

Introduzione

La differenza che è tra gli uomini e gli altri animali, per grandissima che ella sia, chi dicesse poter darsi poco dissimile tra gli stessi uomini, forse non parlerebbe fuor di ragione [...]. Tal differenza dipende dalle abilità diverse degli intelletti, il che io riduco all'esser o non esser filosofo: poiché la filosofia, come alimento proprio di quelli, chi può nutrirsene, il separa affatto dal comun esser del volgo, in più e men degno grado, come che sia vario tal nutrimento. Chi mira più in alto, si differenzia più altamente; e il volgersi al gran libro della natura, che è il proprio oggetto della filosofia, è il modo per alzar gli occhi.

G. Galilei ¹

A partire da quella fase storica che viene tradizionalmente indicata con il nome di “Rivoluzione Scientifica” e che è racchiusa tra la pubblicazione del *De Revolutionibus* di Copernico (1543) e la pubblicazione dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Newton (1687), la storia dei rapporti tra fisica e filosofia può essere caratterizzata come una progressiva conquista di autonomia della prima nei confronti della seconda. La tradizione della “filosofia naturale” cui fa esplicito riferimento il titolo dell’opera di Newton – vale a dire quell’unità organica di fisica e filosofia che si protrasse fino a tutto il Settecento – ha infatti progressivamente lasciato il campo allo sviluppo di due discipline distinte e metodologicamente sempre più lontane, a causa del carattere via via più marcatamente matematico dell’indagine fisica.

Questa divaricazione disciplinare non deve tuttavia farci dimenticare che fisica e filosofia intrattengono ancora oggi, non meno che all’epoca di Galilei, Cartesio e Newton, relazioni profonde e complesse. La ripresa di studi sui fondamenti e sulla filosofia della fisica, a partire soprattutto dalla seconda metà del Novecento, ha dato ulteriore impulso a tale interazione, grazie all’opera di numerosi studiosi con una formazione “mista”, in grado di rinnovare la tradizione della *philosophia naturalis* tipica dell’epoca moderna.

Le pagine che seguono intendono richiamarsi proprio a tale tradizione, sottolineando in primo luogo le importanti implicazioni e conseguenze filosofiche delle teorie fisiche contemporanee. Tuttavia, sia-

mo convinti che per esplicitare in modo completo il rapporto tra fisica e filosofia questo non basti, visto che tale rapporto andrebbe visto in modo duplice. Da una parte, le due teorie della relatività, la meccanica statistica e la meccanica quantistica hanno indubbiamente modificato in modo profondo il nostro modo di concepire spazio, tempo, materia e causalità, nonché il rapporto tra universo fisico e osservatore, nozioni che sono state al centro della discussione filosofica dal mondo greco fino ai nostri giorni. D'altra parte – come è avvenuto per esempio esattamente cento anni fa per la nozione di simultaneità a distanza nel caso della teoria della relatività speciale – sono stati gli stessi fisici a interrogarsi sul significato di concetti fisici fondamentali, impegnandosi in prima persona in analisi filosofiche. Si tratta dunque non soltanto di capire come la filosofia dovrebbe confrontare le proprie teorie con i risultati della scienza che è a fondamento del nostro studio della natura (la fisica, appunto), ma anche di provare a rendere esplicite le presupposizioni filosofiche che sono comunque presenti nell'interpretazione che i fisici danno del formalismo matematico. Tale interpretazione è il tentativo di comprendere come possa essere fatto il mondo nell'ipotesi che le nostre teorie siano – almeno approssimativamente – vere.

Il metodo che abbiamo utilizzato in questo volume presuppone quindi che la relazione tra fisica e filosofia sia *bidirezionale*: da una parte le teorie fisiche più consolidate possono essere utilizzate per “saggiare” teorie filosofiche tradizionalmente rivali sulla natura dello spazio, del tempo, della materia e della causalità. Dall'altra, il rigore concettuale della migliore tradizione filosofica viene impiegato per *interpretare* le teorie fisiche; si tratta in questo caso di un compito filosofico, almeno se “interpretare” significa “cercare di comprendere che cosa ci dicano le teorie fisiche intorno al mondo”.

Non c'è bisogno di aggiungere che in tale compito, pur eminentemente filosofico, sono stati coinvolti e sono tuttora coinvolti anche i fisici (si pensi al problema dell'esistenza degli atomi, che vide protagonista Boltzmann, uno dei personaggi principali della nostra trattazione).

In una parola “interpretare il formalismo” significa per noi connetterlo, almeno parzialmente, a elementi di realtà sempre più profondi che riteniamo esistere indipendentemente da esseri coscienti. Il nostro punto di partenza è quindi decisamente realistico: per noi, le formule matematiche di cui la fisica si avvale dai tempi di Galilei non servono solo a predire il corso futuro degli eventi, o a costruire congegni tecnologici sempre più sofisticati, ma anche e soprattutto a

spiegare il mondo, uno scopo che costituisce l'obiettivo ultimo e più nobile della scienza.

