

Albert Einstein Leopold Infeld

L'evoluzione della fisica

Sviluppo delle idee dai concetti primitivi
alla Relatività ed ai Quanti

Traduzione di Abele Graziadei

1950

Giulio Einaudi editore

PREFAZIONE DEGLI AUTORI

Prima di cominciare a leggerci tu esigi, a buon diritto, risposta ad un paio di domande: Con quale intento è stato scritto questo libro? A quale categoria di presunti lettori è esso destinato?

Non è facile rispondere senz'altro in poche e convincenti parole. Riuscirebbe più agevole — ma superfluo — farlo alla fine del libro. Riteniamo quindi più spedito dire subito ciò che questo libro non vuol essere. Non abbiamo inteso di scrivere un testo di fisica. Né di esporre in ordine sistematico gli elementi fenomenologici e teorici della fisica. Abbiamo piuttosto inteso di disegnare a larghi tratti i tentativi dell'intelletto umano, volti a scoprire un nesso fra il mondo delle idee ed il mondo dei fenomeni. Abbiamo cercato di mostrare quali siano le forze agenti che inducono la scienza a concepire idee rispondenti alla realtà del mondo in cui viviamo. Ma la nostra esposizione doveva essere semplice e piana. Attraverso il dedalo dei fatti e dei concetti dovevamo scegliere la via maestra che ci pareva più caratteristica, spedita e significativa. Fenomeni e teorie fuori strada dovevano venire fatalmente trascurati, il nostro proposito primordiale imponendoci una cernita rigorosa dei fatti e delle idee. L'importanza di un problema non deve giudicarsi dal numero delle pagine che gli sono dedicate. Ancorché essenziali, talune tendenze di pensiero non sono menzionate, non perché noi le si tenga in poco conto, ma soltanto perché lontane dalla via che abbiamo prescelta.

Durante la redazione del libro ci siamo molto preoccupati delle caratteristiche del nostro presunto lettore e ne abbiamo discusso a lungo. Lo abbiamo supposto dotato di molte qualità atte a compensare

una totale mancanza di cognizioni concrete in fatto di fisica e matematica. Lo abbiamo immaginato pieno d'interesse per le idee fondamentali della fisica e della filosofia ed abbiamo debitamente apprezzato la gran dose di pazienza di cui egli deve essere provvisto per perseverare nella lettura delle pagine meno interessanti o più astruse. Egli deve, infatti, rendersi conto che per ben capire il contenuto di una pagina qualsiasi, occorre aver letto le precedenti. Egli sa certamente che un libro di scienza, per quanto volgarizzata, non può leggersi allo stesso modo di un romanzo.

Questo libro non vuol essere nulla più di una familiare conversazione fra il lettore e noi. Esso potrà apparire noioso od interessante, monotono o stimolante, ma il nostro intento sarà raggiunto, se queste pagine indurranno il lettore a meditare sull'eterna lotta impegnata dall'inventivo intelletto umano, per giungere ad una miglior comprensione delle leggi che governano i fenomeni fisici.

Albert Einstein Leopold Infeld

PARTE QUARTA

QUANTI

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, potremo marcare sulla nostra carta i diversi punti corrispondenti alle fermate dei treni. Se ora ci domandiamo quali punti possono raggiungersi con l'automobile, potremo senz'altro tracciare sulla pianta delle linee lungo quelle indicanti le varie strade che si staccano dal centro della città. Qualsiasi punto di tali linee può essere raggiunto con l'automobile. In ambedue 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 intercedenti fra le stazioni ferroviarie, mentre nel secondo caso i punti si susseguono senza interruzione lungo i tracciati delle strade. Possiamo inoltre domandarci quali siano le distanze dei punti in questione dal centro o da qualsiasi altro luogo della città. Nel primo caso ad 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 qualsivoglia misura, per piccola che sia; possono cioè 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 venir ridotta od

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 della tecnica sperimentale moderna. Non potendo qui, né mostrare, né descrivere neanche gli esperimenti piú 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. Scegliamo il caso piú semplice: quello dell'elemento piú leggero e cioè l'idrogeno. A pag. 74 abbiamo visto come lo studio del movimento browniano abbia condotto alla determinazione della massa di una molecola d'idrogeno. Il suo valore è di:

0,000 000 000 000 000 000 000 0033 g.

