

ALBERT EINSTEIN

# Opere scelte

A CURA DI ENRICO BELLONE

Bollati Boringhieri

## Indice

<i>Introduzione</i> , di Enrico Bellone	11
<i>Avvertenza editoriale</i>	47
<i>Titoli originali e fonti</i>	51

### ALBERT EINSTEIN    OPERE SCELTE

#### PARTE PRIMA    L'ITINERARIO INTELLETTUALE

Autobiografia scientifica (1949)	61
----------------------------------	----

#### PARTE SECONDA    LA RICERCA

1. La teoria molecolare generale del calore (1904)	109
2. Un punto di vista euristico relativo alla generazione e alla trasformazione della luce (1905)	118
3. Il moto delle particelle in sospensione nei fluidi in quiete, come previsto dalla teoria cinetico-molecolare del calore (1905)	136
4. L'elettrodinamica dei corpi in movimento (1905)	148
5. L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto di energia? (1905)	178
6. La teoria della generazione e dell'assorbimento della luce (1906)	181

Eccomi qui seduto, all'età di sessantasette anni, per scrivere quello che potrebbe essere il mio necrologio. Lo faccio non solo perché il dottor Schilpp mi ha convinto a farlo, ma perché credo effettivamente che sia bene mostrare a chi opera accanto a noi come appaia retrospettivamente la nostra fatica e la nostra ricerca. Dopo averci riflettuto, capisco che qualsiasi tentativo del genere sarà sempre inadeguato. Per quanto breve e limitata possa essere la propria vita di lavoro, e per quanto grande sia la parte di essa sprecata in errori, esporre ciò che resta e merita d'essere detto è tuttavia difficile, perché l'uomo di oggi, che ha sessantasette anni, non è affatto lo stesso che ne aveva cinquanta, trenta, o venti. Ogni ricordo appare alla luce del presente, e quindi in una prospettiva ingannevole. Questa considerazione potrebbe addirittura fermarmi. Ma dalla propria esperienza si possono estrarre molte cose ancora ignote ad altre coscienze umane.

Fin da quando ero un giovane abbastanza precoce, la vanità delle speranze e degli sforzi che travolgono incessantemente la maggior parte degli uomini in una corsa affannosa attraverso la vita, mi aveva colpito profondamente. E anzi, avevo ben presto scoperto la crudeltà di questa corsa affannosa, che in quegli anni era mascherata di ipocrisia e di belle parole con cura molto maggiore di quanto non si faccia oggi. Per il solo fatto di possedere uno stomaco, tutti erano condannati a partecipare a questa corsa; ma tale partecipazione poteva forse soddisfare lo stomaco, non già l'uomo come essere pensante e dotato di sentimenti. La prima via d'uscita era offerta dalla religione, che viene inculcata in ogni

bambino attraverso la macchina educativa tradizionale. Così io – benché figlio di genitori (ebrei) completamente irreligiosi – divenni religiosissimo; ma cessai improvvisamente di esserlo all'età di dodici anni. Attraverso la lettura di libri di divulgazione scientifica mi ero convinto ben presto che molte delle storie che raccontava la Bibbia non potevano essere vere. La conseguenza fu che divenni un accesissimo sostenitore del libero pensiero, accomunando alla mia nuova fede l'impressione che i giovani fossero coscientemente ingannati dallo Stato con insegnamenti bugiardi; e fu un'impressione sconvolgente. Da questa esperienza trassi un atteggiamento di sospetto contro ogni genere di autorità, e di scetticismo verso le convinzioni particolari dei diversi ambienti sociali: e questo atteggiamento non mi ha più abbandonato, anche se poi, per una più profonda comprensione delle connessioni causali, abbia perso un po' della sua asprezza primitiva.

Ora comprendo che il paradiso religioso della giovinezza, così presto perduto, fu un primo tentativo di liberarmi dalle catene del «puramente personale», da un'esistenza dominata solo dai desideri, dalle speranze, e da sentimenti primitivi. Fuori c'era questo enorme mondo, che esiste indipendentemente da noi, esseri umani, e che ci sta di fronte come un grande, eterno enigma, accessibile solo parzialmente alla nostra osservazione e al nostro pensiero. La contemplazione di questo mondo mi attirò come una liberazione, e subito notai che molti degli uomini che avevo imparato a stimare e ad ammirare avevano trovato la propria libertà e sicurezza interiore dedicandosi ad essa. Il possesso intellettuale di questo mondo extrapersonale mi balenò alla mente, in modo più o meno consapevole, come la meta più alta fra quelle concesse all'uomo. Gli amici che non si potevano perdere erano gli uomini del presente e del passato che avevano avuto la stessa meta, con i profondi orizzonti che avevano saputo dischiudere. La strada verso questo paradiso non era così comoda e allettante come quella del paradiso religioso; ma si è dimostrata una strada sicura, e non ho mai più rimpianto di averla scelta.

Ciò che ho detto è vero solo entro certi limiti, così come un disegno composto di pochi tratti può rappresentare solo in modo

approssimato un oggetto complesso e pieno di imbarazzanti dettagli. Se un individuo ha il dono di pensare con chiarezza, può darsi benissimo che questo lato della sua natura si sviluppi maggiormente a spese di altri lati, e determini quindi sempre più la sua mentalità. In questo caso è possibile che quell'individuo, guardando dietro di sé, veda uno sviluppo uniforme e sistematico, quando invece l'esperienza reale avviene in situazioni particolari e sempre diverse. La molteplicità delle situazioni esterne, a cui corrisponde in ogni momento una coscienza inadeguata e imperfetta, porta a una sorta di atomizzazione della vita di ogni essere umano. In un uomo del mio tipo, l'elemento decisivo dello sviluppo interiore sta nel fatto che a poco a poco l'interesse predominante si distacca dalla sfera dell'immediato e del puramente personale per tendere al possesso intellettuale delle cose. Considerate da questo punto di vista, le schematiche osservazioni fatte qui sopra contengono tutta la verità che può esprimersi in così poche parole.

