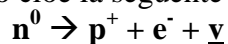


L'interazione elettrodebole I (10/05/2006)

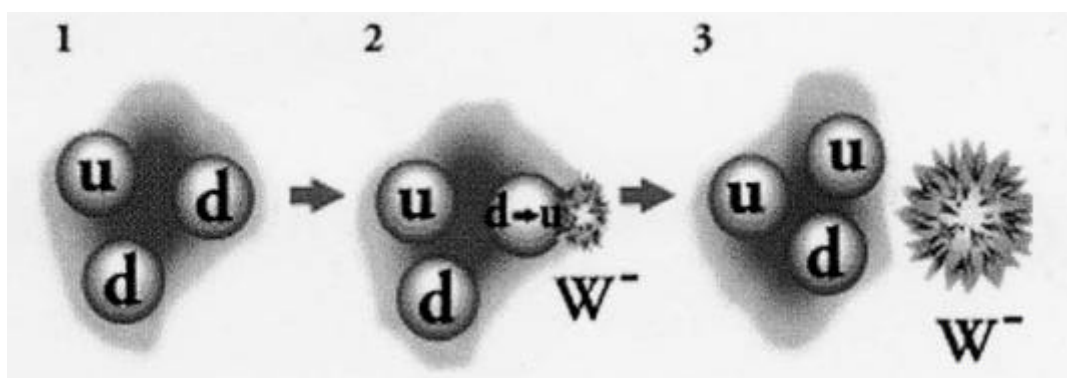
Cominciamo oggi il percorso sulla cosiddetta “interazione debole” o meglio: “elettrodebole”. Questa possiede caratteristiche molto diverse da quelle cui siamo abituati, e per arrivarci dovremo partire da un fatto sperimentale. Sappiamo che nei nuclei atomici esistono protoni e neutroni, e che i neutroni nei nuclei “normali” sono stabili, nel senso che, per esempio, nei nuclei di elio primordiale, che si sono generati entro i primi tre minuti di vita dell’universo, i neutroni stanno ancora lì dopo 13,7 Mld di anni.

Prendiamo però un neutrone, per esempio tirandolo fuori da un nucleo, e lasciamolo libero. Dopo una decina di minuti, il neutrone si disintegra in tre particelle diverse: un protone (stabile), un elettrone (stabile) e un *antineutrino* (stabile). Abbiamo cioè la seguente reazione:



Analizziamo anzitutto le varie leggi di conservazione. Siccome la massa del neutrone è un po’ maggiore delle tre masse risultanti, i tre oggetti finali avranno energia cinetica, e la somma va a posto. Per la carica elettrica, ugualmente, va tutto a posto perché il neutrone non ne ha, mentre protone ed elettrone ne hanno opposta, e l’antineutrino non ne ha. Quindi, carica zero all’inizio e carica zero alla fine. Vediamo invece il “numero di particelle e antiparticelle” che deve essere pure conservato. Il neutrone è “particella” come il protone e l’elettrone; l’antineutrino è invece “antiparticella”. A conti fatti, il numero totale si conserva poiché $1 = 1 + 1 - 1$. Insomma, pare che si conservi tutto. Cos’è cambiato?

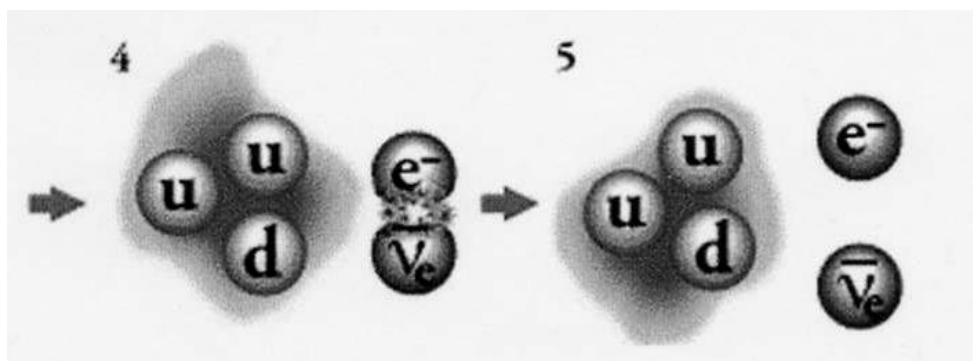
Dobbiamo vederlo nella struttura interna del neutrone e del protone. Ricordiamo, infatti, che essi sono composti di quark, che sono le “vere” particelle elementari.



