

Alessio Mangoni

**I
misteriosi
neutrini**

Alessio Mangoni

I MISTERIOSI NEUTRINI

Indice dei contenuti

Introduzione

I misteriosi neutrini

Note

Introduzione

Il neutrino è una di quelle particelle di cui si sente parlare spesso in modo particolare. Viene descritta come una particella elementare puntiforme con una massa piccolissima quasi nulla che interagisce molto poco con la materia che incontra. In queste pagine si cerca di fare chiarezza su questa particella un pò speciale, svelando curiosità e dettagli sul mondo dei neutrini.

I misteriosi neutrini

Il neutrino è una particella elementare che può essere considerata un pò speciale. Ad esempio può interagire con altre particelle solo attraverso due delle quattro forze fondamentali. Una di queste è quella gravitazionale che però, in fisica delle particelle, è del tutto trascurabile. L'altra è la forza nucleare debole, responsabile dei decadimenti radioattivi. Di neutrini ne esistono tre

specie, infatti vengono prodotti sempre assieme ad un'altra particella che li accompagna. Fanno parte della famiglia di particelle dette leptoni e i doppietti sono: elettrone e neutrino elettronico, muone e neutrino muonico, tauone e neutrino tauonico. Queste sei particelle sono elementari, cioè non costituite da altre particelle, e saturano, assieme alle loro corrispondenti antiparticelle, la famiglia dei leptoni. Tramite interazione nucleare debole vengono

prodotti doppietti di leptoni, così come sono stati accoppiati precedentemente. Tra le loro caratteristiche possiamo dire che sono, al limite, puntiformi, non possiedono carica elettrica in modo da non interagire elettromagneticamente e hanno una massa piccolissima. Per molti anni si è pensato avessero massa nulla, come ad esempio il fotone, il mediatore della forza elettromagnetica. Ultimamente si è scoperto che non hanno massa nulla, ma si è riusciti a

porre dei valori limiti sul valore delle loro masse. Per avere un'idea, si consideri un atomo, costituito da un nucleo di neutroni e protoni, con gli elettroni che orbitano intorno.

L'elettrone, particella elementare e uno dei leptoni, ha massa di circa $0.5 \text{ MeV}/c^2$, mentre protoni e neutroni di circa $1000 \text{ MeV}/c^2$. Per fare un confronto il limite superiore alla massa del neutrino elettronico è di circa $3 \text{ eV}/c^2$ cioè $0.000003 \text{ MeV}/c^2$.

$$m_e \simeq 0.5 \text{ MeV}/c^2, \quad m_p \simeq m_n \simeq 938 \text{ MeV}/c^2$$

Il rapporto tra la massa dell'elettrone e il valore superiore di quella del neutrino elettronico è di circa 170000. I neutrini non subiscono la forza elettromagnetica, come già accennato, né quella nucleare forte, che agisce su particelle dotate di carica di colore. Le particelle elementari di materia vengono divise in due parti: i leptoni, già elencati, e i quark. I quark hanno tutti carica di colore e carica elettrica,

quindi tutte le particelle formate da quark, dette adroni, subiranno la forza elettromagnetica e quella nucleare forte, oltre che la forza nucleare debole. I leptoni non hanno carica di colore, ma tre di loro, elettrone, muone e tauone, hanno carica elettrica.

Un'altra peculiarità dei neutrini è quella di interagire molto poco con la materia che incontrano. Questo perché, di fatto, interagiscono solo tramite interazione debole e per di più quest'ultima ha un'intensità di almeno

quattro ordini di grandezza inferiore a quella elettromagnetica. I neutrini, spesso prodotti in grandissime quantità nei processi astrofisici nello spazio, attraversano stelle e pianeti, tra cui la Terra, interagendo pochissimo.

Vengono prodotti nei decadimenti radioattivi e anche dal nostro corpo, infatti anche noi possediamo una piccola frazione di atomi radioattivi dovuti, ad esempio, alla presenza del carbonio o del potassio, che sono presenti in natura con diversi isotopi,

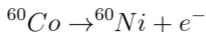
alcuni dei quali radioattivi. I neutrini vengono prodotti anche nelle centrali nucleari o negli acceleratori di particelle, dove si fanno scontrare, ad alta energia, le particelle, per cercare di produrne di nuove. I primi neutrini derivano dal Big Bang che ne ha prodotti così tanti che ancora oggi, dopo circa quindici miliardi di anni, ce ne sono ancora molti presenti in ogni parte dell'Universo. Per rimanere vicini al pianeta Terra, il Sole produce, ogni secondo, un numero

enorme di neutrini. Questo è dell'ordine di un uno seguito da trentotto zeri, che in notazione scientifica si scrive come 10^{38} . Molti di questi, dell'ordine dei cinquanta miliardi, raggiungono la Terra ogni secondo, viaggiando pressoché alla velocità della luce. L'esistenza del neutrino fu ipotizzata dallo scienziato Pauli che ebbe l'idea nel risolvere il problema del decadimento del cobalto-60, un isotopo radioattivo del cobalto. Si

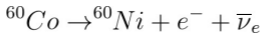
osservava che dal decadimento di questo radionuclide si producevano un elettrone e un nucleo di nichel-60.

