

**CIRCOLO DI PSICOBIOFISICA
AMICI DI MARCO TODESCHINI**

presenta:

**WERNER HEISENBERG
MARCO TODESCHINI**



**TEORIE UNITARIE
A CONFRONTO**

a cura di
Fiorenzo Zampieri
Circolo di Psicobiofisica
"Amici di Marco Todeschini"

PREMESSA

Werner Heisenberg (1901+1976) è stato professore di fisica teorica alle Università di Lipsia, Berlino, Gottinga e Monaco dal 1927 al 1959 e direttore dell'Istituto "Max Planck" di fisica e astrofisica dal 1941 al 1971. Nel 1932 ricevette il premio Nobel per la fisica.

Fu collaboratore di Born e di Bohr, ed è da considerarsi tra i fondatori della meccanica quantistica per aver creato la cosiddetta meccanica delle matrici e per aver enunciato il principio di indeterminazione. Ha introdotto il concetto di forze di scambio tra particelle di natura identica e su di esse sviluppò la prima teoria delle forze nucleari. Ha dato contributi essenziali alla teoria del ferromagnetismo ed allo studio della superconduttività. Con Pauli ha indagato i legami tra la meccanica quantistica e la teoria della relatività.

Una frase, scritta da Heisenberg nel suo libro dal titolo "Natura e fisica moderna", mi ha colpito molto in quanto esprime un concetto "unitario" che potrebbe sembrare estraneo ad una fisica "accademica" di cui faceva senz'altro parte lo scienziato tedesco. La frase era questa:

«...tutte le particelle, in ultima analisi, sono costituite dalla stessa sostanza; esse sono solo stati stazionari diversi di un'unica materia. Anche il numero tre delle componenti fondamentali viene così ridotto ad uno. *Esiste solo una materia unitaria, ma essa può esistere in diversi stati stazionari discreti* (il corsivo è nel testo). Alcuni di questi stati sono stabili, cioè i protoni, i neutroni, e gli elettroni; molti altri sono instabili.»

Da questa frase di Heisenberg si comprende come anch'egli si fosse convinto che alla base di tutti i costituenti la materia ci debba essere qualcosa di sfuggente, una sostanza primordiale ed inestinguibile dotata di energia che trova la sua collocazione nello spazio "vuoto". Una sua frase rivelatrice, infatti, che si trova nel testo che segue, dice: «Si sa che tutta la materia è formata dalla stessa sostanza, dall'energia, e che questa si presenta in forme diverse».

Ma l'"energia" non può essere "sostanza" perché essa è una qualità, un attributo, un effetto associato a qualcosa di concreto, di materiale, senza il quale essa non può manifestarsi, per cui dove vi è "energia" ci dev'essere "sostanza" e quindi se anche nel "vuoto" si manifesta l'energia è perché il vuoto è SOSTANZA!

Fiorenzo Zampieri

Werner Heisenberg

**MUTAMENTI NELLE BASI
DELLA SCIENZA**

Paolo Boringhieri

Gli attuali problemi di fondo della fisica atomica

(1948)

Se oggi si parla in pubblico di fisica atomica, si pensa in primo luogo alla tecnica atomica, all'applicazione delle enormi energie atomiche, a strumenti di guerra o a macchine. Ma la vera e propria scienza, da cui si è sviluppata come un ramo laterale questa tecnica, è molto meno conosciuta dal pubblico. Occasionalmente si annunzia che uno scienziato inglese è riuscito a scoprire una nuova particella elementare, o che le esperienze con un nuovo ciclotrone gigantesco in California hanno aiutato a conoscere meglio le forze interne dell'atomo, o che due scienziati russi hanno ricevuto il premio Stalin per i risultati ottenuti in un laboratorio d'alta montagna nel Caucaso. Ma si parla appena del vero scopo di questi lavori, del legame comune che congiunge tutti questi sforzi di uomini di paesi diversi, riuniti in tal modo in una collaborazione ricca di significato. Il fisico intende sotto il nome di fisica atomica proprio l'insieme di queste ricerche collettive. Egli ha presente, nel suo lavoro, il desiderio millenario degli uomini di concepire il mondo da un punto di vista unitario, e nel considerare ogni nuova scoperta egli si domanda, fors'anche inconsapevolmente, se essa lo avvicini alla realizzazione di questi suoi desideri. Vorrei perciò parlare di quelle idee fondamentali che colle-

gano le diverse esperienze e teorie nella fisica atomica. Vorrei spiegare che cosa speriamo di ottenere col nostro lavoro e che cosa succederà infine se una volta si verificheranno le nostre speranze e i nostri desideri in questo riguardo.

Chi vuol comprendere quale sia la preoccupazione fondamentale dei fisici atomici, deve conoscere la storia delle origini di questa scienza. Egli deve seguire passo per passo il pensiero che ha condotto duemila anni fa, nella filosofia naturale greca, alla dottrina degli atomi, e deve poi tentare di riconoscere anche nei progressi della fisica atomica più moderna il nesso con quelle idee fondamentali. Non mi scosterò dunque dall'argomento, se parlerò prima, in breve, della preistoria e della storia della dottrina atomica.

Risale agli inizi della filosofia naturale ionica la celebre affermazione di Talete di Mileto, che l'acqua sia l'origine di tutte le cose. In quest'affermazione che oggi ci sembra tanto bizzarra, sono contenute, come ha già spiegato Nietzsche, tre idee fondamentali della filosofia: in primo luogo il problema dell'origine di tutte le cose, poi la persuasione che a questo problema si possa rispondere secondo la ragione, dunque senza ricorrere a un mito, — per il pensiero di quel tempo non era ovvio cercare l'origine delle cose in qualche cosa di materiale, anziché nella vita stessa, — e finalmente il postulato che fosse possibile, in ultima analisi, comprendere il mondo partendo da un principio unitario. Nell'affermazione di Talete si esprime per la prima volta l'idea d'una materia fondamentale unica, da cui sarebbe formato l'universo, anche se la parola "materia" non ha qui ancora il senso concreto che le attribuiamo oggi tanto leggermente.

