

Incontriamo la Fisica: la Meccanica Quantistica

Stefano Spagocci, GACB

Newton e Laplace

- Secondo la concezione di Newton e Laplace, specificate le condizioni iniziali (posizioni e velocità), il moto di un corpo è univocamente determinato.
- Quindi il mondo è rigidamente deterministico e si comporta come un gigantesco orologio; tutte le quantità sono continue.

Planck e il Corpo Nero

- Queste certezze furono messe in crisi dal famoso lavoro di Planck, che studiò l'emissione di un corpo portato all'incandescenza.
- Tale corpo si comporta come una cavità riscaldata, nella quale sia stato praticato un piccolo foro: tale cavità è nera, da cui il nome di corpo nero.

Planck e il Corpo Nero

- Secondo la meccanica statistica classica, un corpo nero dovrebbe emettere una quantità infinita di energia.
- Planck scoprì che se si suppone che ad un'onda elettromagnetica di frequenza ν sia associata un'energia $E = h \nu$, $h =$ costante di Planck, allora la quantità di energia è finita.

Le Onde di De Broglie

- Dunque secondo Planck le onde elettromagnetiche sono anche particelle, i fotoni.
- De Broglie si chiese allora se ad una particella non si potesse associare un'onda.
- Una particella di quantità di moto p ha associata una lunghezza d'onda $\lambda = h/p$.

Bohr e Sommerfeld

- Un altro fatto notevole è che gli spettri atomici non sono continui ma hanno righe discrete.
- Per Bohr e Sommerfeld l'elettrone ha una certa lunghezza d'onda λ e nella circonferenza della sua orbita deve stare un numero intero di λ : sono allora possibili solo alcune orbite, da cui le righe discrete.

Einstein e l'Effetto Fotoelettrico

- Un metallo investito da luce emette elettroni (effetto fotoelettrico).
- Tuttavia se la frequenza della luce non è quella giusta, qualsiasi intensità di luce non provoca emissione di elettroni.
- Einstein mostrò che tutto questo si può spiegare solo con la meccanica quantistica.

L'Interpretazione di Born

- Dunque un'onda è anche particella ed una particella è anche onda.
- Ci si pose allora il problema dell'interpretazione della funzione d'onda.
- Secondo l'Interpretazione di Born, il quadrato della funzione d'onda in un punto ci fornisce la probabilità che la particella si trovi in quel punto.

L'Equazione di Schrödinger

- Schrödinger formulò un'equazione, risolta la quale si ottiene la funzione d'onda, equazione che prende il suo nome.
- Risolvendo l'equazione di Schrödinger, si possono calcolare sistemi come gli atomi, le molecole o i semiconduttori, fondamentali per la tecnologia moderna.

L'Equazione di Schrödinger

- Dunque non possiamo più parlare di posizione e velocità di una particella, ma di probabilità che la particella abbia quella posizione e velocità.
- Si ribalta quindi la concezione deterministica della meccanica classica: la funzione d'onda evolve in maniera esattamente prevedibile, ma essa rappresenta una probabilità.

Il Principio d'Indeterminazione di Heisenberg

- In meccanica quantistica la certezza viene sostituita dalla probabilità.
- In particolare, data una particella, se determiniamo con certezza la sua posizione non conosciamo la sua velocità e viceversa: è questo il principio di indeterminazione di Heisenberg.

Il Principio d'Indeterminazione di Heisenberg

- Più specificamente, il prodotto delle incertezze della posizione e della velocità deve essere maggiore di una quantità proporzionale ad h .
- In generale, esistono coppie di grandezze tali che il prodotto delle loro incertezze deve superare una quantità proporzionale ad h .

L'Interpretazione di Copenhagen

- Un sistema ad ogni istante non è in uno stato preciso, ma in una sovrapposizione di stati.
- Nel momento in cui lo si osserva in un certo stato, il sistema collassa in quello stato: secondo l'interpretazione di Copenhagen, l'osservatore quindi influenza il sistema che osserva.

L'Interpretazione di Copenhagen

- Il fatto che un osservatore possa influenzare il sistema che osserva è paradossale per un occidentale: Einstein disse "Dio non gioca a dadi con l'universo".
- Ancora oggi fervono le ricerche sull'interpretazione della meccanica quantistica e l'interpretazione di Copenhagen non è da tutti accettata.

L'Equazione di Dirac

- L'equazione di Schrödinger è una generalizzazione della meccanica classica.
- Dirac formulò invece l'omonima equazione quantistica, che parte dalla meccanica relativistica.
- L'equazione di Dirac prevede l'esistenza dell'antimateria, poi scoperta sperimentalmente.

L'Integrale di Feynman

- Una formulazione equivalente della meccanica quantistica fu data da Feynman, col suo integrale.
- Nell'integrale di Feynman, la probabilità di una particella di passare da uno stato a ad uno stato b è data dalla somma delle probabilità di passare da a a b lungo tutti i possibili cammini.

I diagrammi di Feynman

- L'integrale di Feynman è all'origine dei diagrammi di Feynman, in cui un'interazione di particelle elementari viene rappresentata come somma di grafici che rappresentano tutti i modi in cui il processo può avvenire.
- Dai diagrammi di Feynman, mediante opportune regole, si determina la probabilità del processo in questione.

Applicazioni

- La meccanica quantistica è alla base della maggior parte delle tecnologie del mondo moderno.
- Le reazioni chimiche si basano su processi quantistici.
- I semiconduttori sono basati in maniera essenziale sulla meccanica quantistica, senza la quale non si potrebbero nemmeno immaginare.

Il Caos

- In meccanica classica, dati velocità e posizione di una particella è univocamente determinato il futuro.
- Ma anche nella meccanica classica le posizioni e velocità non possono essere conosciute senza errore.
- Dunque (teoria del caos) anche in meccanica classica entra la nozione di probabilità.

Conclusioni

- La meccanica quantistica introduce un modo radicalmente nuovo di vedere l'universo: certezza viene sostituita da probabilità e l'osservatore influenza il sistema che osserva.
- La meccanica quantistica è alla base di quasi tutti gli sviluppi scientifici e tecnologici del mondo moderno.