

## Orizzonti Scienze

Nel 1935 l'«entanglement» ha fatto litigare i padri della fisica quantistica. La soluzione la trovò nell'82 **Alain Aspect**. Che dopo mezzo secolo di ricerche e il Nobel ancora si stupisce

# Einstein sbagliava Ma aveva ragione

di TELMO PIEVANI

**D**ue particelle separate, che hanno interagito in passato, rimangono in contatto anche a distanza. Albert Einstein, che pure aveva contribuito a fondare la meccanica quantistica e nel 1935 si accorse di questo fenomeno, detto *entanglement*, non ci credeva. Devono esserci proprietà aggiuntive delle particelle che ancora non conosciamo: la fisica quantistica è incompleta. Eppure funziona e ci regala grandi successi tecnologici, dai laser ai computer quantistici. Quindi, secondo Niels Bohr e molti altri, dobbiamo accettare il fatto sconcertante che non esiste una realtà fisica locale indipendente dalle misure che si effettuano su di essa e che due particelle interagiscono istantaneamente. Nel 1964 un geniale fisico teorico irlandese in forza al Cern, John S. Bell, escogitò un esperimento mentale che potrebbe sciogliere il dilemma, poiché prevede risultati sperimentali diversi se si accetta una visione o l'altra. Alain Aspect, insieme ad altri, è colui che nel 1982 ha trasformato quell'esperimento mentale in uno reale, producendo fotoni *entangled* e confermando che la non-località quantistica esiste davvero. L'errore di Einstein fu assai fruttuoso, come spiega nel suo ultimo libro, *Se Einstein avesse saputo* (Raffaello Cortina), esemplare per chiarezza. Aspect ci lavora da mezzo secolo, ci ha vinto il Nobel per la Fisica nel 2022, eppure l'*entanglement* continua a stupirlo.

**Per Richard Feynman era un grande mistero. La non-località quantistica sfida il nostro modo intuitivo di comprendere il mondo. È l'universo a essere strano o la nostra mente a essere troppo limitata?**

«Noi non percepiamo direttamente con i nostri sensi il mondo degli atomi, delle molecole e dei fotoni, quindi non sorprende che non possiamo rappresentarlo con le nostre immagini abituali. È stupefacente, piuttosto, che la matematica ci permetta di sviluppare una descrizione così fruttuosa di quel mondo. La necessità di usare la matematica per andare oltre le nostre osservazioni immediate risale a Galileo Galilei, quando elaborò i principi della meccanica moderna contro l'errata meccanica di Aristotele, basata sull'osservazione diretta. Così, aprì la strada alla rivoluzione newtoniana, proprio come i

**meccanica quantistica, ne va della salute mentale.**

«Però quando me lo disse aggiunse: come sperimentatore non corri alcun rischio, poiché ti confronti con problemi pratici che richiedono un approccio con i piedi per terra per essere risolti. Aveva ragione».

**Secondo lei, se Einstein avesse conosciuto l'esito dei vostri esperimenti, avrebbe abbandonato non il realismo in sé, ma la località. Ma non avrebbe forse rilanciato la sfida, rendendo compatibile teoricamente, non solo sperimentalmente, la non-località con la sua teoria?**

«Alcuni teorici hanno elaborato approcci che mirano a conciliare il realismo locale con il formalismo quantistico. Ma li trovo troppo astratti, non mi permettono di sviluppare immagini intuitive, come cercava di fare Einstein. Quindi dubito che ne sarebbe stato soddisfatto».

**Per due particelle «entangled», il tutto è maggiore della somma delle parti. La soluzione non potrebbe risiedere quindi in una teoria più ampia che descriva questo tutto maggiore delle parti?**

«Esiste già: è la matematica dell'*entanglement*, che è alla base dei computer quantistici che cercano di sfruttare l'enorme quantità di informazioni contenute in uno stato *entangled* di molti qubit».

**Perché la matematica ha un valore predittivo così potente rispetto alle applicazioni tecnologiche e alla scoperta di nuovi fenomeni fisici?**

«Nessuno lo sa. La mia risposta ingenua è che ciò che chiamiamo scienza è l'insieme dei fenomeni che possono essere descritti efficacemente dalla matematica. Per "efficacemente" intendo non solo descrivere ciò che abbiamo già osservato, ma anche prevedere nuovi fenomeni che verranno eventualmente osservati in laboratorio, come feci nel mio esperimento del 1982».

**E se Jules Verne l'avesse saputo? Lui non poteva nemmeno immaginare la fisica quantistica. Proprio come noi, rispetto alla fisica del prossimo secolo. Non sappiamo di non sapere, o ci stiamo avvicinando**

**sempre di più a una verità fondamentale?**

fondatori della meccanica quantistica aprirono la strada alla prima e alla seconda rivoluzione quantistica».