Che cos'è precisamente il «pensiero»? Quando, sotto lo stimolo di impressioni sensoriali, affiorano alla memoria certe immagini, questo non è ancora «pensiero». E quando queste immagini formano sequenze in cui ciascun termine ne richiama un altro, nemmeno questo è ancora «pensiero». Ma quando una certa immagine ricorre in molte di queste sequenze, allora – proprio attraverso questa iterazione – essa diventa un elemento ordinatore, poiché collega tra loro sequenze che di per sé non sarebbero collegate. Un elemento simile diventa uno strumento, un concetto. Io ritengo che il passaggio dalla libera associazione, o «sogno», al pensiero sia caratterizzato dalla funzione più o meno dominante che assume in quest'ultimo il «concetto». Non è affatto necessario che un concetto sia connesso con un segno riproducibile e riconoscibile coi sensi (una parola); ma quando ciò accade, il pensiero diventa comunicabile.

Con quale diritto – domanderà il lettore – quest'uomo si serve con tanta rudimentale sicurezza delle sue idee, in un campo tanto problematico, e senza fare nemmeno il più piccolo sforzo per dimostrarle? Ecco la mia difesa. Tutti i nostri pensieri hanno questa natura di libero gioco con i concetti; e la giustificazione

di questo gioco consiste nel maggiore o minore aiuto che esso può dare per raggiungere una visione generale dell'esperienza sensibile. Il concetto di «verità» non si può ancora applicare a questo meccanismo: secondo me questo concetto può essere preso in considerazione solo quando esiste già un accordo generale (una convenzione) sugli elementi e le regole del gioco.

Per me non c'è dubbio che il nostro pensiero proceda in massima parte senza far uso di segni (parole), e anzi assai spesso inconsapevolmente. Come può accadere, altrimenti, che noi ci «meravigliamo» di certe esperienze in modo così spontaneo? Questa «meraviglia» si manifesta quando un'esperienza entra in conflitto con un mondo di concetti già sufficientemente stabile in noi. Ogniquivolta sperimentiamo in modo aspro e intenso un simile conflitto, il nostro mondo intellettuale reagisce in modo decisivo. Lo sviluppo di questo mondo intellettuale è in un certo senso una continua fuga dalla «meraviglia».

Provai una meraviglia di questo genere all'età di quattro o cinque anni, quando mio padre mi mostrò una bussola. Il fatto che quell'ago si comportasse in quel certo modo non si accordava assolutamente con la natura dei fenomeni che potevano trovar posto nel mio mondo concettuale di allora, tutto basato sull'esperienza diretta del «toccare». Ricordo ancora – o almeno mi sembra di ricordare – che questa esperienza mi fece un'impressione durevole e profonda. Dietro alle cose doveva esserci un che di profondamente nascosto. Ciò che l'uomo vede davanti ai suoi occhi fin dall'infanzia non provoca alcuna reazione di questo genere; egli non si stupisce della caduta dei corpi, del vento e della pioggia, della luna o del fatto che la luna non cada, né della differenza fra materia vivente e non vivente.

All'età di dodici anni provai una nuova meraviglia di natura completamente diversa; e fu leggendo un libretto sulla geometria piana euclidea, capitatomi fra le mani al principio dell'anno scolastico. C'erano delle asserzioni, ad esempio quella che le tre altezze di un triangolo si intersecano in un sol punto, che – pur non essendo affatto evidenti – potevano tuttavia essere dimostrate con tanta certezza da eliminare qualsiasi dubbio. Questa lucidità

e certezza mi fecero un'indescrivibile impressione. Il fatto che l'assioma dovesse essere accettato senza dimostrazione non mi dava fastidio. Per me era sufficiente, in ogni caso, poter basare le dimostrazioni su proposizioni la cui validità non mi sembrava dubbia. Ricordo, ad esempio, che uno zio mi espose il teorema di Pitagora prima che il sacro libretto di geometria mi fosse capitato fra le mani. Con molta fatica riuscii a «dimostrare» il teorema servendomi della similitudine dei triangoli; e così facendo, mi sembrò «evidente» che il rapporto fra i lati dei triangoli rettangoli dovesse essere completamente determinato da un solo angolo acuto. Mi sembrava che ci fosse bisogno di qualche dimostrazione solo per cose che non apparissero altrettanto «evidenti». Inoltre, mi sembrava che le cose di cui tratta la geometria non fossero essenzialmente diverse da quelle che si percepiscono coi sensi, «che si possono vedere e toccare». Quest'idea rudimentale, probabilmente la stessa che sta alla base della ben nota problematica kantiana sulla possibilità dei «giudizi sintetici a priori», si fonda ovviamente sul fatto che il rapporto esistente fra i concetti geometrici e gli oggetti dell'esperienza sensibile (asta rigida, intervallo finito ecc.) mi era inconsciamente presente.

Se quindi sembrava possibile acquistare una certa conoscenza degli oggetti dell'esperienza per mezzo del puro pensiero, questa «meraviglia» nasceva da un errore. Ciò nonostante, per chiunque lo sperimenti per la prima volta, può ben dirsi meraviglioso il fatto che l'uomo sia anche soltanto capace di raggiungere un grado di certezza e di astrazione, nella speculazione pura, come quello che i greci per primi dimostrarono possibile nella geometria.

E, visto che mi sono permesso una digressione abbastanza lunga da interrompere il mio necrologio appena incominciato, non mi farò più scrupolo di enunciare ora in alcune proposizioni il mio credo epistemologico, di cui già ho accennato qualcosa incidentalmente. Certo, questo mio credo si maturò solo molto più tardi e molto lentamente, e non corrisponde alle opinioni che avevo da giovane.

Io distinguo da una parte la totalità delle esperienze sensibili, e dall'altra la totalità dei concetti e delle proposizioni che sono enunciati nei libri. I rapporti interni fra i diversi concetti e pro-

posizioni sono di natura logica, e il compito del pensiero logico è strettamente limitato a stabilire tutte le connessioni interne fra concetti e proposizioni secondo regole ben definite, che sono appunto quelle della logica. I concetti e le proposizioni acquistano «significato», cioè «contenuto», solo attraverso la loro connessione con le esperienze sensibili. Questa connessione è puramente intuitiva, non è essa stessa di natura logica. Ciò che distingue la vuota fantasia dalla «verità» scientifica è il grado di certezza con cui questa connessione, cioè questa associazione intuitiva, può essere compiuta, e null'altro. Il sistema di concetti è una creazione dell'uomo, né più né meno delle regole di sintassi che costituiscono la struttura dei sistemi di concetti. Sebbene i sistemi concettuali siano completamente arbitrari da un punto di vista logico, essi sono intesi a permettere la coordinazione più completa e quanto più possibile certa (intuitiva) con la totalità delle esperienze sensibili; in secondo luogo sono intesi alla maggiore economia possibile dei loro elementi indipendenti da un punto di vista logico (concetti fondamentali e assiomi), cioè dei concetti non definiti e delle proposizioni non derivate.

