

I neutrini

¹Ferdinando Casolaro, ²Alberto Trotta

¹ Department of Economics and Business
University of Sannio, Benevento, Italy
fcasolar@unisannio.it
² L.S. "B. Rescigno"
Roccapiemonte (Sa)

Sunto

Nell'articolo viene fatta una rassegna sui neutrini e sul ruolo che essi hanno per la comprensione della natura, sia su scala microscopica, che su scala cosmica.

Parole Chiave: neutrino, massa, onde gravitazionali.

1. Introduzione

I neutrini sono tra le particelle elementari più misteriose e difficili da studiare a causa della loro debolissima attitudine ad interagire con la materia ordinaria. Il loro ruolo comunque è determinante per la comprensione della natura, sia su scala microscopica che su scala cosmica.

Queste affascinanti particelle contribuiscono probabilmente in maniera significativa alla massa dell'universo, e pertanto alla sua evoluzione.

Sul nostro pianeta arrivano enormi quantità di neutrini: quelli solari, emessi dalle reazioni nucleari che si verificano nella nostra stella e quelli atmosferici, prodotti dal decadimento di particelle instabili. Fra questi enunciamo i mesoni π e k (detti pioni e kaoni) e i leptoni μ (muoni), presenti negli sciami di particelle generati dall'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre. Ulteriori intensi getti di neutrini sono emessi ancora dalle esplosioni delle supernove.

Infatti il nucleo della stella, attraversando fasi successive di fusione sempre più rapidamente al mutare del combustibile (partendo dalla fusione dell'elio fino a quella del silicio), libera la stessa quantità di energia totale, ma a temperatura del nucleo superiore a circa 500 milioni di Kelvin. Le stelle hanno trovato un nuovo sistema molto più efficace per spendere il proprio capitale

energetico: passando vicino a nuclei atomici, i fotoni gamma di altissima energia (numerosi a questa temperatura) si trasformano in coppie di particelle ed antiparticelle costituite da elettroni e positroni. Le particelle, annichilandosi subito l'una con l'altra, producono in genere raggi gamma, ma a volte originano i neutrini. È noto che i neutrini interagiscono poco con la materia; pertanto quelli così prodotti sfuggono dalle stelle molto più facilmente di quanto non facciano i raggi gamma, sottraendo ad esse energia.

Al crescere della temperatura del nucleo, già dalla fase di fusione del carbonio, si ha che:

- la perdita di energia dovuta alla produzione di neutrini supera quella legata all'emissione di radiazione;
- durante le ultime fasi della sua evoluzione, la luminosità neutrinica cresce esponenzialmente trasformandosi in una emorragia energetica che affretta la fine della stella.

Per molto tempo si congetturò che i neutrini non avessero massa.

2. L'enigma della massa

Con i test ad alta precisione, effettuati con diverse macchine acceleratrici (dal CERN di Ginevra al Fermilab di Chicago) e con esperimenti condotti in laboratori sotterranei, i neutrini solari ed atmosferici hanno via via fornito prove che dimostrano che i neutrini hanno massa non nulla. L'evidenza è emersa dall'osservazione di fenomeni riconducibili alle oscillazioni di neutrini di specie diverse: un effetto quantistico ipotizzato negli anni cinquanta dal fisico italiano Bruno Pontecorvo. L'osservazione delle oscillazioni può verificarsi solo se i neutrini hanno masse non nulle e diverse fra loro ed in presenza di un'interazione in grado di mescolarne la specie.

3. La prova dell'oscillazione

La prova inconfutabile che il neutrino *muonico* dei raggi cosmici oscilla trasformandosi spontaneamente in neutrino *tau*, si potrà ottenere soltanto osservando la comparsa di quest'ultimo in un rivelatore partendo da una famiglia di neutrini *muonici* inizialmente priva di neutrini *tau*.

La distanza di volo dei neutrini e la loro energia devono essere ottimizzati con cura per poter osservare questo raro segnale, generato dalla piccolissima differenza di massa delle componenti dei neutrini in gioco.

L'oscillazione del neutrino si sviluppa secondo la propria caratteristica lunghezza d'onda. Questo fenomeno aumenta al crescere dell'energia dello stesso neutrino. La probabilità di oscillazione dipende dal rapporto tra la distanza percorsa e l'energia dei neutrini. Va evidenziato il fatto che la capacità di interazione tra un neutrino e la materia aumenta al crescere della sua energia. Per poter osservare il fenomeno bisogna pertanto disporre di intensi fasci di

neutrini *muonici* di energia sufficientemente alta, propagati su distanze sufficientemente lunghe. Per distanze dell'ordine del migliaio di chilometri l'energia ottimale del fascio si stima attorno ai 20 GeV. La verifica della trasformazione dei neutrini *muonici* in neutrini *tau* si ha osservando le tracce lasciate dalle interazioni nelle emulsioni fotografiche. Si è osservato che si hanno circa 14 interazioni del neutrino *tau* all'anno ogni 1000 tonnellate di rivelatore, contro 3000 interazioni di neutrino *muonico*, confermando che i neutrini hanno una massa diversa.

