

La Materia: realtà o chimera?

Sono passati duemilacinquecento anni dall'epoca in cui Democrito pronunciò il nome di atomon ad Abdera. La nozione è ormai divenuta sostegno delle filosofie materialiste, ma anche il bersaglio dell'idealismo dopo Platone, Berkeley, ecc, fino ai più moderni sviluppi.

Oggi la microfisica si occupa degli atomi e dei suoi costituenti: particelle elementari e sub-particelle. Nonostante ciò, la meccanica quantistica ha messo notevolmente in discussione l'effettiva realtà (e dunque persino la reale esistenza) di una simile concezione.

Nel nostro viaggio all'interno dei più piccoli meandri dell'universo, attraverso un excursus storico-divulgativo, mostreremo quali sono le attuali controversie filosofico-scientifiche che contrappongono da un lato le teorie positiviste e dall'altro la svolta cosiddetta neorealista degli ultimi anni.

I passi da percorrere sono:

- 1) *Breve storia del concetto di materia attraverso i secoli*
- 2) *Avvento della fisica quantistica nel tentativo di spiegare alcuni fenomeni altrimenti incomprensibili*
- 3) *Le variabili nascoste*
- 4) *Particelle o onde? Positivismo e nuovo realismo scientifico forse non necessariamente in antitesi*

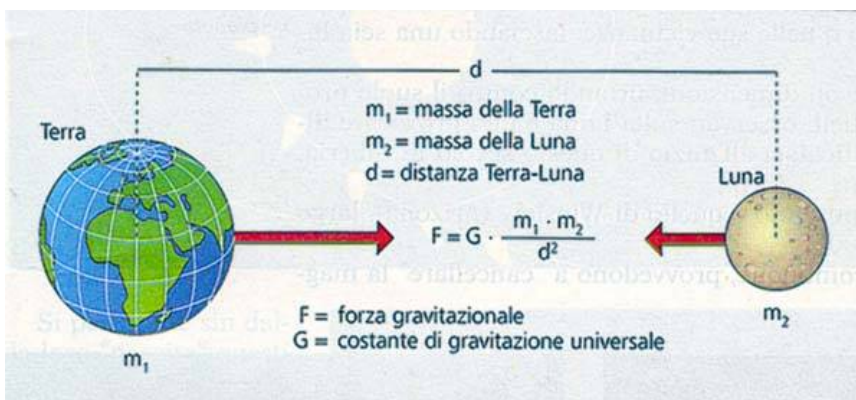
La materia

Già nell'antichità si contrapponevano due scuole filosofiche che hanno poi condizionato il pensiero umano nei secoli successivi. Platone, il maestro, da un lato, con il suo mondo delle idee e la sua concezione idealista dell'universo, inteso come uno specchio dell'ideale e dunque privo di una vera forma di realismo, e Aristotele, l'allievo che tentava di recuperare il valore oggettivo della natura. Tale contrapposizione possiamo dire che sia rimasta immutata nei secoli anche se con argomentazioni e conoscenze diverse.

La materia come concetto dinamico, una visione della natura come principio di movimento e di cambiamento, insieme alle concezioni democritee portarono alla visione meccanicistica di Newton. Tale visione comprendeva un universo regolato da ferree leggi a cui tutti i corpi sono sottoposti e il tutto sembrava svolgersi nello spazio vuoto, fisso, immutabile e indipendente dal tempo.

La legge di gravitazione sembrava realmente dare una risposta esauriente a tutte le domande che l'uomo si era posto da secoli e costituisce uno dei più grandi passi avanti dell'umanità.

Ciò che venne messo in discussione più avanti non era il risultato scientifico, di per sé valido allora come oggi nei limiti imposti da determinati ordini di grandezza, bensì tutti i presupposti filosofici e le implicazioni che ne derivavano.



Secondo Newton la massa dei corpi esercitava una azione a distanza nei confronti della massa di altri corpi. Questa azione istantanea a distanza era come una specie di magia insita nei corpi stessi.

Solamente più tardi si cominciò a parlare di campo gravitazionale e quindi di una proprietà della materia di modificare lo spazio

circostante, il che poteva almeno eliminare quel concetto di istantaneità che sarà poi confutato da Einstein con la sua teoria della relatività.

