

Lezione Fermi 23

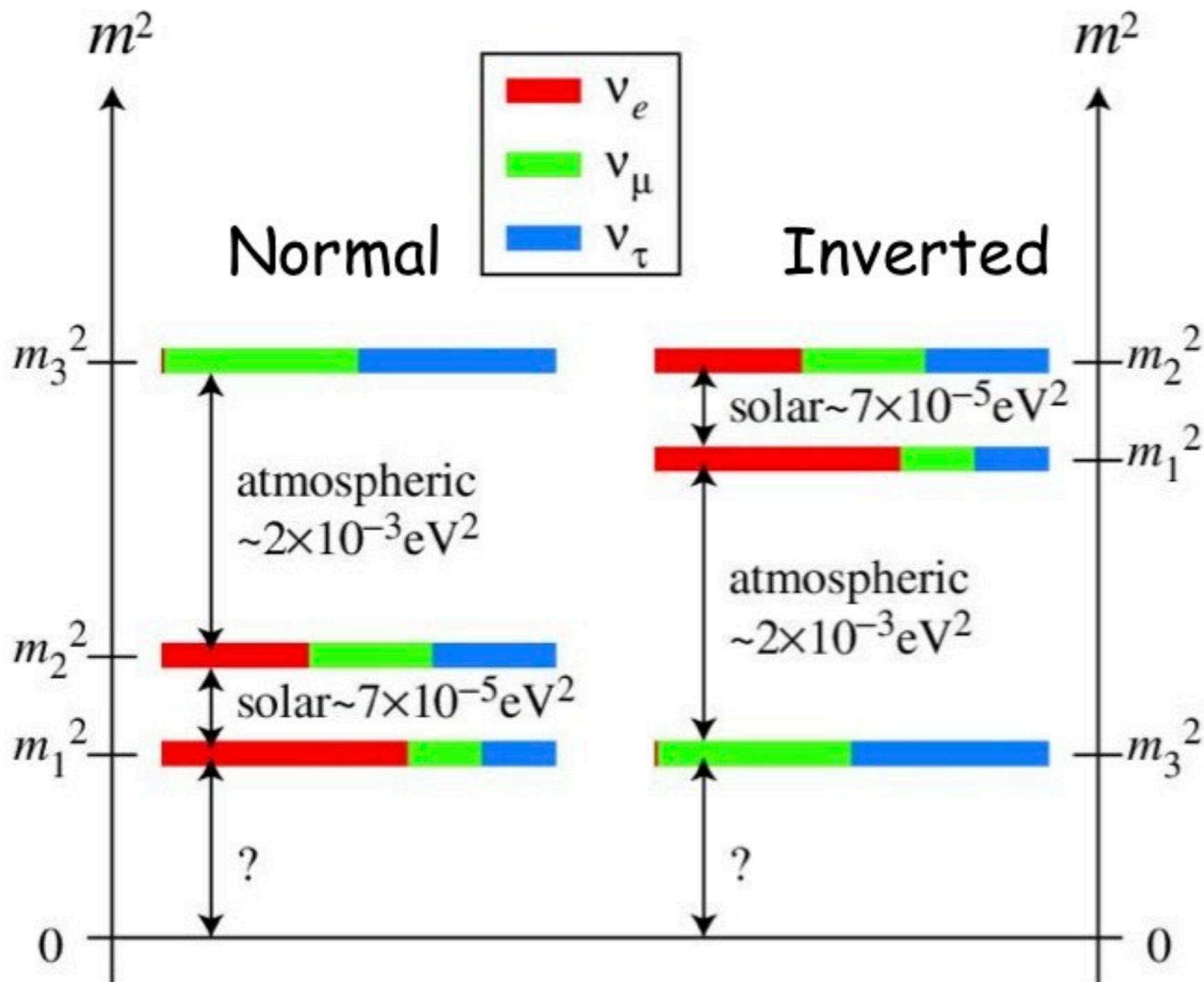
Luciano Maiani, AA 14-15

Neutrini del fondo cosmico

Sommario

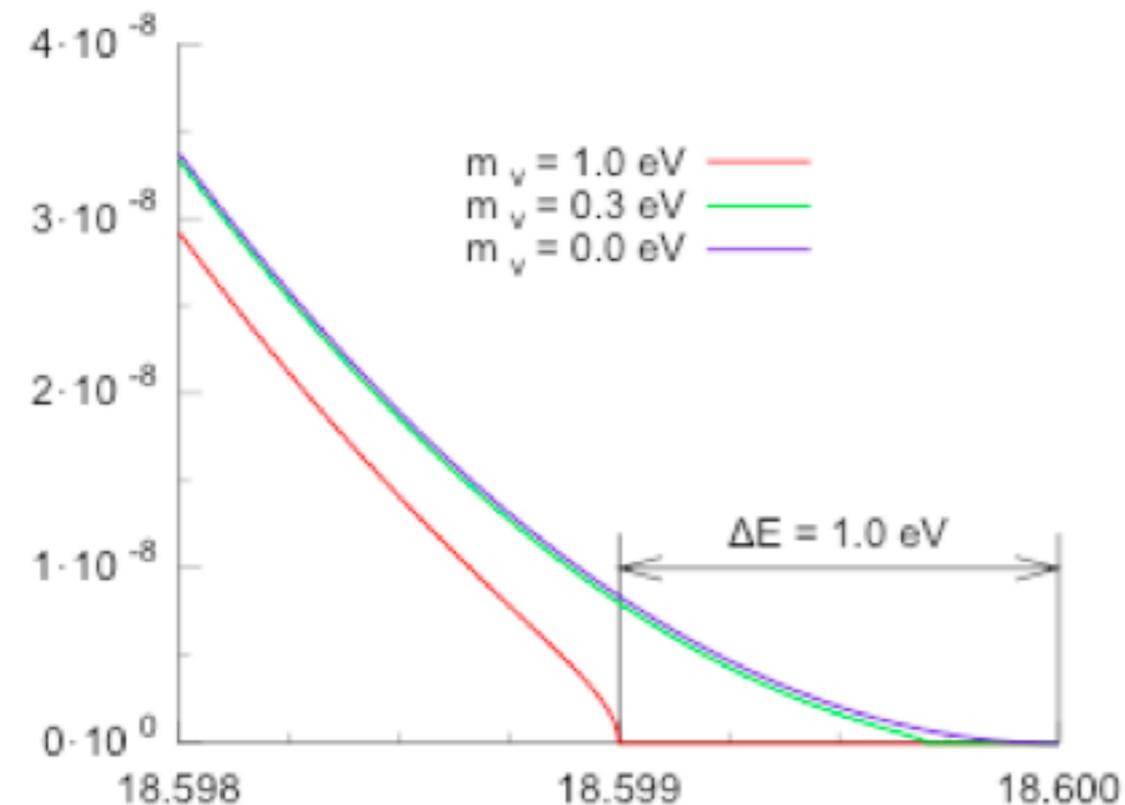
1. I neutrini che ci aspettiamo
2. CNB: il fondo di neutrini cosmici
3. CNB puo' stimolare un decadimento beta inverso
4. Quanto e' difficile?
5. Concludendo (due lezioni)

1. I neutrini che ci aspettiamo



La massa dei neutrini

- Limiti diretti dallo spettro degli elettroni nel decadimento beta
