

La disuguaglianza di Bell

Candidato: Alessandra Beni (alessandra.beni@stud.unifi.it)

Relatore: Dott.ssa Paola Verrucchi (verrucchi@fi.infn.it)

La formalizzazione della Meccanica Quantistica (MQ) come teoria per la descrizione dei sistemi fisici mette in profonda discussione alcune ipotesi considerate fondamentali in fisica classica. Già l'idea che un sistema possa trovarsi contemporaneamente in più stati è di per sé contraria al nostro senso comune, ma è con il postulato della misura che la MQ introduce un elemento davvero inedito, ovvero la "probabilità" quantistica, l'analisi della cui natura ha dato luogo, nel secolo scorso, a grandi discussioni.

Secondo il postulato della misura, infatti, effettuare una misura significa agire sullo stato del sistema osservato, estraendo da esso al più una distribuzione di probabilità per i possibili risultati, indipendentemente dalla precisione della misura stessa. L'idea che la natura probabilistica del processo di misura quantistico derivasse da una sostanziale incompletezza della descrizione (idea sostenuta anche da A. Einstein) e che quindi potesse essere eliminata supponendo l'esistenza di proprietà a noi non accessibili (rappresentate dalle cosiddette "variabili nascoste"), è stata a lungo considerata utile al fine di riconoscere la MQ come una teoria di tipo classico, ancorché incompleta.

È stato solo nel 1964 che, con la dimostrazione del Teorema di Bell, si è reso disponibile uno strumento utile a verificare sperimentalmente se l'idea di cui sopra corrispondesse o meno alla realtà fisica. Tale strumento è la disuguaglianza di Bell, argomento di questa tesi.

Per comprendere in che modo l'eventuale violazione della disuguaglianza di Bell escluda la possibilità che la MQ sia una teoria incompleta, nel primo capitolo introduciamo i concetti di località, controfattualità (o "realtà") e località-secondo-Einstein (o "causalità") delle proprietà fisiche e delle misure usate per determinarne sperimentalmente i valori. È quindi introdotto il postulato della misura per la MQ, con particolare riferimento al caso in cui il sistema in analisi è costituito da più sottosistemi.

Nel secondo capitolo dimostriamo quindi il Teorema di Bell facendo riferimento ad una formulazione del tutto generale, in quanto basata sulle proprietà delle distribuzioni di probabilità. Sempre nello stesso capitolo mostriamo come si possa verificare la violazione della disuguaglianza di Bell effettuando misure locali di tre componenti di spin, su due elettroni componenti uno stato complessivo di singoletto, inviati individualmente a due diversi apparati di misura.

Nonostante l'esperimento di cui sopra costituisca il prototipo ideale per molti esperimenti realizzati negli ultimi decenni, esso presenta alcune criticità, sostanzialmente derivanti dal riferimento alle distribuzioni di probabilità, che comporta la ripetizione della stessa procedura su sistemi identici per un numero elevato di volte. Per ovviare ad una richiesta così onerosa dal punto di vista sperimentale, è stato recentemente proposto un diverso esperimento ideale in cui, utilizzando 4 elettroni ed effettuando 9 misure di componenti di spin e di loro correlazioni, è possibile evitare il riferimento alle probabilità nella verifica della completezza della MQ. La descrizione dello schema logico in cui tale esperimento si colloca, e dell'esperimento stesso, costituisce il contenuto del terzo ed ultimo capitolo, in cui sono anche brevemente commentate le differenze fra questa recente proposta e quelle avanzate in precedenza.