

Un argomento obbligato (05/10/11)

Non sarebbe stato possibile iniziare quest'anno salottiero senza parlare dei neutrini più veloci della luce, e allora parliamone. Prima occorre ricordare qualcosa sul neutrino, e sull'interazione Debole per mezzo della quale questa particella, ancora piuttosto enigmatica, riesce a far sentire la sua presenza nel cosmo. Una presenza importante perché, tanto per ricordarne una, i neutrini sono ingredienti decisivi nella generazione dell'energia delle stelle.

La massa del neutrino è così piccola, che gli esperimenti non sono ancora stati in grado di misurarla. Di sicuro sappiamo solo che si aggira attorno a qualche decimilionesimo di quella dell'elettrone. Eppure, basta così poco a far cadere l'edificio del Modello Standard, all'interno del quale non c'è posto per una massa del neutrino diversa da zero.

L'interazione Debole, a differenza di tutte le altre, non ha "cariche" in senso stretto, ma piuttosto "costanti di accoppiamento". Vale a dire: questa particella interagisce con quest'altra con una certa probabilità, con quell'altra ancora con una probabilità maggiore o minore, e così via. Questo è il motivo per cui non esiste una definizione univoca di "intensità assoluta" per l'interazione Debole, a differenza di quanto si può fare per quella Elettromagnetica ($1/137$), per quella Forte (≈ 1) e per quella Gravitazionale (10^{-40}). Infatti, nei libri si trovano valori che spaziano da $1/10$ a 10^{-5} . Il punto è il seguente: l'interazione Debole, o scatta, e allora non c'è scampo, o non scatta. Mi spiego con un esempio che s'incontra spesso: si dice che per fermare un neutrino occorrerebbe uno spessore di piombo lungo quanto il Sistema solare. Vero, ma cosa succederebbe se sparassimo un fascio di neutrini su questo spessore? Che la metà lo attraverserebbero senza nemmeno accorgersene, l'altra metà ne sarebbe catturata e darebbe luogo a reazioni nucleari. Il punto che conta è il seguente: la prima metà, quella che passa, *non sarebbe minimamente rallentata*. Non si può rallentare un neutrino e non lo si può accelerare. Lo si può solo generare con una certa energia (velocità) oppure catturare e distruggere ma, finché campa, il neutrino sfugge a ogni possibilità di rilevazione, e questo rende la fisica del neutrino così difficile da studiare.

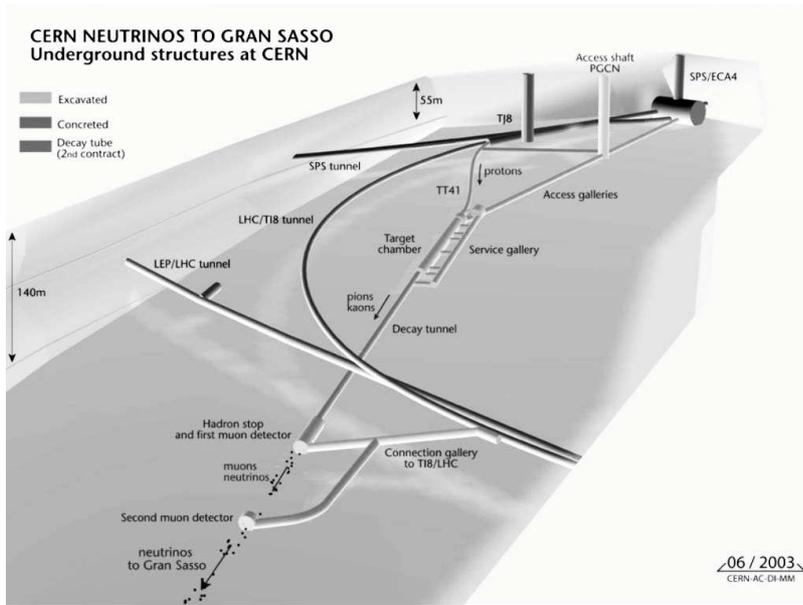
E siamo all'esperimento OPERA, nel tunnel del Gran Sasso. Come si misura una velocità, specie sapendo che quella del neutrino è assolutamente costante da quando è generato a quando è catturato? Si misura come il banalissimo rapporto tra la distanza percorsa e il tempo necessario a percorrerla. Di conseguenza, basta conoscere la distanza esatta tra il punto di produzione e quello di cattura, e la distanza temporale tra questi due eventi.

Diciamo subito che un insieme di misure GPS ha condotto a conoscere la distanza tra la struttura del CERN di Ginevra dove sono prodotti i neutrini, e il rivelatore nel tunnel del Gran Sasso, con un'incertezza inferiore a 20 cm. Molto inferiore a quella necessaria a spiegare perché i neutrini sembrano viaggiare più velocemente di c . Dunque, un eventuale errore (o, più semplicemente, correzione) di misura non va cercato nella posizione relativa delle apparecchiature.

Analogamente per i tempi. Vale a dire che gli orologi usati in questi esperimenti sono così precisi che non vale la pena di mettere in dubbio le loro misurazioni.

