



MECCANICA QUANTISTICA

Un'aperta violazione della privacy

Una recente ricerca ha messo in dubbio uno dei pilastri della strana fisica dell'infinitamente piccolo, il principio di indeterminazione di Heisenberg, su cui si fonda la meccanica quantistica, cioè l'incertezza insita nella misura e quindi nella conoscenza contemporanea di alcune variabili che possono descrivere un sistema, come ad esempio la posizione e la quantità di moto di una particella elementare. La grandezza "ineliminabile" dell'errore registrata dall'osservatore, secondo questa ricerca, sarebbe in realtà inferiore a quanto finora ipotizzato dal fisico tedesco, con tutto quello che ne consegue per la comprensione dei fenomeni a livello atomico e nucleare. Riportiamo di seguito il divertito commento di un fisico dell'ENEA

■ Emilio Santoro

Quando studiavamo sui banchi di scuola l'algebra prendendo confidenza per la prima volta con i numeri relativi, spesso ripetevamo a memoria la tabellina dei prodotti tra segni recitando tra l'altro: "meno per meno dà più...". Ora, sulla base di ciò che l'Università di Toronto pare abbia dimostrato, sembra che qualcosa di concettualmente analogo si sia verificato sperimentando al banco l'inatteso "infragilimento" di uno dei pilastri della meccanica quantistica, il principio di indeterminazione che Werner Heisenberg elaborò per quantificare l'influenza dell'osservazione sull'osservato. La sua più nota formulazione è legata alla determinazione di alcune variabili associate al moto degli elettroni, ma il suo campo di applicazione si estende all'intero mondo dell'infinitamente piccolo. La conoscenza *esatta e simultanea* della posizione e della velocità (quantità di moto) di un elettrone è una chimera: la precisione di misura dell'una influenza negativamente la corretta determinazione dell'altra. Un recentissimo articolo [*Phys. Rev. Lett.* 109, 100404 (2012), "Violation of Heisenberg's Measurement-Disturbance Relationship by Weak Measurements"] espone il metodo con cui i ricercatori hanno invece verificato che il principio di Heisenberg farebbe previsioni un po' troppo pessimistiche rispetto alla realtà. Cioè a dire che l'incertezza formulata nel 1927 pare sia un po' meno incerta. Ma tornando alla famosa tabellina dei segni, potremo mai mutuire da questa una sorta di filosofia che ci tranquillizzi sul fatto che l'incertezza sull'incertezza dia alla fine una certezza?

L'articolo mostra il modo in cui viene iniettato maggiore ottimismo nel principio suddetto, in definitiva

offrendo una speranza alla possibilità di descrivere con un grado più elevato di completezza un sistema assieme a tutte le variabili che sono in gioco. In particolare, la tecnica utilizzata va sotto il nome di *misura debole*, che consente la stima di quanto l'osservazione possa incidere sulla precisione della misura o, per meglio dire, sul disturbo che pregiudicherebbe la sua esattezza. Per far ciò, i fisici, da autentici *voyeurs*, hanno sbirciato (con molte cautele, evidentemente, per non perturbarli troppo) il comportamento dei fotoni di un fascio di luce (interessandosi alla polarizzazione di quest'ultimo) all'ingresso e all'uscita dell'apparato sperimentale attraverso cui erano stati fatti passare. Il risultato, provato e riprovato, sembra portare a un'unica conclusione: il disturbo che la misura introduce è *inferiore* al rapporto precisione/disturbo che il principio di indeterminazione porrebbe come limite irriducibile.

Non è la certezza assoluta suggerita dalla "nuova tabellina" ma, concettualmente, il fatto che si sia ristretto il campo di incertezza nella misura produrrebbe una ricaduta importante sulla teoria quantistica. Evidentemente nel 1927 c'era maggiore pessimismo anche nelle teorie scientifiche (e come dar torto? Nei due anni successivi sarebbe esplosa una delle peggiori crisi economiche e poco più di dieci anni dopo si sarebbe

■ Emilio Santoro
 ENEA, Unità Tecnica Tecnologie e Impianti per la Fissione
 e la Gestione del Materiale Nucleare

acceso anche un terribile conflitto mondiale), ma questa informazione avrebbe reso felice ancora una volta Einstein: non pago delle dimostrate e ridicole velleità dei neutrini, egli avrebbe goduto anche della certezza (questa sì!) che in fondo a Dio il gioco dei dadi non interessi poi granché (magari, alla luce delle attuali scoperte, forse il gioco a un *sol* dado!).