Se esistesse una materia fondamentale unica, essa dovrebbe riempire indistintamente e uniformemente il tutto, e l'alternarsi va-

riopinto dei fenomeni non sarebbe allora comprensibile. Perciò la filosofia di Anassimandro, che era scolaro di Talete e visse anche lui a Mileto, parte da una polarità fondamentale, dall'antitesi tra l'essere e il divenire. Dall'essere indifferenziato si solleva il cambiamento, il divenire, che in certo modo come un deterioramento del puro essere dà ora forma, con l'odio e l'amore, alle vicende del mondo. Nella filosofia di Eraclito il divenire assume la parte preponderante; il fuoco è per lui l'elemento fondamentale, è ciò che muove, è anche insieme la luce e il bene, e la guerra è l'origine di tutte le cose. In seguito si sviluppa, specialmente con Anassagora, l'idea che le sostanze fondamentali che formano il mondo siano parecchie, e che queste sostanze di per sé debbano essere pensate semplici e indistruttibili. Solo la loro riunione e separazione darebbe origine al giuoco variopinto della vita. Secondo Empedocle i noti elementi, terra, acqua, aria e fuoco, sono le quattro "radici fondamentali" di tutte le cose.

Partendo da questa posizione, si compie attraverso Leucippo e Democrito di Abdera il passaggio al materialismo. La polarità dell'essere e del non essere è concretata nella contrapposizione tra il pieno e il vuoto. Il puro essere si contrae, per così dire, fino a ridursi a un punto; in compenso esso è capace di ripetersi un numero illimitato di volte. Esso è indivisibile e indistruttibile, perciò si chiama "atomo". Esistono solo gli atomi, e tra l'uno e l'altro di essi lo spazio vuoto. Il miscuglio degli elementi è confrontato ora, in forma intuitiva, col miscuglio di due specie di sabbia. La disposizione e gli spostamenti reciproci degli atomi determinano le qualità delle differenti sostanze e causano così la molteplicità del mondo. Mentre fin allora non si poteva immaginare lo spazio senza la materia, ma si immaginava che esso fosse in certo modo dispiegato da essa, ora esso guadagna nella filosofia materialistica una certa indipendenza, esso è, come spazio vuoto tra

un atomo e l'altro, il sostegno delle formazioni geometriche, dunque di tutta la dovizia di forme presentate dai molteplici fenomeni naturali. Gli atomi stessi sono privi di qualità, non hanno né colore né odore né sapore; le proprietà della materia derivano indirettamente dalla distribuzione e dal movimento degli atomi. Democrito si esprime come segue:

“Come, per esempio, la tragedia e la commedia possono essere scritte con le stesse lettere dell'alfabeto, così eventi di specie molto diversa possono effettuarsi nel mondo per mezzo degli stessi atomi, in quanto questi assumono posizioni diverse ed eseguono movimenti diversi.” “Solo in apparenza un oggetto ha un colore, solo in apparenza esso è dolce o amaro; in realtà non esistono che gli atomi e lo spazio vuoto.”

La dottrina atomica realizza dunque il postulato fondamentale di Talete, che cioè si debba concepire il mondo secondo un principio unitario, nel senso che essa riconosce solo una sostanza fondamentale, una sola forma fondamentale dell'essere, gli atomi. A questo concetto semplice si contrappone la forma, il movimento, che qui incorpora il divenire e causa tutti i vari avvenimenti del mondo. In Platone, che nel *Timeo* fa in parte sue le idee atomistiche, esistono cinque specie differenti di particelle, che si distinguono per la loro forma e alle quali dovrebbero corrispondere cinque sostanze fondamentali. Esse sono rappresentate dai cinque corpi regolari. L'ammettere cinque specie diverse potrebbe apparire in un primo momento un regresso nell'interpretazione unitaria del mondo, ma in fondo si immagina anche qui un modo di essere unico nelle minime particelle, ed esso si manifesta appunto con differenti forme geometriche. La varietà del mondo è dovuta al gran numero di tipi di formazioni matematiche. Tutta la ricchezza della vita si rispecchia nella ricchezza delle forme geometriche, composte per mezzo di ciò che esiste effettivamente.

Ho abbozzato brevemente questo sviluppo storico, perché esso ci fa conoscere chiaramente quale sia la preoccupazione fondamentale della dottrina atomica. Si dovrebbe ammettere che il mondo sia costituito, in ultima analisi, da una sostanza unica, secondo un principio unico. La dovizia di fenomeni naturali deve essere messa in certo qual modo in relazione con la dovizia di configurazioni matematiche. L'ulteriore sviluppo ha aggiunto ancora a quest'idea il concetto importante di leggi di natura immutabili, secondo le quali si verifica tutto ciò che succede. Le configurazioni matematiche arrivano anche al futuro e permettono di predire ciò che deve succedere. Lo sviluppo successivo ha adottato le idee fondamentali della dottrina atomica quasi senza modifiche e anche oggi queste idee fanno sentire la loro forza feconda.

Prima di trattare i problemi attuali dal punto di vista di quelle idee fondamentali, vorrei seguirne ancora per un po' lo sviluppo storico, perché solo su questo sfondo si può comprendere bene il senso del nostro sforzo odierno. Al principio dell'epoca moderna il concetto della sostanza fondamentale si è sviluppato grazie alle esperienze della chimica. Così, fin dal secolo diciassettesimo, sono considerate elementi fondamentali, di cui sarebbe composta tutta la materia, quelle sostanze che non si è in grado di scomporre ulteriormente con l'aiuto della chimica. Noi conosciamo ora un centinaio di elementi chimici, da cui è formato circa mezzo milione di combinazioni che s'incontrano in natura. Ad ogni elemento chimico si fa corrispondere un atomo diverso, e questi atomi, come per esempio l'atomo di carbonio o quello di ossigeno, si considerano alla loro volta indivisibili e indistruttibili. La combinazione chimica si ottiene dunque ordinando in gruppi atomi di elementi diversi; a questi gruppi di atomi si dà il nome di molecole. Un tale gruppo di atomi forma poi le minime particelle della rispettiva combinazione chimica.

