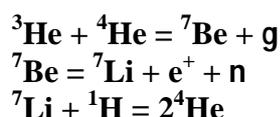
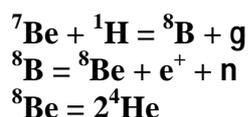


Alla caccia dei neutrini solari (09/12/09)

I neutrini che si generano nella reazione protone – protone sono di energia piuttosto bassa, e nessun rivelatore di neutrini, fino a pochissimi anni fa, poteva sperare di individuarli. Infatti, la probabilità che un neutrino subisca una reazione facendo scattare l'interazione Debole, è tanto maggiore quanto maggiore è la sua energia, e per questo motivo ci vorrà ancora un po' di tempo – qualche secolo – prima di riuscire a catturare i neutrini emessi durante il Big Bang. Ma, a margine della catena **p-p**, si svolgono nel sole reazioni del tutto secondarie, il cui contributo energetico è praticamente nullo (molto meno di quel 2% dovuto al CNO e che vedremo più avanti), che però generano neutrini di energia molto elevata, tali da pensare, già alla fine degli anni '60, alla possibilità di rivelarli. I due cicli di reazione che c'interessano sono i seguenti:



e una parte del ${}^7\text{Be}$, prima di decadere spontaneamente (ha una vita media di 53 giorni), può fare in tempo a reagire con un protone formando il Boro 8:



In entrambi i casi d'interesse, la produzione di un neutrino di alta energia avviene attraverso il decadimento spontaneo di un elemento radioattivo, e cioè per il tramite dell'interazione Debole. Nel primo, il Berillio con 4 protoni e 3 neutroni, emettendo un elettrone positivo e un neutrino, si trasforma nel più stabile Litio con 3 protoni e 4 neutroni. Nel secondo, il Boro con 5 protoni e 3 neutroni si trasforma, sempre con lo stesso meccanismo, in Berillio con 4 protoni e 4 neutroni. In ogni caso, anche questi due brevi cicli di reazione finiscono col produrre ${}^4\text{He}$, ma i neutrini generati sono di alta energia e, fuggendo via dal sole, possono interagire con “qualcosa” sulla terra.

Breve inciso: In realtà, anziché l'emissione di un elettrone positivo, si ha il più semplice e prosaico assorbimento di un normale elettrone negativo, ma dal punto di vista formale è più corretto scrivere le reazioni come ho fatto sopra, perché sono un po' più complicate, comportano l'emissione e l'assorbimento del mesone W che è il mediatore dell'interazione Debole, e è meglio che lasciamo le cose a questo livello.

Dopo essersi consultato con John Bahcall, pioniere della costruzione di modelli solari di precisione, Raymond Davis decise di costruire un grandioso esperimento nella miniera di Homestake, nel Sud Dakota, a mille metri di profondità per schermare l'apparato dall'influenza dei raggi cosmici. Vi fu portato un contenitore da 380.000 litri riempito poi di Percloroetilene purissimo (un pulitore a secco di grande efficacia: un litro sbianca 160 kg di biancheria). Il liquido è ricco di ${}^{37}\text{Cl}$ il quale, catturando un neutrino, si può trasformare in ${}^{37}\text{Ar}$ che è radioattivo, con una vita media di 35 giorni. Poiché, durante la trasformazione, la molecola del Percloroetilene si spezza, l'Argon così prodotto si accumula verso la cima del contenitore, dove c'è una valvola di scarico. Circa una volta al mese, si fa circolare attraverso il liquido dell'Elio gassoso il quale, se necessario, si porta via eventuali atomi di Argon che non fossero defluiti, e quindi si fa degassare la cisterna misurando la radioattività del gas che ne esce. Questa è proporzionale al numero di atomi di Argon (qualche centinaio per volta) e, quindi, al numero d'interazioni tra il Cloro e i neutrini solari.

L'esperimento venne continuato dal 1969 al 1973, ma già fin dall'inizio fu chiaro che i neutrini mancavano. Venivano misurati circa un terzo dei neutrini attesi, e tutti i modellisti solari (me compreso, perché allora costruivo i miei primi modelli) furono subito convinti che ci doveva essere

qualcosa di sbagliato nell'esperimento, o nell'interpretazione dei suoi risultati, perché, per il resto, l'evoluzione stellare veniva riprodotta troppo bene dai modelli, e quindi questi ultimi dovevano essere giusti. Non la pensava così John Bahcall il quale, pur di dimostrare che il suo amico Davis aveva ragione, inventò le cose più pazze. Ma nessuno lo prese sul serio.

Oggi sappiamo che il neutrino "oscilla" fra tre forme diverse: quello "elettronico", quello "muonico" e quello "tauonico". Per spiegare il concetto, ricordiamo che esistono in natura tre diverse famiglie di particelle elementari, e di queste ultime, quelle che si presentano nella materia normale appartengono tutte alla terza famiglia, composta dai due quark "up" e "down", dall'elettrone, e dal neutrino che si accompagna all'elettrone stesso. Le particelle delle altre due famiglie possono essere create (oggi; durante il Big Bang era diverso) solo negli acceleratori e, appena formate, decadono rapidamente nelle particelle della prima famiglia. In particolare, l'elettrone ha un proprio "partner" più massiccio chiamato "muone" che decade in un elettrone in un milionesimo di secondo circa, e uno ancora più massiccio (il "tauone") che finisce pure lui in elettrone con la stessa velocità. Associati a questi due elettroni "gonfiati", ci sono altri due neutrini i quali, per un principio di simmetria esistente in natura, possono interagire solo con particelle della loro famiglia. Dunque, i neutrini emessi dal sole potrebbero, in teoria, entrare in reazioni nucleari solo con particelle della terza famiglia. Ma, se i neutrini oscillano tra le tre forme, qualunque sia la loro provenienza, in media solo un terzo possono reagire nuclearmente con la materia ordinaria. Questo è appunto ciò che succedeva nell'esperimento di Davis ma, all'epoca, si riteneva che i neutrini fossero del tutto privi di massa e, come conseguenza, non potessero trasformarsi da un tipo all'altro. Ci sono voluti trent'anni per rimettere le cose a posto (Davis ebbe il Nobel nel 2002, quando il morbo di Alzheimer già se lo portava via peggio di me) e, oggi, i rivelatori dell'esperimento Superkamiokande, in una miniera Giapponese, sfruttano semplicemente gli urti elastici dei neutrini per produrre effetto Cerenkov e, quindi, luce. Siccome tutti e tre i tipi di neutrino possono semplicemente "sbattere", e il lampo di luce indica la loro provenienza, i moderni telescopi a neutrini esaminano direttamente il centro del sole, e trovano tutti i neutrini che noi modellisti già calcolavamo 40 anni fa. Dunque, questa storia è una bella illustrazione del motto:

***"Non permettere mai che gli esperimenti
(fondati sull'illusione dei sensi)
contraddicano ciò che afferma la teoria
(basata sulla retta ragione)"***

Suppongo che Platone, e in parte Aristotele, sarebbero stati d'accordo. Non Galileo, però, ma quello è stato giustamente condannato...