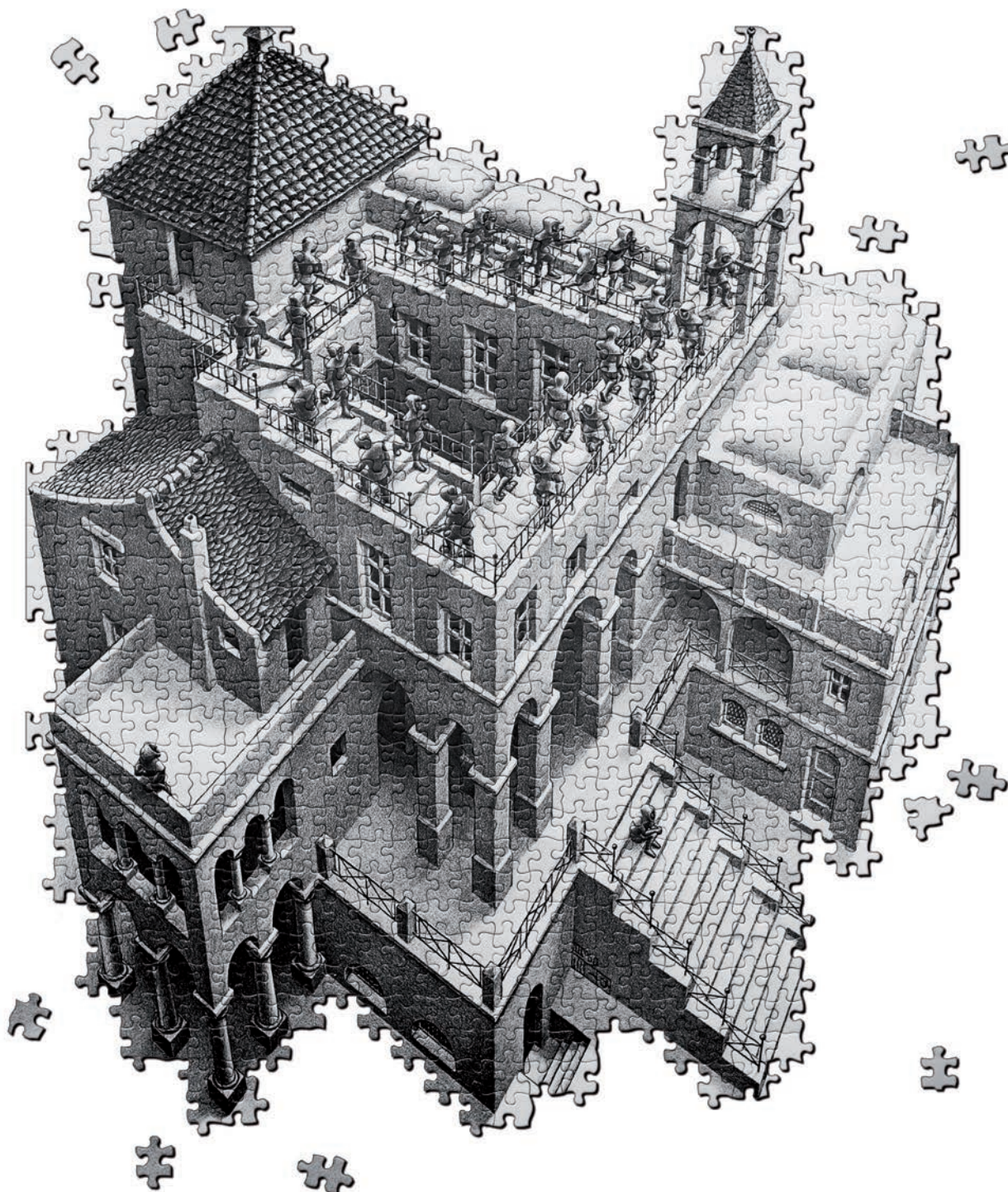


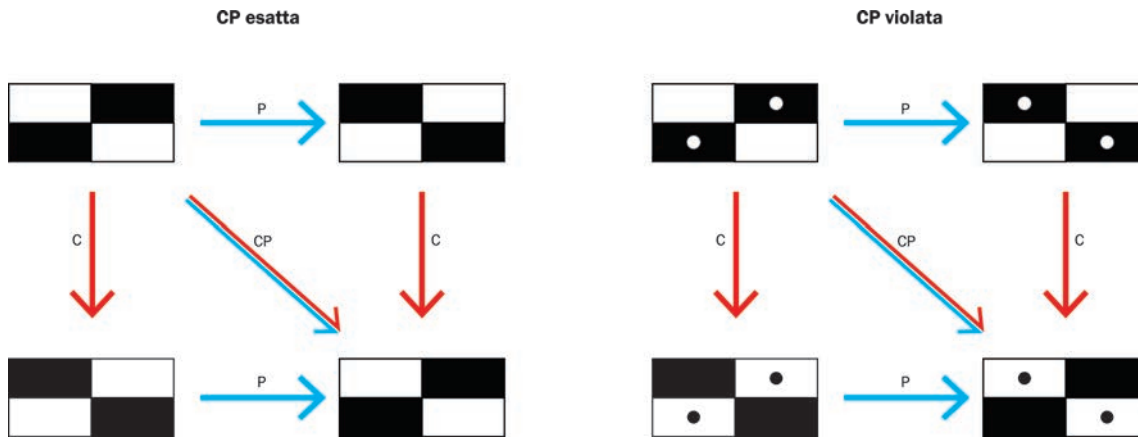
Specchi imperfetti

La simmetria CP e la sua violazione

di Marcella Bona

a.
Come in un puzzle, pezzo dopo pezzo, a partire dagli anni '60, in fisica si è composto un castello incantato, pieno di stanze, torri e scale, che gli scienziati chiamano modello standard. Il puzzle, però, ancora non è stato completato: attorno al castello potrebbe sorgere un'intera città, quella che i ricercatori chiamano "nuova fisica".





Negli ultimi 50 anni, a partire dal 1960, idea dopo idea, misura dopo misura, mattone dopo mattone, si è iniziato a costruire un castello incantato pieno di stanze, torri e scale. Lo chiamiamo modello standard. È la visione più completa che abbiamo fino ad ora sulle leggi della natura, perché dà una descrizione unificata di tre delle quattro forze fondamentali. In questi anni il castello è diventato abbastanza solido e articolato. Abbiamo scoperto nuove particelle fondamentali e nuove caratteristiche delle loro interazioni. Abbiamo continuato ad aggirarci per queste stanze, scale, torri, e a esplorarne ogni angolo. Da un lato abbiamo continuato ad assemblare e rendere più solida la nostra costruzione (cioè continuato a fare scoperte). Dall'altro lato, abbiamo incominciato a preoccuparci un po' di più delle fondamenta e dell'ambiente circostante. Recentemente, nel luglio del 2012, siamo riusciti a rinforzare significativamente le fondamenta del castello con la scoperta del bosone di Higgs che ci ha dato la conferma definitiva della solidità della nostra costruzione.

