

## UNA NUOVA DISCIPLINA... DAGLI ASPETTI SORPRENDENTI.

Già nei primi anni dell'Ottocento John Dalton aveva rielaborato e riproposto la teoria atomistica di Democrito e aveva gettato le basi della moderna Fisica Atomica. Ma una prima comprensione del comportamento delle particelle infinitamente piccole si ebbe solo ai primi del Novecento con la nascita di una nuova disciplina chiamata Fisica dei Quanti o Meccanica Quantistica.

La Meccanica Quantistica nacque dunque nei primi anni del 1900, quando il fisico tedesco Max Plank scopre che la luce non si propaga in modo "continuo", ossia mediante onde di energia, ma in modo "discreto", mediante piccolissime particelle che lui chiama "quanti di luce"; questi vennero in seguito ribattezzati come "fotoni".

Ma se il fotone era una particella fatta solo di energia, l'elettrone, scoperto qualche anno prima dallo scienziato inglese Joseph Thomson, era invece la più piccola particella fatta di materia. Paradossalmente però, in molteplici esperimenti effettuati sugli elettroni, sembrava che questi, a volte, non si propagassero nello spazio come particelle di materia ma come onde... cioè nello stesso modo in cui si propaga l'energia!

Sembrava che, entrando nel mondo dell'infinitamente piccolo, materia ed energia apparissero come entità sempre più indistinguibili.

A qualcosa di simile, nello stesso periodo storico, era giunto anche Albert Einstein, con la sua Teoria della Relatività Speciale, attraverso la famosa formula  $E=mc^2$ . L'energia (E) e la massa (m) sono fra loro intimamente legate, come le facce opposte della stessa medaglia...

Solo che Einstein non era arrivato ad un tale risultato attraverso l'analisi di particelle infinitamente piccole, bensì studiando l'Universo, cioè l'infinitamente grande! E la sua formula ci dice che massa ed energia sono fra loro "equivalenti", non la "stessa cosa"!

Incalzati dall'obbiettivo di capire meglio la vera natura delle particelle infinitamente piccole, e principalmente dei fotoni e degli elettroni, schiere di fisici teorici e sperimentali si misero all'opera per studiare i modi in cui essi interagivano fra di loro.

Tutto questo avveniva in un periodo di grande fermento intellettuale e culturale chiamato "Era della Belle Epoque"....

Tutti i 29 scienziati partecipanti al V Congresso di Solvay sul tema "FOTONI E ELETTRONI"



Questa famosa e bellissima fotografia, scattata a corollario di una cena, ritrae tutti i più importanti scienziati di quell'epoca, che, tra il 24 ed il 28 ottobre del 1927, si riunirono a Bruxelles per presentare le loro incredibili scoperte nel campo della nuova Fisica dei Quanti, in particolare sugli elettroni, sui fotoni e sulle mutue interazioni di queste due particelle ancora in gran parte sconosciute.

In quegli anni le discussioni riguardanti questa nuova branca della Fisica chiamata Meccanica Quantistica erano molto accese. Tanti scienziati come Bohr, Heisenberg, Schroedinger, Pauli ed altri, erano pervenuti ad una "interpretazione" di questa nuova disciplina dai risvolti alquanto sconcertanti. Sviluppata con il contributo principale del danese Niels Bohr, fu chiamata "Interpretazione di Copenaghen", infatti in quella città si organizzavano incontri e discussioni che proseguivano fino a tarda notte e che contribuirono a farla nascere.

Ma perchè, ad un certo punto questi scienziati sentirono la necessità di dare una interpretazione alla nuova Fisica nascente? Vi era in realtà molta confusione in relazione ai risultati sperimentali che via via si ottenevano. Molti esperimenti rivelavano una natura indubbiamente particellare degli elettroni. Ma altri, come quello famoso della "doppia fenditura", vedevano l'elettrone comportarsi come un'onda. Se, tramite un "cannone elettronico", si sparavano elettroni contro una parete dotata di due fenditure, queste particelle sembravano essere in grado di passare "contemporaneamente" attraverso

entrambe le aperture. L'elettrone sembrava capace di sdoppiarsi e transitare attraverso entrambe le fessure! E questo era possibile solo se l'elettrone fosse stato un'onda!

