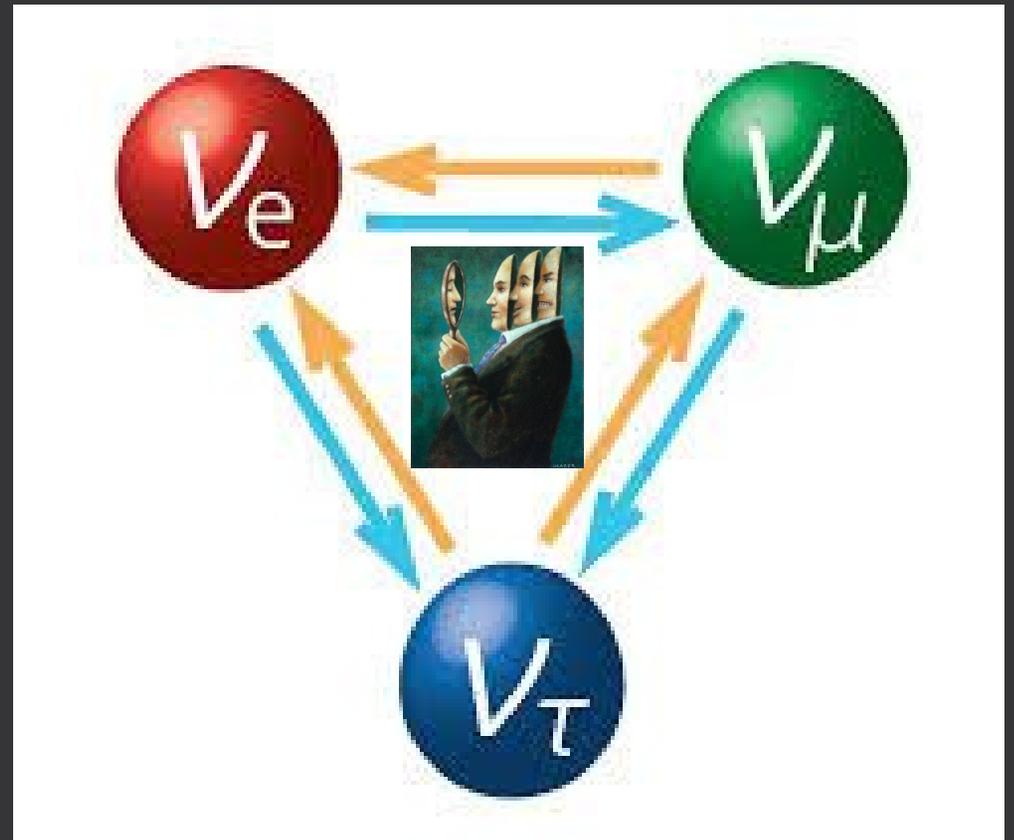




I neutrini

4 – Crisi di identità



Dove spariscono i neutrini ?

Risultato inatteso:

Flusso misurato $\sim 1/3$ del flusso previsto

Esperimento poi ripetuto diverse volte da Davis e altri, con tecniche modificate, sensibili a finestre di energia dei neutrini più estese

Risultato confermato:

Flusso misurato $\sim 1/2$ del flusso previsto

Errore nella previsione ? Errore nella misura ??

Super Kamiokande

Esperimento in una miniera in Giappone

Originariamente costruito per cercare il decadimento del protone: Non basato su tecniche radiochimiche