Ciò significa che la massa è discontinua. La massa di un quantitativo d'idrogeno non può variare che saltuariamente, in ragione di un numero intero d'infime porzioncelle, ognuna delle quali corrisponde alla massa di una molecola d'idrogeno. Tuttavia i processi chimici insegnano che la molecola d'idrogeno può spezzarsi in due parti eguali, ovverosia che la molecola d'idrogeno si compone di due atomi. Nei processi chimici è l'atomo e non la molecola che rappresenta un quanto elementare. La divisione per due del numero di cui sopra, ci dà la massa di un atomo d'idrogeno. Questa è di circa:

0,000 000 000 000 000 000 000 0017 g.

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

Torniamo ora su di un fatto a noi già noto. Un filo metallico è allacciato alla sorgente di una corrente. Questa circola nel filo, dal potenziale più alto al più basso. Ricordiamo che fu possibile spiegare molti fatti sperimentali con la semplice teoria dei fluidi elettrici, circolanti nel filo. Ricordiamo inoltre (pag. 88) che il decidere se sia il fluido positivo che circola dal potenziale più alto al più basso, o viceversa il fluido negativo che circola dal potenziale più basso al più alto, obbedì soltanto ad una convenzione. Anche senza tener conto delle nuove cognizioni derivanti dai concetti di campo, ed attenendoci alle ipotesi sempliciste dei fluidi, rimangono tuttora alcuni punti da chiarire. Come la parola « fluido » sta a denotare, l'elettricità venne da prima ritenuta una quantità continua. Secondo gli antichi criteri il valore della carica elettrica doveva potersi modificare in misura arbitrariamente piccola. Non pareva necessario di dover ricorrere alla supposizione di quanti elementari di elettricità. Ma le conquiste della teoria cinetica della materia condussero ad un nuovo quesito e cioè: esistono forse 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?

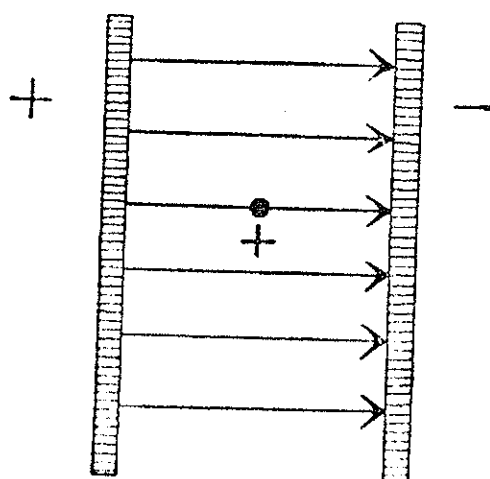
L'idea su cui si basano tutti gli esperimenti intesi a risolvere questi problemi, è quella di svellere il fluido elettrico dal filo, di proiettarlo nello spazio vuoto e di dissociarlo completamente dalla materia, per poscia investigarne la proprietà, che in tali condizioni dovrebbero manifestarsi con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

Molti esperimenti di quest'indole vennero intrapresi alla fine del secolo XIX. 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. Se ciò si fosse capito fino dal principio, quando la teoria dei fluidi elettrici cominciò ad essere costruita, si sarebbero certamente scambiate le parole, chiamando positiva l'elettricità della bacchetta di gomma elastica e negativa quella della bacchetta di vetro.

In tal caso sarebbe stato piú conveniente considerare il fluido circolante come positivo. Ma poiché allora si indovinò male, dobbiamo rassegnarci a sopportarne le conseguenze. 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 talune spiagge consistono di granelli di sabbia o certe case sono costruite in mattoni. Questo risultato venne enunciato con tutta chiarezza da J. J. Thompson, 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 come la massa. Tuttavia la carica elettrica elementare è così piccola che in molte ricerche è non soltanto lecito, ma talvolta anche preferibile seguitare a considerarla come una quantità continua. Le teorie atomiche ed elettroniche introducono dunque nella scienza quantità fisiche discontinue, che possono cioè variare soltanto saltuariamente.

