

Risposta alla domanda: "Vorrei capire meglio la violazione di simmetria P del cobalto 60; in parole semplici, che cosa significa che la chiralità intrinseca viene invertita dallo specchio? Quali sono gli effetti di questa violazione?"

Ulisse, portale di divulgazione scientifica della Sissa, Trieste (Domanda posta da Giuseppe Marcuzzi il 13 agosto 2005, risposta apparsa il 20 dicembre 2005)

Immaginiamo di guardare la scena di un film. Vi è un uomo in una stanza. Si sa che obbedisce sempre agli ordini che gli vengono impartiti. Ad un certo punto una voce fuori campo gli dice di alzare la mano destra. L'uomo alza invece la mano sinistra. Quindi la telecamera si allontana, l'immagine si allarga e ci accorgiamo che veniva filmata l'intera scena riflessa in uno specchio.

Questo è un tipico esempio in cui un osservatore (lo spettatore del film) è in grado di accorgersi della differenza fra destra e sinistra. O meglio delle differenze fra il mondo "reale", al di qua dello specchio, e quello "virtuale" o "fittizio", all'interno di esso (usiamo le virgolette per cautela: i motivi diverranno più chiari in seguito). Vi sono situazioni fisiche in cui questo è molto difficile, a volte impossibile. Si pensi per esempio ad un film in cui si osserva una palla che cade in mare. La scena "reale" e quella "allo specchio" sono indistinguibili.

Per inciso, le simmetrie in fisica possono essere delicate e non sempre semplici da evidenziare. Pensiamo alla cosiddetta freccia del tempo. Il nostro spettatore-cavia osserva un'auto che si muove in avanti. Se gli viene mostrato lo stesso film "a rovescio", l'auto si muoverà a marcia indietro. Lo spettatore può forse esitare un attimo e pensare che l'autista stia effettivamente guidando a marcia indietro. Ma dopo un istante di riflessione, guardando sempre nel film i passanti che camminano, gli oggetti che si muovono, in poche parole osservando l'ambiente circostante, il nostro amico si accorgerà senza ombra di dubbio che il film era proiettato all'indietro (riavvolgendo la pellicola).

Ma torniamo allo specchio. E' facile convincersi che la simmetria destra-sinistra diventa tanto più difficile da evidenziare quanto più l'oggetto osservato è simmetrico. Si pensi per esempio ad un oggetto semplice (di forma più o meno sferica, non dotato di testa, braccia, orologi e via dicendo) o addirittura ad una particella elementare, quale un elettrone. In questi casi un fisico deve definire con esattezza le quantità che vuole descrivere. Lo spin (o momento angolare intrinseco) è una quantità molto adatta a descrivere le rotazioni. Una sfera che ruota in verso antiorario (se guardata dall'alto) ha spin positivo, mentre una sfera che ruota in verso orario (sempre guardata dall'alto) ha spin negativo. E' interessante osservare che tale quantità permette di discriminare il mondo "reale" dal mondo osservato allo specchio: uno spin positivo (rotazione antioraria), osservato allo specchio, diventa *negativo* (rotazione oraria).

La chiralità altro non è che lo spin visto dalla direzione del moto dell'oggetto. Per esempio un pallone lanciato con un "effetto", che vediamo allontanarsi ruotando in senso orario ha chiralità positiva (perché ruota in senso antiorario se osservato dal portiere che lo vede avvicinarsi). Le particelle elementari, quali per esempio gli elettroni, possono essere caratterizzati dal proprio spin (o dalla chiralità). Quando si dice che allo specchio la chiralità viene invertita si intende semplicemente che allo specchio una rotazione appare aver luogo nel verso opposto.

Una domanda che ha sempre affascinato i fisici è la seguente. Si osservi il "film" di una particella elementare. E' possibile accorgersi se viene filmato il mondo "reale" oppure quello "allo specchio"? Se lo spettatore non ha modo di percepire alcuna differenza diremo che la parità (o simmetria P) è conservata. Viceversa, se lo spettatore riesce a congegnare un esperimento tale da portare alla luce

delle differenze, diremo che la parità è violata. La domanda è allo stesso tempo affascinante ed intrigante. Se la parità è conservata, allora il mondo visto allo specchio è altrettanto reale del mondo “reale”. Viceversa, se la parità è violata, il mondo visto allo specchio è un mondo fittizio, che non esiste, non almeno nel senso in cui “esiste” il mondo reale, al di qua dello specchio. E’ difficile trovare domande più profonde. Questo è uno di quei casi in cui la fisica lambisce quei livelli di fondamentale che sono propri a poche altre discipline.

Nel 1956 T. D. Lee e C. N. Yang, due fisici cinesi che lavoravano in due università americane, analizzando con grande attenzione il panorama sperimentale disponibile all’epoca, si accorsero che non vi era alcuna evidenza sperimentale che confermasse la conservazione della parità nelle cosiddette interazioni deboli. In altre parole, la parità era conservata per tutte le interazioni note (quali quella elettromagnetica e gravitazionale), ma non era ovvio che lo fosse per quella interazione (“debole” per l’appunto) responsabile per esempio dell’emissione di elettroni da certi nuclei. Era dunque possibile che le interazioni deboli distinguessero la destra dalla sinistra. Inoltre i due scienziati suggerirono che una eventuale violazione della parità avrebbe consentito di dare spiegazioni “semplici” ad alcuni fenomeni poco chiari. L’osservazione di Lee e Yang era bellissima: infatti se vi è modo, anche un solo modo, di dire che il mondo “reale” e quello “allo specchio” sono distinguibili, allora il mondo fittizio “all’interno” dello specchio ha qualcosa di fundamentalmente diverso dal mondo reale. Va sottolineato che i fisici, fuorviati dal senso comune, avevano fino a quel momento sempre più o meno implicitamente accettato l’idea che la parità fosse conservata, dunque che il mondo osservato allo specchio fosse indistinguibile da quello reale.