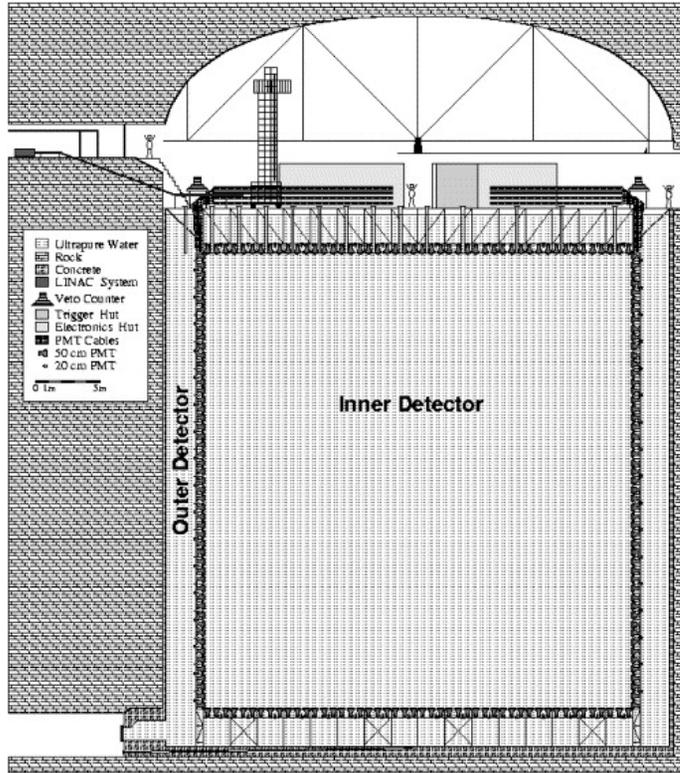
Modificato per osservare i neutrini solari

Reazione cercata: $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$

50000 tonnellate di acqua

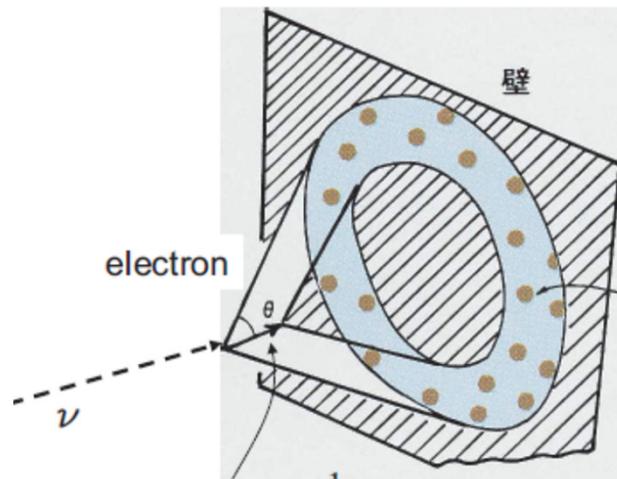
Flash luminosi da elettroni veloci correlati alla direzione dei ν
Fotorivelatori \rightarrow Impulsi elettrici