Una proposizione è corretta se, entro un certo sistema logico, viene dedotta secondo le regole logiche accettate. La verità contenuta in un sistema corrisponde alla certezza e alla completezza con cui è possibile coordinarlo con la totalità dell'esperienza. Una proposizione corretta ripete la sua «verità» da quella contenuta nel sistema a cui appartiene.

Una nota di carattere storico. Hume vide chiaramente che alcuni concetti, come ad esempio quello di causalità, non si possono dedurre con metodi logici dai dati dell'esperienza. Kant, essendo fermamente convinto che certi concetti fossero indispensabili, e che fossero proprio quelli che si erano dimostrati tali nella pratica, li interpretò come le necessarie premesse di ogni tipo di speculazioni, e li distinse dai concetti di origine empirica. Io sono convinto, invece, che questa distinzione sia erronea, cioè che non ponga il problema nei suoi giusti termini. Tutti i concetti, anche quelli più vicini all'esperienza, sono dal punto di vista logico convenzioni liberamente scelte, come appunto nel caso del concetto di causalità da cui ebbe origine quest'ordine di problemi.

E ora torniamo al necrologio. Dai dodici ai sedici anni mi familiarizzai con le nozioni fondamentali della matematica e del calcolo differenziale e integrale. Nel far questo, fortunatamente, mi capitarono libri che non si distinguevano per rigore logico, ma che in compenso davano un chiaro rilievo e un inquadramento generale a tutte le nozioni principali. Questo studio fu, in complesso, veramente affascinante, dandomi nei suoi punti più alti un'impressione che poteva ben competere con quella ricevuta durante lo studio della geometria elementare: così nell'idea basilare della geometria analitica, nelle serie infinite, o nei concetti di differenziale e di integrale. Ebbi anche la fortuna di poter conoscere i risultati essenziali e i metodi di tutto il campo delle scienze naturali in un'ottima esposizione divulgativa (*Libri popolari di scienza naturale* di Bernstein, un'opera di cinque o sei volumi), che si limitava quasi solo agli aspetti qualitativi dei problemi, e che lessi con vivissima attenzione. Avevo già studiato anche un po' di fisica teorica quando, all'età di diciassette anni, entrai nel Politecnico di Zurigo come studente di matematica e fisica.

Qui ebbi maestri eccellenti (Hurwitz, Minkowski, ad esempio), e avrei potuto farmi una preparazione matematica veramente solida. Invece, lavorai per la maggior parte del tempo nel laboratorio di fisica, affascinato dal contatto diretto con l'esperienza. Il resto del mio tempo lo dedicai soprattutto a studiare a casa le opere di Kirchhoff, Helmholtz, Hertz ecc. Il fatto che trascurassi in parte le matematiche dipese non soltanto dal maggior interesse che avevo per le scienze naturali, ma anche da questa strana esperienza: mi accorsi, cioè, che le matematiche si dividevano in numerosi rami, ciascuno dei quali poteva facilmente assorbire il breve tempo che ci è concesso di vivere; per conseguenza mi trovai nella posizione dell'asino di Buridano che non era capace di scegliere fra due mucchi di fieno. Ciò era ovviamente dovuto al fatto che non ero in grado, nel campo delle matematiche, di distinguere con chiarezza e con una intuizione sicura ciò che ha importanza fondamentale, che è veramente essenziale, da tutte le rimanenti nozioni più o meno utili. D'altra parte, il mio interesse a conoscere la natura era indiscutibilmente più forte, e da studente non capivo

molto bene che la possibilità di conoscere più profondamente i principi fondamentali della fisica è legata ai metodi matematici più complicati. Me ne resi conto solo a poco a poco, dopo anni di lavoro scientifico indipendente. Certo, anche la fisica era divisa in diversi rami, ciascuno dei quali avrebbe potuto divorare una breve vita di lavoro senza soddisfare la fame di più profonda conoscenza. Anche qui la massa di dati sperimentali non sufficientemente collegati fra loro era enorme. Ma in questo campo imparai subito a discernere ciò che poteva condurre ai principi fondamentali da quella moltitudine di cose che confondono la mente e la distolgono dall'essenziale. Il guaio era, naturalmente, che, piacesse o no, bisognava ammucchiare tutta questa roba nella testa per gli esami. Questa coercizione ebbe un effetto così deprimente su di me, che, quando ebbi dato l'ultimo esame, per un anno intero qualsiasi problema scientifico mi parve disgustoso. Devo tuttavia aggiungere che di questa coercizione – capace di smorzare ogni vero impulso scientifico – si soffre assai meno in Svizzera che in molti altri paesi. C'erano solo due esami obbligatori; per il resto si poteva scegliere quello che si voleva, o quasi. E lo poteva soprattutto chi aveva un amico, come avevo io, che seguiva regolarmente le lezioni e ne elaborava coscienziosamente il contenuto. Così fui libero di scegliere il mio lavoro fino a pochi mesi prima dell'esame; libertà di cui approfittai molto largamente, accettando volentieri la cattiva coscienza che me ne derivava come il male di gran lunga minore. È un vero miracolo che i metodi moderni di istruzione non abbiano ancora completamente soffocato la sacra curiosità della ricerca: perché questa delicata pianticella, oltre che di stimolo, ha soprattutto bisogno di libertà, senza la quale inevitabilmente si corrompe e muore. È un gravissimo errore pensare che la gioia di vedere e di cercare possa essere suscitata per mezzo della coercizione e del senso del dovere. Al contrario, io sono convinto che si riuscirebbe persino a togliere voracità a una robusta fiera, se fosse possibile costringerla con una frusta a mangiare continuamente, anche quando non fosse affamata, specialmente se il cibo che le venisse dato con questa forma di coercizione fosse scelto in modo adeguato.

