

## PREFAZIONE

I dibattiti intorno al concetto di atomo hanno attraversato l'intera storia del pensiero scientifico e filosofico. La domanda fondamentale che è stata discussa in epoche diverse, con atteggiamenti diversi, può essere così riassunta: il mondo che chiamiamo «materiale» è divisibile, all'infinito, in parti sempre più piccole o è invece costituito da combinazioni di *oggetti ultimi*, che sono indivisibili, e che i filosofi greci chiamarono appunto «atomi»?

In realtà, questa domanda sorge non solo a proposito del mondo fisico, ma anche nella matematica. Pensiamo, per esempio, ad una retta. Come dobbiamo concepire questo fondamentale ente geometrico? Come un oggetto ideale, che è potenzialmente suddivisibile all'infinito, o invece come un insieme di elementi indivisibili, rappresentati dai punti? Su questa questione si sono scontrate concezioni diverse dell'infinito, che hanno dovuto fare i conti anche con alcuni intriganti paradossi logici. I più antichi sono i celebri paradossi di Zenone di Elea, che hanno rappresentato un rompicapo in tutta la storia della matematica e sono ancora oggi oggetto di discussioni importanti. Secondo Zenone, è impossibile per il piè veloce Achille raggiungere una tartaruga. Infatti, per percorrere la distanza che lo separa dalla tartaruga, Achille dovrebbe prima percorrere la metà di quella distanza, e prima ancora la metà di quella metà, e così via all'infinito. Non ci sarebbe dunque il tempo necessario per raggiungere la tartaruga. Molti secoli dopo, i paradossi dell'infinito turbarono anche il pensiero di Galileo. Il suo ragionamento intorno alle «stranezze» dell'infinità dei numeri naturali (1, 2, 3, ...) può essere così riassunto: ad ogni numero naturale è possibile associare in modo biunivoco il suo doppio (che è un numero pari). Dunque, sembra giusto concludere che *i numeri naturali sono tanti quanti i numeri pari*. Nello stesso tempo si deve ammettere

che *i numeri naturali sono di più dei numeri pari*, perché esistono infiniti numeri dispari. Questo sembra dar luogo ad una contraddizione che Galileo non riuscì a risolvere.

Una soluzione rigorosa per le *antinomie dell'infinito* fu trovata solo nella seconda metà del Novecento, nel contesto della *teoria degli insiemi*, creata dal matematico Georg Cantor. L'idea «rivoluzionaria» di Cantor è stata quella di proporre come definizione di *infinito* proprio quelle proprietà che erano apparse contraddittorie: diversamente dagli insiemi finiti, *gli insiemi infiniti sono quegli insiemi che possono essere messi in corrispondenza biunivoca con una loro parte propria*. Su questa base Cantor elaborò una nuova teoria dei *numeri transfiniti*, che permetteva di spiegare le «stranezze» dell'infinito, messe in luce da Zenone e da Galileo. In realtà, anche la teoria originaria di Cantor non era immune da contraddizioni, che furono scoperte e poi corrette da Bertrand Russell all'inizio del Novecento. Oggi abbiamo a disposizione una varietà di teorie assiomatiche degli insiemi che costituiscono un buon *fondamento* per le più importanti teorie matematiche conosciute, che hanno un ruolo importante anche nel linguaggio della fisica. Le teorie degli insiemi di ispirazione cantoriana sono caratterizzate da una concezione *attuale* dell'infinito, che potremmo chiamare «atomistica». Il *continuo geometrico* viene rappresentato come un insieme di elementi indivisibili che coesistono: i *punti*, a cui corrispondono i *numeri reali*. Nelle discussioni moderne sui fondamenti della matematica è stata proposta anche una visione alternativa (difesa, per esempio dai matematici *intuizionisti*) secondo cui il *continuo* deve essere rappresentato come un *oggetto ideale olistico*, che è suddivisibile all'infinito solo potenzialmente.

*L'atomo: una storia millenaria* di Salvatore Califano e Vincenzo Schettino è un libro molto bello, che ricostruisce una storia affascinante di idee e di teorie, dove i dibattiti filosofici si sono intrecciati con ipotesi e scoperte scientifiche. In questo viaggio, che è insieme storico e teorico, il lettore incontra molte tappe importanti: dalle concezioni atomistiche e da quelle anti-atomistiche proposte dai filosofi greci, alla rinascita dell'atomismo realizzata dalla rivoluzione scientifica galileiana e dagli sviluppi della chimica moderna, fino alle più recenti conquiste della fisica contemporanea. Si tratta di problemi complessi che gli Autori sono riusciti ad illustrare con un linguaggio intuitivo, con l'aiuto anche di alcune bellissime immagini. Accanto alle scoperte e alle discussioni scientifiche e filosofiche, il libro racconta anche episodi delle vicende umane di alcuni grandi protagonisti. Sono

molto interessanti, per esempio, le pagine dedicate alle figure affascinanti di Marie e Pierre Curie, che hanno vissuto una collaborazione scientifica straordinaria ed anche una grande storia d'amore, interrotta bruscamente da un assurdo incidente stradale che provocò la morte prematura di Pierre.