Effettuando alcuni calcoli sulla conservazione dell'energia si può immediatamente dedurre che tutti gli elettroni prodotti devono avere pressappoco la stessa energia, legata alla differenza delle masse di cobalto-60 e nichel-60. In questo caso si dice che lo spettro di emissione degli elettroni presenta una riga verticale. Sperimentalmente però questo non

accadeva, in realtà lo spettro era continuo, come se gli elettroni prodotti potessero avere tutte le energie che volevano entro un certo intervallo abbastanza vasto. Questo non era affatto compatibile con un decadimento a due corpi, cioè cobalto-60 che decade in nichel-60 più un elettrone



e quindi era necessaria la produzione di una terza particella nello stato finale, in modo che il decadimento corretto diventi cobalto-60 che decade in nichel-60 più un elettrone più un neutrino



In questo caso, per essere precisi, si tratta di un antineutrino elettronico. Quando si crea un doppietto di leptoni

(leptone più neutrino corrispondente) uno dei due è un'antiparticella, ad esempio elettrone più antineutrino elettronico oppure positrone (che sarebbe un antielettrone) più un neutrino elettronico. L'ipotesi di Pauli sulla presenza di una terza particella nei decadimenti radioattivi che producevano raggi beta (emissione di elettroni), fu supportata da Enrico Fermi il quale elaborò una teoria fisica, detta delle interazioni deboli, che inglobava la presenza della

particella nuova, nominata appunto neutrino dallo stesso Fermi, per via della sua piccola massa, al limite nulla. Questa teoria fu elaborata nel 1934 e prevedeva, all'atto del decadimento di nuclei radioattivi, la comparsa di altri nuclei con la conseguente emissione di elettroni (raggi beta) e neutrini. Questa teoria spiegava il fatto sperimentale che i raggi beta avessero una distribuzione continua di velocità. Più quantitativamente se un nucleo A

decade in due soli corpi, diciamo B e C, nel sistema di riferimento inerziale del nucleo A le due particelle vengono emesse con un angolo di 180 gradi l'una rispetto all'altra. Se la particella B ha una massa molto più grande di quella di C allora l'energia disponibile prima della disintegrazione (in pratica l'energia di massa del nucleo A) viene convertita in massa della particella B che viene prodotta quasi ferma e la restante parte va in massa e energia cinetica della

particella C. In questo caso l'energia cinetica a disposizione di C è fissata per ogni decadimento e di pari passo a che la sua velocità che è calcolabile numericamente e costante. Dunque ci si aspetta che tutti gli elettroni emessi dai decadimenti di vari nuclei identici abbiano pressappoco la stessa velocità. Sperimentalmente invece erano prodotti elettroni di tutte le velocità variabili in un largo intervallo. Trattando matematicamente un decadimento a tre corpi, diciamo A

che decade in B, C e D, si può spiegare questo fenomeno, infatti l'energia che prima era a disposizione solo per l'energia cinetica di C va ora ripartita tra C e D. In questo esempio C fa le veci dell'elettrone, mentre D quelle del neutrino. Questa ripartizione segue una certa distribuzione e è di volta in volta diversa. La teoria di Fermi prevede una distribuzione in ottimo accordo con i dati sperimentali ed è tutt'ora usata per alcuni calcoli di quantità inerenti i decadimenti dei

nuclei. In un linguaggio moderno, in teoria quantistica dei campi, l'interazione di un neutrino con la materia è mediata da particelle specifiche, in particolare dai bosoni Z^0 , W^+ e W^- . La prima di queste particelle non ha carica elettrica, mentre la seconda e la terza hanno, rispettivamente, carica elettrica positiva e negativa. I bosoni Z^0 , W^+ e W^- sono i mediatori dell'interazione debole, in modo analogo a come il fotone è il mediatore dell'interazione

elettromagnetica, il glume di quella forte e l'ipotetico gravitone di quella gravitazionale. Quando c'è mediazione da parte dei bosoni W^+ e W^- si parla di correnti cariche e si ha la creazione del leptone corrispondente al neutrino, ad esempio nella processo di scattering che prevede l'interazione tra un elettrone e un antineutrino elettronico si può creare un muone e un antineutrino muonico per via della mediazione del W^- .

