

I quanti



• **Alcune quantità possono variare in modo continuo mentre altre variano soltanto in modo discontinuo o saltuario, a porzioni piccolissime non ulteriormente riducibili. Queste porzioni indivisibili si chiamano *quanti elementari* della specifica quantità cui si riferiscono.**

(A. Einstein e L. Infeld, *L'evoluzione della fisica*, 1938, trad. it. di Carlo Castagnoli, Bollati Boringhieri, 1965)

Albert Einstein è stato uno dei più grandi pensatori di tutti i tempi. Leopold Infeld ha compiuto con Einstein studi fondamentali di fisica relativistica e quantistica. Questo testo è stato pubblicato nel 1938 ed è il testo fondativo della moderna divulgazione delle idee della fisica. Della nascita di questo libro così racconta Infeld: «Presi il coraggio a due mani e cominciai un discorso complicato, spiegando la mia idea con un sacco di ripetizioni. Conclusi dicendo: “I più grandi scienziati hanno scritto opere divulgative, considerate anche oggi classiche”. Einstein mi guardava tranquillamente accarezzandosi i baffi. Infine disse tra sé: “Non è un’idea stupida”. E poi a me: “Lo faremo!”. Si appassionò al progetto in modo indescrivibile. Spesso

ripeteva: “E’ stata un’idea formidabile”. Secondo Einstein, nella fisica esistono solo alcune idee fondamentali, e tali idee si possono esprimere con parole. Il nostro scopo doveva essere quello di presentare, nella loro prospettiva, le idee fondamentali. Einstein diceva: “Questo è un dramma di idee. Dev’essere un libro emozionante e interessantissimo per chiunque ami la scienza.”»

Riportiamo di seguito alcuni brani tratti dalla Parte quarta “I quanti” di *L’evoluzione della fisica*.

■ Continuità, discontinuità

«Una pianta di Roma e dintorni è aperta davanti a noi. Ci domandiamo: quali sono i punti che possiamo raggiungere con il treno? Dopo aver consultato un orario ferroviario potremmo marcare sulla nostra carta i diversi punti corrispondenti alle fermate dei treni. Se poi ci domandiamo quali punti si possono raggiungere con l’automobile possiamo tracciare sulla pianta delle linee lungo le varie strade che si staccano dal centro della città. Qualsiasi punto di tali linee può essere raggiunto con l’automobile. In entrambi i casi abbiamo delle serie di punti, ma nel primo i vari punti sono separati gli uni dagli altri dalle distanze più o meno considerevoli fra le stazioni ferroviarie, mentre nel secondo caso i punti si susseguo-

no senza interruzione lungo i tracciati delle strade. Possiamo inoltre domandarci quali siano le distanze dei punti in questione dal centro o da qualsiasi luogo della città. Nel primo caso a ognuno dei punti corrisponde un certo numero. Tali numeri variano irregolarmente e saltuariamente, ma sempre in misura finita. Diremo dunque che le distanze fra il centro della città e le località raggiungibili col treno variano sempre in modo *discontinuo*. Per contro, i punti raggiungibili con l’automobile possono variare in modo *continuo*. Insomma, le distanze possono differenziarsi in misura arbitrariamente piccola usando l’automobile; non così se facciamo uso del treno.

La produzione di una miniera carbonifera può variare in modo continuo. La quantità del carbone estratto può essere ridotta o accresciuta in misura arbitrariamente piccola. Ma il numero dei minatori

impiegati può variare soltanto in modo discontinuo. Non avrebbe senso dire: “da ieri il numero degli operai è aumentato di 3,783”.

Una somma di denaro può variare soltanto saltuariamente, vale a dire in modo discontinuo. In Italia la più piccola unità monetaria legale, che potremmo anche designare come il “quanto elementare” della valuta nazionale, è il centesimo. In Inghilterra il “quanto elementare” monetario è il *farthing* (un quarto di denaro) che nominalmente vale circa dieci volte più del quanto monetario italiano. Qui abbiamo l’esempio di due quanti elementari i cui valori sono suscettibili di comparazione. Il rapporto di tali valori ha un significato preciso, poiché uno di essi vale un certo numero di volte più dell’altro.

È dunque lecito asserire: alcune quantità possono variare in modo continuo mentre altre variano sol-

Pagine di scienza

tanto in modo discontinuo o saltuario, a porzioni piccolissime non ulteriormente riducibili. Queste porzioni indivisibili si chiamano *quantità elementari* della specifica quantità cui si riferiscono.

Possiamo pesare una notevole quantità di sabbia e considerare la massa come continua, benché la sua struttura granulare sia evidente. Ma se la sabbia dovesse diventare preziosa e venisse perciò pesata con bilance molto sensibili, non potremmo fare a meno di tener conto che la sua massa varia sempre in ragione del multiplo di un granello. La massa di questa unità granulare diventerebbe il nostro quanto elementare. Questo esempio mostra come aumentando la precisione delle misure si possa giungere a verificare il carattere discontinuo di una quantità precedentemente ritenuta continua.

Se dovessimo caratterizzare in una frase l'idea fondamentale della teoria quantistica diremmo: *deve ammettersi che alcune quantità fisiche finora ritenute come continue si compongono di quanti elementari*.

I fatti pertinenti alla teoria quantistica sono numerosissimi e coprono un campo assai vasto. La rivelazione di tali fatti è dovuta al grande raffinamento raggiunto dalla tecnica sperimentale moderna. Non potendo qui né mostrare, né descrivere neanche gli esperimenti più fondamentali dovremo limitarci a citarne dogmaticamente i risultati. Ricordiamo che il nostro obiettivo è soltanto quello di spiegare idee e criteri basilari.