Nonostante ciò ancora non si sapeva bene da cosa fosse composta la materia: gli atomi non erano ancora stati osservati anche se i chimici utilizzavano la teoria atomica già dai primi anni del XIX secolo. La chimica trattava già insiemistatistici di atomi e di molecole e le sue leggi non potevano essere altrimenti spiegate se non con l'ipotesi atomica. La fisica apportò il suo sostegno più tardi, con la formulazione della legge dei gas, la creazione della termodinamica, dell'elettrolisi e poi la spettroscopia.

La visione di Democrito è stata dunque confermata con due millenni di ritardo tramutando l'atomo da concetto filosofico a scientifico anche se le sue proprietà di compattezza e indivisibilità furono subito contraddette dalla scoperta dei protoni e degli elettroni.

Da un lato fu la vittoria della corrente dei materialisti, convinti che comunque alla base di ogni visione ci fosse una realtà oggettiva indipendente dall'osservatore, ma nel contempo le correnti positiviste cominciarono a farsi strada avvalorate da questa specie di frantumazione atomica.

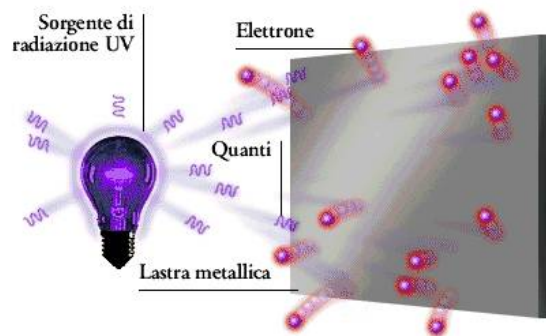
Bisogna aspettare l'avvento della fisica quantistica per dare una rappresentazione formale di quello che succede nel mondo dell'infinitamente piccolo. I risultati furono quanto di più straordinario ci si potesse aspettare ed ancora oggi tali scoperte risultano sconosciute alla maggioranza delle persone comuni, ferme ad una concezione planetaria dell'atomo che è così lontana dalla realtà come lo può essere una visione piatta della Terra.

I positivisti non hanno fatto altro che avvalorarsi dei risultati della meccanica quantistica per distruggere il concetto di realtà del mondo fisico, ma prima di parlare di come ciò sia potuto accadere e come sia nata una corrente neorealista in grado comunque di riaffermare l'oggettività della realtà, abbiamo bisogno di una breve premessa sulla scoperta dei quanti.

I quanti di luce

Le origini della teoria rivoluzionaria di Max Planck, secondo cui la luce poteva essere emessa e assorbita solo sotto forma di certi pacchetti discreti di energia, risalgono a studi precedenti effettuati da Boltzmann, Maxwell, Gibbs.

La teoria elettromagnetica di Maxwell aveva messo in risalto l'aspetto ondulatorio della luce e inoltre risultava evidente da molti esperimenti che la luce si comportava come un'onda: poteva riflettersi, rifrangersi, interferire e diffondersi da una fenditura. Risultavano invece completamente oscuri alcuni esperimenti secondo i quali la luce veniva emessa o assorbita in quantità prestabilite e soltanto secondo tali quantità. Si pensò ad una proprietà peculiare degli atomi, ma ulteriori esperimenti riconobbero il quanto di luce come una entità fisica esistente indipendentemente dal meccanismo di interazione con gli atomi.



L'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton furono decisivi nel dare un completo sostegno a questa ipotesi di Planck per cui il contenuto di energia di un quanto di luce è direttamente proporzionale alla sua frequenza da cui la relazione:

$$E=hf$$

in cui f è la frequenza e h una costante universale nota col nome di costante di Planck. Il valore numerico estremamente piccolo di tale costante fa sì che la teoria quantistica non abbia importanza quando si considerano fenomeni su grande scala. Questa formula spiega come il contenuto di energia di un certo quanto di luce (E) sia dato dalla frequenza moltiplicata per una certa costante. Due quanti hanno dunque energia $2hf$, tre quanti $3hf$ e così via.

