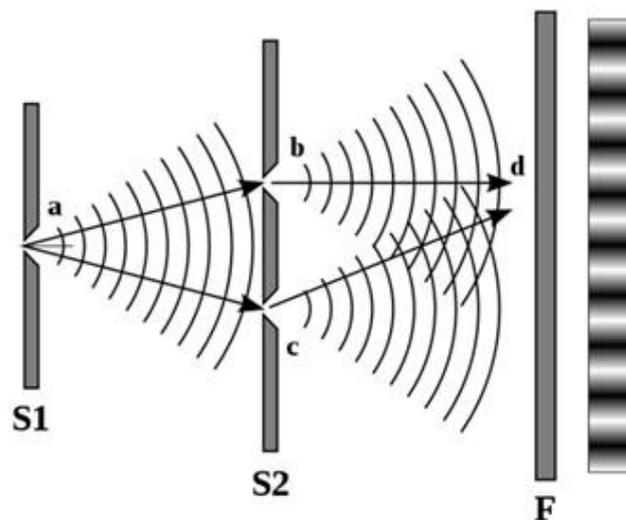


Collasso della funzione d'onda o duplice soluzione dell'energia?

Ulisse Di Corpo¹

L'esperimento della doppia fenditura fu ideato da Thomas Young, nel XVIII secolo, per mostrare che la luce si propaga come onda. Nella presentazione dei suoi risultati alla Royal Society di Londra, il 24 novembre 1803, Young disse: "L'esperimento che sto per esporre (...) può essere ripetuto con grande facilità, ogni volta che splende il sole." L'esperimento di Young era molto semplice: un raggio di luce passa attraverso una fenditura di un cartoncino (S1), poi attraversa due fenditure di un secondo cartoncino (S2), quindi termina su una superficie piatta bianca. Ciò che si osserva è un alternarsi di linee chiare e scure, che Young spiegò come conseguenza dell'interferenza tra le onde luminose. Le linee bianche si hanno quando l'interferenza è costruttiva e le onde luminose si sommano, mentre le linee scure si hanno quando l'interferenza è distruttiva e le onde non si sommano.



L'esperimento della doppia fenditura di Thomas Young

L'esperimento di Young fu generalmente accettato come dimostrazione del fatto che la luce si propaga come onde. Se la luce fosse stata fatta di particelle l'interferenza non si sarebbe manifestata, ma solo due punti di luce ben localizzati sarebbero stati osservati in associazione con le fenditure del secondo cartone. Invece, nell'esperimento la linea più luminosa si trova tra le due fenditure, in quella che ci si aspettava essere un'area scura. L'esperimento di Young dimostrava le proprietà ondulatorie della luce, finché la meccanica quantistica non mostrò la duplice natura della materia: onde e particelle allo stesso tempo.

¹ Ulisse Di Corpo: www.sintropia.it

- La dualità onda/particella

Nel 1905, Einstein risolse il paradosso dell'effetto fotoelettrico, descrivendo la luce come composta da particelle, piuttosto che da onde. Quando la luce o la radiazione elettromagnetica raggiungono un metallo, gli elettroni vengono emessi, questo è chiamato effetto fotoelettrico. Gli elettroni possono essere misurati e le misure mostrano che fino a quando non viene raggiunta una soglia specifica, il metallo non emette alcun elettrone; al di sopra della soglia vengono emessi elettroni e la loro energia rimane costante; l'energia degli elettroni aumenta solo se viene alzata la frequenza della luce. La teoria ondulatoria della luce non era in grado di spiegare:

- perché l'intensità della luce non aumenta l'energia dell'elettrone emesso dal metallo;
- perché la frequenza influisce sull'energia degli elettroni;
- perché gli elettroni non vengono emessi al di sotto di una soglia.

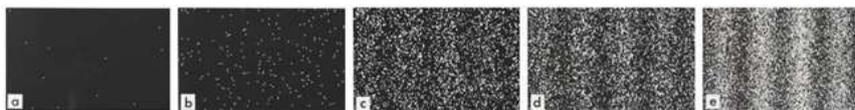
Einstein rispose a queste domande usando la costante di Planck e suggerendo che la luce, precedentemente considerata un'onda elettromagnetica, fosse composta da pacchetti di energia, particelle che ora sono chiamate fotoni. L'interpretazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico trattava la luce come particelle, anziché onde, aprendo la strada alla dualità onda/particella.

La prova sperimentale dell'interpretazione di Einstein fu data nel 1915 da Robert Millikan che, per ironia, cercò per 10 anni di dimostrare che l'interpretazione di Einstein era sbagliata. Nei suoi esperimenti Millikan scoprì che tutte le teorie alternative non superavano la prova sperimentale, mentre solo quella di Einstein risultava corretta. Diversi anni dopo Millikan commentò:

“Ho passato dieci anni della mia vita a testare l'equazione di Einstein del 1905 e contrariamente a tutte le mie aspettative sono stato costretto nel 1915 ad affermare la sua inequivocabile verifica sperimentale nonostante la sua irragionevolezza dal momento che viola tutto ciò che sapevamo sull'interferenza della luce.”

L'esperimento di Young può ora essere eseguito usando singoli elettroni. Gli elettroni utilizzati in un esperimento a doppia fenditura producono un modello di interferenza e quindi si comportano come onde, ma al loro arrivo danno luogo a un punto di luce, comportandosi come particelle.

Gli elettroni viaggiano come onde e arrivano come particelle?



*L'esperimento della doppia fenditura con gli elettroni:
a) 10 elettroni; b) 100; c) 3.000; d) 20.000; e) 70.000 elettroni.*

Se gli elettroni fossero particelle, potremmo concludere che attraverserebbero una delle due fenditure. Tuttavia, l'interferenza mostra che si comportano come onde che attraversano le due fessure contemporaneamente. Le entità quantistiche sembrano essere in grado di attraversare le due fenditure allo stesso tempo e sanno come contribuire al modello di interferenza. Se la materia fosse fatta solo di

particelle, le entità quantistiche passerebbero attraverso una fenditura alla volta e nessuna interferenza sarebbe visibile. Se la materia fosse fatta solo di onde, sullo schermo non sarebbero visibili i punti degli elettroni, ma solo le linee di interferenza.

