

Questo lavoro di Giuseppe Vaccarino è tratto dalla raccolta  
"SAGGI 2005"

## LA STRUTTURA DELL'ATOMO

La vecchia teoria atomica riteneva, in base al presupposto filosofico del realismo, che l'indivisibilità dell'atomo fosse "naturale" e quindi in nessun modo esso fosse riconducibile a costituenti. Ma questo era un dogma che fu smentito. L'indivisibilità era semplicemente relativa a certe tecniche ed in particolare quelle di cui si avvaleva la chimica.

Dopo che l'atomo risultò divisibile il pregiudizio realista rimase nei riguardi dei suoi costituenti, cioè si ritenne che devono esistere entità fisiche primarie a cui la divisione deve arrestarsi, da essere considerate come i veri atomi anche se non furono chiamate così, essendo stato il nome impegnato con i protagonisti dei fenomeni chimici. Si parlò perciò di particelle subatomiche. Purtroppo, mentre per il tradizionale atomo l'errore realista non ebbe conseguenze negative sul piano tecnico, tanto che la chimica fece enormi progressi. Ora le cose erano ben diverse perché si commise l'errore di assumere *categorie* (cioè costrutti mentali) come *osservati*.

Dobbiamo anzitutto notare che era tanto radicata la convinzione che l'atomo chimico fosse indivisibile che gli scienziati non sentirono l'esigenza di indagare in qualche modo se avesse dei costituenti. La sua divisibilità si presentò da sé, destando una vivissima sorpresa. Si tratta della radioattività che venne fuori per caso quando Becquerel notò che un minerale, la pebblenda, impressionava al buio una lastra fotografica. Le ulteriori ricerche portate avanti dai coniugi Curie spiegarono che il fenomeno era la conseguenza della decomposizione spontanea di certi atomi, da essere collegata con l'essere essi molto complessi. Si aveva un nuovo fenomeno fisico per il quale il concetto chimico che nei fenomeni nulla si crea e nulla si distrugge veniva smentito. Infatti non solo l'atomo di un elemento radioattivo si trasformava in un altro elemento, ma scompariva una parte del suo peso. Questo riconoscimento porterà all'energia atomica in quanto la perdita di peso corrisponde alla trasformazione di materia in energia.

Mentre nell'ambito della chimica in effetti si avevano fenomeni riconducibili ad "atomi" comportantisi come costituenti ultimi di tutte le cose e che avevano un peso fisso per ogni elemento, determinabile sperimentalmente, ora certi atomi, precisamente quelli delle sostanze radioattive, risultavano composti di ingredienti più piccoli e si doveva ammettere che questo concetto valesse anche per le sostanze stabili. Le preoccupazioni dapprima non

furono eccessive perché i fisici ritenevano che invece degli atomi della chimica il ruolo di veri atomi passasse ai loro costituenti.

Spiegando l'invisibilità con le dimensioni piccolissime si ammette implicitamente che perfezionando l'organo della vista, ad esempio con un supermicroscopio od altrimenti, si debba vederli. Ma ciò può avvenire solo quando ci si rivolge a cose fisiche a cui vengono applicate categorie mentali e si vedono le cose ma non le categorie. E lo scienziato spesso non distingue adeguatamente il fisico dal mentale. Poiché il significato attribuito di volta in volta ai pretesi costituenti ultimi è essenzialmente categoriale i nodi vennero al pettine quando invece di rivolgersi ad una tecnica "chiusa" come quella della chimica, che si occupa di composizioni e decomposizioni tra atomi senza spezzarli, si introdussero tecniche, per così dire di "rottura". Si è allora ammesso che si ottengono "particelle sub atomiche", ma visibili in modo indiretto, cioè interpretando *tracce* lasciate nella camera di Wilson od in quella a bolle. Si costruirono le particelle non tenendo sufficientemente da conto che si vedevano come cose fisiche le tracce e le particelle erano da ricondurre a categorie ad esse applicate.

Bisogna inoltre tenere presente che il "semplice" ed il "complesso" sono categorie mentali e quindi non poteva avere alcun esito la ricerca sperimentale di un "semplice" in assoluto, prescindente dal riferimento al procedimento di divisione impiegato. Inoltre il persistente errore filosofico del realismo fece sì che a tali "particelle" o "corpuscoli" si attribuissero requisiti ritenuti intrinseci di tutte le cose reali, come la "massa", intesa come quantità di materia legata con il peso. Si dovette però ammettere che tali corpuscoli subatomici non potevano avere una massa nel senso tradizionale e perciò nei loro riguardi si parlò di una *massa elettromagnetica* invece che *gravitazionale*.