Quest'interpretazione fisico-atomica della chimica s'è imposta definitivamente alla fine del secolo diciottesimo, e ha formato in seguito la base dei grandi progressi della chimica. Tuttavia si può dire che con questa vittoria della dottrina atomica le idee fondamentali di quest'ultima non si sono completamente realizzate. Si doveva infatti arrivare alla conclusione che il mondo fosse formato in ultima analisi da una sostanza unica. Ma proprio in quell'epoca ci si era allontanati più che mai da quest'idea fondamentale, perché con l'ammettere che esistessero circa cento elementi diversi, dalla cui mescolanza dovesse essere costituita ogni materia, deriva una complicazione che è in antitesi con l'aspirazione fondamentale della fisica atomica. Tuttavia si ottennero con questa teoria successi tanto importanti, che l'interpretazione atomica della chimica fu in complesso ammessa generalmente; infine era appunto un fatto incontestabile che gli elementi chimici non potevano essere scomposti ulteriormente o trasformati con metodi chimici.

Ma già nell'anno 1815 l'inglese Prout tentò di aprire una breccia in mezzo a queste opinioni concordi, sostenendo l'ipotesi che tutti gli elementi fossero costituiti in ultima analisi da idrogeno. Egli arrivò ad asserire ciò, dopo avere osservato i valori dei pesi atomici, che si poterono determinare in quell'epoca per la prima volta con una certa precisione. I pesi atomici di molti elementi leggeri sono con sufficiente esattezza multipli interi del più leggero di essi, cioè dell'idrogeno. Per esempio l'atomo di elio pesa abbastanza esattamente come quattro atomi d'idrogeno; è ovvio perciò credere che un atomo di elio sia formato da quattro atomi d'idrogeno. Tuttavia si è dovuto aspettare ancora un secolo, prima di poter dire con sicurezza che gli atomi della chimica non sono le ultime parti costitutive della materia, che dunque in realtà non sono ciò che i Greci intendevano dire con atomo.

Attraverso le ricerche di Faraday, la scoperta dell'elettrone (dunque dell'atomo di elettricità) e la scoperta della radioattività, si arrivò infine al celebre modello atomico di Rutherford-Bohr, che inaugura l'età giovanile della fisica atomica. Da meno di quattro decenni sappiamo che, con certe riserve, l'atomo d'un elemento chimico deve essere immaginato come un sistema planetario in miniatura. La massima parte della sua massa è riunita nel nucleo, che è carico di elettricità positiva e ha un diametro eguale a circa un centomillesimo del diametro di tutto l'atomo. Intorno al nucleo ruotano gli elettroni, molto piú leggeri, e precisamente in numero tale da neutralizzare la carica del nucleo. Il diametro delle orbite planetarie piú esterne misura, nella maggior parte degli atomi, circa un decimilionesimo di millimetro. Le riserve cui ho alluso si riferiscono alla difficoltà di principio di dare immagini intuitive dei fenomeni atomici. È ben vero che le leggi di natura secondo cui gli elettroni si muovono intorno al nucleo ci sono tanto ben conosciute da circa vent'anni che le possiamo esprimere matematicamente con tutto rigore. Ma possiamo tradurre queste leggi soltanto inesattamente in immagini intuitive dell'atomo; perché l'ipotesi dei quanti di Planck, su cui si basano queste leggi, contiene un elemento fondamentale non intuitivo.

Gli involucri esterni di tutti gli atomi sono dunque per così dire formati della stessa materia, cioè in tutti i casi di elettroni, ossia delle particelle elementari piú leggere, cariche di elettricità negativa. La varietà delle specie di atomi è dovuta alla varietà dei nuclei atomici, che non possono essere influenzati con mezzi chimici. Ma oggi i nuclei atomici possono essere intaccati con mezzi piú penetranti di quelli chimici. Si può bombardarli con altre particelle elementari molto veloci e allora si trova, come si era supposto da lungo tempo, che il nucleo stesso è a sua volta

una formazione composta, e che è possibile trasformare i nuclei in altri nuclei. Da circa quindici anni si sa che tutti i nuclei sono formati da due specie di costituenti elementari, che chiamiamo protoni e neutroni. I protoni coincidono coi nuclei piú leggeri, quelli dell'elemento idrogeno, i neutroni sono particelle elementari elettricamente neutre, che pesano circa quanto i protoni. Per ogni nucleo noi possiamo dire quanti sono i protoni e i neutroni che lo formano. Cosí il nucleo dell'atomo d'idrogeno è formato da un protone, quello dell'atomo di elio da due protoni e un elettrone, il nucleo pesante dell'atomo di uranio da 92 protoni e 146 neutroni. Il numero dei protoni determina la carica del nucleo e quindi il comportamento chimico dell'atomo.

Dopo avere accertato che tutti i nuclei atomici sono costituiti dalle stesse particelle, si arriva naturalmente a formulare il problema, risolubile almeno in teoria, di scomporre o di combinare i nuclei; dopo la celebre scoperta di Hahn, che i nuclei d'uranio possono essere spezzati per mezzo di neutroni, queste scomposizioni e combinazioni dei nuclei atomici hanno formato un ramo importante della tecnica moderna. Ora noi siamo in grado di trasmutare realmente un elemento chimico in un altro.

Se confrontiamo lo stato attuale della fisica atomica con quello di centocinquant'anni fa, vediamo che esso soddisfa assai meglio la preoccupazione fondamentale degli atomisti. Si doveva infatti arrivare alla conclusione che il mondo è formato di una sostanza unica. Al posto di quelle cento sostanze chimiche fondamentali indipendenti, ora almeno sono subentrate solo tre sostanze fondamentali, o piú esattamente: sono subentrate delle forme fondamentali della materia, ai cui atomi diamo il nome di elettroni, protoni e neutroni. Tutta la materia, che si tratti di corpi viventi o no, è composta dunque da queste tre specie di particelle elementari e da null'altro. Le differenze qualitative sono dovute al-

l'ordine e alla distribuzione differente di queste tre particelle elementari. La dovizia dei fenomeni possibili si rispecchia nel gran numero delle configurazioni matematiche realizzabili con queste tre forme fondamentali di ciò che esiste.