Richard Feynman², noto per i suoi contributi allo sviluppo dell'elettrodinamica quantistica, considerava la duplice natura della materia (onda/particella) il mistero centrale della meccanica quantistica:

*“L’esperimento della doppia fenditura è un fenomeno che è impossibile, assolutamente impossibile, spiegare in modo classico e che ha in sé il cuore della meccanica quantistica.”*³

- *La visione supercausale e quella meccanicista*

Nel 1924 Wolfgang Pauli, uno dei pionieri della meccanica quantistica, scoprì che gli elettroni hanno uno spin, un momento che non può mai essere uguale a zero e che si avvicina alla velocità della luce. Pertanto, quando si combinano meccanica quantistica e relatività è necessario utilizzare l'equazione estesa energia-momento-massa.

Nel 1925 i fisici Oskar Klein e Walter Gordon formularono un'equazione probabilistica che poteva essere usata nella meccanica quantistica ed era relativistica. L'equazione di Klein-Gordon utilizza una radice quadrata e ha due soluzioni. La soluzione a tempo positivo descrive onde che si propagano dal passato al futuro (onde ritardate), mentre la soluzione a tempo negativo descrive onde che si propagano all'indietro nel tempo, dal futuro al passato (onde anticipate).

Klein e Gordon hanno spiegato la doppia natura onda/particelle della materia come manifestazione dell'interazione tra la soluzione a tempo positivo (che è determinata e si manifesta come particella) e la soluzione a tempo negativo (che è probabilistica e si manifesta come onda). Questa interpretazione era sostenuta dal lavoro che i fisici fecero fino al 1930 e apriva la strada ad una visione “supercausale” della realtà, dove il presente è il risultato di cause che agiscono dal passato e di attrattori che agiscono dal futuro.

Il passaggio alla visione supercausale era considerato inaccettabile e nel 1927 a Werner Heisenberg e Niels Bohr (entrambi ferventi nazisti) venne chiesto di formulare una interpretazione che spiegasse la duplice natura onda/particella in modo meccanicista. Heisenberg e Bohr si riunirono a Copenaghen e la loro interpretazione è nota come Interpretazione di Copenaghen della Meccanica Quantistica.

L'interpretazione di Copenaghen spiega la duplice natura onda/particella nel modo seguente: gli elettroni lasciano il cannone elettronico come particelle che si dissolvono in onde di probabilità in una sovrapposizione di stati attraversando entrambe le fessure e interferendo creano un nuovo stato di sovrapposizione. Lo schermo, eseguendo una misurazione, costringe le onde a collassare in particelle, in un punto ben definito dello schermo.

² www.feynman.com

³ Feynman R. (1949) *The Theory of Positrons*, Physical Review 76: 749.

Elementi essenziali dell'interpretazione di Copenaghen sono:

- Il *principio di indeterminazione* formulato da Heisenberg, secondo cui per un'entità quantistica non si possono conoscere allo stesso tempo posizione e velocità.
- Il *principio di complementarità* che afferma che una singola entità quantistica può comportarsi come una particella o come un'onda, ma mai simultaneamente come entrambe; che una manifestazione maggiore della natura come particella porta ad una manifestazione minore della natura come onda e viceversa.
- L'*equazione d'onda di Schrödinger*, reinterpretata come probabilità che l'elettrone (o qualsiasi altra entità quantistica) venga trovato in un posto specifico.
- La *sovrapposizione di stati*, in base alla quale tutte le onde sono sovrapposte finché non viene eseguita una misurazione.
- Il *collasso della funzione d'onda* che è causato dall'osservazione e dall'atto di misurare.

Secondo questa interpretazione, la coscienza, attraverso l'esercizio dell'osservazione, costringe l'onda a collassare in una particella, creando la realtà. In questo modo, Heisenberg e Bohr introdussero la nozione che la coscienza è un prerequisito della realtà. In altre parole, l'esistenza dell'elettrone in una delle due fenditure, indipendentemente dall'osservazione, non ha alcun significato. Gli elettroni sembrano esistere solo quando vengono osservati. La realtà è quindi creata dalla coscienza, dall'atto di osservare.

- *La duplice soluzione delle equazioni fondamentali*

Nel 1927 Klein e Gordon formularono nuovamente la loro equazione come combinazione di Ψ , l'equazione delle onde di Schrödinger (meccanica quantistica), e l'equazione energia-momento-massa della relatività:

$$\Psi E = \Psi \sqrt{p^2 + m^2}$$

Questa equazione utilizza una radice quadrata che porta sempre a due soluzioni: onde ritardate e onde anticipate.

Nel 1928 Paul Dirac, fisico teorico inglese che apportò contributi fondamentali allo sviluppo iniziale della meccanica quantistica, cercò di eliminare la soluzione anticipata delle onde applicando l'equazione energia-momento-massa allo studio degli elettroni relativistici. Si trovò di nuovo con una duplice soluzione: elettroni (e^-) e neg-elettroni (e^+ , l'antiparticella dell'elettrone). L'equazione di Dirac predice un universo fatto di materia che si propaga avanti nel tempo e di antimateria che si propaga all'indietro nel tempo.

Dirac notò che: *“questa difficoltà era stata superata escludendo arbitrariamente quelle soluzioni che hanno un'energia negativa. Non si può fare questo nel mondo dei quanti.”*⁴

⁴ Dirac P.A.M. (1928) *The Quantum Theory of the Electron*, Proc. Royal Society, London 117:610-624; 118:351-361.

Dirac chiamò l'antiparticella dell'elettrone neg-elettrone, e nel 1932 fu osservato sperimentalmente da Carl Anderson, che lo ribattezzò *positrone*.⁵ I positroni sono prodotti naturalmente in certi tipi di decadimento radioattivo e nel 1934 il matematico svizzero Ernst Stueckelberg e in seguito Richard Feynman, fornirono un formalismo in cui ogni linea di un diagramma rappresenta una particella che si propaga sia all'indietro che in avanti nel tempo. Questo formalismo è ora il metodo più diffuso per il calcolo dei campi quantistici e, poiché fu sviluppato per la prima volta da Ernst Stueckelberg, e acquisì la sua forma moderna nel lavoro di Feynman, è chiamata interpretazione Feynman-Stueckelberg delle antiparticelle.