Immaginiamo due lastre metalliche parallele e collocate in un recipiente, dal quale sia stata estratta tutta l'aria. La carica di una delle lastre sia positiva e quella dell'altra, negativa. Una carica positiva di prova, collocata fra le due lastre, verrà respinta da quella elettrizzata positivamente ed attirata dall'altra, elettrizzata negativamente. Le linee di forza del campo elettrico si dirigeranno dalla lastra di carica positiva, verso quella di carica negativa. Ove il corpo di prova fosse caricato negativamente, la forza agente su di esso avrebbe la direzione opposta. Se le lastre sono abbastanza grandi, le linee di forza fra l'una e l'altra saranno ovunque egualmente dense, per cui sarà indifferente collocare il corpo di prova in questo o quel punto; la forza e perciò

la densità delle linee di forza, rimarranno le stesse. Degli elettroni introdotti, non importa ove, fra le due lastre, si comporteranno alla stregua di gocce di pioggia o chicchi di grandine nel campo gravitazionale della Terra, muovendosi parallelamente gli uni agli altri, dalla lastra di carica negativa verso quella di carica positiva. Si conoscono molti dispositivi sperimentali per suscitare, in un campo simile, un getto di elettroni, spinti tutti nella stessa di-



rezione. Uno dei dispositivi piú semplici consiste nell'introdurre un filamento riscaldato fra le due lastre cariche. Il filamento riscaldato emette degli elettroni che assumono immediatamente la direzione delle linee di forza del campo esterno. Le valvole radio, che tutti conoscono, sono basate su questo principio.

Sui fasci elettronici sono stati eseguiti molti ed ingegnosi esperimenti. Le modificazioni che le loro traiettorie subiscono in differenti campi elettrici e magnetici sono state attentamente studiate. Si è perfino riusciti ad isolare un singolo elettrone ed a determinarne la carica elementare, nonché la massa, vale a dire la resistenza inerziale che esso oppone all'azione di una forza esterna. Ci limiteremo ad indicare il valore della massa di un elettrone. Essa

è circa *duemila volte inferiore* alla massa di un atomo di idrogeno. Ancorché infima, la massa di un atomo d'idrogeno è assai grande in confronto alla massa di un elettrone. Dal punto di vista di una teoria coerente del campo, l'intera massa, ossia l'intera energia di un elettrone, non è che l'energia del suo proprio campo, energia la cui intensità si concentra in maggior parte entro i limiti di una minutissima sfera e s'indebolisce moltissimo, al di là del centro elettronico.

Dicemmo poco fa, che per qualsiasi elemento, il suo piú piccolo quanto elementare è l'atomo. Questa opinione venne a lungo tenuta per vera. Ma oggigiorno, non piú. La scienza ha adottato un nuovo criterio che mette in luce le deficienze di quello piú antico. Non c'è forse nessun asserto 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. Il già citato esempio di un filamento riscaldato emettente elettroni non è che uno dei tanti modi con cui queste particelle possono venir estratte dalla materia. Moltissimi fatti sperimentali, indipendenti gli uni dagli altri, dimostrano che non può sussistere dubbio alcuno sull'intima connessione fra il problema della struttura della materia ed il problema dell'elettricità.

È relativamente facile estrarre da un atomo alcuni degli elettroni che concorrono alla sua composizione. Ciò può farsi con l'ausilio del calore, come nel nostro esempio del filamento riscaldato, nonché in modo affatto diverso e cioè, sottomettendo degli atomi al bombardamento di elettroni estranei.

Supponiamo che un sottile filamento metallico, portato al calor rosso, venga introdotto in un'atmosfera rarefatta d'idrogeno. Il filamento emetterà degli elettroni in tutte le direzioni. Sotto l'azione di un campo elettrico esterno potremo imprimere loro una velocità

determinata. Infatti, in un simile campo, un elettrone acquista velocità, tal quale come un sasso che cade nel campo gravitazionale.

Con tale dispositivo otterremo un fascio di elettroni, lanciato con una velocità determinata, in una determinata direzione. Oggi-giorno si possono raggiungere velocità comparabili a quella della luce, sempreché gli elettroni si trovino sotto l'azione di campi elettrici molto forti. Che cosa avviene, allorché un fascio di elettroni veloci investe le molecole dell'idrogeno rarefatto? L'urto di un elettrone, dotato di sufficiente velocità, non solo spezza una molecola d'idrogeno nei suoi due atomi, ma svelle altresí un elettrone da uno degli atomi.

È un fatto incontestabile che gli elettroni sono costituenti della materia. Ne consegue che un atomo dal quale sia stato divelto un elettrone non potrà essere elettricamente neutro. Se lo era prima, l'atomo non può piú essere neutro, dopo aver perso una carica elementare. Ciò che rimane di esso deve possedere una carica positiva. Inoltre, dato che la massa di un elettrone è talmente piú piccola di quella del piú leggero fra gli atomi, possiamo sicuramente concludere che la massa dell'atomo non è rappresentata da elettroni, ma bensí dalle sue particelle elementari restanti, che sono molto piú pesanti degli elettroni. Questa parte pesante dell'atomo, è il suo *nucleo*.