SuperK

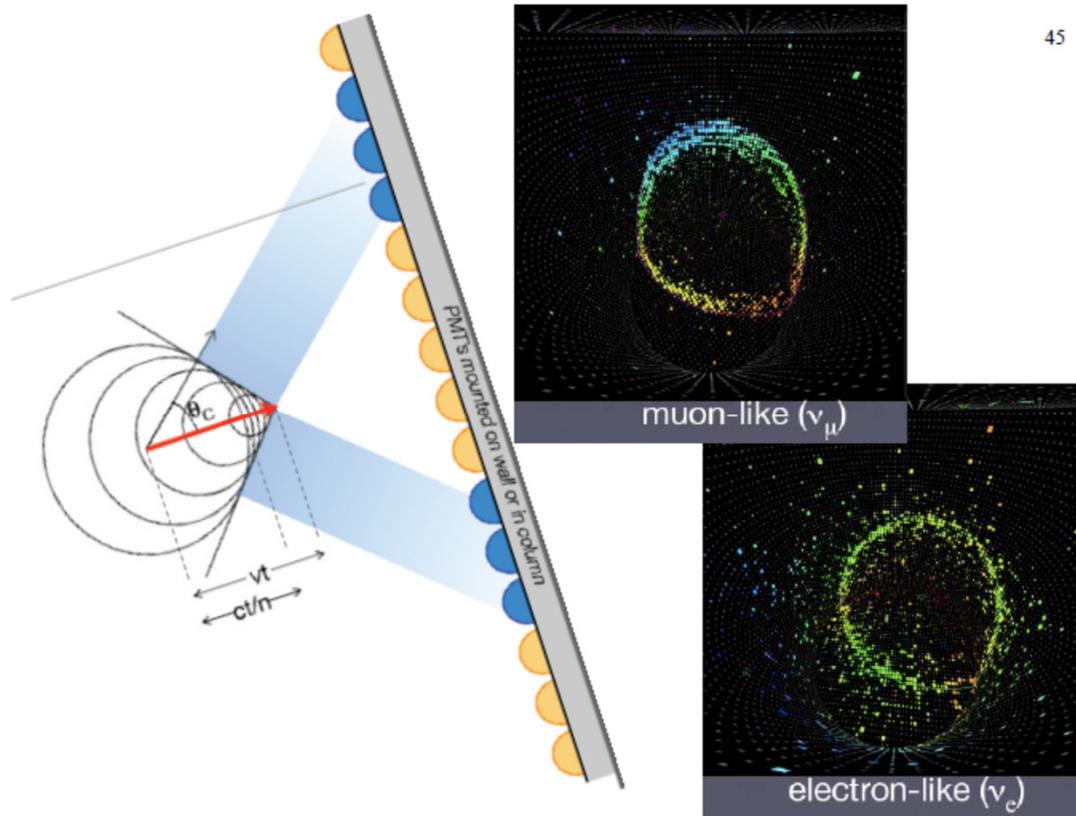


Luce Cerenkov

Particella carica veloce in un mezzo trasparente:
Emissione di un flash luminoso con angolo caratteristico
Osservabile con appropriati fotorivelatori