- *Etere?*

L'equazione di Dirac del 1928 è coerente con la relatività speciale, è matematicamente ineccepibile e può spiegare praticamente tutto, poiché è la generalizzazione relativistica dell'equazione d'onda di Schrödinger, che era già ampiamente applicata. Ma, oltre all'energia negativa e alla retrocausalità, richiede che ogni carica si presenti in coppie elettrone-positrone (chiamate "epos"). Gli esperimenti hanno sempre verificato la presenza degli epos e il fatto che il vuoto tra le particelle interagenti non è vuoto.

Sfortunatamente, nel 1928, questo mare di epos ricordava l'etere. Per decenni la guerra dell'etere aveva imperversato in ogni facoltà di fisica. E solo nel 1905 Einstein riuscì a porvi fine, provando che "*l'etere luminifero*", il supposto vettore della luce, non si osservava negli esperimenti ed era quindi inesistente. Per Heisenberg, ogni riferimento a una sostanza universale che riempie lo spazio assomigliava troppo all'etere. Era quindi turbato dall'equazione di Dirac e dagli stati di energia negativa illimitata.⁶ Dirac cercò di risolvere il conflitto con Heisenberg suggerendo che, se tutti gli stati negativi e nessuno degli stati positivi fossero stati riempiti, le due energie non avrebbero potuto avere alcun effetto l'una sull'altra. Questa ipotesi fu chiamata "sottrazione d'ordine zero", e fu poi usata da Heisenberg per rimuovere dall'equazione di Dirac quelle parti che si riferiscono all'energia negativa.

Heisenberg poté così aggirare il "mare" di stati di energia negativa, sostituendo l'operatore che richiede un numero illimitato di epos con un operatore che crea magicamente gli epos dal nulla. Poiché gli epos devono essere presenti, l'operatore di Heisenberg li crea sul momento e quando scompaiono, vengono annientati. Usando la sottrazione di ordine zero, che forza tutti i risultati ad essere positivi, un oceano di energia negativa non esiste più e non ci sono più soluzioni a tempo negativo. In questo modo Heisenberg rese l'equazione di Dirac cieca alla soluzione ad energia negativa.

L'energia del punto zero del vuoto quantistico è l'energia più bassa possibile che un sistema quantistico possa avere; è l'energia del suo stato fondamentale. Ma gli esperimenti mostrano fluttuazioni attorno a questa linea di base, che ora vengono chiamate fluttuazioni del punto zero. L'equazione di Dirac spiega queste fluttuazioni come particelle che emergono dal mare di energia negativa.

⁵ Anderson C.D. (1932), *The apparent existence of easily deflectable positives*, Science, 76:238 (1932).

⁶ Heisenberg W. (1934), *Zeitschr. f. Phys.*, 90, 209.

Secondo Heisenberg, ogni sistema fisico ha un'energia del punto zero superiore al minimo del suo potenziale e questo si traduce nella creazione di particelle anche allo zero assoluto.

L'operatore di Heisenberg richiede la creazione di un numero illimitato di epos senza il contributo di energia. Inoltre, quando le particelle vengono annientate, l'epon svanisce senza lasciare traccia. Questa massiccia violazione del principio di conservazione dell'energia (prima legge della termodinamica) non infastidiva Heisenberg che usava il principio di indeterminazione per affermare che gli epos sono virtuali piuttosto che reali. Quando vengono create gli epos prendono in prestito una energia virtuale e quando si annientano, restituiscono questa energia virtuale al principio di indeterminazione. Per Heisenberg virtuale significava avere qualsiasi proprietà di cui abbiamo bisogno. In questo modo il numero illimitato di epos virtuali poteva violare la legge di conservazione dell'energia e la relatività e offrire una via di fuga dalla soluzione a tempo negativo e salvare così il paradigma meccanicista.

Nel 1934 la scienza prese questa via di fuga:

“La scienza opera di continuo scelte. Una volta fatta una scelta gli scienziati tendono a unificarsi dietro questa scelta fino al punto da negare e infine dimenticare che c'è stata una scelta. I libri di testo descrivono la scienza come una marcia verso l'unico percorso della verità. Dal momento che viene dimenticato e negato che tali scelte sono state fatte, queste scelte vengono raramente riviste. Non solo non vi è alcuna disposizione, né incentivo, per una tale revisione, vi è anzi una pressione perché questa revisione non abbia luogo.”⁷

Oggi i fisici ignorano le soluzioni a tempo negativo delle due equazioni più usate e rispettate nella fisica moderna: l'equazione energia-momento-massa e l'equazione di Dirac. Gli esperimenti confermano la validità di queste due equazioni, ma l'obiezione di Heisenberg era sempre la stessa: *“L'energia negativa è impossibile, senza alcun significato fisico immaginabile.”* Dopo quasi un secolo, questa affermazione è generalmente accettata dai fisici, anche se l'elettrone creato ha sedici volte più energia del fotone che lo crea. Le teorie attuali affermano che questo eccesso di energia (sottoforma di momento angolare) è un attributo intrinseco delle particelle. Chiamarlo attributo intrinseco chiude la discussione e fornisce una giustificazione per una violazione del 1600% del principio di conservazione.

Per Heisenberg mettere la fisica nel business della creazione, violando la legge di conservazione dell'energia, era più accettabile della soluzione a tempo negativo. Sembra che nella fisica delle particelle la conservazione dell'energia sia qualcosa da rispettare quando è in accordo con il modello, ma da buttare via quando si rivela non conveniente.

Ignorando queste massicce violazioni della conservazione dell'energia, l'idea che entità complesse, come elettroni e positroni, possano essere create dal nulla è oggi generalmente accettata. Ma l'energia non fornisce le informazioni necessarie per rendere queste piccole entità che chiamiamo elettrone e positrone altamente complesse.

