



## LA ROTTURA SPONTANEA DELLA SIMMETRIA

### intervista a Gianpaolo Bellini

a cura di Lorenzo Mazzoni

*Il premio Nobel per la Fisica 2008 è stato assegnato per metà a Yoichiro Nambu, per la scoperta del meccanismo della rottura spontanea della simmetria nella fisica subatomica e per metà ai due fisici Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa, per la scoperta del mescolamento dei quark e conseguentemente della non conservazione della simmetria CP (coniugazione di carica-parità). Per un approfondimento abbiamo intervistato Gianpaolo Bellini, Ordinario di Fisica Nucleare e Subnucleare presso l'Università degli Studi di Milano.*

***I premi Nobel per la Fisica del 2008 sono stati conferiti per ricerche relative alla rottura spontanea della simmetria nella fisica delle particelle, e al mescolamento dei quark. «Simmetria» e «rottura della simmetria» sono termini ricorrenti nella Fisica delle particelle. Ci dà una spiegazione di questi due termini?***

Il termine simmetria è collegato con il fatto che le proprietà elementari della materia, che riguardano soprattutto le particelle subatomiche, mostrano delle qualità simmetriche fra di loro. Che cosa significa? Significa che, se facciamo riferimento ai gruppi di simmetria (c'è una teoria matematica

che riguarda i gruppi di simmetria, in particolare gruppi SU3 e SU6) le proprietà delle particelle elementari corrispondono alle proprietà di questi gruppi. Faccio un esempio semplice. Le particelle elementari sono divise in due famiglie: leptoni e *quark* e ambedue sono sei; i leptoni a loro volta sono suddivisi in tre famiglie e i *quark* sono divisi in tre famiglie. Ci sono dei numeri quantici di cui sono dotate le particelle, come la parità, le cariche, le proprietà riguardanti la coniugazione di carica, eccetera. Queste proprietà presentano una simmetria che può essere spiegata matematicamente, ricorrendo ai gruppi di cui sopra. Questo fatto ha importanza perché si è visto

che questa simmetria non è completa, ma che esiste una rottura spontanea della simmetria. Che cosa vuol dire «spontanea»? Vuol dire che questa simmetria non è rotta a causa di eventi esterni, da condizioni sperimentali che la provocano, ma è intrinseca nella natura delle particelle. In conseguenza di questa rottura si è introdotta l'ipotesi che esista una nuova particella (proprio quella che l'LHC sta cercando, cioè il bosone di Higgs) la quale dovrebbe essere responsabile della massa delle particelle subatomiche.

Prima della teoria del bosone di Higgs ce n'era stata un'altra fatta da un fisico inglese che si chiama Jeffrey Goldstone, per cui si parlava del bosone di Goldstone; da qui si è poi arrivati al bosone di Higgs; in questo senso esiste una polemica, perché c'è chi sostiene che, se il premio Nobel è stato dato a Nambu, doveva essere assegnato anche a Goldstone.

È difficile entrare nel dettaglio, perché, benché il disegno generale sulle particelle subatomiche sia abbastanza lineare, il Modello Standard delle particelle, necessario per capire il ruolo del bosone di Higgs è un modello molto complesso dal punto di vista matematico. Naturalmente il Modello Standard finora ha funzionato bene, anche in modo predittivo, però nessuna teoria può essere considerata una vera teoria fisica se non c'è una validazione da parte dell'esperimento, quindi non è affatto detto che esista il bosone di Higgs, e non è affatto detto che l'LHC lo

veda. Ovviamente, se sarà scoperto il bosone di Higgs, questa scoperta sarà una pietra ulteriore nella costruzione del Modello Standard e direi che saremmo molto avanti nella comprensione delle particelle subatomiche.

Se non esiste (anzi alcuni si augurano proprio questo) vuol dire che in questo caso ci sarà ancora molto da capire e molto lavoro da fare.

***In quali problematiche si inseriscono le ricerche per cui è stato conferito il premio Nobel?***

Le problematiche riguardano le particelle elementari, così chiamate perché dovrebbero essere i componenti basilari della materia, al di sotto dei quali non c'è più niente: cioè indivisibili.

Abbiamo già accennato al problema della rottura della simmetria; un'altra delle ragioni per cui è stato dato il premio Nobel, a Kobayashi e Maskawa, è stata il «mescolamento» dei *quark*. Qui devo fare un passo indietro: che cosa sono i *quark*? I *quark* sono i componenti elementari dei cosiddetti adroni, il tipo di particelle a cui appartengono anche il protone e il neutrone, che sono i componenti stabili della materia (il neutrone è «quasi» stabile). Per molto tempo si è pensato che gli adroni fossero elementari, poi si è scoperto che esistevano particelle che li componevano, appunto i *quark*, i quali sono puntiformi, nel senso che non si è ancora riusciti a trovare quali siano le loro dimensioni.