Vediamo ora come si presentava a quel tempo il campo delle scienze fisiche. Nonostante il rigoglio delle ricerche particolari, in materia di principi predominava una rigidità dogmatica: in origine (se origine vi fu) Dio creò le leggi del moto di Newton insieme con le masse e le forze necessarie. Questo è tutto; ogni altra cosa risulta deduttivamente attraverso lo sviluppo di metodi matematici appropriati. Ciò che il secolo XIX riuscì a fare basandosi solo su questo, specialmente con l'applicazione delle equazioni differenziali a derivate parziali, non poteva non suscitare l'ammirazione di ogni persona intelligente. Newton fu probabilmente il primo a scoprire, nella teoria della propagazione del suono, l'efficacia di tali equazioni. Eulero aveva già creato le basi dell'idrodinamica. Ma lo sviluppo più rigoroso della meccanica delle masse discontinue, assunta come base di tutta la fisica, fu una conquista del secolo XIX. Però, ciò che faceva più impressione sullo studente non era tanto la costruzione della meccanica come scienza a sé, o la soluzione di problemi complicati, quanto le conquiste della meccanica in campi che apparentemente non avevano nulla a che fare con essa: la teoria meccanica della luce che concepiva il fenomeno luminoso come moto ondulatorio di un etere elastico quasi rigido, e più ancora la teoria cinetica dei gas: l'indipendenza dal peso atomico del calore specifico dei gas monoatomici, la derivazione dell'equazione di stato di un gas e la sua relazione con il calore specifico, la teoria cinetica della dissociazione dei gas, e soprattutto il rapporto quantitativo fra viscosità, conduzione del calore e diffusione dei gas, che dava anche la grandezza assoluta dell'atomo. Questi risultati confermarono che la meccanica costituiva nello stesso tempo la base della fisica e dell'ipotesi atomica, quest'ultima già fermamente radicata nella chimica. Nella chimica, però, avevano importanza solo i rapporti delle masse atomiche, non le loro grandezze assolute; cosicché la teoria atomica, più che a far conoscere l'effettiva struttura della materia, poteva servire a darne una rappresentazione illustrativa. A parte ciò, era anche molto interessante il fatto che dalla teoria statistica della meccanica classica si potessero dedurre le leggi fondamentali della termodinamica,

secondo quanto, in sostanza, era già stato fatto da Boltzmann.

Non dobbiamo quindi stupirci se tutti, o quasi tutti, i fisici del secolo scorso videro nella meccanica classica la base sicura e definitiva di tutta la fisica, e anzi, addirittura, di tutte le scienze naturali, e se insistettero instancabilmente nel tentativo di basare sulla meccanica anche la teoria elettromagnetica di Maxwell, che si stava lentamente affermando. Anche Maxwell ed Hertz, che ci appaiono retrospettivamente quelli che demolirono la fede nella meccanica come fondamento ultimo di tutto il pensiero fisico, nel loro orientamento speculativo mantennero invece la piena convinzione che la meccanica fosse la base ormai acquisita della fisica. Fu Mach a scuotere, nella sua storia della meccanica,<sup>1</sup> questa fede dogmatica: il suo libro, quand'ero studente, esercitò una profonda influenza su di me. Oggi riconosco la grandezza di Mach nel suo scetticismo incorruttibile e nella sua indipendenza; ma negli anni della mia giovinezza rimasi influenzato molto profondamente anche dalla sua posizione epistemologica, che oggi mi sembra sostanzialmente insostenibile. Infatti egli non mise nella giusta luce la natura essenzialmente costruttiva e speculativa del pensiero, e più particolarmente del pensiero scientifico; condannò quindi la teoria proprio in quei punti in cui il suo carattere costruttivo-speculativo appare manifesto, come ad esempio nella teoria cinetica dell'atomo.

Prima d'iniziare una critica della meccanica come fondamento della fisica, è necessario premettere qualche considerazione generale sui principi in base ai quali è possibile criticare le teorie fisiche. Il primo principio è ovvio: la teoria non deve contraddire i fatti empirici. Per quanto a tutta prima questa esigenza possa sembrare evidente, la sua applicazione risulta molto delicata, poiché spesso, forse anche sempre, è possibile accettare una base teorica generale assicurando l'aderenza della teoria ai fatti per mezzo di ipotesi aggiuntive artificiali. Comunque sia, questo primo principio ha per oggetto la conferma dei fon-

<sup>1</sup> [E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (1883), 9ª ed. a cura di L. Mach, Brockhaus, Leipzig 1933 (trad. it. *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Boringhieri, Torino 1977).]

damenti teorici per mezzo dei fatti empirici a disposizione.

Il secondo principio non ha per oggetto il rapporto fra teoria e materiale di osservazione, bensì le premesse della teoria stessa, o ciò che brevemente, se pur vagamente, potrebbe definirsi «naturalità» o «semplicità logica» delle premesse (ossia dei concetti fondamentali e delle corrispondenti relazioni reciproche poste a base di essi). Questa esigenza, che riuscirebbe molto difficile formulare con esattezza, ha avuto da tempo memorabile una parte molto importante nella scelta e valutazione delle teorie. Non si tratta qui semplicemente di enumerare le premesse logicamente indipendenti (ammesso che sia possibile fare qualcosa del genere in modo assolutamente inequivoco), ma di soppesare, in una sorta di raffronto valutativo, qualità incommensurabili. Inoltre, fra teorie le cui premesse siano ugualmente «semplici», deve essere considerata superiore quella che definisce più nettamente le qualità dei sistemi in astratto (cioè, che contiene le affermazioni più precise). Non occorre che parli qui del «campo di validità» delle teorie, finché ci limiteremo a quelle teorie il cui oggetto è la *totalità* di tutti i fenomeni fisici. Il secondo principio, insomma, si può brevemente caratterizzare dicendo che si riferisce alla «perfezione interna» della teoria, mentre il primo si riferiva alla «conferma esterna»! E un'altra cosa mi sembra di poter dire sulla «perfezione interna» di una teoria: noi apprezziamo maggiormente una teoria se, dal punto di vista logico, essa non è il risultato di una scelta arbitraria fra teorie che, confrontate fra loro, sono di ugual valore e costruite in modo analogo.

Non tenterò di giustificare la scarsa precisione delle affermazioni contenute negli ultimi due capoversi con la scusa della mancanza di spazio, anzi confesso subito che non sono, sul momento, e forse non sarei mai capace di sostituire questi accenni con definizioni più precise. Credo, però, che una formulazione più rigorosa debba essere possibile. A ogni modo è dimostrato che gli «auguri» si trovano generalmente d'accordo nel giudicare la «perfezione interna» delle teorie, e ancor più se si tratta del «grado» della «conferma esterna».

E ora torniamo alla critica della meccanica come base della fisica.