 - il metodo proposto da Fermi nel primo articolo sul decadimento beta
 - l'elemento più favorevole è il Trizio (vita media circa 13 anni)



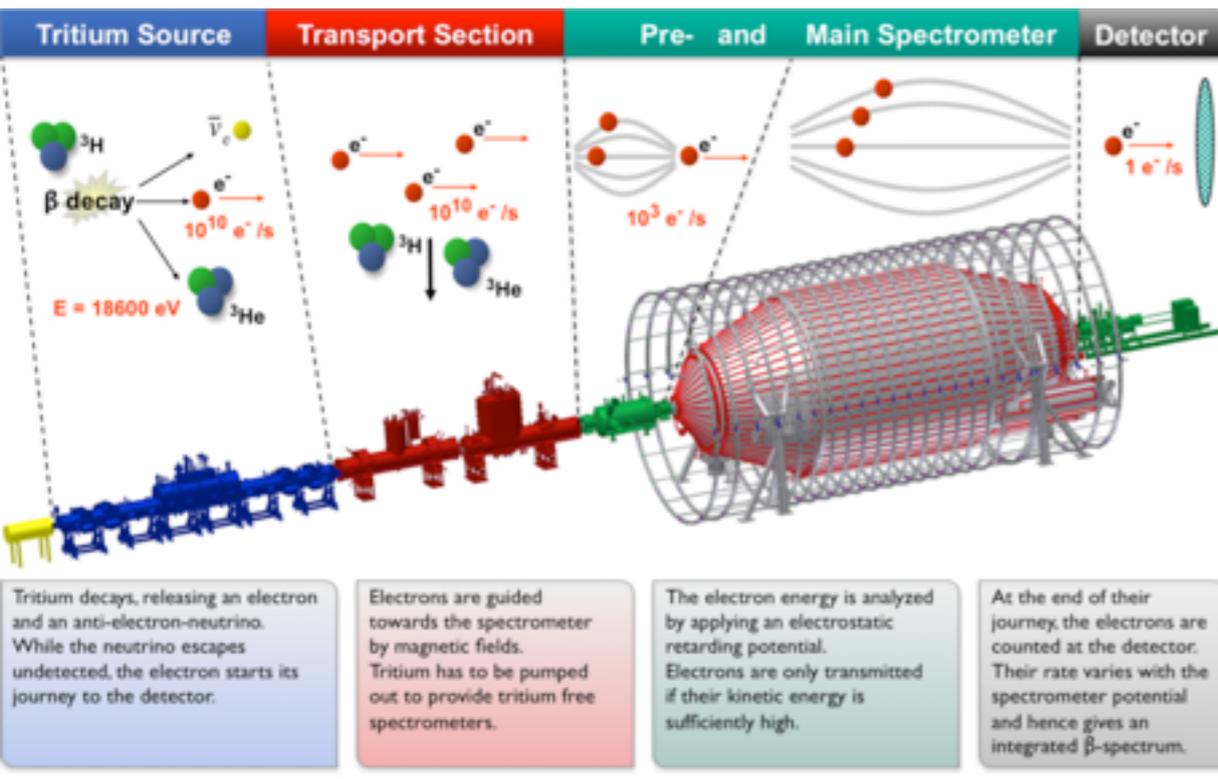
- I limiti superiori attuali sono del tipo $m_\nu < 2 \text{ eV}$
- esperimenti in corso per arrivare sotto eV:
 - *Troitsk nu mass II* experiment (Russia)
 - **K**arlsruhe **T**ritium **N**eutrino (**KATRIN**) experiment, Karlsruhe, Germania