Dal 1934 i fisici rifiutano la soluzione a tempo negativo delle equazioni fondamentali, anche se ciò mette la scienza nel campo della creazione, su un piano che rivaleggia con Dio e le religioni, e ha dato vita ad

⁷ Hotson D. (2002), *Dirac's Equation and the Sea of Negative Energy – part 1*, Infinite Energy, 2002, 43: 1-20.

interpretazioni come la New Age che violano le leggi base della causalità e della conservazione dell'energia. Rifiutare le soluzioni a tempo negato è una negazione della scienza stessa. Ci si chiede adesso fino a che punto gli scienziati si spingeranno per rifiutare le soluzioni a tempo negativo.

Di fronte a una scelta che implica un cambiamento di paradigma, sin dai tempi di Galileo gli scienziati scelgono ciò che salva il vecchio paradigma, anche andando contro le prove e le evidenze sperimentali. L'equazione energia-momento-massa di Einstein, l'equazione di Dirac e le equazioni di Klein-Gordon richiedono la simmetria tra energia a tempo positivo e negativo: forze che divergono e forze che convergono.

L'equazione di Dirac descrive quantità illimitate e simmetriche di energia negativa e positiva. Quando ci si avvicina al punto zero l'energia negativa diventa predominante. A temperature molto basse si forma un condensato di Bose-Einstein (BEC). I BEC agiscono come singole unità piuttosto che come un insieme di molecole, permettendo stati in cui l'energia negativa (convergente e coerente) supera l'energia positiva (dissipativa e disordinata). I BEC nascono dalla supremazia dell'energia a tempo negativo su quella a tempo positivo. Sono sistemi energetici ordinati, governati da una singola funzione d'onda che viene distrutta dall'energia a tempo positivo.

L'energia del punto zero viene raggiunta non a 0 gradi Kelvin, ma leggermente al di sopra. Questo valore differisce a seconda delle diverse sostanze e alcune sostanze manifestano proprietà BEC a temperature molto più elevate. Al punto zero, invece di nessuna energia, c'è improvvisamente un diluvio di energia. Si tratta di vera energia, con effetti misurabili. Ciò che le applicazioni BEC mostrano è che il mare di energia negativa richiesto dall'equazione di Dirac deve esistere e diventa disponibile al punto zero. L'equazione di Dirac suggerisce che siamo circondati da un immenso condensato di Bose-Einstein, che consente effetti non locali, effetti che si propagano istantaneamente, indipendentemente dalla loro separazione spaziale. Se un elettrone viene inserito in un BEC emerge dall'altra parte istantaneamente, percorrendo la distanza ad una velocità superiore a quella della luce, questo è il fenomeno della superconduttività.

La teoria dell'etere elettromagnetico fu sviluppata da Hendrik Lorentz (1853-1928) tra il 1892 e il 1906, con la collaborazione di Poincaré, e si basava sulla teoria di Augustin-Jean Fresnel, sulle equazioni di Maxwell e sulla teoria elettronica di Rudolf Clausius. Lorentz introdusse una stretta separazione tra materia (elettroni) ed etere, dove l'etere è completamente immobile. Lorentz morì nel 1928, quando Dirac formulò la sua equazione. Se fosse vissuto più a lungo, avrebbe sicuramente riconosciuto la teoria dell'etere elettromagnetico nel mare di energia negativa. Con la sua influenza, avrebbe probabilmente limitato gli effetti devastanti delle posizioni di Heisenberg.

- *Non-località*

Nel suo secondo articolo su *“L'equazione di Dirac e il mare di energia negativa”*, Don Hotson afferma:

“L'equazione di Dirac spiega semplicemente, intuitivamente e chiaramente la dimensione del nucleo, la massa del nucleo, la forma molto particolare della forza nucleare forte, la forza nucleare forte e lo strano fatto che il protone e l'elettrone

*hanno cariche opposte esattamente della stessa forza. Nessun altro modello spiega queste particolarità.*⁸

Tuttavia, il rifiuto dell'energia a tempo negativo ha reso le due teorie su cui poggia tutta la fisica moderna (la relatività e la meccanica quantistica) incompatibili, dal momento che, quando sono unite emerge un universo di energia che fluisce a ritroso nel tempo.

L'interpretazione di Copenaghen presuppone che il collasso della funzione d'onda (il collasso dell'onda in una particella) avvenga nello stesso momento in tutti i punti dell'onda. Ciò richiede una propagazione istantanea di informazione che viola il limite della velocità della luce considerato da Einstein il limite massimo nella propagazione delle informazioni e della causalità. Einstein considerava la causalità locale e l'informazione poteva propagarsi solo a velocità inferiori o uguali alla velocità della luce, mai più veloce.

Partendo da questi presupposti, Einstein rifiutò l'idea che l'informazione relativa al collasso dell'onda potesse viaggiare più velocemente della luce e, nel 1934, formulò queste considerazioni nel paradosso EPR. Il paradosso EPR (dal nome delle iniziali di Einstein-Podolsky-Rosen) rimase senza risposta per più di 50 anni.

L'EPR è stato presentato come un esperimento concettuale, al fine di dimostrare l'assurdità dell'interpretazione di Copenaghen, sollevando una contraddizione logica. Secondo la scoperta di Pauli che gli elettroni hanno uno spin, e che in un'orbita solo due elettroni con spin opposti possono trovare posto (principio di esclusione di Pauli), l'interpretazione di Copenaghen conclude che coppie di elettroni che condividevano la stessa orbita, restano correlati (entangled). Se in una coppia di particelle correlate una, indipendentemente dalla distanza, inizia a ruotare in senso opposto l'altra cambia istantaneamente il suo verso di rotazione. Ciò viola il limite della velocità della luce nella propagazione delle informazioni.

Nessuno si aspettava che l'esperimento EPR potesse essere realmente eseguito. Ma, nel 1952 David Bohm suggerì di sostituire gli elettroni con i fotoni e nel 1964 John Bell dimostrò che il cambiamento introdotto da Bohm apriva la strada alla possibilità di un vero esperimento.

A quel tempo perfino Bell non credeva che l'esperimento potesse essere eseguito, ma 20 anni dopo diversi gruppi avevano sviluppato la precisione delle misurazioni richieste e nel 1982 Alain Aspect pubblicò i risultati di un esperimento che dimostrava che Einstein aveva torto e che la non località era reale.⁹

L'esperimento di Aspect misurava la polarizzazione dei fotoni. Gli atomi venivano forzati a produrre fotoni correlati, che andavano in direzioni opposte. Ogni fotone, di una coppia correlata, ha polarizzazione opposta.

