

FO2385 MECCANICA QUANTISTICA

Lezione introduttiva 20/10/03

Vorrei brevemente spiegare in questa sede quale sono i principi fondamentali della meccanica e qual è la novità di questi principi. Quali sono le conseguenze metafisiche e ontologiche ed interpretative che emergono. Bisogna capire quali sono le caratteristiche fondamentali di questa disciplina, che cos'è la meccanica quantistica e qual è la novità rispetto alla scienza classica. La fisica classica fino alla fine dell'800 era la fisica essenzialmente deterministica. Lo sviluppo dei sistemi fisici era concepito secondo lo sviluppo di cause meccaniche, dove poste determinate condizioni iniziali, tutti gli sviluppi futuri del sistema fisico erano già pre-determinati. Non c'era spazio per possibilità operative, ed era intesa universalmente come una fisica deterministica, tanto che, il grande filosofo-fisico, Laplace diceva: se mi si dote quali sono le condizioni iniziali dell'universo, io posso prevedere qualsiasi cosa succederà nell'universo in qualsiasi momento. Quindi un determinismo completo, proprio di una fisica materialistica.

La meccanica quantistica rispetto alla scienza classica, rappresenta una rivoluzione, perché si basa su tre principi: il principio di sovrapposizione, d'indeterminazione e quello di complementarità.

Che cosa significa il **primo principio**? Se prendiamo un sistema fisico classico, ad esempio un gesso, è chiaro che se io metto il gesso in un determinato posto, secondo questo sistema e anche secondo l'evidenza dei sensi, occupa quella determinata posizione, non può stare contemporaneamente in più luoghi. Esso ha velocità zero, questo gesso ha delle proprietà che sono assolutamente determinate e questo principio noto già a Kant e ancor prima a Baumgarten alla fine del 700: che si chiama in latino OMNIMODA DETERMINATIO, ossia completa determinazione, significa che di qualsiasi cosa che io considero di questo mondo, ad esempio questo pezzetto di gesso, io posso fare un elenco di tutte le proprietà che esso di fatto possiede in qualsiasi momento. Il fatto che i sistemi fisici classici sono perfettamente determinati insieme ad altre proprietà come ad esempio il fatto che erano concepiti come evolventi in modo continuo, facevano presupporre la presenza di un determinismo.

Che cosa accade ora? Accade che i sistemi quantistici funzionano in modo completamente diverso; perché un sistema quantistico, se occupa una posizione determinata, cioè se questo gesso può stare alla sinistra o alla destra di questo leggio, la meccanica quantistica mi afferma che può stare anche in un altro luogo che è una combinazione dei primi due. Ossia, questo sistema non è che sta solamente qui, ma starà in qualsiasi combinazione, cioè in sovrapposizione. Questo fenomeno ha un'analogia con le onde. Come voi tutti sapete, quando io per esempio parlo, la mia voce esce contemporaneamente da quella porta e da tutte le altre aperture che ci sono in questo luogo, cioè l'onda tende ad occupare per così dire tutti i canali di comunicazione possibili. Per esempio per le onde che si producono nell'acqua, nel mare, vale la stessa cosa: cioè se una barca si muove ed esistono diverse imboccature nel porto, l'onda entrerà in tutte le imboccature. Se esistono diverse possibilità le onde passano e sapete cosa fanno? Interferiscono, si accavallano le une con le altre, cioè si sovrappongono in modo tale che si combinano. Dove sta la differenza fondamentale tra l'esempio della meccanica quantistica e quello della meccanica classica? Quando io parlo di onde del mare, acustiche o luminose e visibili in tutti questi casi, è vero che c'è una sovrapposizione, ma vi è sovrapposizione semplicemente della posizione dello spazio che l'onda occupa, cioè l'onda per natura si allarga a partire dalla sorgente, si allarga facendo dei cerchi. Infatti l'onda tende ad allargarsi concentricamente a partire dalla sorgente. Quindi questa sovrapposizione riguarda soltanto lo spazio. Invece in meccanica quantistica la sovrapposizione non riguarda soltanto la posizione, riguarda lo stato fisico del sistema come tale. Che cosa intendo io per stato fisico? Facciamo come esempio di stato fisico il mio stato di salute. Esso sarà indicato da tutti i parametri che sono poi risultati di eventuali analisi: della temperatura, del sangue, ecc. Si noti, che esattamente come accade per la temperatura del corpo, un sistema fisico può avere diversi valori delle variabili che lo rappresentano. E quali sono queste variabili? Tempo, spazio, velocità, cioè quei parametri che permettono di dire che un sistema fisico è in movimento, sta fermo, etc... Cos'è allora lo stato? E' la collezione completa di tutte le proprietà (cioè dei valori di tutte le variabili in un certo momento), ne è il catalogo completo. Se potessi domandare ad uno stato fisico "Tu cosa sei?", dovrei chieder più specificamente "che temperatura hai?", che posizione occupi? La risposta a tutte queste domande è appunto lo stato fisico.