La fisica sperimentale moderna ha trovato dei metodi per spezzare il nucleo degli atomi, per trasmutare gli atomi di un elemento in quelli di un altro e per estrarre dal nucleo le particelle elementari che lo compongono. Il capitolo corrispondente della fisica, la cosiddetta « fisica nucleare », alla quale Rutherford ha dato un cosí largo contributo è, dal punto di vista sperimentale, il piú interessante. Ma purtroppo manchiamo tuttora di una teoria basata su idee fondamentali semplici, la quale interpreti la gran messe di fatti della fisica nucleare. Benché il capitolo in questione sia di grande importanza per la scienza moderna, dobbiamo ometterlo per non uscire dal programma di queste pagine, che si limita alle idee generali della fisica.

QUANTI DI LUCE

Osserviamo una parete costruita sul mare. Le onde marine ne percuotono continuamente la superficie e si ritraggono una dopo l'altra per lasciare il passo alle sopravvenienti. La parete si logora, vale a dire la sua massa si riduce e possiamo chiederci quale sia la quantità asportata entro un certo periodo di tempo, mettiamo un anno. Immaginiamo ora un processo diverso, con cui ridurre la massa della parete nella stessa misura. Spariamo contro la parete, scheggiandola nei punti colpiti dalle pallottole. La massa della parete diminuirà anche con questo metodo e nulla ci vieta di immaginare che in ambo i casi la riduzione possa risultare eguale. Tuttavia dall'apparenza della parete potremo sempre giudicare quale causa abbia agito, se l'azione continua delle onde o la raffica discontinua delle pallottole. Per la comprensione dei fenomeni che stiamo per descrivere sarà bene tener presente la diversità fra onde marine e raffiche di pallottole.

Abbiamo già visto che un filo metallico riscaldato emette degli elettroni. Ricorriamo ora ad un altro metodo per estrarre elettroni dai metalli. Facciamo cadere su di 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*.

Rammentiamo il nostro punto di partenza: l'azione cioè di un'onda di luce omogenea di data intensità. Come lo esige il metodo sperimentale, modifichiamo ora il nostro dispositivo per sincerarci se ciò influisce sull'effetto osservato.

Cominciamo col variare l'intensità dell'illuminazione violetta omogenea, proiettata sulla lastra metallica e notiamo se e come l'energia degli elettroni espulsi dipenda dall'intensità della luce. Proviamoci a trovare la risposta col ragionamento, prima che con l'esperimento. Basandoci sulla teoria della luce siamo indotti ad arguire: Nell'effetto fotoelettrico una determinata quantità di energia raggianti si è trasformata in energia di movimento degli elettroni. Perciò illuminando il metallo con luce della stessa lunghezza di onda, ma proveniente da una sorgente più poderosa, riscontreremo una maggior energia negli elettroni espulsi, poiché la radiazione incidente è più ricca in energia. In altre parole, la velocità degli elettroni emessi dovrebbe essere tanto maggiore, quanto maggiore è l'intensità della luce. Ma l'esperimento smentisce le nostre predizioni. Ancora una volta constatiamo che le leggi della natura non sono quali noi vorremmo. Ci siamo imbattuti in un esperimento che annientando le nostre previsioni, rovina la teoria sulla quale le avevamo basate. Ciò che possiamo effettivamente accertare con l'esperimento è, dal punto di vista della teoria ondulatoria della luce, 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 poteva prevedersi in base alla teoria ondulatoria. Ancora una volta una nuova teoria sorge dal conflitto fra teoria in voga ed esperimento.

Proponiamoci di essere ingiusti verso la teoria ondulatoria della luce dimenticando i suoi grandi successi, la sua ottima spie-

gazione della diffrazione della luce intorno a piccolissimi ostacoli. Con l'attenzione fissa sull'effetto fotoelettrico, cerchiamone un'interpretazione teorica soddisfacente. È ovvio che non è con la teoria ondulatoria che possiamo dar ragione della completa indipendenza fra l'energia degli elettroni e l'intensità della luce che li ha espulsi dalla lastra metallica. Dobbiamo perciò ricorrere ad una teoria affatto diversa. Rammentiamoci che la teoria corpuscolare di Newton spiega molti dei fenomeni della luce. È vero che essa non rispose quando si trattò di spiegare la diffrazione della luce, ma prescindiamo per ora da ciò. All'epoca di Newton il concetto di energia non esisteva. Secondo lui i corpuscoli luminosi erano imponderabili ancorché possedessero carattere sostanziale e che questo fosse diverso per ogni colore. Posteriormente quando venne creato il concetto di energia e si riconobbe che la luce era un veicolo d'energia, nessuno pensò ad applicare tali vedute alla teoria corpuscolare della luce. La teoria di Newton era morta e fino all'inizio del nostro secolo si è ritenuto che non potesse risuscitare.