Ma tutto ciò era qualcosa di veramente reale, o dipendeva solo dal modo con cui venivano condotti gli esperimenti? La realtà che si stava scoprendo nel mondo dell'infinitamente piccolo era la stessa che noi osserviamo nel mondo macroscopico? E se le due realtà fossero diverse come potrebbero raccordarsi tra loro?

Quindi l'Interpretazione di Copenaghen ha anche delle conseguenze "filosofiche", volte a incidere non solo sulla mera comprensione del mondo fisico, ma anche sul modo in cui tutti noi ci relazioniamo con esso. Essa potrebbe essere sintetizzata nel modo seguente.

1. La "realtà oggettiva" non si trova in un solo e definito stato, bensì in una specie di miscuglio di più stati possibili. I fisici chiamano questo miscuglio "sovrapposizione" degli stati. Ad esempio, se un elettrone si muove liberamente nello spazio non si può mai dire ove esattamente si trovi o quale sia il suo esatto percorso. Fintanto che esso è libero ed indisturbato, sembra possedere una sorta di "ubiquità" che lo rende potenzialmente presente sia qui che là.
2. Lo stato della "realtà oggettiva" diventa invece esattamente definito solo nell'attimo in cui un soggetto esterno la "osserva". Uno sperimentatore può, ad esempio, "vedere" l'elettrone citato precedentemente solo quando esso "interagisce" con un fotone. L'elettrone è infatti di per se stesso invisibile; solo se colpito da un fotone può essere "visto" da un apparato sperimentale e, conseguentemente, la sua posizione essere precisamente definita. La differenza di comportamento tra il mondo microscopico e il nostro mondo macroscopico sta nel fatto che, un elettrone, rispetto ad una palla da calcio, può restare a lungo "invisibile". Infatti, a causa della sua piccolezza, possono passare anche molte ore prima che un fotone lo colpisca, mentre una palla da calcio è continuamente colpita da innumerevoli fotoni, e perciò, è "sempre visibile".

Quindi la posizione di un oggetto macroscopico è sempre ben definita proprio grazie alla sua macroscopicità. In altre parole, una palla da calcio ha sempre una posizione definita poichè l'intervallo medio di tempo in cui nessun fotone la colpisce è praticamente pari a zero. Invece l'intervallo medio di tempo nel quale un elettrone viaggia liberamente e non interagisce con nessuna particella è molto più grande: durante tutto questo tempo, secondo l'Interpretazione di Copenaghen, la posizione dell'elettrone è del tutto indefinita.

Ma... attenzione! Non è che la sua posizione è indefinita semplicemente perchè non la conosciamo! Essa è indefinita in modo reale!... come se esso possa essere presente in più punti allo stesso tempo.

Questo incredibile comportamento è confermato da tante risultanze sperimentali: esse ci dicono che un elettrone che si muove liberamente non è un oggetto "puntiforme" bensì una "onda di probabilità". Non come punto, ma come un'onda esso si muove nello spazio. Addirittura a volte, di fronte a degli ostacoli, esso, come un'onda, si può "sdoppiare" e possono insorgere fenomeni di interferenza. In tale circostanza la posizione e la traiettoria

dell'elettrone può diventare estremamente indefinita. Ma è sufficiente una semplice interferenza, con un fotone o con altra particella vagante, per trasformare nuovamente l'elettrone in oggetto puntiforme e precisamente localizzato nel punto in cui l'interferenza è avvenuta. I Fisici dicono che, in quel momento, la sua onda di probabilità "collassa" in un solo punto definito. Questo sorprendente fenomeno è denominato "collasso della funzione d'onda" dell'elettrone.