A partire da Planck questo risultato è stato poi verificato non soltanto per la luce (la cui particella è stata chiamata fotone), ma per qualsiasi altra particella! Quindi, se da un lato la luce ha subito un processo di 'materializzazione', dall'altro si è avuto un processo di riduzione dell'intera realtà materiale in onde.

A dare inoltre una ulteriore spinta verso una sorta di distruzione della consistenza della materia è stato il principio di indeterminazione di Heisenberg, che ha dimostrato l'impossibilità di definire simultaneamente nell'ambito del mondo microscopico la posizione e la velocità di una particella, dato che qualsiasi sistema di misurazione disturberebbe la particella nel suo moto e quindi darebbe un valore erroneo.

Senza addentrarci nei dettagli matematici, basti sapere che Schrodinger introdusse per la meccanica quantistica il concetto di equazione d'onda, ovvero quell'espressione che ci permette di calcolare la probabilità di trovare la particella in una certa posizione dello spazio ad un certo istante di tempo. Tale funzione riassume il nuovo modo di pensare in termini probabilistici invece che in maniera deterministica come si usa in fisica classica. Il carattere probabilistico di questa disciplina ha creato una serie di possibili interpretazioni che ne spiegano la presenza. Taluni pensano che, analogamente alla fisica dei gas, esista

una realtà molto complessa della quale non interessano i comportamenti delle singole particelle bensì il loro comportamento medio su grandi numeri. Secondo questa interpretazione la meccanica quantistica nasconde una serie di fenomeni che si potrebbero spiegare in maniera deterministica.

La cosiddetta scuola di Copenaghen, capeggiata da Niels Bohr che aveva introdotto per primo le orbite quantiche dell'atomo, fa intendere invece che il carattere probabilistico è insito nella microstruttura stessa della realtà. Ovvero, secondo la loro concezione, non possiamo misurare la velocità di una particella quando ne conosciamo la posizione perché tale velocità non esiste!

Tali risultati furono a dir poco sconvolgenti, in quanto da un lato propongono un mondo in cui la realtà è inconoscibile e dall'altro distruggono l'esistenza stessa di una tale realtà oggettiva, a meno che non si decida di abbandonare le abituali argomentazioni meccanicistiche nell'ambito del mondo microscopico. Questi ragionamenti hanno portato alla ricerca di variabili nascoste che potessero in qual modo dare una visione completa del reale che la meccanica quantistica non è in grado di fornire. La cosiddetta scuola di Copenaghen, madrina della fisica dei quanti aveva asserito che la meccanica quantistica dava una descrizione completa del mondo microscopico. Schierato dalla parte degli oppositori, Einstein si proponeva di dimostrare l'esistenza di tali variabili nascoste, in grado di confutare tale affermazione.

Le variabili nascoste

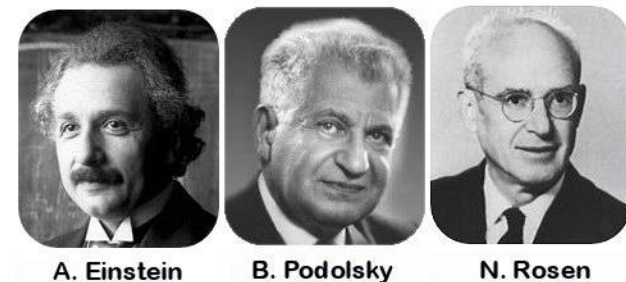
E' evidente che il tentativo dei fisici, fedeli allo spirito meccanicistico, di ridurre la descrizione probabilistica della meccanica quantistica ad una descrizione dinamica, non era cosa evidente tantomeno facile. Come abbiamo già accennato tali leggi quantomeccaniche hanno avvalorato la tesi dell'indeterminismo nei microfenomeni da parte della corrente positivista.

La scuola realista composta da altrettanti fisici eminenti quali Einstein, De Broglie e Schroedinger reagì immediatamente. Così si pose immediatamente la questione della possibilità di spiegare l'evento probabilistico introducendo variabili supplementari nel vettore di stato per arrivare ad una descrizione dinamica completa dell'evoluzione del sistema. Possiamo già anticipare che il dibattito sorto a quell'epoca non si è mai concluso.