1) Il neutrone di partenza è composto di un quark *up* e due quark *down*.

2) Uno dei quark *down* si trasforma in *up*. Dato che il *down* ha carica elettrica -1/3, e l'*up* +2/3, occorre che in questa trasformazione venga emessa una particella virtuale che porti via una carica -1.

3) Chiamiamo questa particella W⁻. Perché è virtuale? Perché la sua massa è oltre 80 volte quella del neutrone, e quindi bisogna prendere a prestito energia dal vuoto. Ma, per obbedire al Principio d'Indeterminazione, l'energia dev'essere restituita in tempi brevissimi, e quindi W⁻ non è stabile.



4) La particella W svanisce nel nulla, ma siccome stava portando: a) carica elettrica, b) energia in eccesso, non può sparire e basta. Utilizzando parte dell'energia in eccesso genera:

5) un elettrone reale che si porta via la carica, ma non basta ancora. Siccome la trasformazione di quark ha lasciato inalterato il numero di particelle, ma la generazione dell'elettrone ha aumentato di uno il numero di particelle, bisogna che si generi anche un'antiparticella priva di qualsiasi carica, che conservi il numero totale di particelle – antiparticelle. È per l'appunto l'antineutrino.

Pensiamo ora alla particella (è un bosone, poiché ha spin 1 come il fotone) W . La possiamo considerare come il mediatore dell'interazione debole. In questo caso, si capisce meglio la differenza tra “forza” e “interazione” e come sia più appropriato il secondo termine: l'interazione debole non si occupa di “tenere assieme” le cose, quanto piuttosto di “trasformarle l'una nell'altra”. E, così come esiste il bosone W , esiste anche il W^+ che, anziché scambiare carica negativa, scambia quella positiva.

Se però vogliamo vedere anche l'interazione debole come “forza” in senso stretto, dobbiamo introdurre un nuovo bosone, lo Z^0 che non porta carica elettrica, ma solo “carica debole”. A parte che la sua massa è altissima, circa 95 volte quella del protone, per il resto si comporta come un “fotone pesante”. Supponiamo, infatti, che un protone e un neutrino si avvicinino moltissimo. Il neutrino non ha carica elettrica, e quindi non subisce l'influenza del protone. Ma entrambi sono sensibili alla “carica debole”. Allora, può succedere che, se sono vicinissimi, uno Z^0 virtuale sorga improvvisamente dal vuoto e “passi una spinta” tra il protone e il neutrino, esattamente come, nei normali diagrammi di Feynman, un fotone virtuale “passa la spinta” tra due elettroni. In conseguenza, le traiettorie del protone e del neutrino finiscono per essere deviate. Ecco l'aspetto “forza in senso stretto” dell'interazione debole.

C'è però un fatto importantissimo da considerare: il percorso di un bosone virtuale W o Z è brevissimo, mentre quello di un fotone virtuale può tendere all'infinito, via via che la sua energia tende a zero. Infatti, affinché sia rispettato il PdI, ed essendo l'energia di un bosone W o Z pari almeno alla massa di riposo moltiplicata per c^2 , il tempo di vita di un bosone del genere non supera 10^{-28} s, e la massima distanza che l'interazione debole può coprire è circa 10^{-18} cm. Meno di un millesimo del raggio di un protone. Dunque, si comprende perché l'interazione debole scatti così di rado: la massa della particella mediatrice è così grande che, per potersela scambiare, due particelle debbono avvicinarsi enormemente. Non è che l'interazione sia “debole” in sé; è però raro che possa scattare. In effetti, non c'è accordo totale tra i fisici su come convenga considerare la “forza intrinseca” dell'interazione debole. Prendendo come base quella elettromagnetica, il cui valore intrinseco è $1/137$, quella debole viene data, a seconda dei punti di vista, $1/30$ oppure 10^{-15} . Ma si tratta piuttosto di un problema di nomenclatura. La prossima volta dovremo vedere altre caratteristiche dell'interazione debole; le cose non finiscono qui.