## Appendice 5

### La relatività e il problema dello spazio (1950)

La fisica newtoniana ha la caratteristica di attribuire un'effettiva esistenza indipendente tanto allo spazio e al tempo quanto alla materia. Nella legge del moto di Newton compare infatti il concetto di accelerazione; ma, in questa teoria, l'accelerazione può soltanto denotare «accelerazione rispetto allo spazio»: lo spazio di Newton deve perciò venir pensato come «in quiete» o perlomeno «non accelerato», per poter considerare l'accelerazione, che compare nella legge del moto, come una grandezza fornita di significato. Su per giù la stessa cosa vale per il tempo, il quale ovviamente entra del pari nel concetto di accelerazione. Lo stesso Newton e i più critici fra i suoi contemporanei provavano un certo disagio a dover attribuire una realtà fisica tanto allo spazio stesso quanto al suo stato di moto; non esisteva però a quel tempo altra alternativa, se si voleva dare alla meccanica un significato chiaro e preciso.

È invero un requisito gravoso il dover attribuire una realtà fisica allo spazio in generale e specialmente allo spazio vuoto. Fin dai tempi più remoti, i filosofi sono stati più e più volte contrari a tale congettura. Descartes discusse la cosa all'incirca in questi termini: lo spazio è essenzialmente identico all'estensione, ma l'estensione è connessa ai corpi; non esiste dunque spazio senza corpi, cioè non esiste spazio vuoto. La debolezza di questa argomentazione risiede principalmente in quanto segue. È certamente vero che il concetto di estensione deve la sua origine alle nostre esperienze nel disporre o porre in contatto corpi solidi. Ma da ciò non è lecito concludere che il concetto di estensione non risulti giustificato in casi che di per sé non hanno dato ori-

gine alla formazione di questo concetto. Un siffatto ampliamento di concetti può anche venire indirettamente giustificato dalla sua efficacia per la comprensione di risultati empirici. L'asserire che l'estensione è limitata ai corpi risulta dunque di per sé certamente infondato. Vedremo più avanti, però, che la teoria della relatività generale conferma in maniera indiretta la concezione cartesiana. Ciò che condusse Descartes alla sua suggestiva ipotesi fu certo la sensazione che, senza una necessità assoluta, non si dovrebbe attribuire realtà a un oggetto come lo spazio, che non è suscettibile di essere «direttamente sperimentato».<sup>1</sup>

L'origine psicologica del concetto di spazio, o della necessità di esso, è lungi dall'essere così ovvia come potrebbe apparire in base al nostro abituale modo di pensare. Gli antichi geometri trattano di oggetti mentali (retta, punto, superficie), ma non propriamente dello spazio in quanto tale, come più tardi è stato fatto dalla geometria analitica. Il concetto di spazio, tuttavia, è suggerito da certe esperienze primitive. Supponiamo che si sia costruita una scatola. Vi si possono disporre in un certo ordine degli oggetti, in modo che essa risulti piena. La possibilità di queste disposizioni è una proprietà dell'oggetto «scatola», qualcosa che è dato con la scatola, lo «spazio racchiuso» dalla scatola. Questo è qualcosa di differente per le varie scatole, qualcosa che in modo del tutto naturale viene pensato come indipendente dal fatto che vi siano o no, in generale, oggetti nella scatola. Quando non vi sono oggetti nella scatola, il suo spazio appare «vuoto».

Fin qui, il nostro concetto di spazio è stato associato alla scatola. Ci si accorge però che le possibilità di disposizione che formano lo spazio-scatoletta sono indipendenti dallo spessore delle pareti della scatola. Non sarebbe possibile ridurre a zero tale spessore, senza che si abbia per risultato la perdita dello «spazio»? La naturalezza di tale passaggio al limite è ovvia, e ora rimane al nostro pensiero lo spazio senza scatola, una cosa autonoma, che tuttavia appare così irrealistica se dimentichiamo l'origine di tale concetto. Si può capire che ripugnasse a Descartes il considerare lo spazio come indipendente da oggetti corporei,

<sup>1</sup> Quest'espressione va presa *cum grano salis*.

capace di esistere senza materia.<sup>2</sup> (Ciò non gli impedisce peraltro di trattare lo spazio come un concetto fondamentale nella sua geometria analitica.) L'aver richiamato l'attenzione sul vuoto nel barometro a mercurio ha certamente disarmato l'ultimo dei cartesiani. Non si deve però negare che, già a questo stadio primitivo, qualcosa di insoddisfacente fosse insito nel concetto di spazio o nello spazio pensato come un oggetto reale autonomo.

Le maniere in cui si possono sistemare i corpi nello spazio (per esempio nella scatola) formano l'argomento della geometria euclidea a tre dimensioni, la cui struttura assiomatica ci induce facilmente nell'errore di dimenticare che essa si riferisce a situazioni percepibili.

Orbene, se il concetto di spazio viene formato nella maniera qui sopra delineata, in connessione all'esperienza del «riempire» la scatola, allora lo spazio è originariamente uno spazio limitato. *Questa limitatezza non appare tuttavia essenziale*; perché manifestamente si può sempre ricorrere a una scatola più grande che contenga quella più piccola. In tal modo lo spazio appare come qualcosa di non limitato.

Non esaminerò qui in che modo la natura tridimensionale ed euclidea dello spazio possa venir fatta risalire a esperienze relativamente primitive, ma per prima cosa considererò da altri punti di vista la parte avuta dal concetto di spazio nello sviluppo del pensiero fisico.

Quando una scatola più piccola  $s$  è situata, in quiete relativa, dentro lo spazio cavo di una scatola più grande  $S$ , allora lo spazio cavo di  $s$  è una parte dello spazio di  $S$ , e lo stesso «spazio» che le contiene entrambe appartiene a ciascuna delle due. Quando invece  $s$  è in moto rispetto a  $S$ , il concetto risulta meno semplice. In tal caso si è inclini a pensare che  $s$  racchiuda sempre lo stesso spazio, che è però una parte variabile dello spazio di  $S$ . Diviene allora necessario far corrispondere a ciascuna scatola il

<sup>2</sup> Il tentativo di Kant di rimuovere la difficoltà negando l'oggettività dello spazio, non può tuttavia essere preso sul serio. Le possibilità di disposizione inerenti allo spazio interno di una scatola sono oggettive nello stesso senso in cui lo è la scatola stessa, e gli oggetti che possono essere disposti nell'interno di essa.

suo particolare spazio, non pensato come limitato, e supporre che questi due spazi siano in moto l'uno rispetto all'altro.