Troitsk nu-mass II experiment



L'Odissea di Katrin

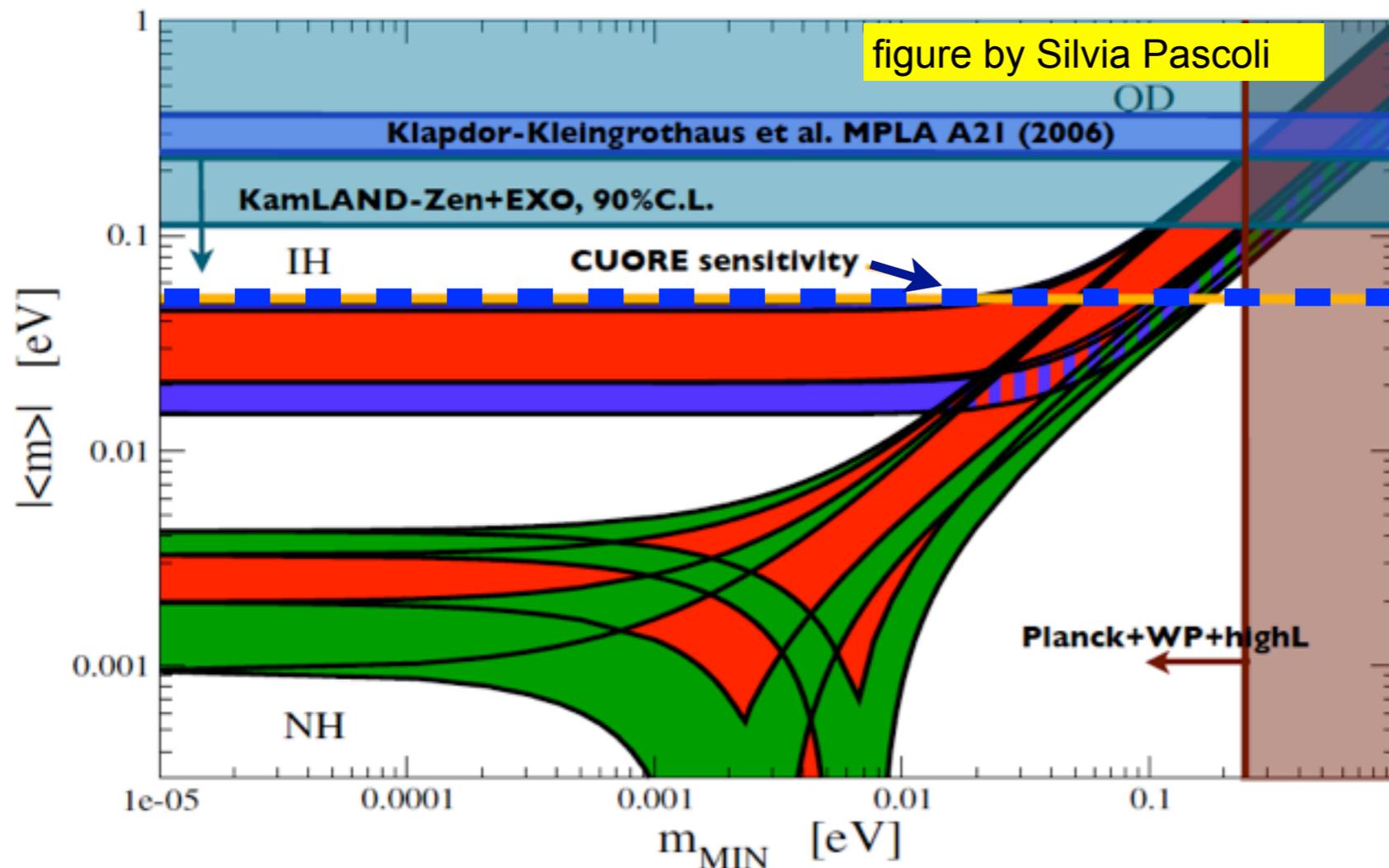
- Daggendorf-Karlsruhe: 400 km
- Viaggio reale: Daggendorf-Danubio- Mar Nero-Sicilia-Atlantico-Reno-Karlsruhe



- La sorgente di KATRIN e' costituita da $50\mu\text{g}$ di Trizio

neutrini di Majorana ?