Vorrei sviluppare ancor più da vicino, con l'esempio della chimica, quest'ultimo punto, che è caratteristico non solo per la moderna fisica atomica, ma per tutte le scienze naturali esatte. Le leggi di natura secondo le quali gli elettroni si muovono intorno al nucleo atomico, ci sono note con esattezza. Perciò ogni possibile stato degli atomi, per esempio in una complicata molecola, deve corrispondere a una soluzione delle equazioni che rappresentano quelle leggi di natura. Le nostre forme matematiche sono dunque più ricche di contenuto di quelle dei Greci. Noi non pensiamo più a sole strutture geometriche, ma a sistemi complicati di equazioni differenziali, che sono per esempio riferite, particolarmente nel caso della fisica atomica, a uno spazio a più dimensioni. L'insieme delle soluzioni di tali equazioni corrisponde all'insieme di stati possibili degli atomi. La variopinta molteplicità delle possibili combinazioni chimiche è rappresentata dall'insieme delle possibili soluzioni delle equazioni differenziali di Schrödinger.

Ma col fatto di considerare ora tre sostanze fondamentali, cioè tre specie di particelle elementari (elettroni, protoni e neutroni), quali costituenti di tutta la materia, non abbiamo ancora portato a compimento il programma della fisica atomica; ed è qui che ci troviamo di fronte al vero compito della fisica atomica contemporanea. Se esistessero solo queste tre particelle elementari, sarebbe forse possibile appagarsi del fatto che esistono appunto tre specie fondamentalmente diverse di materia, che non possono più essere trasmutate una nell'altra o essere ricondotte una all'altra. Ma in realtà la materia si manifesta anche sotto altre for-

me. Anzitutto è da menzionare la radiazione. Da quando esiste la celebre formula della teoria della relatività che collega fra loro l'energia e la massa, si sa che l'energia, sotto ogni forma, possiede anche una massa e perciò può essere considerata una specie di materia. Nelle radiazioni, l'energia è concentrata, secondo Planck ed Einstein, nei cosiddetti quanti di luce, che possono anche essere considerati come una specie di particelle elementari. Ma, prescindendo da ciò, si sono trovate negli ultimi vent'anni ancora altre particelle elementari. Poco dopo il 1930 Anderson scoperse l'elettrone positivo, che può comparire nella trasformazione di radiazioni in materia. In certi casi, come per esempio quando in una emissione di raggi X si sfiora casualmente un nucleo atomico, un quanto di luce ricco d'energia si può trasformare in un elettrone negativo e in uno positivo. Un po' più tardi Anderson ha trovato un'altra particella elementare, nei processi che si verificano nell'atmosfera sotto l'influenza dei raggi cosmici, una particella che è circa duecento volte più pesante dell'elettrone e porta ora il nome di mesone. Questo mesone, veramente, esiste sempre soltanto per un tempo brevissimo; esso scompare già dopo circa un milionesimo di secondo e si trasforma in un elettrone e in un'altra particella neutra. Infine si sono scoperte ultimamente anche altre particelle elementari, che hanno un comportamento simile a quello dei mesoni e anche possono esistere solo per un tempo brevissimo.

Di fronte a questi sviluppi che la fisica atomica ha avuto negli ultimi anni, sembrerà in un primo momento che la dottrina atomica si allontani di nuovo dal suo scopo, per il fatto che l'ipotesi delle tre sostanze fondamentali dovrebbe di nuovo essere sostituita da ammissioni più complicate. Con questo problema, ci troviamo ora nel mezzo della problematica della fisica atomica contemporanea. Le idee avute finora sembravano infatti ancora

troppo semplici. Per molte ragioni si è indotti a supporre l'esistenza di ancora altre particelle elementari, che finora non sono state osservate perché esse non possono esistere che per un tempo straordinariamente breve. Ma si è accertato sperimentalmente un altro fatto importante. Le particelle elementari possono essere trasmutate una nell'altra. La caratteristica della indistruttibilità non si verifica certamente per le particelle elementari, nel senso d'una volta. Per esempio, da un urto violento tra un neutrone e un protone può avere origine un mesone. Il processo, caratteristico per questo campo della fisica atomica, è, in tutta generalità, l'urto di due particelle elementari dotate di fortissima energia; in tale urto si formano spesso, secondo le nostre cognizioni attuali, certe altre particelle elementari, e precisamente in numero tanto maggiore quanto più elevata è l'energia complessiva disponibile; si può descrivere nel miglior modo il processo dicendo che l'energia a disposizione nell'urto è impiegata nella formazione di particelle elementari ed è distribuita fra queste in modo statistico. Le particelle che si ottengono in questo modo sono formazioni di massa ben determinata e con certe altre proprietà, anch'esse ben determinate. In parte esse coincidono con le particelle elementari già note da lungo tempo. Le particelle della stessa specie sono sempre identiche in tutte le loro proprietà. In questo senso esse sono una specie unica, ma possono, come abbiamo visto, essere trasmutate in particelle d'altra specie.

Con la conoscenza di questi risultati, raggiunta appena in questi ultimi anni, ci troviamo molto vicini al vero scopo della dottrina atomica. Ciò che gli antichi Greci avevano sperato di trovare, l'abbiamo trovato noi: abbiamo riconosciuto che esiste realmente una sola sostanza fondamentale, da cui è formato tutto ciò che esiste. Se dobbiamo dare un nome a questa sostanza fondamentale, possiamo oggi chiamarla soltanto "energia". Questa so-

stanza fondamentale, l'energia, è però capace di esistere sotto differenti forme. Essa si presenta sempre in "quanti" discreti, e questi sono, secondo noi, le minime pietre di costruzione, indivisibili, con le quali è costituito tutto ciò che è materiale; per ragioni puramente storiche essi non si chiamano atomi, ma particelle elementari. Tra queste forme fondamentali dell'energia esistono tre specie particolarmente stabili: gli elettroni, i protoni e i neutroni, da cui è formata la materia in senso stretto; si deve poi aggiungere sempre l'energia di movimento. Poi ci sono quelle particelle che si muovono sempre con la velocità della luce e che costituiscono le radiazioni, e infine altre forme, a vita breve, la cui esistenza è stata finora costatata con sicurezza solo in pochi casi. La molteplicità dei fenomeni di questo mondo si verifica dunque, come avevano già intuito i filosofi greci, per mezzo della dovizia di forme in cui può apparire l'energia, e questa dovizia deve a sua volta esser rappresentata, per venir pienamente compresa, in un insieme di configurazioni matematiche, dunque in ultima analisi col semplice insieme delle soluzioni d'un sistema di equazioni. In ciò consiste il problema decisivo dell'odierna teoria atomica. Infatti le configurazioni matematiche che descrivono il comportamento delle particelle elementari non sono ancora conosciute perfettamente. La loro conoscenza è però necessaria, perché solo essa ci permetterà di predire il risultato d'un'esperienza e di dominare pertanto i fenomeni della natura, nel senso della fisica classica. Qui si vede anche che poco si è guadagnato nel determinare l'esistenza d'una sostanza fondamentale, e che tutta la ricchezza consiste piuttosto nelle forme che essa può assumere. I successi ottenuti finora nella comprensione della materia stanno scritti, in ultima analisi, in equazioni matematiche, perché nessun altro linguaggio è suscettibile di rappresentare una tale ricchezza di forme. Il vero compito della fisica atomica, nei prossimi anni o