Richiamandosi all'endiadi resa famosa da un'opera di Ernst Mach ², il taglio del nostro volume è sicuramente più "critico" che "storico", e le parti di esso dedicate alla disputa classica tra Leibniz e Newton sulla natura dello spazio e del tempo, nonché all'interpretazione di Boltzmann della meccanica statistica, non vogliono tanto essere ricognizioni filologiche sulle concezioni settecentesche od ottocentesche in materia, ma sono discusse con l'intento di chiarire problemi concettuali tuttora attuali.

Nel tentativo di rendere esplicite le profonde implicazioni concettuali e le opzioni filosofiche nascoste nelle pieghe delle due grandi rivoluzioni nella fisica del Novecento (relatività e quanti, precedute da quella che è stata chiamata "seconda rivoluzione scientifica", coincidente con l'avvento della spiegazione meccanica dei fenomeni termici), questo volume non presuppone una formazione scientifica sofisticata ³, e si rivolge idealmente a fisici e filosofi curiosi l'uno del campo dell'altro.

L'opera è suddivisa in quattro capitoli, in un modo che rispecchia parzialmente le nostre diverse competenze, anche se ogni pagina del volume è frutto di lunghe e vivaci conversazioni tra di noi.

Nel primo capitolo del libro, *La filosofia dello spazio e del tempo*, scritto da Mauro Dorato, saranno presentate e discusse questioni inerenti i fondamenti concettuali delle teorie relativistiche: lo spazio e il tempo ⁴, come pensava già Newton, sono sostanze dotate di una realtà indipendente da quella degli oggetti e degli eventi che lo abitano? O, come sosteneva Leibniz, essi hanno piuttosto una natura relazionale, tale cioè da esaurirsi nelle relazioni tra i fenomeni fisici, ragione per cui, tolti questi ultimi, non esisterebbero nemmeno spazio e tempo? Che cosa significa esattamente affermare che lo spaziotempo è curvo? Fino a che punto è possibile utilizzare la teoria della relatività per sostenere che la differenza tra passato, presente e futuro è, come scrisse Einstein in una lettera indirizzata alla famiglia di Michele Besso, solo una ostinata illusione?

Nel secondo capitolo del volume, che riguarda la meccanica statistica (*I fondamenti concettuali dell'approccio statistico in fisica*) Nino Zanghì chiarisce quale sia il significato della nozione di probabilità nella descrizione di un sistema fisico che, come un gas, è composto da moltissime particelle. La possibilità di ridurre le leggi macroscopiche della termodinamica tramite leggi meccaniche che coinvolgono il

comportamento di queste particelle costituì un trionfo nella spiegazione meccanica dell'universo, ma sollevò anche molti interrogativi sulla (e famose obiezioni alla) reversibilità temporale; interrogativi e obiezioni che vengono discussi da Zanghì attraverso l'importantissima nozione di "tipicità". Il problema, noto anche al di fuori della cerchia degli specialisti come "il problema della freccia del tempo", è legato alla possibilità di definire una direzionalità dei processi fisici nei termini di qualche grandezza che cresce in modo irreversibile. Più esattamente, esso rimanda a un conflitto, sulla cui soluzione non c'è accordo unanime, tra la natura temporalmente simmetrica delle leggi fisiche fondamentali e il carattere *de facto* irreversibile dei processi fisici stessi.

La nozione di tipicità giocherà poi un ruolo essenziale anche nel terzo capitolo, che verte sulla filosofia e sui fondamenti della teoria della meccanica quantistica, una teoria che si può ragionevolmente considerare come la più rivoluzionaria di ogni tempo. In questo capitolo (*Un viaggio nel mondo quantistico*), scritto da Valia Allori e Nino Zanghì, si parte dalla constatazione indubitabile che dal punto di vista delle predizioni, delle applicazioni e dell'unificazione di un'enorme quantità di dati in molti campi della fisica, la meccanica quantistica ha avuto e ha tuttora uno straordinario e ineguagliato successo. Tuttavia, essa ha prodotto sin dal suo nascere un acceso dibattito interpretativo – risorto da alcuni decenni grazie a notevolissimi risultati sperimentali – su molte questioni, alcune delle quali saranno qui presentate e discusse. Per esempio: la meccanica quantistica nella sua forma "standard", il che significa, come viene attualmente insegnata, è una teoria precisa e completa? Qual è il significato di nozioni come quelle di *stato* o di *proprietà*, che in una prospettiva classica sono del tutto non-problematiche? Quali sono le implicazioni delle correlazioni non-locali manifestate dalla meccanica quantistica e oramai sperimentalmente verificate? Presentando formulazioni della meccanica quantistica alternative a quella standard, ovvero la meccanica bohmianna e le teorie di riduzione dinamica proposte da Ghirardi, Rimini e Weber, Valia Allori e Nino Zanghì insistono sull'importanza di chiarire in modo preciso quali siano le implicazioni ontologiche della meccanica quantistica, al di là delle sue capacità predittive, e mettono in luce la necessità di collegare tali implicazioni con la nostra percezione del mondo.