Prima che ci si renda conto di questa complicazione, lo spazio appare come un mezzo limitato, o recipiente, nel quale nuotano gli oggetti materiali. Ora invece occorre tener presente che esiste un numero infinito di spazi, i quali sono in moto gli uni rispetto agli altri. Il concetto di spazio come qualcosa che esiste oggettivamente ed è indipendente dalle cose appartiene già al pensiero prescientifico, non così però l'idea dell'esistenza di un numero infinito di spazi in moto gli uni rispetto agli altri. Quest'ultima idea è senza dubbio inevitabile da un punto di vista logico, ma per lungo tempo non svolse una parte importante nemmeno nel pensiero scientifico.

Come stanno le cose circa l'origine psicologica del concetto di tempo? Questo concetto è indubbiamente associato al fatto del «richiamare alla mente», come pure alla differenziazione fra esperienze dei sensi e ricordo di queste ultime. È di per sé dubbio se la differenziazione fra esperienze dei sensi e ricordo (o semplice ripresentazione) sia qualcosa che è direttamente dato alla nostra psiche. Ognuno ha fatto l'esperienza di trovarsi in dubbio se aveva effettivamente percepito qualcosa con i propri sensi o se l'aveva semplicemente sognato. Probabilmente l'abilità nel discriminare fra queste alternative si forma all'inizio come un risultato dell'attività mentale ordinatrice.

Al «ricordo» è associata un'esperienza che è considerata come «precedente» in confronto a «esperienze presenti». Questo è un principio concettuale di ordinamento per le esperienze ricordate; la possibilità di attuarlo dà origine al concetto soggettivo di tempo, cioè a quel concetto di tempo che si riferisce all'ordinamento delle esperienze dell'individuo.

Che cosa intendiamo per oggettivazione del concetto di tempo? Facciamo un esempio. Una persona  $A$  («io») percepisce l'esperienza «lampeggia». Intanto la persona  $A$  sperimenta pure un comportamento della persona  $B$  tale da portare il comportamento di  $B$  in relazione con la propria esperienza «lampeggia».

Ne risulta così che *A* collega con *B* l'esperienza «lampeggia». Nella persona *A* nasce l'idea che anche altre persone condividano l'esperienza «lampeggia». «Lampeggia» non viene più interpretato ora come esperienza esclusivamente personale, ma come esperienza (o eventualmente soltanto «esperienza potenziale») di altre persone. Sorge in tal modo l'idea d'interpretare anche come un «evento» (oggettivo) il «lampeggia», che in origine aveva fatto il suo ingresso nella coscienza quale «atto di sperimentare». La somma totale di tutti gli eventi è proprio ciò che noi intendiamo quando parliamo del «mondo reale esterno».

Abbiamo visto che ci troviamo spinti ad attribuire un ordinamento temporale alle nostre esperienze, all'incirca nel modo seguente. Se  $\beta$  è posteriore ad  $\alpha$  e  $\gamma$  posteriore a  $\beta$ , allora  $\gamma$  è anche posteriore ad  $\alpha$  («successione delle esperienze»). Orbene, che cosa accadrà, sotto quest'aspetto, degli «eventi» che abbiamo associato alle esperienze? A prima vista sembrerebbe ovvio supporre che esista un ordinamento temporale degli eventi, il quale concordi con l'ordinamento temporale delle esperienze. Così venne fatto, in generale, e inconsciamente, finché affiorarono dei dubbi scettici.<sup>3</sup> Per giungere all'oggettivazione del mondo, fu ancora necessaria un'ulteriore idea costruttiva: l'evento viene localizzato non soltanto nel tempo, ma altresì nello spazio.

Nei precedenti capoversi abbiamo cercato di descrivere in che modo i concetti di spazio, di tempo e di evento possano essere messi in relazione psicologica con le esperienze. Considerati da un punto di vista logico, essi sono libere creazioni dell'intelletto umano, strumenti del pensiero, che debbono servire allo scopo di porre le esperienze in relazione l'una con l'altra, e di poterle quindi abbracciare meglio con lo sguardo. Il tentativo di rendersi conto delle fonti empiriche di questi concetti fondamentali deve mostrare in quale misura noi siamo effettivamente

<sup>3</sup> Ad esempio, l'ordinamento nel tempo delle esperienze ottenuto con mezzi acustici può differire da quello raggiunto visivamente, per modo che non si può identificare semplicemente la successione temporale degli eventi con la successione temporale delle esperienze.

legati a questi concetti. In tal modo diventiamo coscienti della nostra libertà, libertà di cui, in caso di necessità, riesce sempre difficile fare un uso ragionevole.

Abbiamo ancora da aggiungere qualcosa di essenziale a questo schizzo concernente l'origine psicologica dei concetti di spazio, tempo, evento (li chiameremo più brevemente «di natura spaziale», in contrasto con i concetti della sfera psicologica). Abbiamo collegato a esperienze il concetto di spazio facendo uso di scatole e dell'ordinamento in esse di oggetti corporei. Pertanto questa formazione di concetti presuppone di già il concetto di oggetti corporei (per esempio «scatole»). Nello stesso modo, anche le persone, che dovevano venir introdotte per la formazione di un concetto oggettivo di tempo, rivestono a questo riguardo la parte di oggetti corporei. Mi sembra, perciò, che la formazione del concetto di oggetto corporeo debba precedere i nostri concetti di tempo e di spazio.

Tutti questi concetti di natura spaziale appartengono già al pensiero scientifico, insieme con i concetti della sfera psicologica come dolore, meta, scopo ecc. Orbene, è caratteristico del pensiero fisico, come, in generale, di quello della scienza naturale, che esso si sforzi di avvalersi, per principio, di *sol*i concetti di natura spaziale, e tenti di esprimere con essi tutte le relazioni aventi forma di legge.

Il fisico tende a ridurre i colori e i toni a vibrazioni, il fisiologo a ridurre il pensiero e il dolore a processi nervosi, in modo che l'elemento psichico in quanto tale risulti eliminato dal nesso causale dell'esistenza, e non compaia quindi mai come anello autonomo nelle connessioni causali. Quest'atteggiamento, che considera come possibile per principio la comprensione di tutte le relazioni mediante l'esclusivo uso di soli concetti di natura spaziale, è indubbiamente ciò che al momento attuale viene inteso con il termine «materialismo» (dopo che la «materia» ha perduto la sua posizione di concetto fondamentale).