decenni, continuerà sempre ad essere quello di trovare sperimentalmente e di formulare matematicamente quelle leggi della natura che determinano tutte le proprietà delle particelle elementari e delle loro combinazioni. Dunque se, per esempio, si scopre una nuova particella elementare nelle radiazioni cosmiche, noi otteniamo dalla sua esistenza nuove informazioni sulle rispettive leggi di natura. Se con ricerche matematiche minuziose si studiano le proprietà delle forme bilineari, mediante le quali nella moderna teoria atomica si rappresentano le grandezze osservabili, si scopre con ciò qualcosa sulle configurazioni matematiche, e queste ci descriveranno anche il comportamento delle particelle elementari nella futura teoria.

Forse dovrei dire qui una parola sulle particolari difficoltà con cui ci troviamo a dover lottare. Quando si descrive la natura matematicamente, si devono introdurre certe grandezze matematiche (come avvenne nella meccanica di Newton), che rappresentino la posizione e la velocità delle particelle, e formulare col loro aiuto delle equazioni che rappresentino poi le leggi di natura. Se però vogliamo far uso di alcune grandezze finora usuali, come per esempio delle coordinate d'una particella, allora poniamo come premessa che la particella sia già presente, che essa sia data in un modo preciso. In realtà però il fatto decisivo, in quest'ultimo stadio della fisica atomica, è che le particelle non sono grandezze date con precisione, ma noi dobbiamo addirittura spiegare anzitutto la loro esistenza e le loro proprietà. Noi non possiamo perciò prendere logicamente come punto di partenza le coordinate o le masse di determinate particelle; e che cosa dobbiamo prendere allora? In fondo, nel campo della matematica, non abbiamo ancora sviluppato gli strumenti che ci permettano di descrivere esattamente i fenomeni complicati che si svolgono nell'infinitamente piccolo. È vero che si potrebbe dire: anche se

le particelle non sono grandezze date con precisione, anche se esse debbono in primo luogo essere determinate, esse debbono pure avere una posizione e una massa e queste variabili possono essere introdotte in ogni caso nelle equazioni. Ma è poi vero che le particelle occupino una posizione? La occupano certamente, con un discreto grado di esattezza, ma non ci saranno qui delle limitazioni di precisione simili e forse più profonde di quelle che si sono presentate in passato nella meccanica quantistica? Si vede quanto grandi siano le difficoltà con cui deve lottare la fisica atomica. Tuttavia è perfettamente pensabile che di qui a non molto tempo si possa scrivere un'unica equazione, dalla quale seguano le proprietà di tutte le particelle elementari e da cui si possa perciò dedurre senz'altro il comportamento della materia.

Se ciò riuscirà per davvero, la dottrina atomica avrà raggiunto la meta che si era prefissa, e vale la pena di considerare allora di che cosa in realtà saremo in possesso. Intanto si sarà verificata nel nostro pensiero, nel senso della dottrina degli atomi degli antichi Greci, l'unità di tutto ciò che è materiale. Si sa che tutta la materia è formata dalla stessa sostanza, dall'energia, e che questa si presenta in forme diverse. Si determinerà l'insieme di queste forme con l'insieme delle soluzioni d'un sistema di equazioni. Ciò significa che, almeno in via di principio, sarebbe possibile calcolare teoricamente, in anticipo, i risultati delle esperienze nel campo della fisica atomica. Si può essere anche sicuri che queste forme matematiche non abbracceranno solo il campo particolare della fisica atomica, perché già la fisica atomica attuale contiene, almeno in via di principio, la chimica, la meccanica, l'ottica, la termologia e l'elettricità. Ciò tanto più accadrà per la teoria atomica dell'avvenire. Se qui ho aggiunto spesso, come restrizione, la frase "in via di principio", ciò significa che nella maggior parte dei casi non sarà tecnicamente

possibile il completo calcolo matematico di qualche problema che ci saremo posti, in quanto è impossibile dominare con la matematica processi eccessivamente complicati. Perciò non è affatto sicuro che con la soluzione dei problemi fondamentali si guadagni molto per eventuali applicazioni pratiche. Ma l'espressione "in via di principio" significa anche che quasi in tutti i casi in cui si cercherà la soluzione d'un determinato problema, si potrà trarre vantaggio dalla soluzione dei problemi fondamentali.

Riguardo a due argomenti ci dobbiamo ancora domandare se questa dottrina atomica moderna soddisfi i desideri degli antichi filosofi greci. Le forme geometriche a cui pensavano i Greci erano forme intuitive, disegnate per così dire dagli atomi nello spazio vuoto. Sono egualmente intuitive le forme geometriche della nostra dottrina atomica? In secondo luogo: la dottrina atomica dei Greci non doveva solo descrivere il comportamento della materia priva di vita, ma quello di tutto ciò che esiste, processi psichici e organismi viventi, alla stessa stregua dei fatti puramente materiali. "Esistono solo gli atomi e lo spazio vuoto", aveva detto Democrito. Si riferisce la dottrina atomica moderna a un campo più ristretto? ammettiamo noi che oltre agli atomi esista ancora qualcos'altro, dunque per esempio l'anima? oppure anche l'odierna dottrina atomica asserisce che "ci sono solo gli atomi e lo spazio vuoto"?