L'interpretazione di Copenaghen prevede che, quando la misurazione viene eseguita su un fotone determina istantaneamente lo stato del secondo fotone. Questo è ciò che Einstein chiamava "*un'azione fantasma a distanza*".

⁸ Hotson D. (2002), *Dirac's Equation and the Sea of Negative Energy – part 2*, Infinite Energy, 2002, 44: 1-24.

⁹ Aspect A. (1982) *Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedanken experiment*, Physical Review Letters, vol. 49, 91, 1982.

Aspect misurava la polarizzazione dei fotoni secondo un angolo che poteva regolare. Secondo la non-località, cambiare l'angolo con cui viene misurata la polarizzazione di un fotone cambia istantaneamente la misura effettuata sul secondo fotone correlato.

L'esperimento è stato condotto su serie di coppie di fotoni correlati. Il teorema di Bell affermava che, se la località è vera, le misure di polarizzazione eseguite sui fotoni che si muovono attraverso il primo apparato, che poteva essere regolato cambiando l'angolo, dovrebbero sempre essere più alte delle misurazioni eseguite sulla seconda serie di fotoni correlati (teorema di disuguaglianza di Bell). Aspect ha ottenuto risultati opposti violando il teorema di Bell e mostrando così che la non-località è reale. Einstein perse così la competizione con la meccanica quantistica. L'esperimento di Aspect ha dimostrato che in natura le correlazioni istantanee sono reali e possibili.

Nel 1947 Oliver Costa de Beauregard, un fisico relativista e quantistico francese e filosofo della scienza, propose a Louis de Broglie la sua interpretazione del paradosso EPR che mette in discussione la nozione di tempo. Sugerì che l'esperimento di Aspect può essere spiegato dalla teoria della retrocausalità.¹⁰ Secondo de Beauregard, quando la soluzione a tempo negativo viene presa in considerazione, meccanica quantistica e relatività diventano compatibili.

- *Retrocausalità*

Nel 1978 John Archibald Wheeler propose una variante dell'esperimento a doppia fenditura in cui i rivelatori potevano essere attivati dopo il passaggio del fotone attraverso le fenditure. Quando, in un esperimento a doppia fenditura, viene utilizzato un rivelatore per misurare quale fenditura viene attraversata dal fotone, il disegno di interferenza scompare. Nell'esperimento a scelta ritardata, il rivelatore si trova tra le fenditure e lo schermo rivelatore.

L'interpretazione di Copenaghen dice che, quando i rivelatori sono attivati, il modello di interferenza scompare, costringendo le onde a collassare e i fotoni a passare attraverso le fessure come particelle. Ciò dovrebbe accadere anche se il rilevamento viene attivato dopo la transizione dei fotoni attraverso le fenditure. L'esperimento è diventato possibile grazie alla velocità dei computer, che possono scegliere casualmente quando attivare i rivelatori tra la doppia fenditura e lo schermo. I risultati mostrano che la scelta influisce sul modo in cui il fotone attraversa la fenditura (onda/particella) e che ciò opera a ritroso nel tempo.

I primi due esperimenti che hanno verificato questa ipotesi sono stati eseguiti in maniera indipendente negli anni '80 presso l'Università del Maryland e a Monaco di Baviera, in Germania e hanno dimostrato che la decisione di attivare i rivelatori influenza la natura dei fotoni.

Wheeler ha osservato che è possibile realizzare un esperimento a doppia fenditura usando la luce proveniente dai quasar e una galassia come lente gravitazionale. Questa luce genera un disegno di interferenza che mostra che la luce viaggia come onde. Ma se una misura venisse eseguita prima dello

¹⁰ De Beauregard O. (1953) Comptes Rendus 236, 1632-1634;

schermo rivelatore, il modello di interferenza si dissolverebbe e i fotoni passerebbero da onde a particelle. In altre parole, la nostra scelta su come misurare la luce proveniente da un quasar influenzerebbe la natura della luce (particella/onda) emessa dieci miliardi di anni fa. Secondo Wheeler questo esperimento mostra che gli effetti retrocausali operano a livello quantistico.

Nel 1986 John Cramer¹¹, fisico della Washington State University, ha pubblicato l'interpretazione transazionale della meccanica quantistica. In questa interpretazione il formalismo della meccanica quantistica rimane lo stesso, ma cambia l'interpretazione. Cramer fu ispirato dal modello assorbitore-emettitore sviluppato da Wheeler e Feynman¹² che utilizzava la duplice soluzione dell'equazione di Maxwell. Come è noto, anche la generalizzazione dell'equazione d'onda di Schrödinger in un'equazione relativistica (equazione di Klein-Gordon) ha due soluzioni, una positiva che descrive le onde ritardate che si propagano in avanti nel tempo e una negativa che descrive le onde anticipate che si propagano indietro nel tempo. Questa duplice soluzione consente di spiegare in modo semplice la duplice natura della materia (onda/particella), la non-località e tutti gli altri misteri della meccanica quantistica e consente di unire la meccanica quantistica con la relatività. L'interpretazione transazionale richiede che le onde possano davvero viaggiare all'indietro nel tempo. Questa affermazione è controintuitiva, poiché siamo abituati al fatto che le cause precedono sempre gli effetti.

È importante sottolineare che l'interpretazione transazionale tiene conto della relatività speciale, che descrive il tempo come una dimensione dello spazio, in modo totalmente diverso dalla nostra logica intuitiva. L'interpretazione di Copenaghen, invece, tratta il tempo in modo classico ed è per questo che ha bisogno di introdurre la coscienza, in modo mistico e con poteri di creazione, come mezzo per risolvere la duplice natura (onda/particella).

Cramer afferma che l'equazione probabilistica sviluppata da Max Born nel 1926 contiene un riferimento esplicito alla natura del tempo e alle due possibili soluzioni che descrivono le onde anticipate e ritardate. Dal 1926, ogni volta che i fisici hanno usato l'equazione di Schrödinger per calcolare le probabilità quantistiche, hanno considerato la soluzione delle onde anticipate senza nemmeno rendersene conto.

