

### L'interazione elettrodebole III (24/05/2006)

Abbiamo visto come l'interazione debole lavori in violazione della parità, nel senso che distingue tra il mondo reale e quello visto in uno specchio. Ma, quando la cosa fu scoperta, i fisici riuscirono a inquadrala nel costruendo "Modello Standard" dicendo: «Certo: non c'era nessun motivo a priori per cui non dovesse violare la simmetria di parità (speculare) ma, di sicuro, non potrà violare la simmetria congiunta "**Carica-Parità**" (**CP**) in cui, oltre alla riflessione speculare, s'invertono anche tutte le cariche elettriche.»

Perché questo? Perché è abbastanza intuitivo che, riflettendo in uno specchio una corrente che percorre una spira circolare, cambia il verso di percorrenza nella spira e pure il campo magnetico deve cambiare segno. Se però, riflettendo la spira elettrica nello specchio, invertiamo pure **il segno delle cariche elettriche** che la percorrono (per esempio: da elettroni a positroni, posto che si riesca a fare), anche la corrente elettrica riflessa ha lo stesso verso di percorrenza che aveva prima della riflessione, e la direzione del campo magnetico resta invariata. Dunque, ci si aspettava che la simmetria **CP** fosse conservata nelle interazioni deboli.

Nel 1974 fu dimostrato sperimentalmente che non era così. Il motivo è stavolta più difficile da capire, e userò un'analogia semplificata al massimo, che "somiglia" alla spiegazione vera ma, se spinta alle conseguenze estreme, fallisce. Dunque, Adriano, alla fine del salotto non fare la domandina che so che ti verrà in mente, perché stavolta non sarei in grado di risponderti. Ti ringrazio in anticipo.

Esistono delle particelle dalla vita effimera, chiamate "mesoni", che sono composte di un quark e un antiquark, ma non necessariamente della prima famiglia (**up e down**). Ci possono essere anche della seconda famiglia (**charm e strange**). Durante la loro breve vita, quark e antiquark possono trasformarsi l'uno nell'altro scambiandosi i bosoni **W** e **Z** dell'interazione debole. Ebbene: succede la seguente cosa. La trasformazione di un quark in antiquark è leggermente più **lenta** di quella opposta. Allora facciamo l'ipotesi che ci sia una differenza di circa una parte su un miliardo nei tempi di trasformazione, che è l'ordine di grandezza misurato, pur se le misure sono estremamente difficili e i numeri un po' incerti. Supponiamo pure che, nel momento del Big Bang, si siano formati **esattamente** tanti quark quanti antiquark. Poiché essi si attirano con troppa forza per restare isolati, immediatamente si raggruppano a tre a tre formando protoni e antiprotoni (che poi si annullano a vicenda) oppure a due a due formando mesoni (che poi decadono). Il motivo del raggruppamento a tre o a due lo potremo capire solo dopo aver studiato l'interazione forte, e quindi lo lasciamo in sospeso.

Immaginiamo ora che passi un tempo molto lungo rispetto a quello tipico dell'interazione debole (che è dell'ordine del milionesimo di secondo), in modo che questa abbia avuto tutto l'agio di mescolare particelle e antiparticelle all'interno dei mesoni. Per esempio, supponiamo di essere a un centesimo di secondo dopo il big bang. Siccome l'interazione debole ha più facilità a trasformare antiquark in quark che viceversa e quindi, mediamente, all'interno di un mesone i quark "durano" un po' più degli antiquark, se andassimo a **inventariare istantaneamente** il contenuto di tutti i mesoni, ci accorgeremmo che, per ogni miliardo di antiquark, si trova un miliardo di quark più uno. Dunque, quando quark e antiquark si annichilano tra loro, resterà un quark per ogni miliardo che se ne sono annichilati.

Detto in altri termini, la violazione della simmetria **CP** nell'interazione debole, conduce a un eccesso di materia rispetto all'antimateria; la natura non è del tutto simmetrica in questo particolare contesto.

Per quanto possiamo capire, è questa la spiegazione del perché l'universo è composto solo di materia e non anche di antimateria? Purtroppo no.

Ci sono diversi motivi per questa risposta negativa. Vediamone i cinque più importanti.

1) Dal punto di vista concettuale, il "grado di asimmetria" osservato non possiede alcuna giustificazione teorica. Si tratta di un'altra di quelle "**manopole**" che dobbiamo girare per tentativi finché l'universo non assume la connotazione giusta. Non è la soluzione di un problema, ma un problema irrisolto in più.

2) Dal punto di vista sperimentale – osservativo, almeno per quanto riusciamo a capire oggi, l'asimmetria è **troppo piccola** per spiegare tutta la materia che vediamo. Con questo livello di

asimmetria, all'interno di tutto l'Universo Causale potrebbe esserci materia per formare tutt'al più **una sola galassia** delle dimensioni della Via Lattea.

3) Una volta inquadrata teoricamente la violazione **CP** dell'interazione debole nel Modello Standard, è emerso subito che **anche l'interazione forte deve violare la CP**. Ma una violazione del genere, che sarebbe molto più facile da osservare nelle apparecchiature già esistenti, non è mai stata riscontrata (il limite sperimentale di oggi è **una parte su cento milioni** di quel che avrebbe dovuto essere). L'unico modo attualmente conosciuto per rendere ragione di questa mancata osservazione, è ipotizzare che ci sia ancora un'altra "**manopola**" da girare, e che vada girata sullo zero, mentre avrebbe dovuto segnare un valore molto maggiore.

4) In ogni caso, affinché l'interazione debole possa violare la simmetria **CP**, è indispensabile che esista una particella di massa  **$10^{14}$  volte quella del protone**, definita provvisoriamente "**bosone X**". Nessuna meraviglia che questa particella non si possa "vedere" negli acceleratori di oggi (che, con LHC, raggiungeranno circa 15.000 volte la massa del protone), ma la sua esistenza comporterebbe anche un decadimento del protone con vita media **non superiore a  $10^{32}$  anni**. Secondo gli esperimenti, il limite inferiore a questa vita media è invece **almeno  $10^{34}$  anni**.

5) Per una questione di "**simmetrie generali dello spaziotempo**", si può dimostrare che l'interazione debole **non viola** la simmetria **CPT** in cui, oltre all'inversione speculare e a quella delle cariche, s'inverte anche **la direzione del tempo**. Ma, siccome la simmetria **CP** è violata, se ne deduce che anche **la simmetria rispetto al tempo è violata**, in modo che **il prodotto CPT non lo sia**. Dunque, l'interazione debole è l'unica legge di natura conosciuta che violi la simmetria rispetto al tempo. Cosa possa significare tutto questo, nessuno lo sa.

Può darsi che LHC aiuti a fare luce su questo insieme di misteri; può darsi pure che non aiuti. Però, già da quanto abbiamo imparato finora, dovrebbe essere chiaro perché gli acceleratori servono, e perché il "Modello Standard" sia ben lontano dal rappresentare una "Teoria di Grande Unificazione".