Il quarto capitolo, scritto da Federico Laudisa, si intitola significativamente *La causalità in fisica* e indaga nei rapporti che questa complessa nozione intrattiene sia con il determinismo che con la probabilità. In particolare, la questione sollevata in questo capitolo è se la

fisica del Novecento, e in particolare proprio la teoria della relatività e la meccanica quantistica, ci autorizzi a pensare che il legame causale tra eventi sia di natura oggettiva, oppure sia, come avevano sostenuto Hume e Kant, solo una categoria della nostra mente, per quanto indispensabile nella spiegazione fisica del mondo.

Se dovessimo riassumere in una sola frase la convinzione più profonda che ha animato i nostri sforzi, non potremmo far di meglio che citare una lettera di Einstein a Schrödinger, datata 1935: «la vera difficoltà sta nel fatto che la fisica è un tipo di metafisica; la fisica descrive “la realtà”. Ma noi non sappiamo cosa sia “la realtà”, se non attraverso la descrizione fisica che ne diamo di essa».

VALIA ALLORI, MAURO DORATO,
FEDERICO LAUDISA, NINO ZANGHÌ

Ringraziamenti

Valia Allori vuole ringraziare gli altri autori e soprattutto Nino Zanghì per i suoi insegnamenti, la sua pazienza, il suo supporto e la sua amicizia. È inoltre debitrice anche nei confronti di Sheldon Goldstein e di Detlef Dürr, con cui ha avuto il piacere e la fortuna di lavorare. Ringrazia anche Davide Casale e i propri genitori per averla sempre incoraggiata e supportata in qualunque cosa stesse facendo.

Oltre che gli altri tre autori e amici, Mauro Dorato ringrazia i tre teorici della relatività Silvio Bergia, Luca Lusanna e Massimo Pauri, per aver letto attentamente e commentato delle versioni precedenti del testo da lui scritto. La comunanza di interessi intellettuali, e lunghe discussioni con tutti questi colleghi, nonché la collaborazione con Massimo Pauri, hanno lasciato sicuramente traccia in quel che leggerete. Anche se senza i loro preziosi consigli il saggio sarebbe stato certamente peggiore, Mauro Dorato rimane l'unico responsabile per eventuali errori rimasti.

Federico Laudisa ringrazia soprattutto gli altri tre autori e amici per le lunghe e preziose discussioni sui temi del volume (e non solo), e Tim Maudlin per l'influenza e lo stimolo intellettuale generati dalla lucidità della sua riflessione filosofica sui fondamenti della fisica.

Nino Zanghì vuole esprimere un riconoscimento profondo e sincero a due carissimi amici e colleghi con cui collabora da quasi vent'anni, Detlef Dürr e Shelly Goldstein, e a un più recente amico e collega, Roderich Tumulka. Senza il lavoro comune sui fondamenti della meccanica quantistica e senza i loro insegnamenti nulla di quello che leggerete avrebbe potuto prendere for-

ma. Ringrazia altresì i coautori Federico, Mauro e Valia, con cui ha avuto un fittissimo scambio di idee, non solo per la stesura del suo contributo a questo volume, Tim Maudlin e Gian Carlo Ghirardi per le discussioni che hanno contribuito a chiarificare alcune delle idee presentate. Per ultimi, ma non ultimi, vanno ringraziati due carissimi amici Bruno Caprile e Bobo Olivieri: discutere con loro ha sempre avuto effetti benefici per quel che riguarda la comprensione di molti aspetti della fisica, inclusi i contenuti affrontati nel presente libro (la prima discussione con Bobo sul significato microscopico della II legge della termodinamica risale al lontano 1977).

Note

1. *Dialogo sopra i massimi sistemi*, Einaudi, Torino 1970, pp-3-4.
2. Ci riferiamo al saggio di Ernst Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Boringhieri, Torino 1977, originariamente comparso in tedesco nel 1883.
3. Nella parte del libro dedicata alla filosofia dello spazio e del tempo, le parti più tecniche sono racchiuse in appositi riquadri.
4. O, più esattamente, l'unica inseparabile entità chiamata spaziotempo.