Di questi *quark* ce ne sono sei, ma



Yoichiro Nambu (1921-...)  
Enrico Fermi Institute, University of Chicago,  
Chicago, IL, USA

alla fine degli anni Sessanta del secolo scorso, quando Nicola Cabibbo ha cominciato a pensare a questi problemi, se ne conoscevano solo tre *up* (*u*), *down* (*d*), *strange* (*s*). A quei tempi si era convinti che queste proprietà diverse (*u*, *d*, *s*), che vengono chiamate *flavour* (sapori), si mantenessero invariate durante le interazioni: in altri termini si trattava di numeri quantici che non potevano essere né creati né distrutti. Però si è cominciato a vedere che nei decadimenti delle particelle instabili che si trasformano in altre particelle, finché si arriva a particelle stabili, non c'era una conservazione assoluta di questi numeri quantici. Fu appunto Cabibbo che fece la teoria del mescolamento dei *quark*, in cui si può calcolare la probabilità che ci sia un passaggio da un *quark* di un sapore a un *quark* di un altro sapore, attraverso un cosiddetto «angolo di *mixing*» che è stato anche detto «angolo di Cabibbo».

Dopo di lui si è cominciato a capire, attraverso una nuova teoria, che avrebbe dovuto esistere un altro *quark*, *charme* (*c*), che poi è stato trovato. A questo punto si è sviluppata una ulteriore teoria che prevedeva l'esistenza di altri due *quark*, *beauty* (*b*) e *top* (*t*), per completare il sestetto, appunto come richiesto dalla simmetria. Questo è stato un grosso successo del Modello Standard, perché queste particelle sono state trovate con le caratteristiche suggerite dal modello.

Kobayashi e Maskawa hanno esteso la teoria di Cabibbo anche ai



Makoto Kobayashi (1944-...),  
High Energy Accelerator Research Organization  
(KEK), Tsukuba, Japan

tre nuovi *quark*: Cabibbo l'aveva formulata per tre *quark*, loro per tutti e sei. Devo dire che hanno fatto qualcosa di più: da una teoria connessa hanno ricavato la non conservazione della *CP*. Che cosa significa *CP*?



Toshihide Maskawa (1940-...),  
Kyoto Sangyo University; Yukawa Institute  
for Theoretical Physics (YITP),  
Kyoto University, Japan

Cominciamo dall'operatore parità (*P*): l'applicazione dell'operatore *P* a un sistema di particelle, in qualche modo crea una simmetria speculare, fra un sistema e l'altro e una

rotazione di  $180^\circ$ . Cerco di spiegar-mi con un esempio: quando io mi guardo allo specchio vedo me stesso, ma l'orecchio sinistro è a destra e viceversa; se io però idealmente ruoto l'immagine di  $180^\circ$ , vedo che ho una sovrapposizione completa fra la mia immagine ruotata e me stesso. La parità è la stessa cosa; solo che, invece di essere applicata a un uomo, è applicata a un sistema di particelle. Allora, si è scoperto che per molti sistemi non c'è conservazione della parità, però c'è conservazione per trasformazioni generate dall'operatore Parità associato a un altro operatore, *Charge coniugation* (coniugazione di carica) C: si tratta di un operatore che trasforma una particella nella sua antiparticella. Quindi se prendo un sistema di particelle, gli applico un operatore parità e in più gli applico questo operatore C che fa passare da particelle a antiparticelle, il sistema alla fine mantiene le sue caratteristiche.

Quello che è stato ipotizzato da Kobayashi e Maskawa sulla base della teoria da loro sviluppata è che questa simmetria CP non fosse sempre conservata. In effetti si è trovato poi che, sia nella fisica delle particelle K, molti anni fa, sia, molto recentemente, in un esperimento sulla fisica delle particelle contenenti il *quark beauty*, ci sono violazioni della simmetria. E penso che questa sia stata una delle ragioni per le quali è stato dato il premio Nobel a questi due ricercatori, perché generalmente i premi Nobel vengono dati a una teoria solo dopo che è stata suffragata dai dati sperimentali e si capisce così se l'intuizione teorica sia stata efficace.

***Sui giornali si è molto parlato dell'importante contributo, non riconosciuto però con il Nobel, del fisico italiano Nicola Cabibbo. Ci può dire qualcosa in proposito?***

Come ho già detto prima, in verità l'idea del mescolamento dei *quark* è stata di Nicola Cabibbo, il quale ha sviluppato questa teoria già negli anni 1968-1969, applicandola ai tre *quark* che allora si conoscevano.

Qualcuno dice che era già stata un'idea di Murray Gell-Mann, ma in realtà è solo Cabibbo che l'ha sviluppata in una teoria. Kobayashi e Maskawa hanno applicato questa teoria anche agli altri *quark* e poi, come ho detto prima, hanno ipotizzato la non conservazione totale della CP. Però - è quello che pensano molti fisici italiani e non - l'idea originale è stata di Cabibbo; quindi sembra strano che sia stato dato il premio Nobel a Kobayashi e Maskawa e non a Cabibbo. Comunque devo dire che l'Accademia delle Scienze svedese non è nuova a queste cose: per esempio nel 2002, nel campo delle oscillazioni del neutrino, è stato dato il premio Nobel a due esperimenti, quello di Davis e quello di Toshiba e non a John Bahcall che ha fatto la teoria dei neutrini del Sole, senza la quale questi esperimenti sarebbero stati senza significato. Non è quindi la prima volta che l'Accademia delle Scienze svedese fa delle scelte un po' strane e poco condivisibili. ❖