La matematica di Cramer è esattamente la stessa dell'interpretazione di Copenaghen. La differenza sta unicamente nell'interpretazione che risolve tutti i misteri e gli enigmi della fisica quantistica, rendendola anche compatibile con i requisiti della relatività speciale. Questo miracolo si ottiene, tuttavia, al prezzo che l'onda quantistica possa effettivamente viaggiare all'indietro nel tempo. Questo è in netto contrasto con la logica meccanicista che dice che le cause devono sempre precedere i loro effetti.

Nel libro "*La Strada verso la Realtà*" Roger Penrose sottolinea che di solito i fisici tendono a rifiutare come "non fisica" qualsiasi soluzione che contraddice la causalità classica, secondo la quale le cause precedono sempre gli effetti.¹³ Di solito, qualsiasi soluzione che renda possibile inviare un segnale a ritroso nel tempo viene respinta. Penrose ha scelto di rifiutare la soluzione a tempo negativo e afferma che questo rifiuto è

¹¹ Cramer J.G. (1986) *The Transactional Interpretation of Quantum Mechanics*, Reviews of Modern Physics, Vol. 58: 647-688.

¹² Wheeler J. e Feynman R. (1945) *Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation*, Review of Modern Physics (17).

¹³ Penrose R, *La strada che porta alla realtà*, www.amazon.it/dp/8817103004

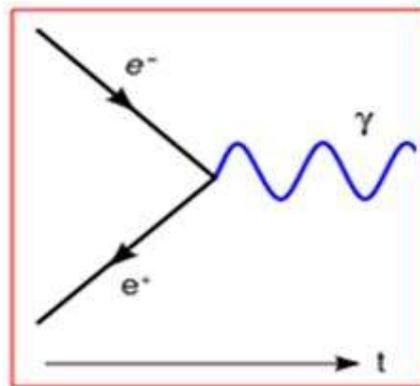
conseguenza di una scelta soggettiva, verso la quale altri fisici hanno opinioni diverse. Penrose dedica quasi 200 pagine del suo libro al paradosso della soluzione a tempo negativo dell'energia (E). Secondo Penrose è importante che il valore di E sia sempre positivo perché i valori negativi di E portano a instabilità catastrofiche nel modello standard della fisica subatomica.

“Sfortunatamente nelle particelle relativistiche entrambe le soluzioni dell'equazione devono essere considerate come una possibilità, anche una non fisica energia negativa deve essere considerata come una possibilità. Questo non succede nelle particelle non relativistiche. In quest'ultimo caso, la quantità viene sempre definita come positiva e l'imbarazzante soluzione negativa non viene visualizzata.”

Penrose aggiunge che la versione relativistica dell'equazione di Schrödinger non offre una procedura per escludere la soluzione negativa. Nel caso di una singola particella ciò non porta a nessun problema reale, tuttavia quando le particelle interagiscono, la funzione d'onda non può produrre solo la soluzione positiva. Ciò entra in conflitto con la causalità classica.

Per rimuovere l'imbarazzante soluzione negativa, Dirac ha suggerito di usare il principio di Pauli, secondo il quale due elettroni non possono condividere lo stesso stato, per suggerire che tutti gli stati di energia negativa sono occupati, impedendo così qualsiasi interazione tra stati positivi e negativi della materia. Questo oceano di energia negativa che occupa tutti gli stati positivi è chiamato mare di Dirac. Il modello standard si basa su questa ipotesi che Penrose descrive come semplicemente folle.

Anche se la fisica classica rifiuta la soluzione a tempo negativo e la possibilità della retrocausalità, molti scienziati hanno e stanno lavorando su questa ipotesi. Un esempio è offerto dai diagrammi di Feynman di annichilimento degli elettroni-positroni, secondo i quali gli elettroni non vengono distrutti dal contatto con i positroni, ma rilasciano energia invertendo la direzione nel tempo e diventando positroni.



Nel diagramma le frecce a destra rappresentano gli elettroni, le frecce a sinistra rappresentano i positroni, le linee ondulate i fotoni.

Quando i diagrammi di Feynman vengono interpretati implicano necessariamente l'esistenza della retrocausalità.¹⁴ Feynman ha usato il concetto di retrocausalità per produrre un modello dei positroni che reinterpreta l'ipotesi di Dirac del mare di energia negativa che occupa tutti gli stati possibili. In questo

¹⁴Feynman R. (1949) *The Theory of Positrons*, Physical Review 76: 749.

modello, gli elettroni che si muovono a ritroso nel tempo prendono cariche positive.¹⁵

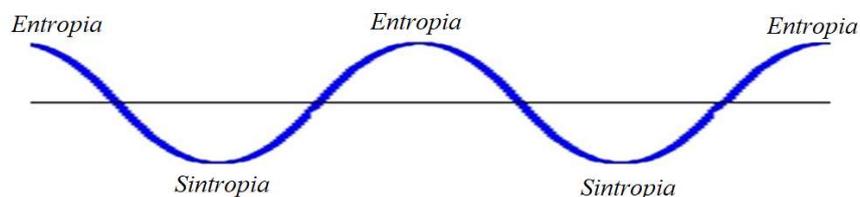
Yoichiro Nambu¹⁶ ha applicato il modello di Feynman ai processi di annichilimento delle coppie particella-antiparticella, giungendo alla conclusione che non è un processo di annichilimento o creazione di coppie di particelle e di antiparticelle, ma semplicemente un cambiamento della direzione temporale delle particelle, dal passato al futuro o dal futuro al passato.

Fino al XIX secolo, il tempo era considerato irreversibile, una sequenza di momenti assoluti. Nel 1954 il filosofo Michael Dummett mostrò che non vi è alcuna contraddizione filosofica nell'idea che gli effetti possano precedere le cause.¹⁷

Nel 2006 l'AIP (l'American Institute of Physics) ha organizzato una conferenza a San Diego in California dal titolo "*Frontiers of Time: Retrocausation - Experiment and Theory.*" Gli atti contengono oltre 20 contributi sulla retrocausalità.¹⁸

- *Cicli divergenti e convergenti*

L'ipotesi entropia/sintropia implica che qualsiasi sistema, organico o inorganico, vibri tra picchi di entropia e di sintropia acquisendo nel tempo risonanze specifiche.