Perché mai è necessario trascinare giù dalle sfere olimpiche di Platone i concetti fondamentali del pensiero scientifico, e sforzarsi di svelare il loro lignaggio terrestre? Risposta: allo

### 1. Considerazioni generali sul metodo della scienza

Spesso si è detto, e certamente non senza una giustificazione, che l'uomo di scienza è un filosofo mediocre. Non sarebbe allora meglio che i fisici lasciassero ai filosofi il filosofare? Questa invero potrebbe essere la cosa migliore in un'epoca in cui il fisico credesse di avere a propria disposizione un solido sistema di concetti e leggi basilari così ben fondate da essere inaccessibili al dubbio; ma non può essere la cosa migliore in un'epoca, in cui, come in quella attuale, gli stessi fondamenti della fisica sono diventati problematici. In un'epoca come la presente, in cui l'esperienza ci obbliga a cercare un nuovo e più solido fondamento, il fisico non può semplicemente lasciare al filosofo la considerazione critica dei fondamenti teorici; è lui infatti che sa meglio e sente più nettamente dov'è che la scarpa fa male. Nel cercare un nuovo fondamento, egli deve sforzarsi di chiarire a sé stesso fino a che punto i concetti che egli usa sono fondati e costituiscono qualcosa di insostituibile.

Tutta la scienza non è altro che un raffinamento del pensiero comune. È per questa ragione che il pensiero critico del fisico non può verosimilmente venir ristretto all'esame dei concetti del suo campo specifico. Egli non può procedere senza considerare criticamente un problema molto più difficile: quello di analizzare la natura del pensiero comune.

Al livello del nostro inconscio sfilano in variopinta successione esperienze sensoriali, loro impressioni mnemoniche, rappresentazioni e sentimenti. Contrariamente alla psicologia, la

fisica si interessa direttamente soltanto delle esperienze sensoriali e della «comprensione» delle loro connessioni. Ma anche il concetto di «realtà esterna» del pensiero comune si fonda unicamente sulle impressioni sensoriali.

Ora, dobbiamo innanzitutto notare come non sia possibile una differenziazione fra le impressioni sensoriali e le rappresentazioni, o quanto meno, non sia possibile con certezza assoluta. Noi non ci occuperemo della discussione di questo problema, che riguarda anche la nozione di realtà, e daremo per scontata l'esistenza delle esperienze sensoriali, intese come esperienze psichiche di tipo particolare.

Io credo che il primo passo verso una descrizione sistematica di un «mondo reale esterno» sia la formazione dei concetti di oggetto corporeo e di oggetti corporei di varia conformazione. Dalla massa delle nostre esperienze sensoriali noi preleviamo certi complessi di impressioni ricorrenti (in parte in connessione con impressioni sensoriali altrui), e attribuiamo loro un significato, il significato di oggetto corporeo. Considerato da un punto di vista logico, questo concetto non si identifica con la totalità delle impressioni sensoriali cui si riferisce, ma rappresenta una creazione arbitraria della mente umana (o animale). D'altra parte, questo concetto trae il proprio significato e la propria giustificazione esclusivamente dalla totalità delle impressioni sensoriali che noi gli associamo.

Il secondo passo consiste nel fatto che nella nostra concezione teorica (che è quella che determina le nostre previsioni) noi attribuiamo a questo concetto di oggetto materiale un significato in gran parte indipendente dalle impressioni sensoriali che hanno presieduto al suo sorgere. Questo è ciò che intendiamo quando attribuiamo all'oggetto corporeo «un'esistenza reale». La giustificazione di una tale costruzione riposa esclusivamente sul fatto che, mediante tali concetti e le associazioni tra essi, noi siamo in grado di orientarci nel labirinto delle impressioni sensoriali. Queste nozioni e relazioni, per quanto siano libere convenzioni della nostra attività intellettuale, ci appaiono più solide e inalterabili della stessa esperienza sensoriale individuale, di cui non è mai completamente garantito che non sia il prodotto

di un'illusione o di un'allucinazione. D'altra parte, questi concetti e relazioni, anzi la costruzione degli oggetti reali e in generale l'esistenza del «mondo reale», posseggono una giustificazione solo in quanto sono collegati con le impressioni sensoriali tra le quali essi stabiliscono una connessione mentale.

Il fatto stesso che la totalità delle nostre esperienze sensoriali si possa ordinare col pensiero (operazioni con concetti astratti, creazione e uso di relazioni funzionali ben definite fra di essi, e coordinazione delle esperienze sensoriali con tali concetti) ci lascia stupefatti, ed è un qualcosa che non riusciremo mai a spiegarci. Si potrebbe dire che «l'eterno mistero del mondo è la sua comprensibilità». Una delle grandi scoperte di Immanuel Kant fu il riconoscimento che la costruzione di un mondo esterno reale sarebbe priva di senso senza la sua comprensibilità.

Nel parlare qui di «comprensibilità», l'espressione viene usata nel suo significato più ristretto. Essa, in generale, implica la produzione di un qualche tipo di ordine fra le impressioni sensoriali, tale ordine essendo prodotto dalla creazione di concetti generali, dalle relazioni fra questi concetti, e dalle relazioni fra i concetti e l'esperienza sensoriale, relazioni determinate in ogni maniera possibile. È in questo senso che il mondo delle nostre esperienze sensoriali è comprensibile. Il fatto che sia comprensibile è davvero un miracolo.

Secondo me non si può dire nulla riguardo al modo in cui i concetti devono essere costruiti e collegati, come pure riguardo al modo in cui noi dobbiamo coordinarli con le esperienze. Il successo dei risultati rappresenta il fattore determinante che ci guida nella creazione di un tale ordine fra le esperienze sensoriali. Tutto ciò che è necessario è l'enunciazione di un gruppo di regole, poiché senza tali regole l'acquisizione della conoscenza nel senso desiderato sarebbe impossibile. Si può paragonare tale situazione a quella di un gioco: le regole possono anche essere arbitrarie, ma solo il loro rigore e la loro inflessibile applicazione rendono possibile il gioco. La loro scelta, tuttavia, non sarà mai definitiva: essa varrà solo per un particolare campo di applicazione (in altre parole, non esistono categorie definitive nel senso di Kant).

La connessione dei concetti elementari del pensiero comune con i complessi delle esperienze sensoriali può venir intesa solo

intuitivamente e non è suscettibile di una determinazione scientificamente logica. La totalità di queste connessioni (nessuna delle quali è esprimibile in termini concettuali) è l'unica cosa che differenzia il grande edificio della scienza da uno schema, logico ma vuoto, di concetti. Mediante queste connessioni i teoremi puramente concettuali della scienza divengono proposizioni riguardanti i complessi delle esperienze sensoriali.