Si pervenne alla codificazione della nuova teoria atomica anche attraverso altre vie come lo studio dei fenomeni di elettrolisi e di quelli di conducibilità dei gas. Arrhenius trovò che con la dissociazione elettrolitica dei cosiddetti "elettroliti forti" gli atomi diventano *ioni*, cioè si caricano di elettricità. Tra l'altro si deduceva che si deve attribuire all'elettricità un carattere discontinuo a somiglianza della materia. L'*elettrone*, cioè l'unità di carica elettrica negativa fu trovato da Perrin. J. Thomson determinò la sua velocità ed il rapporto tra massa e carica. Si trovò dopo che la sua carica è quella dell'ione di idrogeno e si calcolò che ha una massa uguale a quella di 1/1845 dell'atomo di quest'elemento.

Nel 1911 Rutherford propose un modello della struttura dell'atomo simile a quello del sistema solare. Precisamente ipotizzò che si abbia un nucleo centrale con una carica positiva intorno al quale ruotano gli elettroni (cariche negative) in orbite circolari concentriche in modo da costituire un insieme neutro. Nell'atomo, come nel sistema solare, il volume del vuoto supera di gran lunga quello del pieno e si spiega così il fenomeno delle particelle che attraversano la materia ma possono anche essere deviate. Però secondo le leggi dell'elettrodinamica gli elettroni non potrebbero ruotare in modo stabile perché dovrebbero perdere energia. Bisognava perciò modificare il tradizionale concetto di carica elettrica, distinguendo quella in moto dentro l'atomo dalla esterna.

Il cosiddetto "atomo di Bohr" aggiunse al concetto degli elettroni che girano intorno al nucleo che essi emettono energia saltando in un'orbita più interna e la assorbono se invece in una più esterna. Ad ogni salto corrisponde una quantità fissa di energia valutabile in *quanti*, introdotti da Planck indipendentemente per spiegare fenomeni di altro tipo, da essere concepiti come una sorta di atomi energetici. Sommerfeld modificò il modello di Bohr proponendo orbite ellittiche come quelle dei pianeti intorno al sole.

Per spiegare i fenomeni chimici si doveva ammettere che l'atomo abbia una massa, cioè introdurre nei suoi riguardi qualcosa di analogo a quella dei corpi macroscopici, corrispondente al peso determinato con la bilancia (massa in un campo gravitazionale). Essa fu attribuita al nucleo, considerato costituito da corpuscoli positivi aventi una massa, chiamati *protoni* e da altri senza carica, ma anch'essi con massa, chiamati *neutroni*. In quanto agli *elettroni* si disse che sono senza massa o meglio che ne hanno una elettromagnetica. In tal modo si proposero degli *adattamenti* più o meno forzati di categorie della tradizionale fisica macroscopica alla sfera atomica. Questo era certamente il modo più *comodo* di procedere, ma che diventava pericoloso se considerato invece come *necessario* perché imposto dall'esistenza di una "realtà" indipendente dall'uomo, costituita da "masse" e da "cariche".

La teoria atomica così impostata permetteva di spiegare alcuni concetti introdotti dai chimici, Il *numero atomico* si faceva corrispondere al numero di protoni nel nucleo atomico, caratterizzante le proprietà dell'atomo. Esso corrisponderebbe anche al *peso atomico* se non ci fossero i neutroni. Ricerche di Soddy e verifiche sperimentali da parte di Aston condussero alla scoperta degli *isotopi*, cioè elementi chimicamente uguali ma di peso diverso mescolati in natura e classificati nella stessa casella del sistema di Mendeleev.

La loro presenza spiegava perché il peso atomico dei vari elementi non è un multiplo esatto di quello del più semplice, cioè l'idrogeno, il cui nucleo è costituito da un solo protone. Esso ha per isotopo il *deuterio* (idrogeno pesante), scoperto da Chadwick, che ha la stessa carica, le stesse proprietà chimiche, ma un peso atomico maggiore perché il suo nucleo è costituito da un protone ed un neutrone.

