

UNA NUOVA DISCIPLINA... DAGLI ASPETTI SORPRENDENTI.

Già nei primi anni dell'Ottocento John Dalton aveva rielaborato e riproposto la teoria atomistica¹ del filosofo greco Democrito gettando le basi della moderna Fisica Atomica. Ma una prima vera 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.

Questa disciplina comincia a prendere corpo quando al fisico tedesco Max Plank fu chiesto di indagare sulle proprietà della luce prodotta dalle lampadine alogene a filamento, una nuova tecnica di illuminazione che, all'inizio del 1900, cominciava ad invadere le strade e le piazze di mezza Europa. Egli si mette a studiare la natura ed il comportamento della luce emessa non solo dal filamento delle lampadine elettriche, ma anche da qualunque altro metallo, quando viene portato ad alte temperature e diventa incandescente. Arriva così ad un risultato del tutto inaspettato: la luce sembra non propagarsi in modo "continuo", ossia mediante onde di energia, ma in modo "discreto", mediante piccolissime particelle, che lui chiama "quanti di luce" e che 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!

Esplorando il mondo dell'infinitamente piccolo, materia ed energia apparivano 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: la famosa formula ($E=mc^2$) indica infatti che l'energia (E) e la massa (m) sono fra loro intimamente legate, come le facce opposte della stessa medaglia...

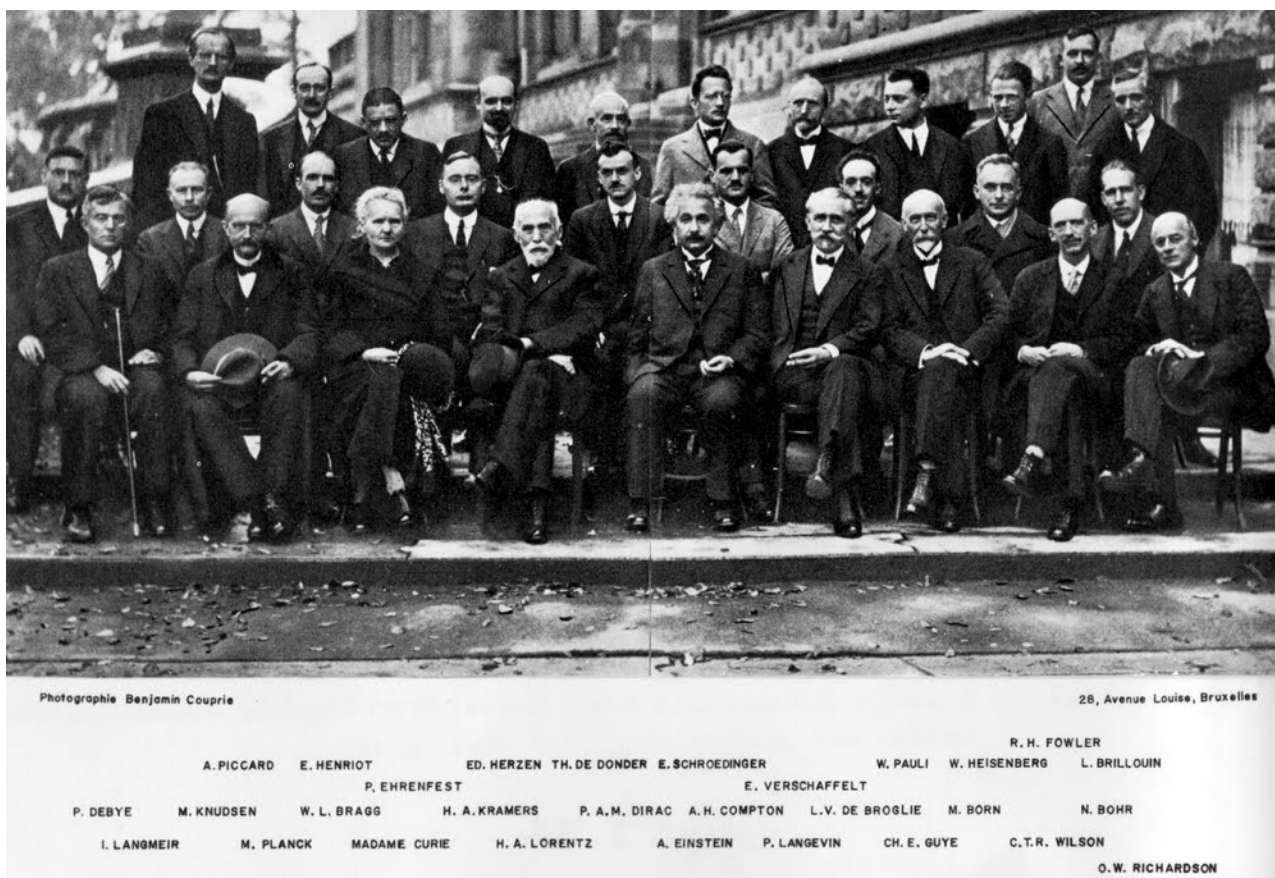
Solo che Einstein non era arrivato ad un tale risultato attraverso l'analisi di particelle infinitamente piccole, bensì studiando l'Universo, cioè l'infinitamente grande! E poi la sua formula ci dice che massa ed energia sono fra loro "equivalenti" e si possono trasformare l'una nell'altra, ma non sono 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 scoprire quale fosse la vera natura di queste due particelle e studiare i modi in cui esse interagivano fra di loro.