■ Quanti elementari di materia ed elettricità

Secondo la rappresentazione della materia rispondente alla teoria cinetica tutte le sostanze elementari si compongono di molecole.

[...] La massa di un quantitativo

d'idrogeno non può variare che saltuariamente, in ragione di un numero intero di porzioni minuscole, ognuna delle quali corrisponde alla massa di una molecola d'idrogeno. Tuttavia i processi chimici insegnano che la molecola d'idrogeno si può spezzare in due parti uguali, ovvero che la molecola d'idrogeno si compone di due atomi. Nei processi chimici è l'atomo e non la molecola che rappresenta il quanto elementare.

[...] La massa è dunque una quantità discontinua. È però evidente che non c'è da preoccuparsene nelle pesate. Le bilance più sensibili sono ben lontane dal raggiungere il grado di precisione necessario per constatare la discontinuità al variare della massa.

[...] Ma le conquiste della teoria cinetica della materia condussero a un nuovo quesito e cioè: esistono quanti elementari dei fluidi elettrici? Un'altra domanda cui dobbiamo ancora rispondere è la seguente: la corrente consiste nella circolazione del fluido positivo, di quello negativo o di entrambi?

L'idea su cui si basano tutti gli esperimenti intesi a risolvere questi problemi è quella di svellere il fluido elettrico dal filo, di proiettarlo nello spazio vuoto e di dissociarlo completamente dalla materia, per poi investigarne la proprietà, che in tali condizioni dovrebbero manifestarsi con la maggiore evidenza.

Molti esperimenti di questo tipo vennero intrapresi alla fine del XIX secolo. Prima di spiegare le modalità di uno almeno di essi, ne indicheremo i risultati. Il fluido elettrico circolante nel filo è il negativo ed è perciò diretto dal potenziale più basso al più alto.

[...] Viene adesso la questione di sapere se la struttura di questo fluido negativo sia «granulare», vale

a dire se esso sia o no composto di quanti elettrici. Anche qui numerosi esperimenti fra loro indipendenti dimostrano che non può sussistere dubbio alcuno circa l'esistenza di un quanto elementare di questa elettricità negativa. Il fluido elettrico negativo si compone di granuli, così come alcune spiagge consistono di granelli di sabbia o certe case sono costruite in mattoni. Questo risultato venne enunciato con tutta chiarezza da J. J. Thomson, circa quarant'anni fa. I quanti elementari di elettricità negativa furono denominati elettroni. Ogni carica elettrica negativa si compone di una moltitudine di cariche elementari, rappresentate da elettroni. La carica negativa può variare soltanto in modo discontinuo, tal quale la massa. Tuttavia la carica elettrica elementare è così piccola che in molte ricerche è non soltanto lecito, ma talvolta anche preferibile seguire a considerarla come una quantità continua. Le teorie atomiche ed elettroniche introducono dunque nella scienza quantità fisiche discontinue, che possono cioè variare soltanto saltuariamente. [...]

Abbiamo detto che per qualsiasi elemento il suo più piccolo quanto elementare è l'atomo. Questa opinione venne a lungo tenuta per vera. Ma non più oggi. La scienza ha adottato un nuovo criterio che mette in luce le deficienze di quello più antico. Non c'è forse nessun asserito della fisica meglio fondato sui fatti di quello riguardante la complessità strutturale dell'atomo. Si è potuto e dovuto constatare che l'elettrone, ossia il quanto elementare del cosiddetto fluido elettrico negativo, è anche uno dei componenti dell'atomo e cioè uno dei mattoni elementari di cui tutta la materia è costruita.

Pagine di scienza

■ Quanti di luce

[...] Facciamo cadere su una lastra metallica luce omogenea violetta che, come sappiamo, è luce di una determinata lunghezza d'onda. La luce espelle dal metallo degli elettroni che si allontanano in gruppo, tutti con una stessa velocità ben definita. Dal punto di vista del principio della conservazione dell'energia possiamo dire: l'energia della luce si è parzialmente trasformata nell'energia cinetica degli elettroni espulsi. La tecnica sperimentale moderna ci pone in grado d'individuare questi proietti, come anche di determinarne la velocità e pertanto l'energia. L'estrazione di elettroni per mezzo di luce incidente sui metalli porta il nome di effetto fotoelettrico.

[...] Ciò che possiamo effettiva-

mente accertare con l'esperimento, dal punto di vista della teoria ondulatoria della luce, è assai sorprendente. Gli elettroni emessi hanno sempre la stessa velocità, ossia la stessa energia che non varia, per quanto l'intensità della luce venga accresciuta. Questo risultato sperimentale non si poteva prevedere in base alla teoria ondulatoria. Ancora una volta una nuova teoria sorge dal conflitto fra teoria in voga ed esperimento.

[...] Dobbiamo perciò ricorrere a una teoria del tutto diversa. Rammentiamoci che la teoria corpuscolare di Newton spiega molti dei fenomeni della luce.

[...] All'epoca di Newton il concetto di energia non esisteva. Secondo lui i corpuscoli luminosi erano imponderabili ancorché possedes-

sero carattere sostanziale e che questo fosse di verso per ogni colore.

[...] Per valerci dell'idea principale di Newton dobbiamo figurarci che la luce omogenea si componga non già di corpuscoli, bensì di grani di energia, ossia di «quanti di luce» che chiameremo fotoni, piccolissime particelle di energia che attraversano lo spazio vuoto con la velocità della luce. La risurrezione della teoria di Newton sotto questo nuovo aspetto conduce alla teoria quantistica della luce. Non sono soltanto la materia e la carica elettrica a possedere struttura granulare; anche l'energia di radiazione possiede la stessa struttura, si compone cioè di quanti di luce. Oltre ai quanti di materia e ai quanti di elettricità esistono anche i quanti di energia. [...]»