In realtà si dovrebbe parlare di variabili non conosciute o supplementari e in ogni caso esporre l'argomento in termini non tecnici presenta difficoltà aggiuntive. Cercheremo di evitare questi problemi con una trattazione che mette in luce più che altro gli aspetti paradossali che interessano il lettore.

Uno delle prime controversie fu quella relativa alla separabilità dei sistemi quantistici.

Secondo Einstein due sistemi che hanno interagito durante un tempo dt possiedono grandezze e proprietà che sono mutuamente determinate; in altre parole, durante il tempo della loro interazione si stabiliscono certe correlazioni. Una misura effettuata su A, dopo la separazione dei due sistemi, non influenza B. Tuttavia una misura di A ci dà la possibilità di prevedere il valore di questa o quella grandezza di B. Questa possibilità non significa che i due sistemi continuino a formare un solo sistema dopo la loro separazione spaziale. Essa significa semplicemente che i risultati della misura sono correlati a causa dell'interazione precedente tra A e B.



Il famoso paradosso di Einstein, Podolsky, Rosen (EPR) ha avviato il dibattito sulla separabilità dei sistemi in microfisica.

Consideriamo un sistema composto da due particelle di spin $1/2$ (lo spin è un momento angolare intrinseco delle particelle) che hanno interagito per un tempo

dt . Vengono poi separate da un procedimento che conserva lo spin totale. Quando le due particelle sono sufficientemente lontane tra loro da non interagire più, si misura, per esempio, la componente dello spin di A secondo un certo asse. Se troviamo il valore $+1/2$ possiamo prevedere con certezza che la componente corrispondente dello spin di B è uguale a $-1/2$ senza eseguire su di essa alcuna misura, e viceversa.

Se il sistema fosse stato classico non ci sarebbe stato nessun problema, in quanto tutte le componenti dello spin di ogni particella avrebbero in ogni istante un valore ben preciso. Anche la meccanica quantistica prevede i risultati precedenti, ma non può spiegarli. Come si può giustificare questa conclusione?

Oggi, dopo Maxwell e la relatività, sarebbe difficile accettare un'azione a distanza. Dunque la ricerca di variabili nascoste alla meccanica quantistica sembrerebbe una logica conseguenza.

La bilancia potrebbe dunque pendere a favore del realismo se non ci fosse lo zampino dei matematici e dei logici a rimettere tutto in discussione.

Il famoso teorema di von Neumann, che è una dimostrazione formale e non un'analisi epistemologica, costituisce una solida base per ogni confutazione alle teorie sulle variabili nascoste. Infatti von Neumann riuscì a dimostrare che l'introduzione di parametri nascosti è impossibile senza arrivare a dei risultati in contrasto con la meccanica quantistica stessa.

Questo fatto costituì un profondo smacco per la corrente realista e le cose non migliorarono nel 1965 quando J.S. Bell pubblicò un ulteriore articolo sul paradosso EPR.

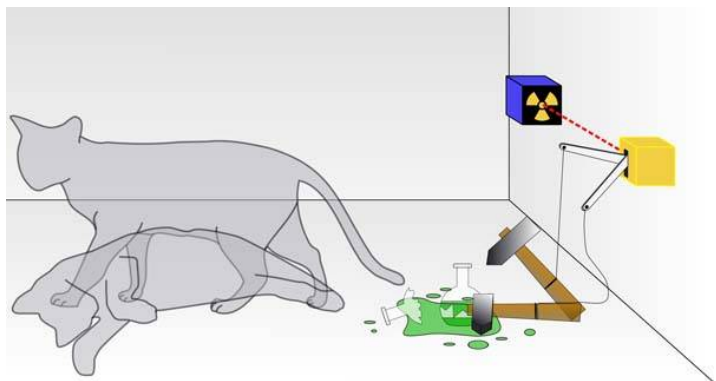
Bell apparteneva alla corrente realista e riproponendo l'esperimento delle due particelle di spin $1/2$ allontanate l'una dall'altra, determinò le probabilità di trovare le particelle in determinati stati in funzione dell'angolo formato dalle direzioni degli apparati di misura.