$$\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-$$

Un altro esempio, mediato dal bosone W^+ , è quello che prevede la creazione di un muone e un neutrino elettronico a partire da un elettrone e un neutrino muonico.

$$\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_e + \mu^-$$

Esistono anche le correnti neutre, la cui scoperta sperimentale risale al 1973, che sono mediate dal bosone neutro Z^0 . In questi processi tuttavia il neutrino si presenta uguale nello stato

iniziale così come in quello finale. Un esempio è rappresentato dal processo in cui un elettrone e neutrino muonico interagiscono e nello stato finale sono presenti sempre un elettrone e neutrino muonico.

$$e^{-} + \nu_{\mu} \rightarrow e^{-} + \nu_{\mu}$$

All'inizio, intorno al 1934, la teoria di Fermi dava risultati in ottimo accordo con i dati disponibili, ma mancava la verifica sperimentale

dell'esistenza dei neutrini. Ci vollero più di vent'anni per ottenere la tanto attesa verifica sperimentale dell'esistenza del neutrino elettronico (o meglio, dell'antineutrino elettronico), grazie all'esperimento di Reines e Cowan del 1956. L'idea dell'esperimento prevedeva l'interazione di un antineutrino elettronico con un protone per produrre un neutrone e un positrone, quest'ultimo a sua volta si sarebbe annichilato con un elettrone con la

conseguente emissione di due fotoni ad alta energia (raggi gamma).

Successivamente il neutrone prodotto interagirebbe con un nucleo emettendo un ulteriore fotone. Per poter mettere in atto l'esperimento servivano una sorgente di antineutrini elettronici e del materiale ad alto contenuto di protoni come bersaglio dei neutrini. La sorgente usata fu un reattore nucleare che poteva produrre una quantità enorme di neutrini, con un flusso dell'ordine delle decine di migliaia di

miliardi di neutrini al secondo per centimetro quadrato. Come materiale con alto contenuto di protoni si scelse l'acqua, con l'aggiunta di cadmio sotto forma di cloruro di cadmio, per poter assorbire i neutroni prodotti ed emettere raggi gamma. La scoperta del neutrino muonico avvenne invece nel 1962, ad opera di Schwartz, Lederman e Steinberger che vinsero il premio Nobel per la loro ricerca. Come già anticipato, ci sono in tutto tre famiglie di neutrini: elettronico, associato

all'elettrone, muonico, associato al muone e tauonico, associato al tauone. I dati sperimentali raccolti finora indicano che le famiglie sono esattamente tre e dunque non ci si aspetta un quarto tipo di neutrino. La scoperta del neutrino tauonico è stata annunciata nel 2000 e si tratta quindi di una scoperta abbastanza recente. Un'altra verifica sperimentale recente è stata quella delle oscillazioni di neutrino, predette nel 1957 da Bruno Pontecorvo. Queste oscillazioni sono

un fenomeno quantistico che prevede che un neutrino inizialmente elettronico cambi in muonico o tauonico durante la sua propagazione. Questo cambiamento è periodico se il neutrino si propaga nel vuoto e può essere descritto matematicamente dalla teoria, inoltre questo fenomeno può avvenire solo se la massa dei neutrini è non nulla. Nel 2015 il premio Nobel per la Fisica viene assegnato a Takaaki Kajita e Arthur McDonald che hanno verificato l'oscillazione dei

neutrini e che quindi hanno mostrato che la loro massa, pur essendo piccolissima, non può essere nulla. In pratica il Sole è una sorgente di neutrini elettronici per via delle reazioni nucleari che avvengono al suo interno e si può calcolare il numero di neutrini attesi al secondo sulla Terra. Gli esperimenti mostravano che solo una parte dei neutrini elettronici attesi raggiungeva effettivamente la Terra, cioè circa la metà o un terzo. Grazie al fenomeno delle oscillazioni parte dei

neutrini elettronici si era trasformato in un altro tipo di neutrino all'arrivo sulla Terra e questo risultato è stato ottenuto grazie al lavoro dei premi Nobel Kajita e McDonald.

Note

I misteriosi neutrini

Autore: dott. Alessio Mangoni, fisico teorico.

Sito web: www.alessiomangoni.it

©2017. Tutti i diritti riservati.