Invece, per qualsiasi domanda che io pongo a un sistema di fisica quantistica, posso avere più risposte, ma non necessariamente una risposta determinata. Non è possibile collocare il sistema quantistico, non perché io

non ho gli strumenti per farlo ma è un'impossibilità di principio. Ci sono stati studi enormi fatti già dal 1985 su questo problema, Einstein nel '35 contestò questo principio, perché il mondo non può essere fatto in modo così casuale, come sembra risultare in meccanica quantistica. Einstein nel '35 propose un esperimento con cui cercò di dimostrare che la meccanica quantistica non è una descrizione, ma è semplicemente una statistica, nel senso che io non so esattamente come sono fatti questi sistemi fisici nella realtà. Negli ultimi 40/50 anni le ipotesi di Einstein sono state smentite e i test hanno dimostrato che è impossibile in linea di principio dire che il sistema quantistico è determinato e che il suo stato è completo allo stesso modo in cui lo è lo stato di un sistema classica.

Se sostengo una cosa del genere le conseguenze che ne emergono contraddicono tutta l'esperienza.

Passiamo ora al **secondo principio**.

Il motivo per cui si è passati dalla meccanica classica alla meccanica quantistica è un problema specifico della fisica classica che riguardava il corpo nero, problema affrontato da Planck. Supponendo che ci sia un corpo nero, la radiazione in questo corpo nero rimbalza con una frequenza sempre più alta fino a quando non si arriva a un grado di energia praticamente infinito. Planck pensò, come soluzione tecnica, che la distribuzione delle frequenze fosse discreta, cioè che l'energia fosse fatta a scalini.

Nel 1905 Einstein spiegò un effetto apparentemente inspiegabile, ossia quello fotoelettrico e nel '13 Bohr applicò tale metodologia all'atomo, superando problemi di instabilità di modelli precedenti. Egli assunse che gli elettroni potessero occupare soltanto livelli discreti di energia e che ci fosse bisogno di una quantità minima (discreta) di energia per scaltarli dal livello che essi occupano. Poi in fine nel '25/26 due geni della fisica, Heisenberg e Schrödinger, proposero i due principi di indeterminazione e di sovrapposizione e nel '28 Bohr propose quello di complementarità.

Che cos'è ora il principio di indeterminazione?

Heisenberg si rese conto che quelle che noi chiamiamo variabili, e che descrivono il sistema fisico, in meccanica quantistica sono, matematicamente parlando, operatori, mentre in fisica classica sono funzioni. Per farvi capire cos'è un operatore vi spiegherò prima cos'è un'operazione. Esempio: io posso vedere una semplice operazione come una serie di rotazioni successive. Le operazioni hanno una caratteristica molto particolare e fondamentale che è l'ordine. Ossia invertendo l'ordine delle operazioni il risultato cambia. Come sappiamo questo non vale per i numeri (basta pensare all'addizione e alla moltiplicazione). Perciò gli operatori non possono essere dei numeri. Le operazioni quindi hanno una conseguenza dinamica sul sistema, lo trasformano e quindi il sistema quantistico è molto più dinamico di quello classico, è un sistema che cambia continuamente le sue proprietà. Inoltre, come ho detto, invertendo gli ordini non ottengo lo stesso risultato, gli operatori non hanno la caratteristica della commutabilità.