La prima questione è stata discussa spesso. In realtà la fisica atomica moderna è molto meno intuitiva di quanto avessero sperato gli antichi studiosi della natura. Ma noi non possiamo esserne insoddisfatti, perché abbiamo imparato dalla natura che proprio questa non intuitività è strettamente e significativamente connessa con l'esistenza degli atomi. Con approssimazione si

può dire che una struttura che si presentasse in modo perfettamente intuitivo non potrebbe essere indivisibile. Essa dovrebbe poter essere scomposta, almeno con l'immaginazione, in parti minori. L'indivisibilità e l'unità delle particelle elementari, ammesse in via di principio, ci rendono comprensibile il fatto che le figure matematiche della dottrina atomica siano prive d'intuitività. Anzi ci sembrerebbe quanto mai innaturale che l'atomo, pur essendo privo di tutte le proprietà generali della materia (come colore, odore, sapore, compattezza, eccetera), ne conservasse tuttavia interamente le proprietà geometriche. È molto più plausibile che si possano attribuire all'atomo tutte queste proprietà soltanto con eguali riserve. Anzi, proprio con questa restrizione lo spazio potrà forse essere posto nuovamente in relazione più stretta con la materia. I due concetti fondamentali, atomo e spazio vuoto, non sono allora più indipendenti del tutto, uno di fianco all'altro. La nostra dottrina atomica è, sotto questo riguardo, persino più conseguente di quella dei Greci.

Sulla seconda questione dobbiamo parlare un po' più a lungo. La frase: "esistono solo gli atomi", significa, presso i Greci, che tutto ciò che succede, nel campo materiale e in quello spirituale, deve poter essere considerato, in un modo o nell'altro, come movimento di atomi. Nella moderna fisica atomica questa asserzione sarebbe accettabile nel senso che tutti i fenomeni sono collegati sempre con trasformazioni d'energia, e perciò, per la struttura atomica dell'energia, con movimenti di atomi. Ma d'altra parte i concetti di anima o di vita non figurano nella fisica atomica e perciò non possono essere dedotti, nemmeno indirettamente, come conseguenze più o meno complicate di qualche legge della natura. In via di principio questi concetti appartengono in ogni caso al regno delle forme. La loro esistenza non rappresenta certamente l'esistenza di qualche altra sostanza fon-

damentale, oltre all'energia, ma rivela l'azione di forme d'altro genere, a cui non corrisponde certamente nulla nelle configurazioni matematiche dell'attuale fisica atomica. Da ciò segue che le applicazioni delle strutture matematiche della fisica atomica sono ristrette a una categoria determinata di esperienze e che allora, se si vuole descrivere fatti riguardanti la vita e l'anima, si è obbligati ad ampliare queste strutture "spirituali". Ciò può essere fatto, forse, con l'introdurre, accanto ai concetti attuali, ancora altri concetti che possano essere collegati con i precedenti in modo non contraddittorio. Forse è ancora necessario restringere con nuove condizioni speciali il campo di validità degli attuali concetti della teoria atomica. In entrambi i casi si considererebbe ancora la teoria così ampliata come un'estensione della teoria atomica e non, per esempio, come una teoria che si occupi per principio solo di fenomeni d'altro genere.

Se il concetto di teoria atomica è interpretato in senso tanto ampio, ci rendiamo subito conto che siamo infinitamente lontani dal compimento della dottrina atomica, interpretata in modo così generale. Pertanto il termine "dottrina atomica" è giustamente equiparato in pratica alla semplice descrizione della realtà, e la descrizione della realtà rappresenta naturalmente un compito immenso, che non arriva mai alla fine. Si può sperare di arrivare a una conclusione della dottrina atomica in alcuni anni o decenni solo se si fa uso di tale termine nel senso particolare delimitato sopra. Si tratta allora delle speciali strutture matematiche che ci permettono di descrivere con leggi precise le proprietà delle particelle elementari e le loro trasformazioni con l'impiego di forti energie. È possibile che quelle strutture matematiche comprendano campi molto vasti, ma noi non possiamo valutare in anticipo l'ampiezza di questi campi.

Anche se s'interpreta il termine "dottrina atomica" in questo

secondo senso, pensando appunto che esistono “solo gli atomi e lo spazio vuoto”, dopo quanto ho tentato di spiegare, il materialismo espresso con queste parole non avrà in nessun caso il colorito antispirituale oggi generalmente attribuito al termine “materialismo”. È persino da domandarsi se ciò possa ancora essere chiamato materialismo. Qui dobbiamo piuttosto prendere assolutamente sul serio la frase di Democrito:

“Come la tragedia e la commedia possono essere scritte con le stesse lettere dell’alfabeto, così eventi di specie molto diversa possono effettuarsi nel mondo per mezzo degli stessi atomi, in quanto questi assumono posizioni diverse ed eseguono movimenti diversi.”

È importante che noi possiamo interpretare tutta la scrittura degli atomi, perché questa scrittura non è inventata dall’uomo; essa ha una portata più vasta. Ma anche se un giorno riuscissimo a decifrarla completamente, dovremmo tener sempre presente che nella tragedia o nella commedia ciò che conta non sono le lettere dell’alfabeto, bensì il contenuto, e lo stesso si può dire anche per il mondo.

HEISENBERG WERNER KARL

BIOGRAFIA

Tratta da TRECCANI – Enciclopedia on line

<https://www.treccani.it/enciclopedia/werner-karl-heisenberg/>

Fisico tedesco (Würzburg 1901 - Monaco di Baviera 1976).

Iniziò i suoi studi a Monaco sotto la guida di maestri come A. Sommerfeld e W. Wien. Decisivi per la sua maturazione scientifica furono, tra il 1922 e il 1923, la collaborazione con M. Born e J. Franck all'università di Gottinga e, soprattutto, i contatti con il gruppo di fisici e matematici che faceva capo a D. Hilbert. Dopo il conseguimento del dottorato a Monaco (1923), Heisenberg iniziò un'intensa collaborazione con N. Bohr presso l'Istituto di fisica teorica di Copenaghen, che si concluse nel 1927, anno in cui fu chiamato a ricoprire la cattedra di fisica teorica all'università di Lipsia. Nel 1932 gli fu conferito il premio Nobel per la fisica. Trasferitosi all'università di Berlino (1941) venne nominato direttore del Kaiser Wilhelm Institut für Physik. Alla fine della guerra, sospettato d'aver assicurato la propria collaborazione alle autorità politico-militari naziste, Heisenberg venne fatto prigioniero dalle forze alleate. Dal 1947 socio straniero dei Lincei. Dal 1952, divenuto direttore del Max Planck Institut für Physik und Astrophysik a Monaco, si impegnò a fondo nella ricostruzione dei centri di ricerca tedeschi ed europei; fu tra i principali promotori della creazione del CERN a Ginevra, dove ricoprì la carica di presidente del Scientific policy committee.