- secondo le teorie oggi piu' accreditate, i neutrini che osserviamo dovrebbero essere particelle di Majorana, molto leggere
- in questo caso si dovrebbero rivelare attraverso i decadimenti doppio beta senza neutrini
- gli esperimenti di oggi sul doppio beta (Gran Sasso) danno dei limiti sulla massa che sono diversi se si ha gerarchia normale o inversa



2. CNB: il fondo dei neutrini cosmici

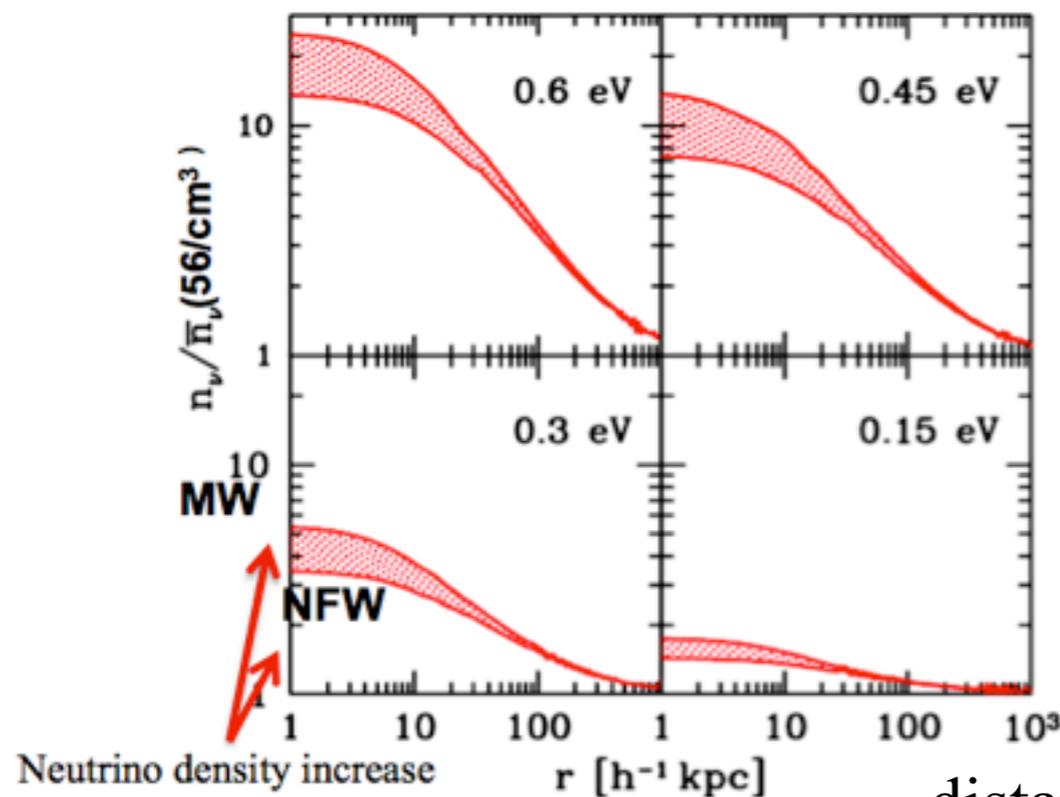
- La temperatura attesa dei neutrini e' un po' inferiore a quella dei fotoni del CMB, perche' erano disaccoppiati quando i fotoni hanno ricevuto energia dall'annichilazione delle coppie elettrone-positrone.
- Queste le caratteristiche attese
fotoni : $T_\gamma = 2.725 \text{ }^0K$, $n_\gamma = 400 \text{ cm}^{-2}$
neutrini : $T_\nu = \left(\frac{4}{11}\right)^{1/3}T_\gamma = 1.94 \text{ }^0K$; $(n_\nu)_{1\text{sapore}} = 110 \text{ cm}^{-3}$
- il rapporto $\eta_\nu = n_\nu/n_\gamma = \text{numero di fotoni/neutrino di un dato sapore} = (3/4) (4/11)$ si determina a temperature a cui i neutrini sono relativistici, e resta costante nell'espansione successiva, come avviene per η_B , anche se i neutrini diventano non-relativistici ($m_\nu > T_\nu$);
- ad energie sub eV, i neutrini del fondo cosmico sono di gran lunga dominanti sui neutrini solari (spettro che si estende sui keV) e sui neutrini dei reattori nucleari;
- il CNB e' un relitto prezioso dei primi tre minuti dell'Universo
- Come si puo' osservare l'esistenza del CNB ? e' un problema sul tappeto da piu' di 50 anni
- forse oggi si vede una strategia

Addensamenti

- le curve di velocità mostrano che la materia oscura si addensa in aloni intorno alle galassie
- Una cosa analoga si dovrebbe verificare per i neutrini, che quindi potrebbero mostrare una densità superiore alla densità calcolata per il CNB, che 'e la densità cosmologica media

A.Ringwald and Y.Y.Wong (JCAP12(2004)005) made predictions about the CRN density by using an N-body simulation under two main assumptions. In one they considered the clustering of the CRN under the gravitational potential given by the Milk Way matter density as it is today. The second prediction was made considering a gravitational potential evolving during the Universe expansion (Navarro, Franck White). In both cases the neutrinos were considered as spectators and not participating to the potential generation.