Nell'atomo proposto da Bohr e Sommerfeld gli elettroni ruotano in strati indicati con le lettere K, L, M, N, O, P, Z. L'idrogeno, che ha un solo elettrone ha solo strato K. Per ogni strato vi sono dei sottostrati. Fu enunciata la *teoria degli ottetti*, secondo la quale nello strato esterno di ogni atomo possono esserci fino ad otto elettroni. Questo è non solo il numero massimo possibile, ma anche quello che dà equilibrio al sistema. Perciò gli atomi tendono ad acquistare in questo strato tale numero di elettroni mediante combinazioni chimiche con altri. Quelli che hanno per loro costituzione già questo numero non si associano con altri, cioè sono chimicamente inattivi. Si tratta dei cosiddetti *gas rari* (elio, neon, ecc.). Invece gli elementi che nello strato esterno hanno solo sei elettroni tendono ad acquistarne altri due; se ne hanno tre tendono a perderli. In entrambi i casi si squilibrano elettricamente, diventando ioni negativi nel primo caso, positivi nel secondo. Gli atomi con un numero compreso tra 4 e 7 tendono ad acquistarne. Segue che i positivi ed i negativi si attraggono dando luogo ai composti chimici. Gli elettroni persi od acquistati per raggiungere il numero otto con la formazione dei composti vengono chiamati *elettroni di valenza*. Si spiega così il concetto chimico di valenza con cui sono legate le possibili combinazioni. Ad esempio, l'idrogeno è monovalente, l'ossigeno bivalente onde possono combinarsi due atomi di idrogeno con uno di ossigeno, dando luogo all'acqua, la cui formula è  $H_2O$ .

Sommerfeld introdusse un *numero quantico*, che misura l'eccentricità dell'ellisse. Un altro fu introdotto da Goudsmit ed Uhlerbeck, chiamato *spin* che fissa come gli elettroni ruotano intorno al loro asse. Furono proposti in tutto quattro numeri quantici. Secondo il *principio di esclusione di Paoli*, in ogni orbita vi è un solo elettrone caratterizzato dagli stessi numeri quantici.

Il persistente realismo di fondo sovrapponeendosi agli sforzi di teorizzare i fenomeni sub-atomici ha condotto alla proposta di soluzioni che non possono non lasciare perplesso l'operazionista. Ad esempio, venne alla ribalta l'*onda-corpuscolo* di De Broglie e Schroedinger, secondo la quale le due categorie considerate tradizionalmente incompatibili, vengono fuse,

Si disse precisamente che l'"onda" è una datità fisica continua, uniforme nello spazio, ma quando ve ne sono insieme molte e di diversa frequenza, la diffusione può risultare eterogenea ed in particolare possono prodursi delle concentrazioni ("pacchetti d'onda"). Il corpuscolo venne appunto raffigurato come un pacchetto di onde, attribuendogli una lunghezza d'onda proporzionale alla sua quantità di moto. Così tra l'altro si faceva provenire il "discontinuo" da una sorta di eterogeneità nel "continuo", ovviamente visti in senso realista come datità fisiche. Il *principio di indeterminazione di Heisenberg* scaturisce da questa contraddizione nel senso che in definitiva riconosce l'impossibilità di applicare insieme le categorie del discontinuo (corpuscolo) e del continuo (onda). Precisamente afferma che se un pacchetto d'onde viene determinato come punto di concentrazione, non si può misurare esattamente la sua velocità; viceversa se si misura la velocità, non è possibile determinare esattamente il suo punto di concentrazione. Invece di attribuire questa "indeterminazione" alla concomitante applicazione di due categorie che si escludono, si parlò di una artefazione della "realtà" da parte dell'osservatore. Bohr affermò che ad una "realtà" di per sé indifferenziata l'osservatore sovrappone le due concezioni *complementari* dell'onda e del corpuscolo, ma non nel senso operativo della categorizzazione di cose fisiche bensì in quello della necessità dialettica (si pensi ad Hegel) di dover procedere mediando i termini contraddittori nella costituzione di qualcosa d'altro.

La materia ricondotta ad onde venne caratterizzata da una frequenza "v" e da una lunghezza d'onda "λ". Precisamente venne proposta una teoria corpuscolare delle radiazioni considerando quelle della luce costituite da *fotoni*, Furono proposte le definizioni:

$$E = h \nu \qquad p = h \lambda$$

ove "E" è l'energia, "p" l'impulso del fotone ed "h" la costante di Planck.

Schroedinger propose un'equazione che sta alla base della *meccanica ondulatoria*, che insieme con la *meccanica delle matrici* di Heisenberg, sfocia nella *meccanica quantistica*.

