

Elogio delle imperfezioni

Piccole asimmetrie
per grandi scoperte.

di Marco S. Sozzi



Il XX secolo dai fisici è stato definito “il secolo della simmetria”, per l’importanza avuta da questo concetto nello sviluppo scientifico. Ma in realtà spesso non è una simmetria, ma la *violazione* di una simmetria ad aprire nuove porte per la comprensione della natura. Cogliamo il significato di un principio di simmetria grazie all’esperienza di cose che lo possiedono in contrasto ad altre che *non* lo possiedono: la simmetria per rotazione, di cui gode una sfera, ci è evidente grazie al fatto che viviamo in un mondo pieno di oggetti che sono molto lontani dal possedere questa simmetria. Nel secolo scorso l’investigazione della “microfisica” ha messo in evidenza le proprietà di simmetria delle particelle subatomiche rispetto a tre particolari trasformazioni discrete, in precedenza largamente ignorate: si tratta delle trasformazioni di *parità* (P), di *inversione temporale* (T) e di *coniugazione di carica* (C).

La parità (o inversione spaziale) è la trasformazione che consiste nell’invertire il segno delle coordinate spaziali di un oggetto. È facile convincersi che, usando soltanto rotazioni, non è possibile invertire tutte e tre le coordinate spaziali: altezza, larghezza e lunghezza, di un oggetto. La parità è una trasformazione discreta ottenibile solo usando anche la riflessione speculare. L’inversione temporale consiste nell’invertire il segno del tempo. Prima di pensare a paradossali e fantascientifiche macchine del tempo, notiamo che per un sistema sufficientemente semplice, come una pallina che rotola, questa inversione non implica nulla di particolarmente drammatico: se il tempo scorresse al contrario, la pallina rotolerebbe semplicemente nella direzione opposta. La coniugazione di carica, infine, consiste nell’invertire i segni di tutte le cariche (ad esempio la carica elettrica) di un sistema, scambiando in questo modo materia con *antimateria* (vd. Asimmetrie n. 7 “Antimateria”, ottobre 2008, ndr).

Tutte e tre queste trasformazioni sembrano a prima vista (o quasi) corrispondere a simmetrie della natura. Certo non vi è nulla di fisicamente impossibile in un oggetto spazialmente invertito: la scrittura speculare di Leonardo da Vinci richiede uno specchio per essere letta con facilità, dimostrandosi inusuale, ma niente affatto irrealizzabile. In altre parole, la distinzione tra “destra” e “sinistra” appare puramente convenzionale. Analogamente, sappiamo che c’è attrazione tra cariche elettriche di segno opposto e repulsione tra quelle dello stesso segno. Ma carica “positiva” e “negativa” sembrano essere solo concetti relativi, senza alcuna differenza assoluta. È meno immediato che anche l’inversione del tempo appaia essere una simmetria diffusa in natura. Siamo tutti consapevoli della netta diversità tra passato e futuro, e (purtroppo?) possiamo spostarci nel tempo solo in una delle due direzioni! Ma in realtà tutto questo ha più a che fare con la complessità dei sistemi considerati che con l’assenza di simmetria per inversione del tempo. Guardando al contrario una brevissima sequenza filmata di una partita di biliardo non noteremmo probabilmente nulla di implausibile. Solo con un filmato sufficientemente lungo rimarremmo stupiti nel vedere la pallina che da ferma si mette in moto, accelerando spontaneamente, fino a fermarsi contro la stecca del giocatore. Allo stesso modo troviamo plausibile un barile di vino che si rovescia sul pavimento macchiandolo, ma non una macchia che improvvisamente scompare mentre il vino salta dentro il barile. Il motivo è dovuto solo al fatto che un barile di vino è un sistema estremamente complesso, costituito da un numero enorme di particelle elementari, ed è estremamente improbabile (diremmo “in pratica” impossibile) che *ciascuna* di esse inizi a muoversi proprio nello stesso istante

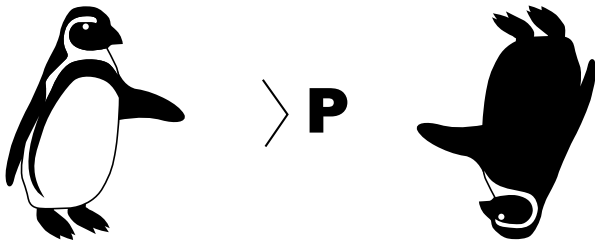
nella direzione che la farebbe ritornare dal pavimento al barile. Per un sistema elementare, viceversa, l'inversione del tempo comporterebbe soltanto l'inversione del suo moto.

A lungo si ritenne che la natura fosse intrinsecamente simmetrica rispetto alle trasformazioni P, T e C. L'esperienza mostrò che le cose stanno altrimenti. Nel 1956, in un tentativo "estremo" di spiegare alcune proprietà dei *mesoni K* (vd. p. 31, ndr), che resistevano a ogni tentativo di interpretazione, alcuni fisici proposero arditamente la verifica sperimentale della simmetria P delle interazioni nucleari deboli, responsabili del fenomeno della radioattività. Pochi avrebbero scommesso che questa fosse la reale soluzione dell'enigma, ma in poche settimane alla fine del 1956 diversi esperimenti furono realizzati in proposito negli Stati Uniti, primo tra tutti quello

guidato da Chien-Shiung Wu al National Bureau of Standards di Washington. La notizia che la natura effettivamente distingue in modo assoluto tra destra e sinistra (violazione di P) fu accolta come uno shock, e fruttò il premio Nobel ai fisici Tsung-Dao Lee e Chen Ning Yang nel 1957, autori della proposta teorica. Il turbamento fu mitigato dall'osservazione che, invocando anche la simmetria C, la trasformazione combinata CP sembrava rimanere una simmetria inviolata. L'apparente distinzione tra destra e sinistra non sarebbe stata dunque altro che il riflesso di un'asimmetria tra materia e antimateria (distinte dai segni delle cariche): ciò che è "destra" per la materia sarebbe "sinistra" per l'antimateria e viceversa. Una convenzionalità appena più involuta. La scoperta sperimentale, nel 1964 a