A.G. Cocco, G.Mangano and M.Messina, JCAP06(2007)015

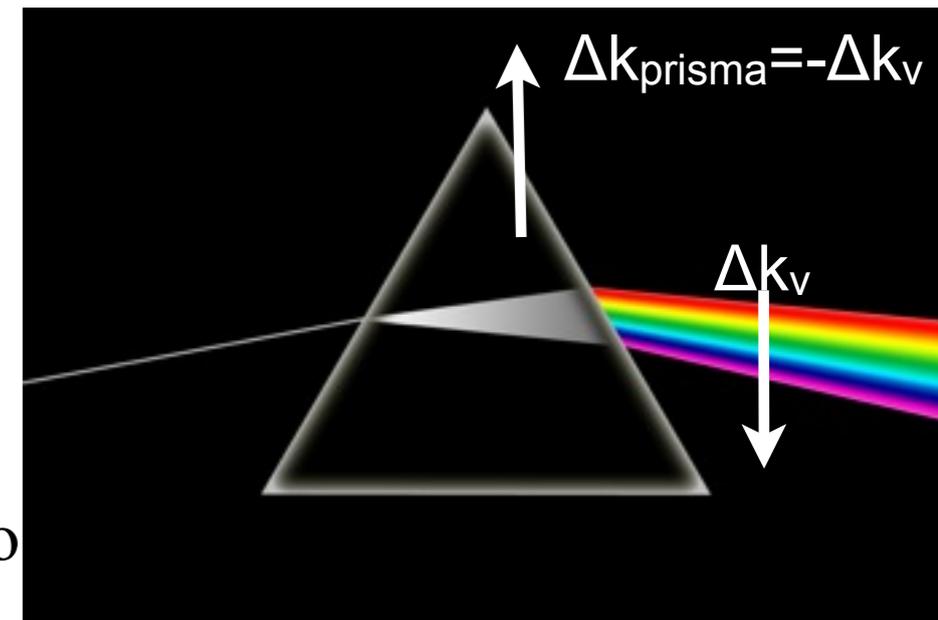


Altri autori stimano innalzamenti di densità di un fattore 100-1000

distanza dal centro della galassia

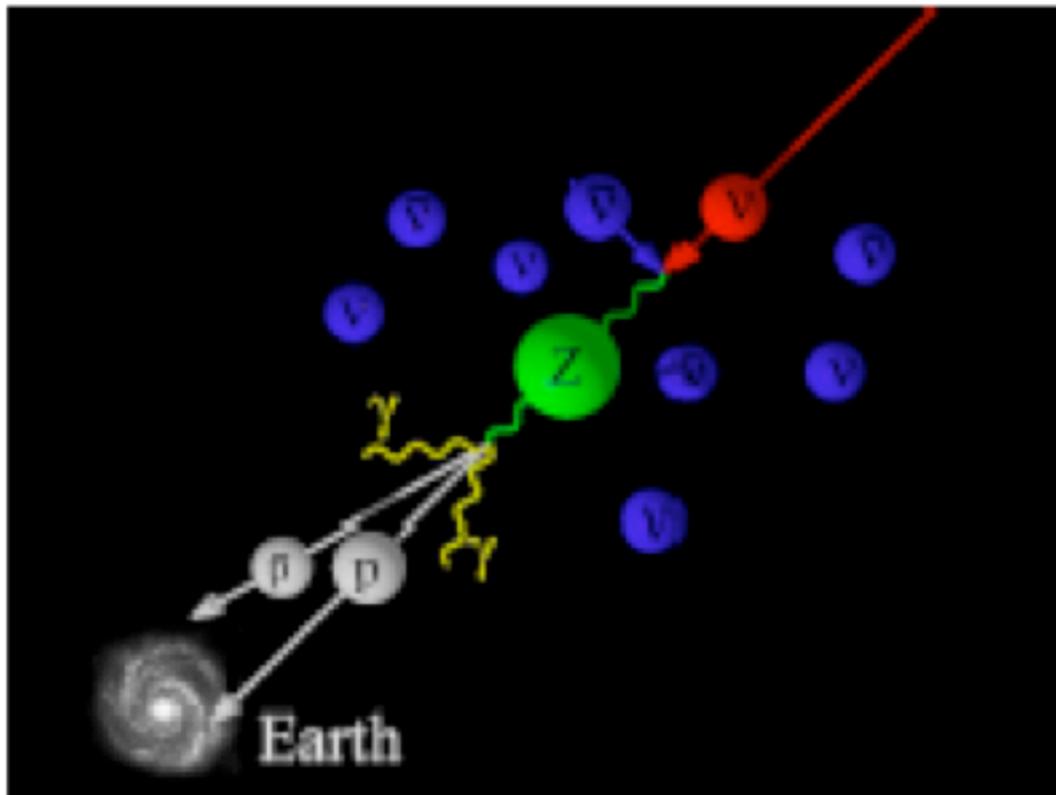
Effetti collettivi?

- I neutrini, come i fotoni, hanno un'indice di rifrazione nella materia
- se incidono su una superficie sono deviati, il loro momento cambia di Δk_v , e il prisma subisce un cambiamento di momento uguale e opposto,
- ovvero sente una forza pari a $-\Delta k_v$.
- $\Delta k_v \sim k (n-1) = k G_F \rho$: possiamo misurare questa forza quando agiscono molti neutrini (Opher 1974, Lewin, 1980) ?