4. Prime analisi congiunte tra onde gravitazionali e neutrini ad alta energia

Nel 1918, Einstein ipotizzò l'esistenza della radiazione gravitazionale, un analogo della radiazione elettromagnetica. Accelerando particelle cariche come i protoni e gli elettroni, queste emettono onde elettromagnetiche; in maniera analoga le particelle di grande massa, che si muovono con accelerazione variabile, emettono onde gravitazionali ossia piccole <<grinze>> del campo gravitazionale che si propagano con la stessa velocità della luce. Nella teoria tutti gli oggetti che variano la propria accelerazione emettono onde gravitazionali, ma la gran parte dei corpi è tanto piccola e lenta, sicché la loro radiazione gravitazionale è insignificante.

Le pulsar binarie rappresentano un'eccezione di questa regola. Si è osservato che nelle interazioni tra due stelle di neutroni, via via che la loro distanza diminuisce, si farà più stretta la loro orbita e aumenterà l'emissione di onde gravitazionali.

Quando due stelle collidono, la loro temperatura si riscalda fino a raggiungere qualche miliardo di gradi kelvin. E' stato valutato che quasi tutta l'energia termica sarebbe emessa in termini di neutrini ed antineutrini analogamente a quanto avviene in una supernova. Un'osservazione fatta nel 1987 da J. Jeremy Goodman dalla Princeton University e da Arnon Dar del Technion e Shmuel Nussinov nell'università di Tel Aviv è che circa l'uno per mille dei neutrini e degli antineutrini emessi dal nucleo di una supernova durante il collasso si scontra e reciprocamente annichila producendo coppie di elettrone-positrone e raggi gamma.

L'astronomia, sta aprendo nuove frontiere per l'osservazione delle sorgenti astrofisiche più lontane, utilizzando differenti tipi di sonde come fotoni, protoni, neutrini, onde gravitazionali.

Questo inedito angolo d'osservazione può permettere di scoprire nuove sorgenti galattiche ed extra galattiche oggi invisibili all'astronomia convenzionale. Le potenziali sorgenti di onde gravitazionali e neutrini di alta energia ($E > 1$, TeV) devono avere un'intensa attività impulsiva oltre che essere estremamente energetiche. Per tali ragioni nei plausibili meccanismi di

emissione vengono incluse 2 classi di sorgenti. La prima classe è quella dei micro quasar che si ritiene siano sistemi stellari binari in cui un oggetto compatto accresce la propria massa catturando il materiale espulso dalla stella compagna, rimettendolo sotto forma di flussi relativistici associati ad intensi flash. Questi oggetti possono generare onde gravitazionali sia durante la fase di accrescimento che durante quella di espulsione, mentre i neutrini di alta energia sarebbero emessi durante l'espulsione dei getti.

L'altra promettente classe di sorgenti sono i gamma Ray Bursts (GRB). Si tratta di intensi flash di fotoni associati ad esplosioni altamente energetiche osservate in galassie estremamente distanti. Una delle sfide più recenti prevede un'analisi congiunta di onde gravitazionali e di neutrini e si è alla ricerca di elementi e di evidenze che dimostrino che le onde gravitazionali ed i neutrini di alta energia siano originati dalla stessa sorgente.

Bibliografia

Alberto Guglielmi - Paola R. Sasso (2006). "Dal CERN al Gran Sasso" *Le Scienze*, edizione italiana di *Scientific American* - n. 454, giugno 2006.

Alessandro Minotti (2011) "La fisica del neutrino" - Numero speciale - *Notte Europea dei Ricercatori* - Accastampato, settembre 2011.

Claudia Tomei - INFN – Roma - (2011) "Cuor di neutrino" - Numero speciale per la *Notte Europea dei Ricercatori* - Accastampato, settembre 2011.

Tsvi Piran (1997) "Stelle di neutroni binarie" - *Le scienze: quaderni dell'edizione italiana Scientific American* - n. 99, dicembre 1997.

Paolo Allievi, Gianfranco Genco, Alberto Trotta (2010) "L'insegnamento della fisica legato a problematiche di matematica Stabilità del Tokamak" – *Mathesis, National Congress-Livorno (Italy)* 2010.

Irene di Palma (2011) - *Max Planck, Institut fur gravitations physik, Hannover, "I Messageri dell'Universo"* - Accastampato, settembre 2011.

Jesùs Gòmez Gonzàles (1997), "La genesi delle pulsar" - *Le scienze - quaderni dell'edizione italiana di Scientific American* n. 99 dicembre 1997.

Paolo Allievi, Alberto Trotta (2007) "Concentrazione massima di fotoni e temperatura massima nella corona di una stella" - *Periodico di Matematiche* - numero 1, Gennaio-Marzo 2007 - Volume 1, Serie IX, Anno CXVII.