Queste vibrazioni possono essere osservate in qualsiasi sistema e a qualsiasi livello, dal livello quantistico, a quella macro e al livello cosmologico.

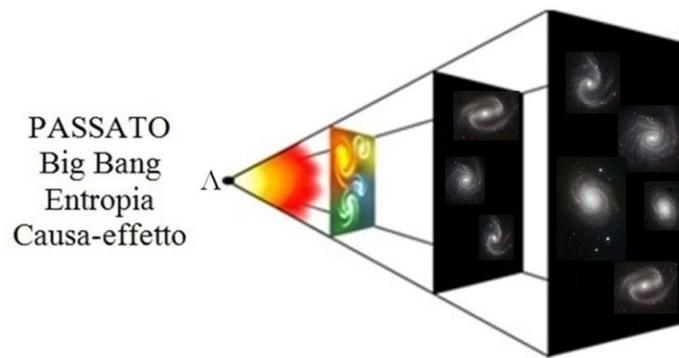
L'ipotesi entropia/sintropia sostiene il modello cosmologico di Einstein di infiniti cicli di Big Bang e di Big Crunch. La prima formulazione della teoria del Big Bang, di Lemaître, risale al 1927, ma fu generalmente accettata solo nel 1964, quando molti scienziati si convinsero che i dati sperimentali confermano che un evento come il Big Bang avesse avuto luogo.

¹⁵ Wheeler J. e Feynman R. (1945) *Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation*, Review of Modern Physics (17).

¹⁶ Nambu Y. (1950) *The Use of the Proper Time in Quantum Electrodynamics*, Progress in Theoretical Physics (5).

¹⁷ Dummett M. (1954) *Can an Effect Precede its Cause*, Proceedings of the Aristotelian Society (Supp. 28);

¹⁸ AIP, American Institute of Physics, FRONTIERS OF TIME: Retrocausation - Experiment and Theory, Proceedings: <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/863/>



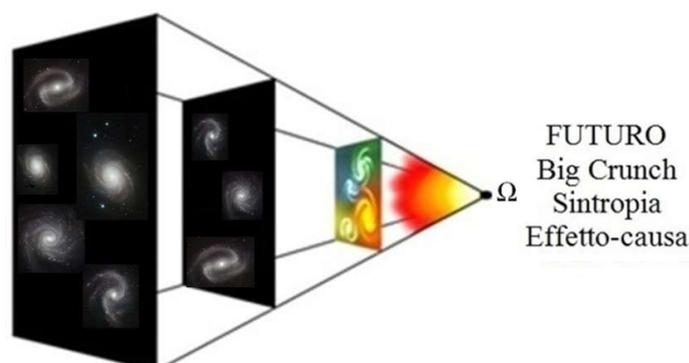
Georges Lemaître, sacerdote cattolico e fisico belga, sviluppò le equazioni del Big Bang e suggerì che l'allontanamento delle nebulose è dovuto all'espansione del cosmo.

Nel 1929 Edwin Hubble e Milton Humason notarono che la distanza delle galassie è proporzionale allo spostamento dello spettro della luce verso il rosso, verso le frequenze più basse della luce. Ciò accade solitamente quando la sorgente luminosa si allontana dall'osservatore o quando l'osservatore si allontana dalla sorgente. Poiché il colore rosso è la frequenza più bassa della luce visibile, il fenomeno ha ricevuto il nome di red-shift, anche se è usato in connessione con qualsiasi frequenza, incluse le frequenze radio.

Il fenomeno dello spostamento verso il rosso indica che le galassie si stanno allontanando l'una dall'altra e, più in generale, che l'universo si trova in una fase di espansione. Inoltre, il red-shift mostra che le galassie e gli ammassi stellari si allontanano da un punto comune nello spazio: più sono distanti da questo punto, maggiore è la loro velocità.

Poiché la distanza tra gli ammassi di galassie è in aumento, è possibile dedurre, tornando indietro nel tempo, densità e temperatura sempre più elevate fino a raggiungere un punto in cui i valori massimi di densità e temperatura tendono verso valori infiniti e le leggi fisiche a tempo positivo delle equazioni non sono più valide.

In cosmologia, il Big Crunch è un'ipotesi sul destino dell'universo. Questa ipotesi è esattamente simmetrica al Big Bang e sostiene che l'universo smetterà di espandersi e inizierà a collassare su sé stesso.



Le forze gravitazionali impediranno all'universo di continuare ad espandersi e l'universo collasserà su sé stesso. La contrazione apparirà molto diversa dall'espansione. Mentre l'universo primordiale era

altamente uniforme, un universo in contrazione sarà sempre più diversificato e complesso. Alla fine, tutta la materia collaserà in buchi neri, che poi si uniranno creando un buco nero unificato o singolarità del Big Crunch.

La teoria del Big Crunch suggerisce che l'universo possa collassare nello stato in cui è iniziato e quindi avviare un altro Big Bang. In questo modo l'universo durerebbe per sempre attraversando cicli di espansione (Big Bang) e di contrazione (Big Crunch).

L'osservazione di supernove lontane ha portato all'idea che l'espansione dell'universo non viene rallentata dalla gravità, ma piuttosto la sua espansione sta accelerando. Nel 1998 la misurazione della luce proveniente da supernove lontane (red-shift) ha portato alla conclusione che l'universo si sta espandendo ad un ritmo crescente. L'osservazione del red-shift delle supernove suggerisce che queste si allontanano più velocemente man mano che l'universo invecchia. Secondo queste osservazioni l'universo sembra espandersi ad un ritmo crescente, contraddicendo così l'ipotesi del Big Crunch.

Nel tentativo di spiegare queste osservazioni i fisici hanno introdotto l'idea di un'energia oscura, un fluido oscuro o energia fantasma. La proprietà più importante dell'energia oscura sarebbe quella di esercitare una pressione negativa distribuita in modo relativamente omogeneo nello spazio, una specie di forza antigravitazionale che sta allontanando le galassie. Questa misteriosa forza antigravitazionale è considerata una costante cosmologica, che porterà l'universo ad espandersi esponenzialmente. Tuttavia, fino ad oggi nessuno sa veramente cosa sia l'energia oscura o da dove provenga.