- NO: negli anni '80, con Cabibbo, abbiamo dimostrato che le forze sulle diverse parti del prisma si compensano sempre, a meno che il mare di neutrino non sia disomogeneo (cosa impensabile su scala di laboratorio) lasciando un residuo che è di ordine G_F^2 , ovvero fuori portata di qualsiasi esperimento concepibile
- Un'altra possibilità che avevamo considerato: i neutrini potrebbero eccitare vibrazioni acustiche nelle antenne gravitazionali
- sarebbe strettamente analogo della rivelazione del Fondo Cosmico a Microonde: i fotoni eccitano le oscillazioni dell'antenna
- ma un nostro calcolo (N. C. e L. M.) mostra che i tempi di eccitazione di un fonone (il "quanto" dell'onda acustica) in un'antenna criogenica standard sono più lunghi dell'età dell'Universo...

Interazione dei Neutrini di altissima energia con il CNB



In the second method resonant annihilation of EECν off CRN into Z-boson is proposed. This process occurs at energy:

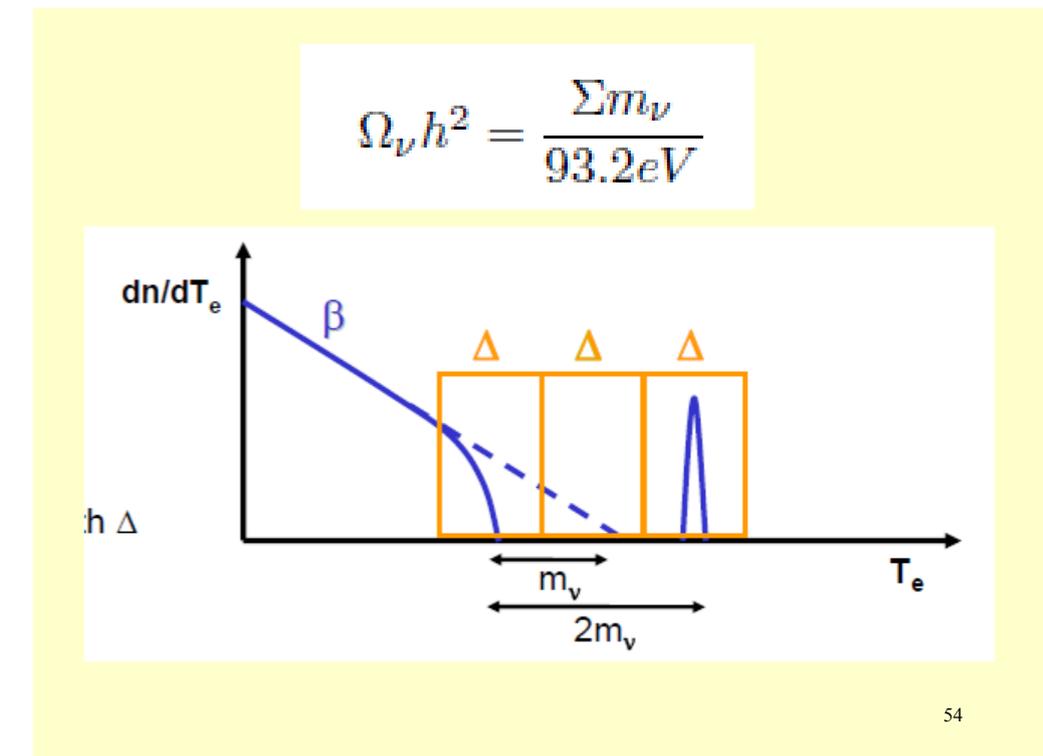
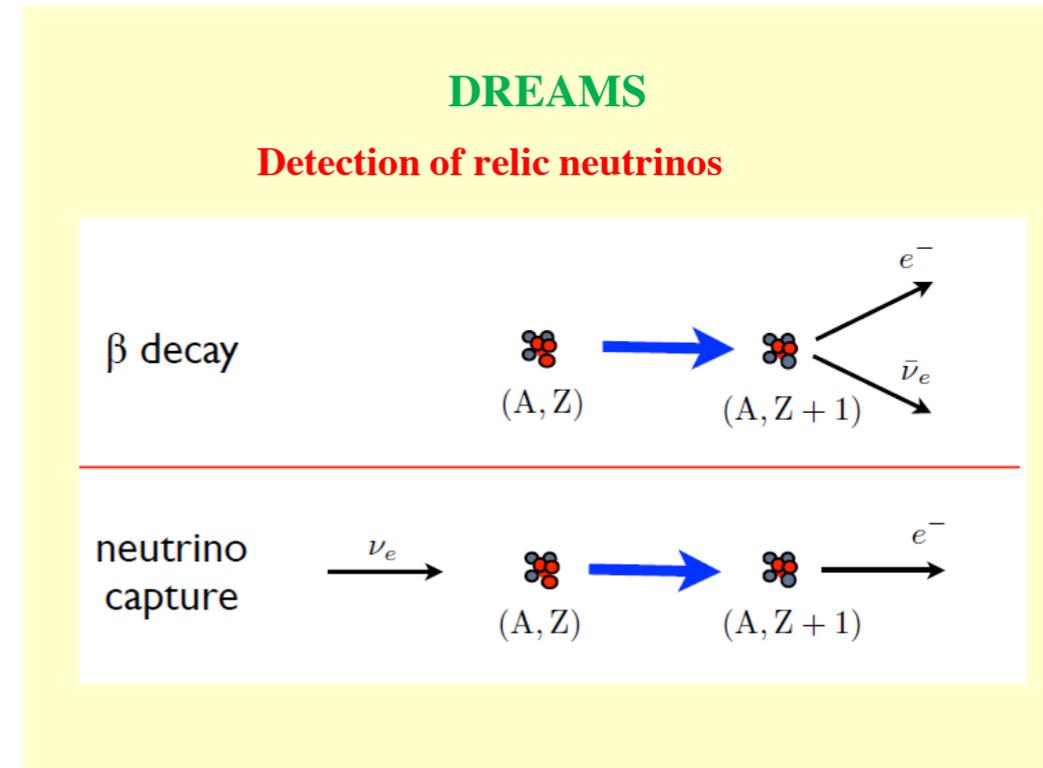
$$E_{\nu_i}^{res} = \frac{m_Z^2}{2m_{\nu_i}} \approx 4 \times 10^{21} \left(\frac{eV}{m_{\nu_i}} \right) eV$$

