nell'Anno Internazionale delle Scienze e delle Tecnologie Quantistiche, questo numero speciale di *Sapere* nasce dal desiderio di raccontare questa doppia natura, fisica e filosofica, che rende la teoria quantistica un'avventura intellettuale senza pari. Dalle sue origini, quando Planck introdusse il quanto d'azione quasi con rilut-

tanza, fino alle sfide di oggi, in cui la computazione quantistica promette di trasformare radicalmente la tecnologia e la società, si dipana un percorso che intreccia scienza, storia e cultura.

Lungo questo itinerario, il lettore incontra i grandi temi che hanno alimentato il pensiero quantistico: la sovrapposizione degli stati, l'entanglement, la decoerenza, ma anche la meraviglia e lo sconcerto di chi – come Einstein o Schrödinger – percepiva nella nuova fisica il segno di un abisso filosofico.

La meccanica quantistica è una teoria che parla il linguaggio della probabilità, ma non per questo rinuncia alla precisione. Anzi, proprio nel suo carattere probabilistico si cela una nuova forma di determinismo: quello delle leggi statistiche, che reggono l'infinitamente piccolo con la stessa fermezza con cui la gravità governa i pianeti. La natura, sembra dirci la teoria, non è fatta di certezze, ma di coerenze. E proprio questa coerenza nascosta consente oggi di progettare tecnologie che un tempo avremmo giudicato fantascientifiche: computer in cui le informazioni non sono bit ma qubit, sistemi in cui la potenza di calcolo cresce non linearmente, bensì esponenzialmente, grazie all'intreccio invisibile degli stati quantistici.

Dietro queste conquiste, tuttavia, si cela una lezione più profonda. La fisica quantistica ci insegna che conoscere significa interagire, che ogni osservatore è parte della realtà che osserva. Ci ricorda che il confine fra soggetto e oggetto non è più netto, ma si dissolve in un dialogo continuo tra il mondo e chi lo osserva e lo misura. È una rivoluzione scientifica, però anche culturale: ha trasformato il modo in cui pensiamo il tempo, la causalità, persino il significato di "esistenza".

Non sorprende, dunque, che la teoria quantistica continui a esercitare un fascino magnetico su filo-

Nessun'altra teoria ha saputo unire, come la meccanica quantistica, la potenza del calcolo alla vertigine del pensiero.

sifica, che rende la teoria quantistica un'avventura intellettuale senza pari. Dalle sue origini, quando Planck introdusse il quanto d'azione quasi con rilut-

sofi, logici, informatici e artisti. Essa è diventata un linguaggio comune, una metafora della complessità contemporanea. Nelle sue formule – spesso impenetrabili ai profani, seppur ricche di armonia matematica – c'è l'eco di un pensiero nuovo: quello di un mondo in cui il caso non è disordine, ma possibilità, e la misura non è un atto neutro, ma un'interazione.

L'Universo quantistico è un mondo in cui le domande contano più delle risposte. Ogni esperimento svela una parte della realtà e ne nasconde un'altra; ogni osservazione è un compromesso fra la curiosità e la fragilità di chi osserva. Eppure, da questa limitazione nasce la forza della scienza: la consapevolezza che la conoscenza è sempre un processo, mai un possesso. Come scriveva Heisenberg, «ciò che osserviamo non è la natura in sé, ma la natura esposta al nostro metodo di indagine». Da questa umile quanto potente verità è scaturita una delle più straordinarie epopee intellettuali del Novecento.

Nel numero che avete tra le mani, la meccanica quantistica è narrata da molte angolazioni: sia come storia che come impresa teorica, come frontiera tecnologica, come sfida filosofica. I diversi contributi mostrano come il pensiero quantistico sia passato dalle lavagne dei fisici alle fibre ottiche, dai laboratori agli algoritmi, dai paradossi mentali ai dispositivi elettronici e ottici che già oggi iniziano a rivoluzionare la comunicazione e la crittografia. Ma ciò che più colpisce è la sua vitalità: dopo oltre un secolo, la teoria continua a crescere, a moltiplicare i suoi significati, a offrire chiavi di lettura per l'Universo e per noi stessi.

Ogni nuova generazione di scienziati riscopre la meccanica quantistica come si riscopre un grande classico: la si studia per comprenderla, ma la si ama per ciò che ancora non si capisce. E proprio in questa tensione fra sapere e mistero risiede la sua forza scientifica e culturale. Essa ci invita a guardare il mondo non come un insieme di cose, ma come una sinfonia di possibilità che l'atto dell'osservare trasforma in realtà. La meccanica quantistica, in fondo, è la fisica dell'incontro: tra onde e particelle, tra probabilità e realtà, tra conoscenza e sorpresa.

Oggi, mentre le tecnologie quantistiche si affacciano sulla soglia dell'uso quotidiano, forse la lezione più profonda che ci lascia questa teoria è un invito alla misura: non quella degli strumenti, bensì quella dell'intelletto e della responsabilità. La stessa misura che distingue la curiosità dall'arroganza, la sco-



perta dalla manipolazione. Comprendere il mondo quantistico significa accettare che il controllo totale è un'illusione, ma anche che ogni particella, ogni scelta, ogni osservazione contribuisce al grande equilibrio dell'Universo.

Nel suo cuore più profondo, la meccanica quantistica è un atto di fiducia: nella ragione, nella matematica, nella meraviglia. È la dimostrazione che anche nei territori dell'incertezza la mente umana sa tracciare una mappa, e che dietro il caso si nasconde un ordine più sottile, un ordine che non si impone, ma si rivela a chi ha la pazienza di interrogarlo.

Questo numero speciale di *Sapere*, che ho avuto il piacere di curare, vuol essere un omaggio a quella straordinaria avventura dello spirito: un viaggio nel regno del quanto, dove la conoscenza si fa esperienza e la realtà, come un'onda che si propaga nello spazio e nel tempo, continua a sorprenderci.

La meccanica quantistica, in fondo, è la fisica dell'incontro: tra onde e particelle, tra probabilità e realtà, tra conoscenza e sorpresa.

Giuseppe Mussardo è professore ordinario di Fisica Teorica alla Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) di Trieste.