Chiameremo tali concetti «concetti primari», in quanto direttamente e intuitivamente connessi con complessi tipici di esperienze sensoriali. Tutte le altre nozioni sono, dal punto di vista fisico, dotate di significato solo in quanto connesse, mediante teoremi, alle nozioni primarie. Questi teoremi sono in parte definizioni dei concetti (e delle proposizioni logicamente dedotte da essi) e in parte teoremi non deducibili dalle definizioni, i quali esprimono relazioni quanto meno indirette fra i «concetti primari», e di conseguenza fra le esperienze sensoriali. I teoremi di questo secondo tipo rappresentano delle «affermazioni circa la realtà» o leggi di natura: essi debbono mostrare la loro utilità quando vengano applicati a esperienze sensoriali abbracciate dai concetti primari. La questione, quali teoremi debbano essere considerati come definizioni e quali come leggi naturali, dipenderà largamente dalla rappresentazione scelta. Diventa davvero necessario stabilire questa differenziazione solo quando si esamina il grado in cui il sistema di concetti considerato non è vuoto dal punto di vista fisico.

Il fine della scienza è, da una parte, la comprensione più completa possibile della connessione fra le esperienze sensoriali nella loro totalità e, dall'altra, il raggiungimento di questo fine mediante l'uso di un numero minimo di concetti e di relazioni primarie (mirando, per quanto è possibile, all'unità logica della rappresentazione del mondo, cioè a tener ristretto il numero di elementi logici).

La scienza si occupa della totalità dei concetti primari, vale a dire dei concetti direttamente collegati alle esperienze sensoriali, e dei teoremi che li connettono. Nella sua prima fase di sviluppo, la scienza non contiene nient'altro. Il nostro pensiero quotidiano è interamente soddisfatto a questo livello. Un tale

stato di cose, tuttavia, non può soddisfare una mente davvero scientifica, poiché la totalità dei concetti e delle relazioni ottenuta in questa maniera decisamente difetta di unità logica. Al fine di sopperire a questa deficienza, si inventa un sistema più povero di concetti e di relazioni, un sistema che conserva i concetti e le relazioni primarie del « primo livello » come concetti e relazioni derivate per via logica. Questo nuovo « sistema del secondo ordine » paga la sua più profonda unità logica con il conservare come concetti elementari (concetti del secondo livello) soltanto concetti non più connessi direttamente con i complessi di esperienze sensoriali. Un ulteriore sforzo verso l'unità logica ci conduce a un sistema del terzo ordine, ancor più povero di concetti e di relazioni, per la deduzione dei concetti e delle relazioni del secondo livello (e, quindi, indirettamente del primo). Così la catena procede finché arriviamo al sistema dotato della più alta unità concepibile e insieme del numero minimo possibile di concetti logici fondamentali (sempre compatibili con le osservazioni fatte mediante i nostri sensi). Noi non sappiamo se questa spinta si concretterà mai in un sistema concluso oppure no. Di fronte a una questione del genere si è inclini a rispondere negativamente. E tuttavia, lottando in continuazione con i problemi che si presentano, non si vorrà mai rinunciare alla speranza che questo supremo fine possa essere raggiunto con un'approssimazione altissima.

Un sostenitore della teoria dell'astrazione o dell'induzione potrebbe denominare « gradi di astrazione » i nostri livelli; ma io non ritengo giustificabile mettere in ombra l'indipendenza logica del concetto dalle esperienze sensoriali. Tale relazione è analoga non tanto a quella del brodo rispetto al bue, quanto, piuttosto, a quella dello scontrino del guardaroba rispetto al cappotto.

Inoltre, i livelli non sono nettamente separati. Non è neppure assolutamente chiaro quali concetti appartengano al livello primario. Di fatto, abbiamo a che fare con concetti liberamente formati, i quali sono intuitivamente connessi in maniera tale (con una certezza sufficiente nell'uso pratico) con i complessi delle esperienze sensoriali, che in ogni dato caso sperimentale non sussiste alcuna incertezza circa l'applicabilità o meno di una certa affermazione. Il punto essenziale è il fine: rappre-

sentare la moltitudine dei concetti e degli enunciati più prossimi all'esperienza, come teoremi deducibili per via logica a partire da una base, la più ristretta possibile, di concetti e di relazioni fondamentali che possono venir scelti liberamente (assiomi). La libertà di scelta, tuttavia, è di un tipo particolare: non è affatto simile alla libertà di uno scrittore di romanzi. Essa è piuttosto simile a quella di chi è impegnato nella risoluzione di un ben congegnato cruciverba. Egli può, è vero, proporre ogni volta qualsiasi parola come soluzione; ma ogni volta è *una sola* parola che dà la chiave per risolvere il cruciverba in tutte le sue parti. L'idea che la natura, quale risulta percepibile dai nostri cinque sensi, abbia il carattere di un cruciverba ben congegnato è frutto di un atto di fede; ad essa, peraltro, i successi ottenuti finora dalla scienza danno un certo credito.

La pluralità di livelli esaminata in precedenza corrisponde ai vari stadi di progresso che sono stati raggiunti nella lotta per l'unità, nel corso dello sviluppo. Per quanto riguarda il fine ultimo, i livelli intermedi sono solo di natura temporanea, e in quanto non essenziali, destinati a scomparire. Noi abbiamo a che fare, tuttavia, con la scienza attuale, in cui questi livelli rappresentano successi parziali, successi problematici che si sostengono l'un l'altro, ma anche si minacciano per via di incongruenze di fondo (le incontreremo più avanti) presenti negli attuali sistemi di concetti.

Nelle pagine seguenti cercheremo di mostrare quali strade ha seguito la mente umana per giungere a una fondazione della fisica che fosse la più uniforme possibile da un punto di vista logico.

## 2. La meccanica e i tentativi di basare su di essa tutta la fisica

Una proprietà importante delle nostre esperienze sensoriali e, più generalmente, di tutte le nostre esperienze è l'ordinamento temporale. Questo tipo di regolarità ingenera la concezione di un tempo soggettivo quale schema ordinatore della nostra esperienza. Di qui si giunge poi, attraverso i concetti di oggetto corporeo e di spazio, al concetto di tempo oggettivo, come vedremo più avanti.