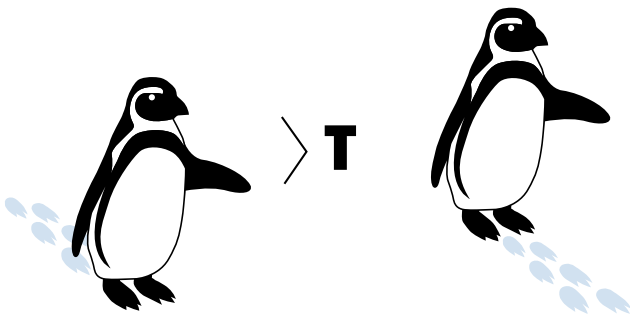
a.
Rappresentazione delle tre trasformazioni: di parità (P) che inverte le coordinate spaziali, di tempo (T) che inverte la freccia del tempo, e di carica (C) che scambia materia con antimateria.

a.



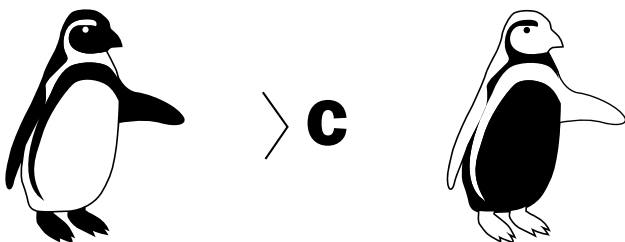
Trasformazione P

Le tre direzioni spaziali sono tutte invertite contemporaneamente.



Trasformazione T

La direzione del tempo (e quindi del moto) è invertita.



Trasformazione C

Tutte le particelle sono trasformate in antiparticelle e viceversa.

Brookhaven, che nei decadimenti dei mesoni K (sempre loro!) anche la simmetria CP è in realtà leggermente violata, fu uno shock ancora maggiore, e non facilmente superabile. Molti esperimenti verificarono il fenomeno, che ancora nel 1980, quando gli scopritori James Watson Cronin e Val Logsdon Fitch ricevettero il premio Nobel, era stato rivelato solo in queste peculiari particelle. Nessuna giustificazione teorica sembrava plausibile.

Una di queste, proposta nel 1973 da Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa, generalizzando il lavoro di Nicola Cabibbo, richiedeva l'esistenza di ben sei quark, mentre ne erano noti solo tre. Oggi questa descrizione è confermata dai fatti e ragione del premio Nobel 2008 conferito ai due fisici giapponesi.

Molti nuovi e ingegnosi esperimenti in tutti i laboratori del mondo hanno nel frattempo messo in luce nuove manifestazioni della violazione di CP, molto evidenti nei *mesoni B* ("cugini" più pesanti dei K) come mostrato da esperimenti effettuati negli Stati Uniti e in Giappone (vd. p. 35, ndr). Ma l'origine profonda di questa asimmetria della natura rimane tuttora un mistero, ancora più cocente in quanto si pensa sia all'origine del fatto che l'universo, nato con uguali quantità di materia e antimateria, si sia evoluto in modo da non lasciare oggi alcuna traccia di antimateria. E la simmetria

T? Un fondamentale teorema, che sta alla base di tutte le teorie note, garantisce che la simmetria combinata CPT sia sempre valida. E naturalmente i fisici sperimentali sono al lavoro per verificare anche questo fatto (vd. p. 33, ndr). Lo studio della violazione di CP, una simmetria *quasi* perfetta in natura, continua a essere oggetto di esperimenti in tutto il mondo. C'è un messaggio che la natura ci offre con questo fenomeno e l'impresa di decifrarlo è una sfida emozionante per il futuro.

Biografia

Marco Sozzi è professore all'Università di Pisa. Ha svolto attività di ricerca al Cern e al Fermilab. Dal 1990 si occupa di esperimenti sulla violazione di CP al Cern. È autore di un testo specialistico sulle simmetrie discrete in fisica.

Link sul web

www.lbl.gov/avc/wallchart/chapters/05/0.html

<http://physicsworld.com/cws/article/news/3021>

www.physics.uc.edu/~kayk/cpviol/CP.html

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1980/fitch-lecture.pdf

b.
Chien-Shiung Wu, fisica giapponese, una delle maggiori interpreti nella sperimentazione della simmetria P.

c.
Una conversazione tra Nicola Cabibbo e Makoto Kobayashi, premio Nobel per la fisica nel 2008, durante il IV Workshop CKM nel 2006 all'Università di Nagoya in Giappone.

d.
Tsung-Dao Lee e Chen Ning Yang all'Institute for Advanced Study di Princeton, negli Stati Uniti. I due fisici ricevettero il premio Nobel nel 1957 per l'articolo che suggeriva la possibilità che la simmetria di parità fosse violata nelle interazioni deboli.