Le cosiddette disuguaglianze di Bell avrebbero dovuto dimostrare che in quelle particolari condizioni le variabili nascoste si sarebbero dovute manifestare, contraddicendo le previsioni della meccanica quantistica.

Dal 1967 iniziarono gli esperimenti che si dimostrarono nella totalità a favore della meccanica quantistica e contro le disuguaglianze di Bell. Alcuni specialisti considerarono decisivi gli esperimenti di A. Aspect che aveva utilizzato degli analizzatori variabili nel tempo in modo da poter escludere la trasmissione di un segnale relativistico tra A e B. Questi risultati ancora una volta davano ragione alla fisica dei quanti.

Fu Schroedinger, per mezzo di un divertente esperimento teorico, a mettere in evidenza alcuni aspetti paradossali della meccanica quantistica.

Un gatto, così dice Schroedinger, è posto in una scatola di acciaio collegata ad un certo meccanismo. In un contatore Geiger c'è una quantità assai piccola di sostanza radioattiva tale che nel giro di un'ora c'è una probabilità del 50% che un atomo subisca una disintegrazione. Se tale disintegrazione si verifica il contatore scatta e mette in moto un martelletto che rompe un'ampolla di cianuro. Dopo un'ora, se non c'è stata disintegrazione il gatto sarà sempre vivo, in caso contrario sarà morto. La funzione d'onda del sistema globale esprime questa situazione contenendo parti sovrapposte di gatto vivo e di gatto morto.



Secondo la scuola realista non c'è paradosso: la funzione d'onda descrive il comportamento di un insieme statistico. Dopo un'ora c'è una probabilità del 50% che il gatto sia vivo e un'analoga probabilità che sia rimasto avvelenato.

Secondo la scuola di Bohr la funzione d'onda descrive il comportamento di un unico sistema quantistico. Così l'apparato contiene 50% di gatto vivo e 50% di gatto morto. Ancora peggio! La povera bestia resterà per l'eternità in questa scomoda condizione finché un essere umano non decida di compiere un'osservazione sul nostro sistema, cioè salverà o ucciderà il gatto.

Tale paradosso (molto noto come "Gatto di Schroedinger") dimostra che l'impossibilità attuale di descrivere i sistemi quantistici con un formalismo lineare viene trasformato in una sorta di fenomeno illusorio.

Abbiamo accennato già prima che forse non è del tutto assurda l'ipotesi che le due correnti non siano del tutto incompatibili, illustrando meglio la situazione nel prossimo paragrafo.

Particelle o onde?

E' indubbio che gli esperimenti della meccanica quantistica portino a dei risultati sconcertanti: abbiamo detto che la luce è un'onda che segue le leggi elettromagnetiche di Maxwell, però si comporta anche come una particella quando interagisce con la materia. Per meglio spiegare questo dualismo si può citare l'esperimento teorico di un fotone (il nome coniato per un quanto di luce) lanciato attraverso due fenditure vicine. Si tratta di una particella oppure di un'onda? Notando sullo schermo posto al di là delle fenditure un fenomeno di interferenza non esiteremmo a definirlo un'onda, ma in tal caso il fotone è passato per la fenditura di destra oppure per quella di sinistra? Come può una particella passare per due fenditure contemporaneamente?

Forse dovremmo dare una definizione più precisa al termine particella. Nel linguaggio comune una particella è una specie di trottola che viaggia nel microcosmo ad una certa velocità, che si trova in una certa posizione

e possiede in un un certo qual modo delle 'pareti solide' che ne determinano la struttura. Ma nessuno potrà mai vedere queste pareti, dal momento che una qualsiasi interazione con esse disturberebbe il sistema (mandandogli un raggio di qualunque natura con un microscopio significa portare comunque ad una collisione tra due particelle). E se queste "pareti" non esistessero? Se fossero unicamente una proprietà delle onde di manifestarsi come particelle in determinate condizioni? Forse una teoria a variabili nascoste di tipo probabilistico, come suggerisce E. Bitsakis, renderebbe ragione ad entrambe le scuole... e il concetto di materia compatta ed indistruttibile di Democrito andrebbe frantumandosi sempre di più, in un universo dove la materia si scopre essere sempre più vuota.

Ma il vuoto non è il nulla.

Claudio Caracci