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*, infime 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 che possiedono struttura granulare; anche l'energia di radiazione possiede la stessa struttura, si compone cioè di quanti di luce. *Oltre i quanti di materia ed i quanti di elettricità, esistono anche i quanti di energia.*

Il concetto di quanto d'energia venne proposto per la prima volta all'inizio di questo secolo da Planck, nell'intento di spiegare fenomeni assai più complessi dell'effetto fotoelettrico. Tuttavia questo ultimo mostra nel modo più chiaro e semplice quanto sia necessario modificare le nostre antiche vedute.

È senz'altro evidente che la teoria quantistica della luce dà

ragione dell'effetto fotoelettrico. Un getto di fotoni colpisce una lastra metallica. L'interazione fra radiazione e materia consiste in tal caso in una moltitudine di singoli processi, per cui un fotone percuote un atomo divellendone un elettrone. Questi singoli processi sono tutti identici e perciò tutti gli elettroni divelti debbono avere la stessa energia. È altresì chiaro che accrescere l'intensità della luce significa, nel nostro nuovo linguaggio, accrescere il numero dei proietti fotonici. In tal caso avverrà che un maggior numero di elettroni sarà espulso dalla lastra metallica, senza che l'energia di niuno di essi si differenzi da quella degli altri. Vediamo dunque che la teoria è in perfetto accordo con l'esperienza.

Che cosa succederà se un fascio di luce omogenea di altro colore, ad esempio rosso, invece di violetto, colpisce la superficie metallica? Affidiamo la risposta all'esperimento e misuriamo l'energia degli elettroni espulsi, comparandola a quella degli elettroni divelti dalla luce violetta. L'energia dell'elettrone espulso dalla luce rossa risulta inferiore all'energia dell'elettrone emesso allorché la luce è violetta. Ciò significa che l'energia dei quanti di luce differisce secondo i colori. I fotoni del colore rosso posseggono metà dell'energia posseduta dai fotoni del colore violetto. In termini più generali e rigorosi: l'energia dei quanti di luce appartenenti ai vari colori omogenei diminuisce proporzionalmente all'aumento della lunghezza d'onda dei colori stessi. È questa una differenza essenziale fra quanti di energia e quanti di elettricità. I quanti di luce differiscono per ogni lunghezza di onda, mentre i quanti di elettricità sono tutti eguali. Ricorrendo ad una delle nostre precedenti analogie potremmo comparare i quanti di luce ai più piccoli quanti od unità monetarie aventi corso nei diversi paesi.

Continuiamo a lasciare in disparte la teoria ondulatoria della luce ed ammettiamo che la luce abbia struttura granulare e sia costituita da quanti luminosi, ovvero fotoni traversanti lo spazio con la velocità della luce. Secondo questa nostra nuova rappresentazione la luce è una raffica di fotoni ed il fotone è il quanto di

energia luminosa. Ma se abbandoniamo la teoria ondulatoria, il concetto di lunghezza d'onda viene meno. Quale nuovo concetto lo sostituisce? L'energia del quanto di luce! Gli asserti enunciati in termini della teoria ondulatoria possono venir tradotti in asserti della teoria quantistica di radiazione. Per esempio:

*Terminologia della teoria
ondulatoria*

Ogni luce omogenea ha una lunghezza d'onda determinata. La lunghezza d'onda dell'estremità rossa dello spettro è doppia di quella dell'estremità violetta.

*Terminologia della teoria
quantistica*

Ogni luce omogenea consiste in fotoni di energia determinata. L'energia dei fotoni dell'estremità rossa dello spettro è metà di quella dell'estremità violetta.

Lo stato di fatto può riassumersi come segue: Vi sono fenomeni spiegabili con la teoria quantistica, ma non con la teoria ondulatoria. L'effetto fotoelettrico non è che uno dei tanti casi del genere. Vi sono invece fenomeni spiegabili con la teoria ondulatoria, ma non con la teoria dei quanti; la diffrazione della luce intorno a piccoli ostacoli ne è un esempio tipico. Finalmente esistono fenomeni come la propagazione rettilinea della luce che possono spiegarsi tanto con la teoria quantistica, come con la teoria ondulatoria.