The signature might be a deep in the neutrino flux around 10^{22} eV or an events excess of photons or protons beyond the GKZ deep (where the photons of CMB are absorbed by protons to produce pions).

Such energetic neutrino sources are unknown so far.

3. CNB puo' stimolare un decadimento beta inverso

- metodo proposto da S. Weinberg, 1962
- un neutrino del CNB stimola il decadimento di un nucleo instabile per decadimento beta
- la reazione procede anche se la massa del neutrino e' piccolissima,
- $\nu + T \rightarrow 3\text{He} + e^-$
- energia e momento del neutrino sono trascurabili, l'elettrone ha energia definita,
- dovrebbe apparire, nello spettro beta, un "picco a fine corsa" per $E=Q + m_\nu$, separato di $2 m_\nu$ dalla fine dello spettro beta
- altro nuclide favorevole: il Renio 187
- ...sembra facile, ma le difficolta' sono formidabili
- tra queste la risoluzione sperimentale, per separare il picco dalla fine dello spettro beta, e la necessita' di sorgenti di intensita' estrema
- KATRIN potrebbe cercarlo, e ci sono idee di altri esperimenti



From: Prof Luciano Maiani <luciano.maiani@cern.ch>
Subject: ricordi il Renio?
Date: 28 May 2013 17:26:33 CEST
To: ettore.fiorini@mib.infn.it Fiorini <Ettore.Fiorini@mib.infn.it>

Caro Ettore,

mi hanno segnalato il talk che ti accludo. Riconoscerai la storia: rivelare i neutrini del cosmic background attraverso la loro interazione con un beta emettitore e rivelare un picco oltre la fine dello spettro beta. Era proprio quello che facevamo noi con il Renio, ma loro trovano un risultato not far from reality. E noi? Non è che hai da qualche parte i nostri conti? A me sembrava che avessimo abbandonato perché non realistico.

Magari ci potremmo sentire ma io non ho il tuo cell. Adesso sono al CERN (004122 7672825) oppure a casa la sera (0033450 206638).

fammi sapere: non sono più presidente di niente ma sono sempre interessato!

Luciano

Il sogno di Ettore Fiorini

From: Ettore Fiorini <Ettore.Fiorini@mib.infn.it>

Subject: Re: ricordi il Renio?

Date: 28 May 2013 18:22:50 CEST

To: Prof Luciano Maiani <luciano.maiani@cern.ch>

Cc: nucciotti@mib.infn.it nucciotti@mib.infn.it
<nucciotti@mib.infn.it>

Caro Luciano,
naturalmente non ho dimenticato il renio 187 e la rivelazione con microbolometri di renio dei neutrini relic fa parte dei miei sogni come risulta da una breve relazione tenuta una settimana fa ad un Congresso che si e' tenuto in Columbia che ti allego. Non c'e' un attachment al tuo mail e ti prego di ri-inviarmelo. Ti riassumo comunque la situazione

- come forse ricordi essendo interessato al decadimento beta del renio per la determinazione della massa del neutrino (ottimo nucleo per la sua bassa energia di transizione) ti avevo chiesto di fare qualche calcolo dello spettro che abbiamo discusso anni fa in occasione del dottorato, da te presieduto, di Angelo Nucciotti che sta lavorando all' esperimento internazionale MARE con microbolometri di perrenato di argento, a cui partecipa anche Genova.

- l'idea di rivelare l'interazione dei neutrini cosmici in renio o tritio e' stata considerata da alcuni tra cui Cocco di Trieste tramite il decadimento beta inverso (ed) e' considerato da molti sperimentali incluso KATRIN e MARE.

- qualche anno fa vi e' stata grande agitazione perche' Lobashov dell'esperimento con trizio a Troist aveva detto di osservare l'interazione dei neutrini cosmici e di vedere addirittura la variazione stagionale. Purtroppo si tratta di un effetto milioni di volte minore delle previsioni teoriche che non e' stato confermato.

- l'esperimento e' molto difficile e costituisce un sogno anche mio (vedi l'attachment). Quando dico che basterebbe un centinaio di grammi di Renio tutti mi prendono in giro perche' si debbono usare microbolometri di massa inferiore al milligrammo per avere una risoluzione sufficiente, quindi un array di centinaia di migliaia di componenti. Questo non spaventa chi lavora con acceleratori, ma terrorizza me.