Tutto ciò era già più che sufficiente per generare nell'animo di Albert Einstein una estrema diffidenza nei confronti della Meccanica Quantistica. Egli aveva grande rispetto per la Fisica Classica anche se con la Teoria della Relatività contribuì lui stesso a modificarne i principi generali; ma introdurre "indeterminazione" e "probabilità" nel modello comportamentale del mondo fisico, era qualcosa che lui non poteva proprio digerire. Tanto che ad un certo punto, perdendo la pazienza, rivolgendosi a Bohr, disse la famosa frase:

DIO NON GIOCA A DADI...!!

E Bohr, da canto suo, passò al contrattacco tramite la altrettanto famosa risposta:

ALBERT, SMETTILA DI DIRE A DIO QUELLO CHE DEVE FARE !!..

Lo stesso Niels Bohr era comunque fortemente consapevole di quanto fosse difficile, per chi era abituato a ragionare in modo classico, accettare i principi della Meccanica Quantistica. Un altro suo celebre detto è il seguente: *"Chi non resta sbalordito dalla Meccanica Quantistica, evidentemente non la capisce!"*.

In seguito Einstein ha sempre cercato di smontare i principi della Meccanica Quantistica, mettendo ad esempio sotto indagine alcune situazioni quantistiche nelle quali anche il "principio di località" sembra essere violato. Una di queste situazioni viene esaminata in un articolo che egli pubblica nel 1935 assieme ai Fisici Podolsky e Rosen dal titolo: *"Può la descrizione quanto-meccanica della realtà fisica essere considerata completa?"*.

In questo articolo viene considerato quel fenomeno, previsto dalla Meccanica quantistica, secondo cui due o più particelle possono essere "quantisticamente connesse": di norma lo stato in cui ognuna di esse si trova è indefinito, ma, dovendovi essere un relazione ben precisa tra i loro due stati, nel momento in cui una delle due viene osservata essere in uno specifico stato, anche l'altra collassa immediatamente nello stato corrispondente. Tutto ciò avviene "indipendentemente" dalla distanza a cui si trovano, che può essere anche infinitamente grande. Questo fenomeno viene chiamato "Entanglement Quantistico" che, in italiano, può essere tradotto come "intreccio" quantistico.

Generalmente due particelle sono fra loro "entangled" solo se vengono generate assieme, dalla medesima reazione, proprio come due gemelli che nascono dallo stesso ovocita. Queste particelle rimangono "relazionate" fra loro indipendentemente dalla distanza alla quale vengono a trovarsi, ciò in quanto, secondo la Meccanica Quantistica, sono entrambe descritte dalla stessa funzione d'onda di probabilità.

Einstein osserva che, considerando ad esempio due fotoni entangled aventi stato di polarizzazione fra di loro opposto, nulla vieta di pensare che uno dei due possa viaggiare

indisturbato dalla Terra alla Luna senza perdere il suo stato entangled rispetto all'altro. Fintanto che essi sono liberi di viaggiare nello spazio, senza interazioni esterne, non è dato sapere quale sia il vero stato di polarizzazione dell'uno e dell'altro. Si sa solo che debbono essere opposti. Ma se uno sperimentatore (Bob), che si trova sulla Terra, misurasse lo stato di polarizzazione del primo fotone rimasto sulla Terra (usando un vetro polarizzante), un secondo sperimentatore (Alice) che si trova sulla Luna potrebbe verificare immediatamente che anche la polarizzazione del secondo fotone diventa improvvisamente definita e coerentemente opposta a quella dell'altro fotone. Il cambiamento di stato è immediato, come se un segnale venisse trasmesso a velocità infinita da un fotone all'altro.

Albert Einstein utilizzò questo esperimento mentale per sostenere la non correttezza della Meccanica Quantistica, dato che niente può viaggiare a velocità superiore a quella della luce. La Meccanica Quantistica risultava quindi in disaccordo con la Teoria della Relatività.