Le indagini iniziali di Heisenberg presero le mosse dalla teoria quantistica dell'atomo di idrogeno di Bohr (1913), nella quale confluivano l'ipotesi di quantizzazione dell'energia applicata da M. Planck allo studio della radiazione di corpo nero e il modello d'atomo nucleare di Rutherford. Heisenberg, anche in collaborazione con Born, contribuì a una migliore comprensione delle leggi della spettroscopia atomica e ricercò, sulla base della regola di quantizzazione e del principio di corrispondenza, un'interpretazione del cosiddetto effetto Zeeman anomalo. Le difficoltà incontrate dalla teoria di Bohr nel proporre uno schema interpretativo di validità generale, applicabile quindi anche allo studio degli elementi più complessi dell'idrogeno, i limiti sempre più evidenti dell'elettromagnetismo e della meccanica classica rispetto alla realtà e alla complessità dei microoggetti, le contrapposizioni sempre più aspre e radicali circa la natura, ondulatoria o corpuscolare, della radiazione elettromagnetica, portarono il dibattito a concentrarsi sul ruolo del modello meccanico dell'atomo nella costruzione della teoria atomica. Heisenberg, in aperto dissenso con Bohr, si espresse risolutamente per l'abbandono di ogni approccio di tipo modellistico e dei concetti classici di "traiettoria" e "moto" degli elettroni e in favore di una teoria che trattasse solo grandezze direttamente osservabili e misurabili, come le energie e le frequenze associate alla variazione dello stato dell'atomo.

Dopo aver sviluppato, con A. Kramers, la teoria quantistica della dispersione, Heisenberg tradusse questa sua inclinazione metodologica in un tentativo di riscrittura simbolica delle grandezze e delle leggi della meccanica classica nelle loro corrispondenti quantistiche. La memoria del 1925 *Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen* (Sulla reinterpretazione della teoria quantistica delle relazioni cinematiche e meccaniche), pubblicata sulla rivista *Zeitschrift für Physik*, segnò, con l'introduzione della meccanica delle matrici, l'atto di nascita della meccanica quantistica. In breve tempo, Born, P. Jordan e lo stesso Heisenberg elaborarono le basi matematiche della nuova meccanica, con prime applicazioni a specifici problemi di fisica atomica. Nel complesso quadro teorico della meccanica quantistica completato dagli apporti di E. Schrödinger, Born, P. Dirac e Jordan, si inserisce la formulazione da parte di Heisenberg del celebre *principio di indeterminazione*, che investe direttamente la dimensione conoscitiva della teoria. Il principio di indeterminazione afferma che, per ogni coppia di variabili coniugate (per es., la posizione e quantità di moto di una particella), l'effetto dell'incertezza sui loro valori è maggiore o tutt'al più uguale al quanto di azione h di Planck; ovvero esso stabilisce quantitativamente gli intervalli di incertezza entro i quali tali variabili possono essere contemporaneamente determinate. Secondo Heisenberg tale limitazione va posta in rapporto con le possibilità di misura. Egli riteneva che nel campo della microfisica non si potesse prescindere dal ruolo dell'osservatore il quale, all'atto della misurazione, con i suoi apparati perturberebbe in modo irreversibile il sistema, che, tuttavia, si troverebbe sempre in uno stato ben definito, ma per noi inconoscibile, sia prima, sia dopo ogni osservazione. La posizione di Heisenberg, secondo cui le indeterminazioni della meccanica quantistica possono essere chiamate soggettive, in quanto si riferiscono alla nostra incompleta conoscenza del mondo, non incontrò mai l'adesione di Bohr, il quale, nel contesto del principio di complementarità, giunse a un'interpretazione notevolmente diversa sotto il profilo teorico e filosofico. Negli anni Trenta, Heisenberg ebbe un ruolo rilevante nello sviluppo della elettrodinamica quantistica e nella fondazione della fisica del nucleo; in anni più recenti avanzò l'ipotesi non fortunata di una teoria unificata delle particelle elementari. Ma, soprattutto, egli rimase sempre attratto dai problemi filosofici ed epistemologici della meccanica quantistica, sui quali tornò fino alla fine con contributi di notevole portata storica e filosofica.

Negli ultimi anni della sua attività si dedicò soprattutto a un tentativo (infruttuoso) di giungere a una teoria unitaria dei campi. Propose, inoltre, il concetto di "intero indiviso", secondo il quale ogni cosa al mondo (e in particolare modo la realtà quantistica) fa parte di un solo sistema, e quindi, tanto per fare un esempio, non dovrebbe sorprendere affatto che chiudendo una feritoia nel famoso esperimento dei due fori ciò influisca istantaneamente sul comportamento di un elettrone che sta passando per l'altra feritoia.

NOTE

Heisenberg e Majorana

Sicuramente interessante per Heisenberg fu il rapporto che ebbe con Ettore Majorana, con il quale si stabilì un reciproco sentimento di amicizia e collaborazione.

In sintesi, questa fu la loro storia comune.

Majorana arriva a Lipsia nel 1933, spinto da Fermi, vincendo le sue titubanze. Nella città tedesca conosce Heisenberg e per sua insistenza decide di pubblicare il suo lavoro sul nucleo fatto da positroni e neutroni (un importante affinamento del modello proposto da Heisenberg). Nelle lettere alla madre racconta che gli piace quella città dove frequenta l'Istituto di fisica descrivendolo scherzosamente come "*posto in posizione ridente, un po' fuori mano, tra il cimitero e il manicomio*". Da Lipsia si trasferisce a Copenaghen, dove intrattiene rapporti con Bohr e con i molti altri scienziati. Poi di nuovo a Lipsia. Il suo articolo del 1933 sul nucleo a protoni-neutroni viene ampiamente valorizzato da Heisenberg sia nei seminari di Lipsia sia al Congresso Solvay a Bruxelles dell'ottobre del 1933. Questo modello di nucleo di Heisenberg e Majorana aprirà, tra il 1933 e il 1934, la strada agli sviluppi della teoria di Fermi del decadimento beta: gli elettroni non esistono nel nucleo ma vengono creati nel decadimento di un neutrone in tre particelle: un protone, un elettrone e un neutrino. La nuova centralità riconosciuta al neutrone sarà alla base delle ricerche della scuola romana sulla radioattività indotta da bombardamento di neutroni, che porteranno a Fermi il Nobel del 1938.