Alcune caratteristiche delle interazioni fondamentali sono state delineate fin dall'inizio, come conseguenza delle simmetrie del modello standard. Le simmetrie rappresentano proprietà della formulazione matematica delle nostre teorie e corrispondono a proprietà di invarianza nel comportamento delle forze fisiche descritte. Ad esempio, la forza forte (che agisce tra i quark) e la forza elettromagnetica (che agisce tra le particelle cariche) non cambiano il loro modo di agire se applicate su un dato sistema o sulla sua versione speculare (la cosiddetta *trasformazione di parità P*, ovvero di *inversione spaziale*). Analogamente, non cambiano se si trasformano tutte le particelle del sistema in antiparticelle (*trasformazione di coniugazione di carica C*). Invece, la forza debole (ovvero quella che regola, ad esempio, i decadimenti radioattivi) si comporta in modo diverso: vede come diversi due sistemi che sono legati tra loro da una semplice trasformazione di parità o di coniugazione di carica. Questo comportamento si chiama *violazione di simmetria*: in questo caso una violazione, rispettivamente, di parità P e di coniugazione di carica C. Questo diverso comportamento della forza debole fu ipotizzato dai fisici Tsung-Dao Lee e Chen Ning Yang e poi immediatamente osservato dal gruppo sperimentale guidato da Chien-Shiung Wu nel 1957.

Pur essendo C e P violate, potrebbe darsi che la combinazione delle due trasformazioni rappresenti una simmetria del sistema:

b.

La trasformazione di parità (P) si può rappresentare come una riflessione allo specchio (o un'inversione attorno all'asse di simmetria orizzontale). La coniugazione di carica (C) invece tramite la conversione di bianchi in neri e viceversa. In assenza di pallini (a sinistra), il rettangolo in alto a sinistra sarebbe indistinguibile da quello ottenuto applicando successivamente P e C (oppure C e poi P), sarebbe cioè CP-invariante, ma non P- o C-invariante e la simmetria CP sarebbe esatta. La presenza dei pallini (a destra) fa sì che il rettangolo non sia più nemmeno CP-invariante: in questo caso, cioè, anche CP è una simmetria solo approssimata ed è dunque violata in questo rettangolo.

se le coordinate spaziali vengono invertite come in uno specchio e le particelle vengono sostituite da antiparticelle, abbiamo applicato una trasformazione CP (vd. fig. b). Per un breve periodo si credette che la simmetria CP fosse rispettata dall'interazione debole. Ma nel 1964, proprio nell'*annus mirabilis*, James Cronin e Val Fitch dimostrarono sperimentalmente che anche questa simmetria viene violata. Questa scoperta ne innescò molte altre e generò un buon numero di domande, alcune delle quali sono ancora senza risposta. La prima domanda a cui si tentò di rispondere fu come inserire questa scoperta sperimentale nella descrizione matematica della teoria.

In realtà, il seme della risposta era già stato piantato un anno prima dal fisico italiano Nicola Cabibbo, che aveva capito che l'interazione debole vede i vari quark (o piuttosto le particelle costituite dai quark, visto che i quark ancora non erano stati esplicitamente teorizzati) non singolarmente, ma mescolando tra loro i vari tipi. Una specie di "miopia" dell'interazione debole che, non vedendoci bene e non capendo la differenza tra due quark differenti, agisce su entrambi. Si dice, infatti, che gli oggetti fisici siano dati da una *sovrapposizione* dei vari tipi di quark presenti nella teoria. L'idea di Cabibbo era potenzialmente risolutiva, ma ci vollero altri dieci anni perché venisse capita ed estesa.

Infatti, da lì a poco, il modello a tre quark fu proposto da Murray Gell-Mann e George Zweig. Un quarto quark, il quark, fu ipotizzato successivamente da diversi gruppi e scoperto nel 1974 (vd. p. 24, ndr). Con un modello a quattro quark o, piuttosto, a due famiglie di due quark ciascuna, il *mescolamento* proposto da Cabibbo (vd. Asimmetrie n. 11 p. 22, ndr) entrava in modo naturale nella descrizione matematica.