Nell’arco di qualche mese la professoressa Chien-Shiung Wu, cinese originaria di Shanghai, ma a Berkeley (Stati Uniti) da circa venti anni, propose ai fisici americani Ernest Ambler, Raymond Hayward, Dale Hoppes e Ralph Hudson, del National Bureau of Standards di Washington, di aiutarla a realizzare un esperimento per verificare se la parità fosse effettivamente conservata oppure violata. Madame Wu era un’esperta internazionalmente riconosciuta di decadimento beta (cioè emissione di elettroni dovuta ad interazione debole), ma aveva bisogno di fisici con grande esperienza nelle basse temperature: intendeva infatti prendere degli atomi di cobalto, raffreddarli a bassissima temperatura per “orientarne” gli spin (la temperatura tende infatti a disallineare o disordinare gli spin), per poi osservarne gli elettroni emessi per decadimento beta.

L’esperimento fu realizzato, non senza difficoltà, qualche mese dopo. Il risultato fu di grandissimo interesse: gli elettroni venivano emessi di preferenza nella direzione opposta allo spin dei nuclei di cobalto. *La parità era dunque violata.* Osservando infatti l’esperimento allo specchio, lo spin è invertito, e nel mondo “all’interno” dello specchio gli elettroni venivano emessi nella *stessa* direzione dello spin dei nuclei di cobalto. Un osservatore poteva dunque accorgersi se Madame Wu ed i suoi collaboratori avessero filmato l’esperimento “vero” oppure un’immagine dell’esperimento in uno specchio idealmente posto su una parete del laboratorio.

L’esperimento era concepito in modo molto elegante. Un sottile strato di cobalto 60 fu depositato all’interno di un contenitore sotto vuoto, immerso in elio liquido, inserito a sua volta in un altro contenitore immerso in azoto liquido. Il campione di cobalto, ulteriormente raffreddato per smagnetizzazione adiabatica, fu portato alla temperatura di 3 millesimi di grado Kelvin, vicinissima allo zero assoluto. Successivamente, tramite un solenoide esterno percorso da una corrente elettrica, venne generato un campo magnetico parallelo all’asse del solenoide stesso, con lo scopo di orientare gli spin dei nuclei del cobalto all’interno in direzione opposta al campo magnetico. Vennero quindi osservati gli elettroni prodotti nel decadimento beta. Questi, come già detto, erano emessi di preferenza nella direzione del campo magnetico, cioè in direzione opposta agli spin dei nuclei di cobalto. Ma qualcuno avrebbe potuto pensare a spiegazioni alternative, più o meno esotiche. Per conferma, il verso della corrente nel solenoide e quindi la direzione del campo

magnetico furono invertiti, al fine di orientare gli spin dei nuclei in direzione opposta. L'emissione di elettroni cambiò di conseguenza. La parità era violata.

Oggi si ritiene che sebbene ad un livello fondamentale la simmetria P sia violata, sia invece conservata la simmetria CPT, che consiste nell'asserire che un evento elementare (quale per esempio un urto fra due particelle) osservato allo specchio, in cui tutte le cariche elettriche siano invertite ed il tempo scorra all'indietro, sia un evento "reale", cioè indistinguibile da un evento che può aver luogo nel mondo in cui viviamo. Il lettore può divertirsi a concepire un esperimento per confermare (o meno) questa ipotesi.

Le convinzioni ed i pregiudizi dei fisici possono influenzare pesantemente il corso della scienza e gli stessi esperimenti che vengono pianificati. L'idea che il mondo osservato allo specchio sia un mondo "possibile" è probabilmente naturale (mammiferi superiori e primati vengono facilmente confusi da uno specchio, soltanto alcuni primati superiori riconoscono un'immagine speculare e solo alcuni fra essi sono consapevoli di avere a che fare con la *propria* immagine). L'importanza della conservazione della parità nella fisica moderna ed in particolare nella meccanica quantistica è dovuta a Wigner, che studiò all'inizio del Novecento le conseguenze di importanti simmetrie in fisica. Secondo una leggenda (ma vi è qualche testimonianza attendibile), il grande Feynman, forse uno dei fautori più convinti dell'intuizione in fisica, disse che l'idea di violazione della parità era interessante, ma improbabile. Sempre secondo la leggenda, perse poi 50 dollari in una scommessa, quando l'esperimento gli diede torto. Yang commentò, dopo la conferma sperimentale della violazione della parità, che era stupefacente che nessuno si fosse posto prima le domande giuste.

A Lee e Yang fu conferito il premio Nobel. Non però alla signora Wu. Una evidente violazione di parità. Molti ritengono che questa sia stata una grave ingiustizia.

Saverio Pascazio
Dipartimento di Fisica
Università di Bari