Stiamo diventando più ottimisti nelle scoperte scientifiche? Buffo, perché non è che anche ora la crisi economica mondiale ci disponga proprio all'euforia. Leggendo però tra le righe di ciò che abbiamo scritto più sopra, notiamo subito l'affermazione: *la misura disturba meno gli osservati...* Che il mondo infinitamente piccolo fosse più permaloso in passato rispetto a quanto lo sia ora? Mmh... difficile credere che gli elettroni un tempo fossero più irritabili e altezzosi, ma tutto può essere: adesso sembra che più *permaloso* di tutti sia l'infinitamente grande, visto che la materia oscura che occupa in modo così invasivo l'universo pare non gradisca manifestarsi ad alcun metodo di indagine (altro che disturbo, misure deboli, sbirciatine e tecnici riservati e delicati...!).

E allora? Che sia aumentato il voyeurismo di sperimentatori perversi molto più attenti, grazie a sofisticati apparecchi di controllo, a non farsi beccare dagli elettroni mentre questi volteggiano eterei attratti dai nuclei e violando maggiormente in tal modo la loro benedetta privacy, che Heisenberg aveva così pudicamente protetto con il suo principio fino ad ora? Già si possono pregustare titoli da gossip atomico e foto di povere particelle paparazzate nella loro intimità: *"Appena scoperto l'indirizzo esatto (posizione) dell'elettrone, questo è stato visto fuggire via alla velocità precisa di tot chilometri al secondo (quantità di moto). Ma niente sfugge ai segugi dell'informazione corretta!"*.

Nessuna paura. Forse si stanno solo "rivisitando" i concetti di misura e dei relativi metodi di misurazione. Oltre infatti all'indeterminazione come proprietà intrinseca di un sistema quantistico, possiamo annoverare una indeterminazione caratteristica delle particelle e un'altra legata alla modalità di misurazione delle loro proprietà. Gli effetti delle "misure deboli" dovrebbero agire su queste ultime.

Uno straordinario effetto quantistico chiamato *entanglement* attribuisce una proprietà molto "romantica" alle particelle. Se, nella loro storia, due di queste hanno avuto occasione di interagire reciprocamente, anche dopo un certo tempo, pur trovandosi magari agli estremi opposti dell'universo, accadrà che se qualcosa dovesse interferire con la prima alterandone lo stato, *istantaneamente* andrà a modificarsi lo stato dell'altra.

Proprio come talvolta la letteratura segnala nei forti legami esistenti tra gemelli omozigoti. È quell'istantaneamente a dare le vertigini... *anche se esse dovessero trovarsi agli estremi opposti dell'universo...* Come se tra le due particelle intervenisse un'azione a distanza e a velocità infinita... Einstein, Podolsky e Rosen si opposero a questa descrizione dell'effetto e formularono un famoso teorema che porta il nome dalle loro iniziali, EPR, che avrebbe dovuto mettere in luce l'aspetto paradossale del fenomeno. Una prova sperimentale ha dato però conto della sua esistenza reale e consistente (Alain Aspect, Francia 1982).

Incertezze più o meno grandi, esattamente come quelle che affliggono anche il nostro vivere quotidiano; rapporti tra osservatore e osservato come nelle migliori storie di spionaggio; relazioni tra particelle come tra gemelli... Che succede alla fisica? Dove sta la realtà?

David Bohm propose un'interpretazione affascinante. Immaginiamo che la *realtà vera* ma inconoscibile sia nascosta dietro un sipario chiuso, e che consista per esempio in un acquario con un pesce solitario che nuoti al suo interno, posto tra due telecamere che riprendano quest'ultimo da angolazioni completamente differenti. L'osservatore è in platea e segue esclusivamente i due diversi monitor, ciascuno collegato alla corrispondente telecamera, di cui egli non è a conoscenza: l'uomo infatti vede solo due pesci, distinti perché le differenti angolazioni di ripresa forniscono immagini diverse, che corrisponderebbero alla sua versione della realtà. Poi però inizia a ragionare. Osserva che il movimento di un pesce ha un'istantanea corrispondenza con un movimento *complementare* dell'altro, come se tra i due pesci esistesse una stretta correlazione, un *entanglement*... Tutto questo non rimanda al famoso "mito della caverna" di Platone, all'interno della quale dei prigionieri immobilizzati interpretano come realtà le ombre, proiettate sulla parete, di ciò che non sono in grado di vedere perché è alle loro spalle?

Forse l'incertezza intrinseca nella meccanica quantistica non è che un *difetto intrinseco* nell'ombra proiettata sulla "parete" che abbiamo di fronte, i cui contorni stanno assumendo solo ora tratti leggermente più definiti. C'è sempre però il rischio, in queste sperimentazioni sofisticatissime, che l'incertezza sia imparentata anche con l'errore (e in queste pagine abbiamo avuto occasione di parlarne). Occorrerà attendere altre indagini. Ma col conforto di una grande *vera certezza*, come insegnava Agostino: *"Si fallor sum"*. Se sbaglio, esisto. ●