**Bell diceva: non pensate troppo ai fondamenti della**



«Nessuno può rispondere a questa domanda. Ciò che la storia della scienza ci mostra è che ogni progresso permette di elaborare nuove domande che prima non potevamo nemmeno immaginare. Per questo credo che il progresso scientifico sia illimitato».

**Abner Shimony, filosofo della scienza e fisico, ha avuto un ruolo nella sua ricerca.**

«La filosofia della scienza deve andare di pari passo con la storia della scienza e può aiutarci a capire come ciò che facciamo sia importante per la comprensione del mondo. Shimony era sia un filosofo sia un fisico teorico, e questo era essenziale per il suo modo di pensare. Così scopri che si può concepire a un esperimento realista per testare le disuguaglianze di Bell. Un risultato straordinario».



**Cos'è un computer quantistico ad atomi neutri, cioè privi di carica elettrica?**

«Un computer quantistico può essere costruito con qualsiasi tipo di bit quantistici, ovvero di sistemi quantistici in cui isoliamo due stati specifici che possiamo indirizzare, manipolare, accoppiare e osservare, senza distruggere quella che viene chiamata "coerenza quantistica". Gli atomi neutri ci permettono di farlo in modo efficiente con centinaia e persino migliaia di bit quantistici. Non è l'unica strada, altre ne vengono tentate, con ioni, fotoni, superconduttori, impurità controllate nel silicio. Nessuno sa quale sarà la migliore. Forse dipenderà dal problema. Stiamo assistendo a una lotta darwiniana tra i vari approcci».

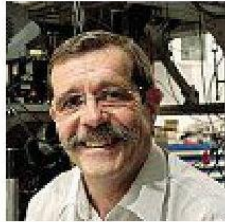
**Cos'è il teletrasporto quantistico e perché ha poco a che fare con «Star Trek»?**

«Consiste nel trasportare da un oggetto microscopico a un altro lo stato quantistico, ovvero la descrizione matematica ultima dell'oggetto quantistico. Ciò che lo rende straordinario è che funziona anche se non conosciamo quello stato quantistico, impossibile da misurare completamente. La possibilità di teletrasportarlo è cruciale se si vuole utilizzare l'output di un computer quantistico come input per un secondo computer quantistico, senza perdere parte dell'informazione quantistica».

**Molti protagonisti della sua storia di ricerca, a cominciare dall'einsteiniano Bell, dovettero cambiare idea. Si inchinarono alle risposte fornite dalla natura. Non vivremmo in un mondo migliore se questo metodo valesse per tutti?**

«Il successo della scienza si basa sul prevalere delle prove sulle ideologie, perché i fatti sperimentali, e non le affermazioni infondate, ci permettono di raggiungere un consenso. Questo principio può essere generalizzato ad ambiti in cui le prove derivano dalla statistica, piuttosto che dalla semplice osservazione dei fatti, come in medicina. Potrebbe essere esteso in parte alla sociologia e all'economia, ma qui i fattori psicologici rendono la situazione più difficile».

© RIPRODUZIONE RISERVATA



**ALAIN ASPECT**  
**Se Einstein avesse saputo**  
Traduzione  
di Giuseppe Bozzi  
**RAFFAELLO CORTINA**  
Pagine 372, € 25

**L'autore**

Alain Aspect (Agen, Francia, 1947; sopra) è un fisico sperimentale specializzato in ottica quantistica, Nobel per la Fisica nel 2022. È noto per i suoi esperimenti sull'entanglement quantistico e la verifica delle disuguaglianze di Bell, che hanno giocato un ruolo essenziale nel chiarire i fondamenti della meccanica quantistica

**Gli appuntamenti**

Aspect presenta il libro in Italia: lunedì 18 maggio a Roma sarà l'ospite d'onore della prima Lectio Farnesiana, organizzata in collaborazione con la Fondazione Balzan (Palazzo Farnese - Ambasciata di Francia in Italia, ore 18.30, con Marco Motta); martedì 19 a Roma dialogherà con il Nobel Giorgio Parisi presso l'Accademia dei Lincei (Palazzina dell'Auditorio, ore 10); mercoledì 20 terrà una lectio magistralis alla Sapienza di Roma (Aula Magna, ore 10); giovedì 21 sarà ad Arezzo (Teatro Petrarca, ore 21, con Massimo Inguscio); sabato 23 sarà a Napoli (Fondazione Salvatore, ore 10, con Maria Cristina Messa, Massimo Inguscio, Guglielmo Tamburrini, Marco Demarco)

**L'immagine**

Conrad Shawcross (Londra, 1977), *Ringdown* (2024, in collaborazione con l'università di Nottingham): nei mesi scorsi l'opera è stata parte della mostra *Quantum Untangled* alla Science Gallery del King's College di Londra



La proprietà intellettuale è riconducibile alla fonte specificata in testa alla pagina. Il ritaglio stampa è da intendersi per uso privato