Heisenberg e Marco Todeschini

Anche per il nostro Prof. Marco Todeschini, il confronto con Heisenberg fu caratterizzato da sentimenti di reciproca considerazione e rispetto, in quanto fautori di teorie che seppure in contrasto alla fine portarono ad una comune visione unitaria del Creato.

Todeschini scrive nel suo volume "PSICOBIOFISICA, a pag. XXXVI:
«... premi Nobel E. Fermi, B. Chain, A. W. Heisenberg, W. Pauli, P. Blackett, D. C. Anderson, Dirac, ecc. con i quali, durante vari congressi scientifici, ebbi interessanti scambi di idee che valsero a confermarci la natura fluidodinamica di ogni fenomeno, da me sostenuta ...».

ed a pag. 35:

«... caposcuola il Newton, che fu il primo ad ammettere le forze agenti a distanza nello spazio vuoto; il sapere inoltre che a lui si è accodato il Weber

sostenendo le azioni elettromagnetiche propagantesi a distanza nel vuoto, il Planck per giustificare l'energia variante a salti, il Michelson col suo celebre esperimento che ci ha confermato che l'etere non esiste, l'Einstein col suo spazio-tempo vuoto e distorto, il Bohr con il vuoto ammesso tra il nucleo e gli elettroni, l'Heisenberg con la sua meccanica quantistica senza etere, lo Schrödinger con le sue onde di probabilità di trovare energia nello spazio vuoto, e tutta la serie dei moderni fisici. Potremo così dire che con noi vi è una schiera di formidabili cervelli che non possono avere sbagliato ...».

a pag. 36:

«... Se è vero che oggi, dopo la teoria di Heisenberg e di Schrödinger si è giunti ad ammettere il vuoto, è pur vero che si è dovuto rinunciare a spiegare le modalità con le quali avvengono i fenomeni ...».

alle pagg. 278-279:

«... L'Heisenberg, notando come non fosse possibile osservare un fenomeno subatomico senza alterarlo con le radiazioni usate per rivelarlo, rinunciava a descrivere la traiettoria degli elettroni intorno al nucleo, per attenersi solo a dati incontrovertibili, quali la frequenza delle radiazioni, le velocità, ecc. Abbandonando quindi la meccanica del Newton, ne fondava un'altra esclusiva per l'atomo (quantistica), ma con due meccaniche veniva a contraddire l'unicità delle leggi che dovrebbe dominare sia i piccoli che i grandi aggregati di materia ed inoltre col dichiarare l'impossibilità di precisare le traiettorie degli elettroni intorno al nucleo, denunciava l'incapacità della scienza a determinare le leggi del loro moto.

.... Il secolare contrasto tra le due famose ipotesi, si è quindi risolto ai nostri giorni ammettendo quella del vuoto, ma con ciò, come ha dichiarato lo stesso Heisenberg, la scienza è stata costretta a rinunciare alla spiegazione dei fenomeni ed a denunciare la sua impotenza a ricavarne le leggi precise, venendo così meno alle sue due manifeste finalità basilari ...».

a pag. 313:

«... L'atomo, il suo nucleo centrale, e tutte le particelle che li costituiscono risultano quindi sfere di spazio fluido di diametro diverse e differente velocità rotativa, ma formate tutte di un'unica sostanza. **Questa mia concezione nel 1956 ha ricevuto l'autorevole conferma del premio Nobel W. Heisenberg al Congresso di Lindau ...».**

a pag. 452:

«... Todeschini è il primo che ha svelato e dimostrato che gli effetti dinamici di uno spazio vuoto sede di forze sono equivalenti a quelli di uno spazio mobile e denso. Anzi su tale principio di equivalenza egli appunta la legittimità di valenza di ciascuna delle due ipotesi e così getta un ponte

sull'abisso che sembrava dividere su opposte sponde i grandi scienziati che sostennero l'una o l'altra.

Egli, perciò, è da considerarsi un conciliatore tra la tesi del pieno sostenuta da Aristotele, Cartesio, Fresnel, Faraday, Hertz, Kelvin da una parte e quella del vuoto sostenuta da Newton, Weber, Michelson, Bohr, Heisenberg, Schrödinger dall'altra ...».

Nella sua agenda personale, Marco Todeschini, alla voce Heisenberg, annota:

Dir. Ist. Max Planck Munich – Abit. Priv. Rheinlandstr 1 – Munchen 33 (Germania Fed.) – Premio Nobel (vedi Who's Who in Europe, pagg. 1188, Ed 1967).

Nel 1957-1958 numerosi quotidiani scrivono:

«... Ed al Congresso dei Premi Nobel, così si è espresso il celebre Heisenberg: *“La scoperta di un gran numero di particelle ha capovolte le conoscenze teoriche anteriori e lascia adito solo all’ipotesi di Todeschini che i corpuscoli subatomici siano tutti forme diverse di una materia unica. La scienza si trova così di fronte alla necessità di abbandonare la teoria di Einstein, dato che con i suoi artifici matematici non si possono eliminare le contraddizioni sperimentali che la smentiscono in pieno”*».

«... *“L’equazione matematica che raggiunge l’unificazione di tutti i campi fisici: elettrico, magnetico e gravitico, che il premio Nobel Heisenberg ha annunciato di aver recentemente trovata, era già stata scoperta da tempo dal noto scienziato italiano Marco Todeschini e pubblicata nelle sue opere apparse dal 1949 ad oggi. Essa inoltre costituisce l’argomento di una memoria intitolata: «La unificazione qualitativa della materia e dei suoi campi di forza continui ed alterni» riportata negli «Atti dell’Ateneo delle scienze e lettere di Bergamo» e presentata alle principali Accademie scientifiche italiane ed estere nel 1955.*

Se il significato fisico delle due equazioni è identico, allora resta indiscutibilmente documentata la priorità dello scienziato italiano. Se invece tale significato è differente, resta da vedere quale delle due relazioni sia più attendibile e feconda”».