¹La Teoria atomistica afferma che la materia non è continua bensì è formata da piccolissime particelle chiamate Atomi.

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. Da notare la totale mancanza di donne, con l'unica eccezione di Marie Curie, a testimonianza della estrema difficoltà per il genere femminile ad intraprendere una carriera scientifica.

Seduti in prima fila si notano i personaggi più anziani e già famosi per i loro successi scientifici; su questa fila, oltre alla stessa Curie, si notano il già citato Planck oltre a Lorentz e, soprattutto ad Einstein. All'epoca questi scienziati avevano una autorevolezza maggiore rispetto agli altri, più giovani, visibili sulle file retrostanti. Mi piace pensare che, nel corso del Congresso, vi sia stata una specie di sfida tra gli scienziati più anziani, e i più giovani, soprattutto Bohr, Heisenberg, Schroedinger, Pauli ed altri. Tra questi giovani Fisici, che oggi possono essere considerati i veri padri della nascente Meccanica Quantistica, e gli scienziati più anziani le discussioni erano molto accese.

Guidati soprattutto dal danese Niels Bohr, tanti giovani Fisici stavano pervenendo ad una "interpretazione" della nuova disciplina dai risvolti alquanto sconcertanti. Venne chiamata "Interpretazione di Copenaghen", poiché proprio in quella città si organizzavano gli incontri e i dibattiti che proseguivano fino a tarda notte e che contribuirono a farla nascere.

Ma perchè, ad un certo punto questi scienziati sentirono la necessità di dover dare una "interpretazione" ai risultati della Meccanica Quantistica? Vi era in realtà molta confusione in relazione alle risultanze 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? Se i risultati degli esperimenti erano corretti, ciò significava che esistevano due realtà diverse, una associata al mondo dell'infinitamente piccolo ed una al mondo macroscopico? E se le due realtà sono diverse e descritte da due differenti Teorie, come potevano raccordarsi tra loro mediante un'unica Teoria unificante?

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" o, in altre parole, "visibile in modo continuo".

Quindi la posizione di un oggetto macroscopico è sempre ben definita proprio grazie alla sua macroscopicità. Una palla da calcio ha sempre una posizione certa 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 singolo 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"² 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

² il principio di località afferma che oggetti distanti non possono avere influenza istantanea l'uno sull'altro. Ciò è dovuto al fatto che nulla può viaggiare a velocità infinita e la massima velocità raggiungibile è quella a cui viaggia la luce.

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. Essendo nate insieme ad esse, secondo la Meccanica Quantistica, è associata "una sola" funzione d'onda di probabilità. Perciò esse rimangono "relazionate" fra loro indipendentemente dalla distanza alla quale vengono a trovarsi.

Einstein osserva che, considerando ad esempio due fotoni entangled aventi stato di polarizzazione³ 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 polarizzante⁴), 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.

³ La polarizzazione indica la "direzione" rispetto a cui oscilla l'onda elettromagnetica associata ad esempio ad un fotone in transito. Per capire questo concetto possiamo pensare alle onde circolari che si propagano in uno stagno quando vi gettiamo un sasso. Le onde si propagano in direzione parallela alla superficie del lago ma oscillano su e giù in direzione perpendicolare alla stessa superficie. Due fotoni possono essere caratterizzati dal fatto di essere associati a due onde elettromagnetiche che oscillano in direzioni fra loro perpendicolari. In questo caso si dice che i due fotoni hanno stati di polarizzazione fra di loro opposti.

⁴ Un vetro polarizzante lascia transitare la luce che lo attraversa solo se i fotoni sono polarizzati in una certa direzione. Esso impedisce il transito di tutti i fotoni aventi stato di polarizzazione opposto. Quindi può essere usato per verificare quale sia lo stato di polarizzazione della luce che lo attraversa.

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 in orbita verso due laboratori che si trovano in Cina, nelle città di Delingha e XinJiang distanti fra di loro ben 1200 Km.

Inoltre, ultimamente, attraverso le leggi della Fisica dei Quanti, si sono realizzati componenti elettronici sempre più miniaturizzati che hanno portato ad uno sviluppo dirompente 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 Gravitazionali⁵ 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.

⁵ Le Onde Gravitazionali sono delle perturbazioni del tessuto dello Spazio-Tempo previste dalle equazioni della Relatività Generale di Einstein. La difficoltà di poterle misurare deriva dalla loro estrema debolezza, in quanto solo eventi estremi (come il collasso reciproco di due Buchi Neri) possono generarne di abbastanza forti.

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