Ma che cos'è dunque la luce? È essa un'onda, oppure un getto di *fotoni*? Ricordiamo che già altra volta ci siamo posti una domanda analoga e cioè: la luce è forse un'onda oppure un getto di corpuscoli? Allora tutte le ragioni ci inducevano a ripudiare la teoria corpuscolare e ad accettare la teoria ondulatoria che spiegava tutti i fenomeni luminosi conosciuti. Ma ora il problema è assai più complesso. Non sembra esserci mezzo di descrivere coerentemente tutti i fenomeni luminosi in uno solo dei due linguaggi possibili. Pare che si debba ricorrere talvolta all'una e talvolta all'altra teoria e che vi siano anche casi in cui si possa ricorrere ad entrambe. Ci troviamo di fronte ad un nuovo genere di difficoltà. Abbiamo due opposte rappresentazioni della realtà; da sola nessuna

delle due spiega totalmente i fenomeni della luce; insieme vi riescono!

Come combinare queste due rappresentazioni? Come capire questi due aspetti affatto diversi della luce? Non è agevole superare questa nuova difficoltà. Ancora una volta ci troviamo in presenza di un problema fondamentale.

Accettiamo per intanto la teoria quantistica della luce e tentiamo di capire, con il suo ausilio, i fatti fin qui spiegati dalla teoria ondulatoria. Così facendo, daremo maggior risalto alle difficoltà che a prima vista rendono irreconciliabili le due teorie.

Ricordiamo: un fascio di luce omogenea, dopo aver attraversato un forellino, forma anelli chiari e scuri (pag. 124). Com'è possibile capire questo fenomeno in base alla teoria quantistica e senza tener conto della teoria ondulatoria? Un fotone è lanciato contro il forellino. Che cosa possiamo attenderci di vedere sullo schermo opposto? Evidentemente un dischetto bianco se il fotone passa e nulla se non passa. In realtà vediamo anelli chiari e scuri. Potremmo tentare di darcene ragione ammettendo che fra il contorno del forellino ed il fotone si verificano interazioni causanti l'apparizione degli anelli di diffrazione. Ma purtroppo questa supposizione non spiega gran che; essa può considerarsi tutt'al più come il programma per una spiegazione futura; programma basato sulla speranza di arrivare a riconoscere la diffrazione come effetto di un'interazione fra materia e fotoni.

Ma anche questa debole speranza svanisce se ricordiamo la nostra precedente discussione intorno ad un altro dispositivo sperimentale, quello cioè dei due forellini contigui. Dopo averli attraversati la luce omogenea mostra sullo schermo opposto frange chiare e scure. Come va inteso questo fenomeno dal punto di vista della teoria quantistica della luce? Potremo arguire: poiché un fotone di luce omogenea è una particella elementare della luce, non possiamo immaginarne la divisione ed il passaggio attraverso entrambi i forellini e perciò il fotone deve attraversare o l'uno o

l'altro dei due forellini. Ma allora l'effetto dovrebbe essere esattamente come nel primo caso e cioè anelli chiari e scuri e non già frange chiare e scure. Come è mai possibile che la presenza di un secondo forellino cambi completamente l'effetto? Dobbiamo forse ammettere che il forellino, attraverso cui il fotone non passa, cambia gli anelli in frange? Se il fotone si comportasse come un corpuscolo della fisica classica, dovrebbe passare attraverso l'uno o l'altro forellino. Ma in tal caso i fenomeni della diffrazione diverrebbero assolutamente incomprensibili.

La scienza ci costringe a creare nuove idee, nuove teorie, il cui primo obbiettivo è quello di abbattere il muro di contraddizioni che spesso blocca la via del progresso. Tutte le idee scientifiche fondamentali sono sorte dai drammatici conflitti tra la realtà ed i nostri tentativi per intenderla.

Ci troviamo ora di fronte ad un nuovo problema per la cui soluzione occorre fare appello a nuovi principî. Ma prima di dar conto dei tentativi fatti dalla scienza moderna per cercare di spiegare le contraddizioni fra gli aspetti quantistici ed ondulatori della luce mostreremo che la stessa difficoltà sorge non soltanto per i quanti di luce, ma anche per i quanti di materia.