Al contrario, l'interpretazione della duplice soluzione delle equazioni fondamentali suggerisce che l'aumento osservato nel tasso di espansione dell'universo non è dovuto all'effetto dell'energia oscura o ad altre misteriose forze antigravitazionali, ma al fatto che il tempo sta rallentando. Nel giugno 2012 i professori José Senovilla, Marc Mars e Raúl Vera dell'Università di Bilbao e dell'Università di Salamanca hanno pubblicato un articolo sulla rivista Physical Review D in cui hanno liquidato l'energia oscura come inesistente, mostrando che l'accelerazione è un'illusione che è causata dal tempo che sta rallentando.

“Non diciamo che l'espansione dell'universo sia un'illusione, quello che diciamo è che l'accelerazione di questa espansione è un'illusione. [...] abbiamo ingenuamente mantenuto costante il tempo nelle nostre equazioni per ricavare i cambiamenti dell'espansione dell'universo, mostrando così un'accelerazione dell'espansione.”

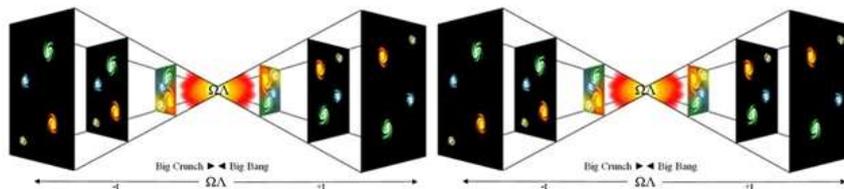
Il corollario dell'equipe di Senovilla è che l'energia oscura non esiste e che siamo stati portati a pensare che l'espansione dell'universo stia accelerando, quando invece è il tempo che sta rallentando. A livello quotidiano, il cambiamento non è percepibile, ma è visibile nelle misurazioni su scala cosmica che seguono il corso dell'universo per miliardi di anni. Il cambiamento è infinitamente lento da una prospettiva umana, ma in termini cosmologici può essere facilmente misurato e influisce sulla luce proveniente da stelle esplose miliardi di anni fa. Attualmente, gli astronomi misurano la velocità di espansione dell'universo usando la cosiddetta tecnica del red-shift. Questa tecnica si basa però sull'assunto che il fluire del tempo nell'universo è costante.

Se il tempo rallenta si trasforma in una dimensione spaziale. Quindi le stelle più lontane e antiche sembrerebbero accelerare. *“I nostri calcoli mostrano che saremmo portati a pensare che l'espansione dell'universo sta*

accelerando”, afferma il professor Senovilla. Sebbene radicale e senza precedenti, queste idee non sono prive di supporto. Gary Gibbons, un cosmologo dell’Università di Cambridge, afferma che: *“Crediamo che il tempo sia emerso con il Big Bang, e se il tempo può emergere, può anche sparire - questo è solo l’effetto opposto.”*

Quando la doppia soluzione dell’equazione energia-momento-massa viene interpretata, si ottiene una rappresentazione cosmologica dell’universo che vibra tra picchi di espansione e di contrazione. Durante la fase di espansione il tempo scorre in avanti, mentre durante la fase contrazione il tempo scorre all’indietro. La causalità e la retrocausalità interagiscono costantemente e l’universo è caratterizzato da infiniti cicli di espansione (Big Bang) e contrazione (Big Crunch).

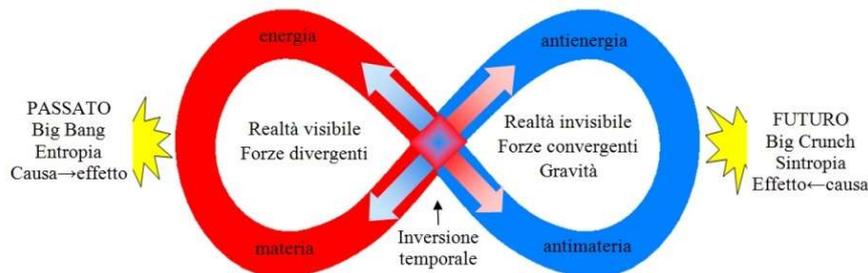
Il Big Bang è governato dalla soluzione positiva e divergente dell’entropia, vale a dire energia e materia che divergono da un punto iniziale, mentre il Big Crunch è governato dalla soluzione convergente e negativa della sintropia, vale a dire energia e materia che convergono verso un punto finale di densità e temperature infinite.



Cicli di Big Bang e Big Crunch

Il Big Bang è indicato con la prima lettera dell’alfabeto greco, Λ =Alpha (l’inizio), mentre con la lettera Ω =Omega (la fine) viene indicato il Big Crunch.

La domanda che si sente spesso tra i cosmologi è *“perché viviamo in un mondo prevalentemente fatto di materia. Cosa è successo all’antimateria?”* Questa domanda trova una facile risposta se prendiamo in considerazione la soluzione a tempo negativo. Al momento del Big Bang la quantità di materia e antimateria era la stessa, ma la materia diverge in avanti nel tempo, mentre l’antimateria diverge indietro nel tempo, allontanandosi istantaneamente e prevenendo l’annichilimento.



Secondo questa interpretazione, l’universo è composto da una quantità uguale di materia e di antimateria che divergono in direzioni temporali opposte. Questi due piani simmetrici interagiscono costantemente nella forma di una continua influenza tra forze divergenti e convergenti, causalità e retrocausalità, entropia e sintropia.

Tutto ciò che è divergente è governato dalla soluzione in avanti nel tempo, mentre tutto ciò che è convergente è governato dalla soluzione a ritroso nel tempo. Quindi il piano fisico e materiale interagisce continuamente con il piano non fisico e immateriale dell'antimateria che si sposta a ritroso nel tempo. La complessità intrinseca dell'universo fisico è una conseguenza dell'interazione tra materia ed energia con le forze coesive dell'antimateria e dell'anti-energia.