

Test per la violazione della disuguaglianza di Bell

Candidato: Francesco Canfailla (francanfa@alice.it)

Relatore: prof. Alessandro Cuccoli (cuccoli@fi.infn.it)

L'interpretazione dei fenomeni naturali nei termini posti dalla Meccanica Quantistica è stato argomento di discussione fin dai primi anni della fondazione della teoria. All'interpretazione di Copenhagen si contrapponeva la posizione sostenuta da Einstein, che poggia sul "realismo ontologico", secondo la quale la natura è assunta esistente *a priori* e con ben definite proprietà e dovrebbe pertanto essere descrivibile in ogni suo aspetto da una teoria completa. La Meccanica Quantistica, date le sue caratteristiche probabilistiche, risulterebbe dunque incompleta. In un celebre articolo del 1935 Einstein, Podolsky e Rosen (EPR) dimostrarono che, dietro precise assunzioni riguardanti *completezza*, *realità* e *località*, la teoria quantistica porta a un paradosso se applicata a sistemi descritti da stati *entangled* sui quali vengano condotte certi tipi di misure; la teoria risulta dunque avere proprietà incompatibili con le assunzioni di *realità* e *località*.

In seguito alla prima analisi del paradosso con riferimento a dati empirici proposta da Bohm e Aharonov nel 1957, Bell nel 1964 pose le basi per la realizzazione di esperimenti in grado di sottoporre a verifica le proposte avanzate per rendere la Meccanica Quantistica una teoria completa all'interno della classe delle teorie *reali* e *locali*: supponendo che la natura probabilistica della misura quantistica sia una conseguenza di variabili nascoste, non accessibili, che ubbidiscono alle leggi della probabilità classica, i risultati delle misure dovrebbero rispettare certe disuguaglianze che sono invece violate dalle previsioni della teoria quantistica.

Nel primo capitolo della tesi vengono espone le assunzioni di EPR e illustrato il paradosso, prima in un caso generale poi per misure di spin su coppie *entangled*. In seguito viene illustrata l'originale "disuguaglianza di Bell" e vengono trattate le prime proposte per le verifiche sperimentali basate sulla misura delle correlazioni di polarizzazione di coppie di fotoni, e introdotte le relative disuguaglianze.

Nel secondo capitolo vengono brevemente illustrati alcuni esperimenti e le tecniche impiegate: sono descritte le sorgenti di coppie *entangled* di fotoni utilizzate in esperimenti reali, le quantità accessibili a seconda degli apparati di misura utilizzati e le assunzioni necessarie per una corretta interpretazione dei dati sperimentali. Dopo un cenno ai primi esperimenti, vengono descritti gli esperimenti di Aspect e introdotto il problema dei cosiddetti *loophole* (scappatoie), ovvero della presenza di assunzioni più o meno implicite relative alla località (*locality loophole*) o alla rappresentatività del campione di eventi rilevati (*detection loophole*) che, nonostante le disuguaglianze risultassero sperimentalmente violate, lasciavano aperta la possibilità dell'esistenza di teorie a variabili nascoste modificate in grado di descrivere i risultati sperimentali.

Nel terzo capitolo viene quindi approfondito tale problema e in particolare quello relativo al *detection loophole*, affrontato dal punto di vista teorico attraverso l'analisi degli effetti delle imperfezioni sperimentali (efficienza complessiva e *background*) in modo tale da ottimizzare le condizioni di misura per chiudere il *loophole* stesso. Dopo aver introdotto le tecniche di *entanglement swapping* vengono descritti alcuni degli esperimenti degli ultimi anni condotti con ioni (liberi dal *detection loophole*) e con fotoni (liberi dal *locality loophole*) per concludere con un recentissimo esperimento che ha plausibilmente chiuso allo stesso tempo entrambe le "scappatoie".

Si può dunque ritenere che l'evidenza sperimentale abbia mostrato in maniera convincente l'inconsistenza delle teorie *reali* e *locali* e confermato la presenza di aspetti non locali nella Meccanica Quantistica.