Dal punto di vista semantico le difficoltà in cui ci si è imbattuti probabilmente provengono dalla nozione di "particella". Essa proviene da "parte", categoria mentale con cui si contrassegna l'arresto di una suddivisione fisica. Essa è relativa alla tecnica adoperata, invece è stata assunta come una cosa fisica che si osserva e la cui "realtà" si manifesta in qualsiasi situazione comunque si proceda. Man mano che si ottenevano particelle con macchine acceleratrici sempre più potenti (cosmotrone, bevatrone, ecc.) si

si ebbero nuovi prodotti per i quali tuttavia si volevano conservare alcune caratteristiche ritenute standard delle particelle. Ad un certo punto si pervenne alla conclusione che esistono solo dodici tra "particelle" ed "antiparticelle" classificate in pesanti (*barioni*), medie (*mesoni*) e leggere (*leptoni*) collegate con tre processi da essere considerati fondamentali. Essi erano:

a) l'interazione forte di Yukawa con cui si spiegava la stabilità dei nuclei atomici;

b) quella elettromagnetica di Dirac per spiegare la formazione degli atomi e delle molecole;

c) quella debole di Fermi per spiegare la decomposizione degli atomi.

Tutte le particelle dovevano ubbidire inoltre alle leggi di conservazione dell'energia, del momento e della carica.

Questa soluzione ben presto si mostrò insostenibile. Secondo la teoria di Yukawa si deve ritenere che come nel campo elettromagnetico l'elettrone sia circondato da fotoni virtuali così nel campo nucleare, per la trasmissione delle azioni forti deve intervenire una particella con specifiche caratteristiche, che fu identificata con il mesone  $\pi$  (*pione*), trovato nei raggi cosmici. Ma insieme con esso fu trovato anche un altro mesone, che si ritenne proveniente insieme con un *neutrino*, dalla decomposizione del primo e perciò fu considerato secondario. Si trattava però di una particella non prevista dalla classificazione. Ad essa fece seguito tutta una serie di ulteriori particelle anch'esse non previste, che furono perciò chiamate *particelle strane*. Nel 1961 si era passati dalle 12 a 30 particelle, nel 1969 si arrivò a 288. Per uscire in qualche modo dalla difficoltà, determinando delle invarianze e quindi delle leggi di conservazione, ci si adattò addirittura ad assumere come criterio definitorio la deviazione dal paradigma, considerandola come una sorta di causa negativa. Si propose in questo senso una *legge di conservazione della stranezza*. Risultò però (esperienza di Yang e Lee) che nel campo delle interazioni deboli veniva violato il cosiddetto *principio della parità*, cioè la legge di conservazione della simmetria destra-sinistra nella riflessione speculare. Si poteva continuare ad invocare tale simmetria solo ammettendo la conversione della *materia* in una simmetrica *antimateria*. Ai fisici sembrò che vacillassero i fondamenti della loro scienza.

Si tentò di superare la difficoltà proponendo altre particelle da essere considerate come i "veri" costituenti della "realtà", dalla cui combinazione nascessero tutte le altre. M. Gell Mann tentò appunto di fissare un ordine delle particelle elementari categorizzando i loro sistemi come *invarianti* per un certo numero di trasformazioni. Esse sarebbero da ricondurre a gruppi di otto e tutte costituite da tre fondamentali, chiamate scherzosamente *quark*, parola irlandese usata da Joyce. Ma nasceva la nuova difficoltà che un aggregato di quark

darebbe luogo a particelle con masse più piccole dei costituenti e che stranamente questi dovrebbero essere più complessi dei composti. Particelle da essere considerate come composte da altre contemporaneamente dovevano essere ritenute loro costituenti, secondo un meccanismo che fu chiamato scherzosamente "bootstrap", abbreviazione di "to lift oneself up by one's own bootstrap", cioè "sollevarsi tirando la stringa delle proprie scarpe". A questo punto cominció a farsi strada il concetto che a nessuna particella si possa attribuire per la sua pretesa natura reale di essere più elementare delle altre.

Il fatto è che non ci si rese conto che la maggiore o minore semplicità è una categorizzazione è non già una proprietà fisica da trovare con l'osservazione. La "particella" non deve essere considerata come una sorta di "essere" eleatico, che non può nascere o morire, attribuito già dai fisici greci a quelli da essere considerati, a loro avviso, costituenti ultimi del mondo fisico. Le categorizzazioni hanno una funzione esplicativa e preferirne una ad altre dipende solo dalla sua efficienza. Più categorizzazioni possono essere sovrapposte purché non siano contraddittorie. Altrimenti la contraddizione genera altre contraddizioni come è avvenuto con le teorie di cui abbiamo fatto cenno.

Giuseppe Vaccarino