Nel caso di due famiglie di quark questo viene determinato da un solo parametro, oggi chiamato non a caso *angolo di Cabibbo*. Questo schema non riusciva però a incorporare in modo naturale la violazione della simmetria CP. Bisognava essere ancora più audaci e ipotizzare che ci fosse una terza famiglia di quark da scoprire. Questa fu proposta nel 1973 da Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa e i due nuovi quark corrispondenti furono trovati rispettivamente nel 1977 (il quark bottom) e nel 1994 (il quark top). Il mescolamento tra le tre famiglie viene ora descritto da una *matrice* (una tabella ordinata di numeri) che viene chiamata *matrice CKM*, da Cabibbo-Kobayashi-Maskawa. Questa dipende da quattro parametri: tre di questi descrivono il mescolamento tra le tre famiglie e il quarto, la vera novità rispetto allo schema a due famiglie, è il parametro che può generare la violazione di CP. Così ora si riesce a “prevedere” come l’interazione debole possa agire diversamente su un sistema di particelle e quello speculare delle rispettive antiparticelle (cioè, ottenuto dal primo attraverso una trasformazione CP).

Per una misura sperimentale di questo parametro si dovette aspettare fino al 2001, quando due esperimenti, uno negli Stati Uniti (Babar, a cui hanno collaborato molti ricercatori italiani) e l’altro in Giappone (Belle), sono riusciti a misurarlo direttamente. Da allora le misure si sono fatte molto più precise e ora abbiamo un quadro abbastanza chiaro di questo fenomeno, per il quale Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa hanno ricevuto il premio Nobel nel 2008.

Ma tornando a esaminare la nostra costruzione, che sembra ora così solida, troviamo invece ancora angoli oscuri e parti pericolanti. In particolare la differenza nel modo in cui l’interazione debole vede la materia e l’antimateria potrebbe avere conseguenze cruciali riguardo all’intero universo.

Se immaginiamo di tornare al momento del Big Bang e ipotizziamo che le leggi della natura siano perfettamente identiche per materia e antimateria, dalla pura energia del Big Bang ci dobbiamo aspettare la produzione di materia e antimateria in egual quantità. Ma, osservando l’universo attuale, vediamo per lo più materia. Dove è andata a finire tutta l’antimateria? Questa è una domanda ancora senza risposta, ma sicuramente la violazione di CP gioca un ruolo fondamentale, come intuito per primo dal fisico russo Andrej Sakharov nel 1967. Purtroppo, però, stando alle conoscenze attuali, nel modello standard non esiste un meccanismo abbastanza efficiente da produrre l’universo asimmetrico che osserviamo, che quindi richiede la presenza di nuova fisica oltre a quella standard.

Insomma, dopo più di 50 anni, il nostro castello è ora piuttosto grande e ben arredato. Le sue fondamenta sono sempre più solide e ben radicate. E questo ci permette di avere dei punti fermi da cui partire. Ma sappiamo che dobbiamo ancora scoprire una città attorno a questo castello. Una città in cui questo castello deve essere il più possibile integrato, perché è il risultato degli sviluppi teorici e sperimentali degli ultimi 50 anni. Detto in altro modo, gli studi del futuro dovranno confrontarsi con quanto già scoperto e misurato. Ma questa città è ancora, per il momento, del tutto sconosciuta. I fisici teorici continuano a proporre possibili “planimetrie” e i fisici sperimentali organizzano gli esperimenti per verificarle o confutarle.



c.
Il fisico romano Nicola Cabibbo, scomparso nell’agosto del 2010.

Biografia

Marcella Bona insegna fisica delle particelle all’università londinese Queen Mary e svolge il suo lavoro di ricerca sull’esperimento Atlas al Cern. Ha lavorato a lungo sulla fisica dei quark pesanti nell’esperimento Babar e nel progetto fenomenologico Unitarity Triangle fit.

Link sul web

<http://www.quantumdiaries.org/2011/11/14/what-exactly-is-cp-violation/>

http://www.phy.bris.ac.uk/groups/particle/PUS/A-level/CP_violation.htm

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/28092>

<http://www.nevis.columbia.edu/daedalus/motiv/cp.html>

http://scienzapertutti.Infn.it/index.php?option=com_content&view=article&id=439:la-simmetria-cp&catid=215&Itemid=395