Non penso di poter lasciare questo compito ai miei figli che fanno tutt'altra cosa. Quanto ai miei nipotini, ti assicuro che non sono interessati ai neutrini.

Pero' in fisica come sai non si deve mai dire mai!

Un cordiale saluto a te ed a tua moglie
Ettore

4. Quanto e' difficile ?

- Una recente stima del numero di reazioni prodotte dal CNB su trizio e su Renio 187 (Amand Faessler, Rastislav Hoda, Sergey Kovalenko and Fedor S'imekovic, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **38** (2011) 075202) riporta ($\langle n_\nu \rangle$ e' il numero di neutrini previsti nel CNB):

$$\Gamma^\nu(^3H) = 4.2 \cdot 10^{-25} \frac{n_\nu}{\langle n_\nu \rangle} \text{ y}^{-1} \quad (\text{per nucleo di } ^3H)$$

$$N_{capt}^\nu(\text{KATRIN}) \sim 4.2 \cdot 10^{-6} \frac{n_\nu}{\langle n_\nu \rangle} \text{ y}^{-1} \quad (50\mu\text{g di } ^3H)$$

$$\Gamma^\nu(^{187}\text{Re}) = 2.8 \cdot 10^{-32} \frac{n_\nu}{\langle n_\nu \rangle} \text{ y}^{-1} \quad (\text{per nucleo di } ^{187}\text{Re})$$

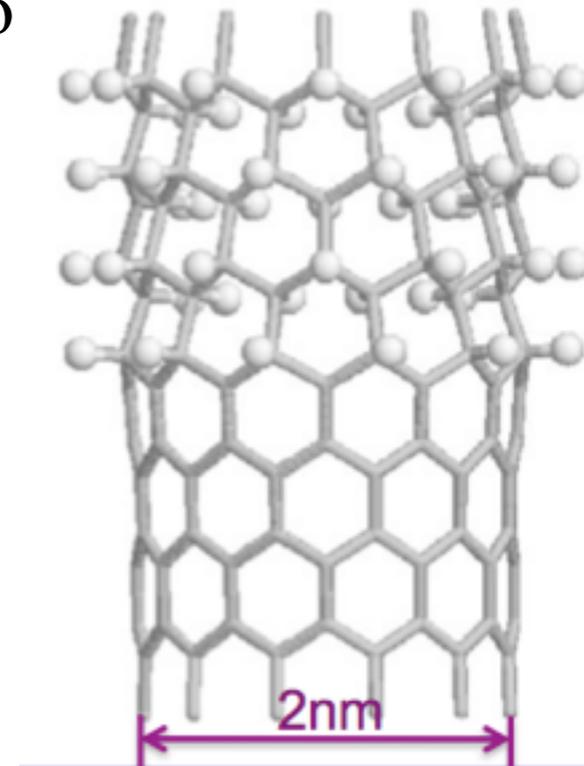
$$N_{capt}^\nu(\text{MARE}) \sim 8.9 \cdot 10^{-9} \frac{n_\nu}{\langle n_\nu \rangle} \text{ y}^{-1} \quad (100 \text{ g di } ^{187}\text{Re})$$

- Anche considerando innalzamenti di un fattore $n_\nu / \langle n_\nu \rangle = 10^3$, gli esperimenti sono lontani....ma vale la pena di guardare comunque!

Ptolemy a Princeton

- KATRIN non puo' aumentare la sorgente per motivi di radioprotezione
- Inoltre non c'e' solo un problema di intensita': il Trizio molecolare introduce un'incertezza nell'energia dell'ordine di eV, che e' troppo rispetto alla risoluzione richieste per vedere il picco del CNB
- Un nuovo esperimento in progetto: Ptolemy, Princeton
- nuovo tipo di sorgente (Trizio impiantato su nanotubi di grafene)
- una intensita' straordinaria: 100 g di Trizio (tecnologie del Trizio derivate dagli studi sulla fusione, cfr. Lez. 9),
- promette:

$$N_{capt}^{\nu}(\text{PTOLEMY}) \sim 8.4 \frac{n_{\nu}}{\langle n_{\nu} \rangle} y^{-1} \quad (100 \text{ g di } {}^3H)$$



5. Concludendo (due lezioni)

- Due importanti reliquie fossili del Big Bang: nucleosintesi e fondo di neutrini
- Il primo è un test importante e positivo,
 - controlla il n. di neutrini, lasciando la possibilità di neutrini “sterili” parzialmente mescolati ai neutrini della Teoria Standard
 - controlla il valore di η_B , che dà una importante indicazione della materia oscura
 - il problema del Litio: da approfondire, ma potrebbe essere solo un caso più complicato in cui non abbiamo messo tutti gli elementi sul tavolo
- Il CNB è una sfida importante, un suo controllo sperimentale darebbe la chiave di volta della costruzione
 - proviene da momenti precedenti alla BBN ed è sensibile ad aspetti importanti, come la differenza di temperatura tra $C_{\text{MicrowaveB}}$ e $C_{\text{NeutrinoB}}$ e da un'altra vista sui sapori dei neutrini
 - il controllo della tecnologia delle sorgenti intense di Trizio è vitale per il programma della fusione nucleare, un caso di interazione positiva tra ricerca fondamentale e applicata
 - il problema è lontano da essere risolto, potete mettere in azione anche i vostri sogni