Questo vuol dire che il risultato cambia a seconda dell'ordine di cosa vado prima a misurare; inoltre gli effetti che vado a provocare quando misuro sono incredibili e molto sensibili.

Se considero tutte le variabili (gli osservabili) di un sistema quantistico, scopro che non sono tutte raggruppabili insieme, ma in due o più insieme incompatibili che sono solo sottoclassi delle variabili iniziali. Questo comporta una conseguenza fondamentale, che la determinazione di un qualsiasi osservabile influisce sugli altri. Io per osservabile intendo ciò che in fisica classica si chiamano variabili cioè tempo, velocità e li chiamo osservabili, perché li posso osservare e quindi di conseguenza in fisica quantistica, a differenza di quella classica, poiché tali osservabili non sono compatibili, non possono mai essere misurati insieme e quindi diminuiscono le possibilità di accesso alle informazioni che cerco. Da ciò ne deriva che viene meno quella pretesa di onniscienza, di dominio del sistema fisico propria dei fisici classici. In fisica quantistica ogni volta che vado a misurare è come se mescolassi nuovamente il mazzo di carte, non posso accumulare informazioni. L'osservazione non si osserva indipendentemente dall'osservatore, l'osservatore non si pone con distacco nei confronti dell'osservabile, non è esterno ad esso come il fisico classico, ma è un ente terreno.

Questo significa che le proprietà in fisica quantistica sono interrelazionali ed emergono di volta in volta grazie a delle interazioni dinamiche con altri sistemi. Quando faccio un'operazione costringo il sistema a determinarsi. Quindi si potrebbe dire che c'è un approccio ad una ontologia delle relazioni, come ad esempio fece il filosofo Hegel, in cui nella prima parte della sua scienza della logica emerge questo tentativo di costruire l'ontologia in termini di relazioni e infine cito Peirce che ha lavorato tutta la vita a questo problema. Anche dalla tradizione cristiana questo problema è stato avvertito. Cito qui in particolare lo straordinario contributo di S. Agostino.

Il terzo principio, quello di complementarità, fu enunciato da Bohr, maestro di Heisenberg, con una profonda formulazione filosofica. Egli disse se penso al principio di indeterminazione e agli scombussolamenti che le misurazioni mi introducono a seconda di quale determinazione io ottengo, io posso percepire le particelle come punti perché occupano delle posizioni determinate ma saltando da una posizione all'altra. Saltano perché ogni volta che misuro un'osservabile, tra le due misure io non ho alcuna continuità, e quindi subentrano effetti imprevedibili. Quello che accade tra due misurazioni è infatti regolato dal principio di sovrapposizione, il che significa che, potendo la particella occupare differenti posizioni nello spazio simultaneamente, essa non segue una traiettoria determinata, si comporta cioè come un'onda. Per cui ho questo risultato stranissimo. Se misuro la posizione al momento 1 trovo che la particella occupa una posizione ben determinata e quindi è come una particella classica. Ma, successivamente, a tale misurazione, il mio sistema si muove secondo il principio di sovrapposizione e quindi si comporta come un'onda. Poi lo misuro al momento 2 e di nuovo mi appare come una particella. In seguito a tale misura si muove di nuovo come un'onda, e così via. Non serve a nulla ravvicinare tali momenti di misurazione. Se sono intervalli di tempo in cui il sistema si può muovere, otterrò sempre lo stesso risultato.

Bohr chiamò questo strano fatto complementarità tra comportamento ondulatorio e comportamento particellare. Bohr intendeva dire che, quando il sistema si comporta come un'onda, non si può comportare come una particella, e quando si comporta come una particella non si può comportare come un'onda. Ossia la complementarità implica una forma di esclusività.

Ma in realtà, diceva Bohr, io ho un sistema che non è né un'onda classica né una particella classica. Ho quindi due comportamenti, ondulatorio e particellare, che sono entrambi somiglianti vagamente ai casi classici ma in più sono complementari.