Come sono mutate nella fisica del Novecento le idee tradizionali intorno al concetto di atomo? L'ultimo capitolo del libro è dedicato alla meccanica quantistica, la teoria che ha determinato un'importante «rivoluzione» concettuale sia dal punto di vista scientifico sia dal punto di vista filosofico. Una delle idee più innovative della teoria quantistica, inizialmente apparsa «strana e misteriosa», è la scoperta della *dualità onda-corpuscolo*. Scrivono i nostri Autori:

Le ipotesi di Planck e di Einstein introdussero un concetto fondamentalmente nuovo nella fisica e cioè che la radiazione elettromagnetica ha una duplice natura di onda e di corpuscolo. L'aspetto rivoluzionario di questo sta nel fatto che questa duplice natura si manifesta alternativamente a seconda dell'esperimento che si esegue. Negli esperimenti di diffrazione e di interferenza la radiazione si comporta come un'onda .... Negli esperimenti del corpo nero e dell'effetto fotoelettrico, invece, l'interpretazione deve essere fatta in termini di una costituzione corpuscolare. Questo fatto comporta una nuova profonda riflessione sulla natura stessa della nostra conoscenza del mondo che ci circonda. Dobbiamo infatti porci la domanda se il mondo materiale che noi studiamo abbia una sua struttura ed evoluzione di cui lo scienziato è semplice osservatore ed interprete o se lo sperimentatore, decidendo l'esperimento da eseguire, costringe la natura a comportarsi in un modo o in un altro. Lo sperimentatore, quindi, non è un semplice osservatore ma un protagonista.

Il principio che ha sancito nel modo più chiaro il ruolo di protagonista dell'osservatore nel mondo dei quanti è il *principio di indeterminazione* scoperto da Werner Heisenberg nel 1927. Come spiegano i nostri Autori, il punto di partenza di Heisenberg era che in un esperimento ideale per osservare sia la posizione sia la velocità di un elettrone bisognava illuminarlo con una radiazione di lunghezza inferiore al suo raggio ed osservare la luce diffusa con un adatto microscopio. I fotoni colpendo l'elettrone lo fanno spostare dalla sua posizione e gli fanno cambiare velocità. Con quanta più precisione cerchiamo di misurare la posizione dell'elettrone tanto più altereremo la sua velocità, e viceversa. Il principio di indeterminazione stabilisce che il prodotto degli

*errori* su posizione e velocità non può essere inferiore a un certo limite. Si potrebbe pensare che l'incertezza messa in luce dal principio di Heisenberg sia dovuta ai limiti delle capacità umane nelle osservazioni e nelle misurazioni eseguite. Ma, in realtà, non è così. Si tratta di una indeterminazione *oggettiva*, e non puramente *epistemica*, che vale anche per una ipotetica «mente onnisciente». Secondo il formalismo matematico della teoria quantistica può accadere che un fisico-osservatore abbia intorno all'oggetto che sta studiando (per esempio un elettrone) un *massimo di informazione*, ossia un'informazione che non può essere estesa in modo coerente ad una conoscenza più ricca. In questo caso si usa dire che il nostro fisico ha associato all'oggetto studiato uno *stato puro*. Ma, proprio in virtù del principio di indeterminazione, questo stato puro non può *decidere* tutte le proprietà rilevanti dell'oggetto descritto: molte proprietà importanti restano indeterminate e viene assegnato ad esse soltanto un valore di probabilità. Inoltre, l'insieme delle *proprietà indeterminate* non è stabilito in assoluto, ma dipende dal contesto sperimentale: una proprietà che era *indeterminata* può diventare *determinata* per effetto di una misura. Tutto questo ha creato naturalmente una «rivoluzione» in campo logico, mettendo in crisi il classico principio del *terzo escluso*, secondo cui ogni proposizione deve essere *vera* oppure *falsa* (*tertium non datur!*). La meccanica quantistica ha ispirato così la creazione di nuove teorie logiche che sono state chiamate «quantistiche».

Nel loro libro Califano e Schettino hanno raccontato anche i dubbi e le perplessità dei padri fondatori della meccanica quantistica sulle «stranezze e gli enigmi» della nuova teoria che stavano via via elaborando. Discutevano animatamente fra loro e spesso erano in disaccordo sia dal punto di vista tecnico sia dal punto di vista filosofico. I dibattiti più celebri sono quelli che hanno coinvolto due importanti protagonisti: Niels Bohr e Albert Einstein. Erano due grandi amici che lavoravano vicini presso l'*Institute for Advanced Study* di Princeton, ma sulla meccanica quantistica avevano posizioni antitetiche. Einstein riteneva che la meccanica quantistica fosse una teoria statisticamente corretta, ma *incompleta* e destinata ad essere superata da una nuova teoria deterministica «dove Dio non gioca a dadi».

Ai nostri giorni l'atteggiamento di molti fisici è cambiato profondamente. Di solito, le stranezze e gli enigmi della meccanica quantistica non fanno più paura, anche perché si sono moltiplicate le conferme sperimentali della teoria, contraddicendo eventuali ipotesi alternative. Nello stesso tempo, una linea di pensiero interessante, che si sta dif-

fondendo, ha messo in luce l'*universalità* del formalismo quantistico, che può essere applicato con successo a campi diversi (anche lontani dalla microfisica), dove fenomeni semantici di *ambiguità*, *contestualità* ed *olismo* hanno un ruolo importante. Tutto questo può creare un ponte significativo fra ricerche scientifiche e discipline umanistiche.

*Maria Luisa Dalla Chiara*