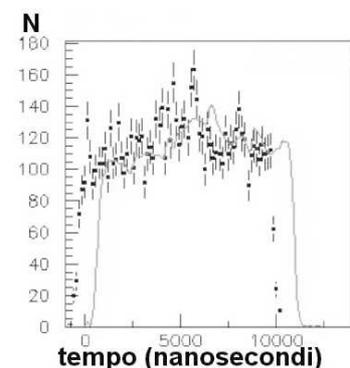
Allora, è vero che i neutrini viaggiano più veloci di c ? Non lo sappiamo. Cerco di spiegarmi. Il nocciolo del problema è che non esiste una "lampadina a neutrini" o, se preferite, un "generatore di neutrini focalizzati" che, acceso in un punto ben stabilito, possa inviare un fascio focalizzato di neutrini in una certa direzione. Piuttosto, esiste un insieme di apparecchiature, di lunghezza totale considerevole, che, agendo tutte assieme, possono riuscire a produrre il famoso fascio di neutrini abbastanza focalizzato da essere spedito, dal CERN e attraversando la crosta terrestre, verso il rivelatore dell'esperimento OPERA, a 730 km di distanza. La maggior parte dei dubbi sulla misura verte proprio su questo generatore di neutrini, che ora vi racconto come posso, tenuto conto che non sono uno specialista in questo genere di apparecchiature.

La figura nella pagina seguente illustra lo *strumento* in senso lato per mezzo del quale si spediscono i neutrini. Badate bene: *non è in scala*.



Tutto parte da protoni (“TT41” nella figura accanto) che sono stati accelerati a un’energia di 400 GeV in uno degli acceleratori ausiliari, e sono estratti per essere “sparati” contro un cilindro di grafite lungo 2 m (“Target chamber”). Qui si produce un fascio di pioni molto ben collimati, assieme a un po’ di kaoni, e questi finiscono in un tunnel lungo 1 km, nel quale queste particelle altamente instabili si disintegrano in muoni con neutrini muonici, ed elettroni con neutrini elettronici. Il fascio è sempre molto collimato, perché la collimazione del fascio iniziale era buona. Poi,

eventuali particelle residue – a parte i neutrini – sono bloccate dall’“Hadron stop” e dal “Second muon detector”, e quindi restano solo i “neutrinos to Gran Sasso”. L’apparecchiatura funziona molto bene, ma esiste un’incertezza a monte: la struttura del pacchetto iniziale di protoni. Infatti, il pacchetto non è un “punto” e non ha una struttura ben precisa, ma solo probabilistica: come sono distribuiti i protoni lungo il pacchetto? La loro distribuzione varia di volta in volta, e non è conoscibile con precisione, almeno con l’attuale esperimento. Dunque, tutto ciò che si può fare è procedere per mezzo di simulazioni “ragionevoli” al computer della *struttura media dei pacchetti*, e confrontare queste simulazioni con i tempi di arrivo osservati per i neutrini. E qui nasce il busillis. La figura accanto, mostra sull’asse verticale il numero N dei neutrini ricevuti, e sull’asse orizzontale il momento esatto in cui sono stati rivelati. La curva in grigio chiaro è la simulazione di quello che ci si aspetterebbe dal fascio iniziale di protoni. Come vedete, per avere un accordo totale tra simulazione e osservazione dei neutrini, sarebbe necessario spostare un po’ a sinistra la curva teorica, e la piccola differenza nei tempi “previsto – osservato” è proprio quella che, trasformata in rapporto distanza/tempo, fornisce un risultato di pochissimo superiore a c .



Ci crediamo? Le risposte variano a seconda delle opinioni personali. Ma ci sono solo due criteri scientifici che possono essere seguiti:

- 1) Cercare di capire meglio cosa succede nel pacchetto di protoni inviati a produrre neutrini;
- 2) Ripetere altrove la misura con altri metodi sperimentali.

Ovviamente, il gruppo di ricercatori di OPERA è convinto di aver fatto del proprio meglio per simulare i pacchetti di protoni, ma la certezza non è assoluta. Continueranno a lavorarci sopra.

L’esperimento MINOS, negli USA, aveva già trovato qualcosa del genere, ma la statistica era assolutamente insufficiente per poter giungere a qualsiasi conclusione. Adesso hanno ricominciato ad analizzare in dettaglio i vecchi risultati, e a prendere nuove misure, più precise. Nel giro di un anno, forse, potrebbero esserci risultati indipendenti da OPERA.

Ma i neutrini della supernova 1987a si sono comportati come se viaggiassero a $v = c$ mentre, se i risultati di OPERA fossero corretti, sarebbero dovuti arrivare tre o quattro anni prima della luce che è giunta dalla supernova. Come la mettiamo? Ovviamente, non si può escludere che conti molto l’energia: quelli di SN1987a sono arrivati con tre ore di anticipo sulla luce; ciò può essere dovuto al fatto che la loro energia era molto minore rispetto a quelli di OPERA, oppure la luce era ancora intrappolata nel nucleo della stella, e ci sono volute tre ore perché si liberasse. Chissà?