Egli sostenne inoltre che, per spiegare le tante risultanze sperimentali a favore della Meccanica Quantistica, dovevano esistere delle "variabili nascoste" che non erano state ancora considerate dalla Teoria Quantistica. Quando dette variabili sarebbero state scoperte, la teoria della Meccanica Quantistica dovrebbe essere modificata in modo tale da non risultare più in disaccordo con la Teoria della Relatività.

Nel frattempo però i Fisici Quantistici, che si erano schierati a favore della Interpretazione di Copenaghen, non furono troppo turbati dalla posizione di uno scienziato famoso quale era Einstein. Infatti i risultati degli esperimenti tendevano sempre più a confermare le predizioni teoriche della Meccanica Quantistica. E poi, grazie a questa nuova teoria, si riusciva a capire sempre meglio ciò che accadeva all'interno di circuiti elettronici sempre più piccoli e sofisticati. Per cui, ad un certo punto, molti Fisici favorevoli alla Interpretazione di Copenaghen, risposero alle obiezioni di Einstein con il famoso detto:

**ZITTO E CALCOLA !!**

Negli scorsi decenni, le obiezioni di Einstein sono state contraddette da innumerevoli altri esperimenti, l'ultimo dei quali, condotto dallo scienziato cinese Juan Yin ha dimostrato l'esistenza di correlazioni tra stati entangled di coppie di fotoni inviati, attraverso luce laser, da un satellite artificiale verso due laboratori che si trovano in Cina, nelle città di Delingha e XinJiang distanti fra di loro ben 1200 Km.

Negli ultimi tempi, attraverso le leggi della Fisica dei Quanti, si sono potuti realizzare componenti elettronici sempre più miniaturizzati che hanno portato ad uno sviluppo dirimpante delle Tecnologie della Informazione e della Comunicazione. Oggi si sta ormai pensando a sviluppare un Computer di nuova generazione intimamente basato sulla Fisica dei Quanti. Sarà il prototipo dei futuri Calcolatori Quantistici: in essi il Bit verrà sostituito dal Quantum Bit (o Qbit) ed avrà proprietà simili a quelle dell'elettrone!.

Questi futuri computer dovrebbero avere potenzialità di calcolo davvero sorprendenti come la capacità di ragionare in "sovrapposizione degli stati": ciò significa essere in grado, a

fronte di più alternative, di esplorarne in parallelo tutte le possibili conseguenze, come se, alle prese con un labirinto, qualcuno potesse dividersi e proseguire all'interno di tutti i possibili cammini. Essi potrebbero decidere di rimandare il tempo della decisione e tenere in caldo tutte le alternative, tutte sovrapposte fra di loro fino a che quella giusta non venga individuata. In fondo questo processo è tipico della mente umana!

I progressi tecnologici necessari alla realizzazione dei Qbit richiedono ancora un pò di tempo. Ma, nel frattempo che tutto questo accada, resta sempre il dilemma dell'apparente inconciliabilità tra i comportamenti del mondo macroscopico rispetto al mondo dell'infinitamente piccolo. Ultimamente anche la Teoria della Relatività di Einstein ha avuto molti nuovi ed importanti riscontri sperimentali, soprattutto attraverso l'indagine e l'analisi del fenomeno delle Onde Gravitazionali finalmente intercettate come provenienti da una serie di Buchi Neri presenti nello spazio profondo.

Possiamo dire che ad oggi sia la Teoria della Relatività che la Meccanica Quantistica risultano entrambe ampiamente verificate a livello sperimentale ma, tuttavia, sembrano tra loro profondamente inconciliabili.

Questo è il dilemma della Fisica moderna, a cui i Fisici stanno cercando disperatamente di trovare una soluzione: magari ciò avverrà attraverso la scoperta di una nuova teoria unificante. E chissà se un giorno verranno scoperte quelle famose "variabili nascoste" alla cui ricerca Albert Einstein ha dedicato, senza successo, l'ultima parte della sua vita.