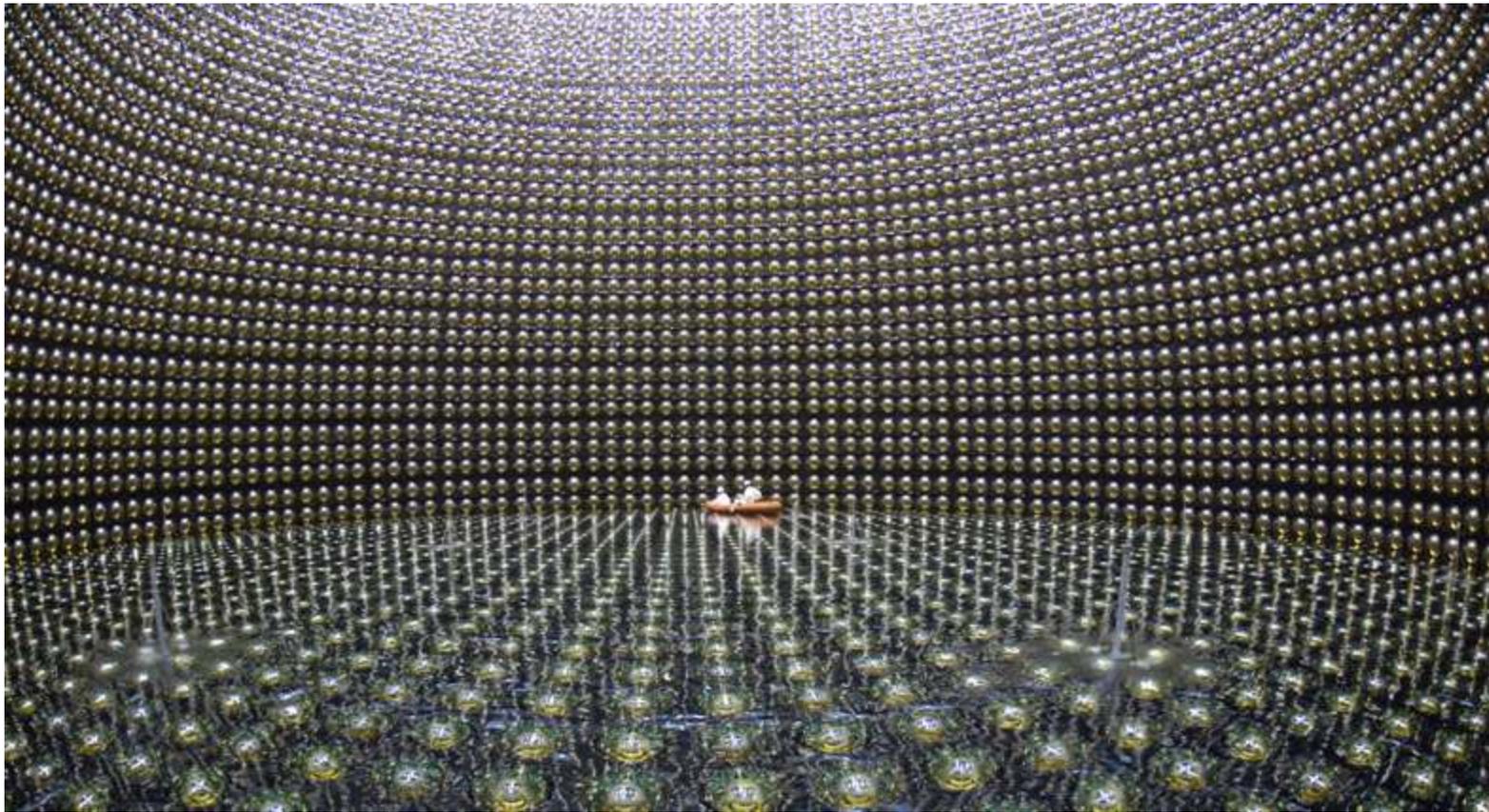


Anelli Cerenkov

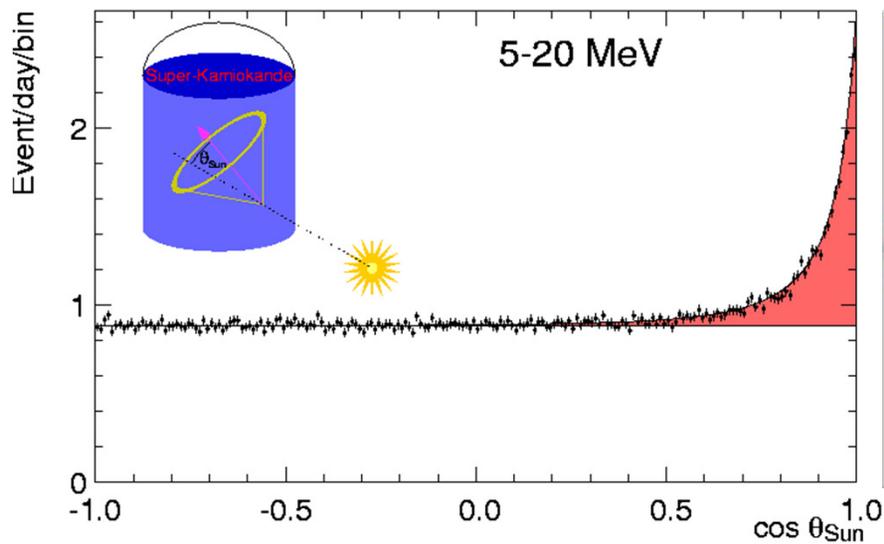


45

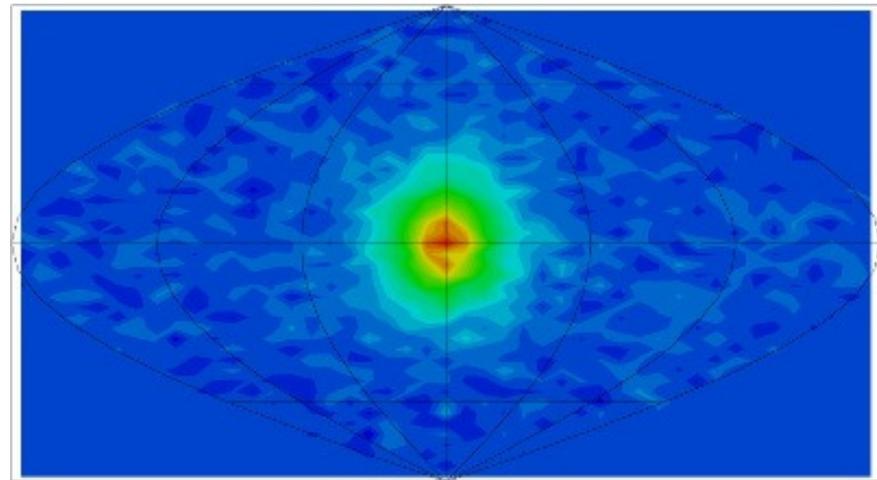
Monumento alla scienza fisica



Immagini neutriniche

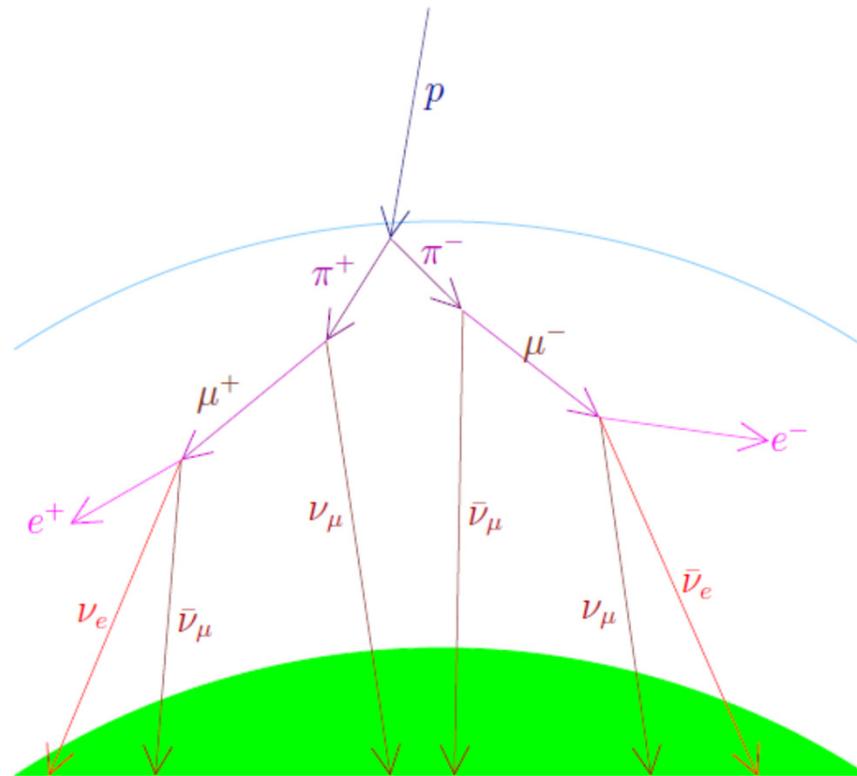


Angolo fra direzione ν e Sole

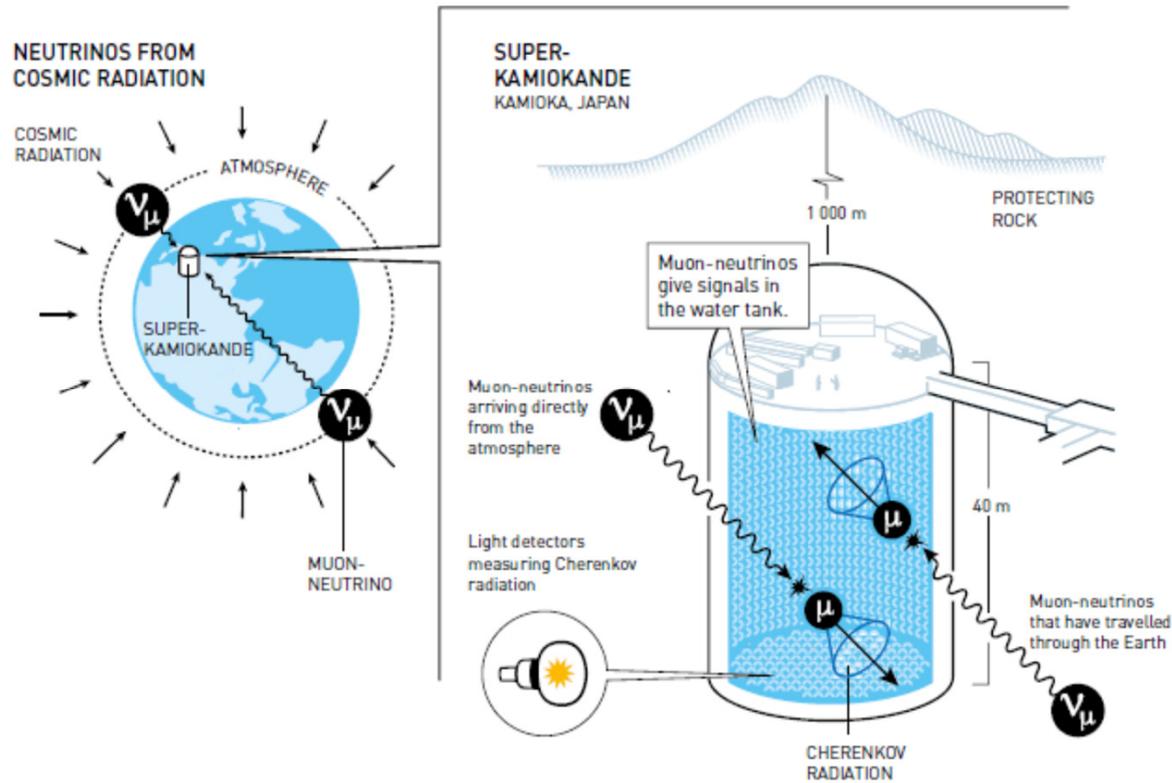


Il Sole visto con i neutrini

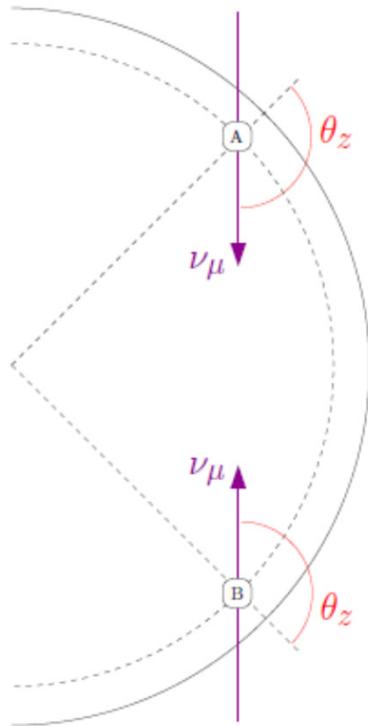
Neutrini atmosferici



Osservazione a SuperK



Asimmetria su-giù



Differenza fra i flussi su-giù:
Dovuta al diverso cammino percorso
dai neutrini fra generazione e osservazione

Da sopra: 10/20 km

Da sotto: 10/20 + 7000/13600 km

Asimmetria su-giù

Senza oscillazioni: 0

Valore osservato: -0.30 ± 0.05

In seguito ...

...altri esperimenti, simili a Homestake o SuperKamiokande

Soprattutto

SNO (Miniera di Sudbury, Canada)

Borexino (Laboratori del Gran Sasso)

Continuo miglioramento delle misure

Parziale chiarimento della situazione a SNO

Acqua pesante

Molecola D_2O :

Idrogeno sostituito da Deuterio

Nucleo di deuterio: Protone + Neutrone

Stessa carica elettrica, massa circa doppia

SNO

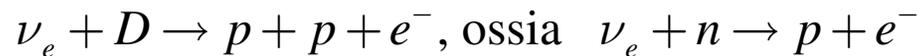
Luogo: Miniera a Sudbury (Canada), 2000 m di profondità

Rivelatore: 1000 T di acqua pesante D_2O

(Usata come moderatore nei reattori nucleari di tecnologia CANDU)

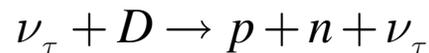
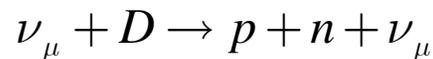
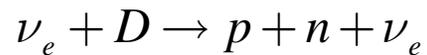
Interazione neutrini - deutone:

Corrente carica

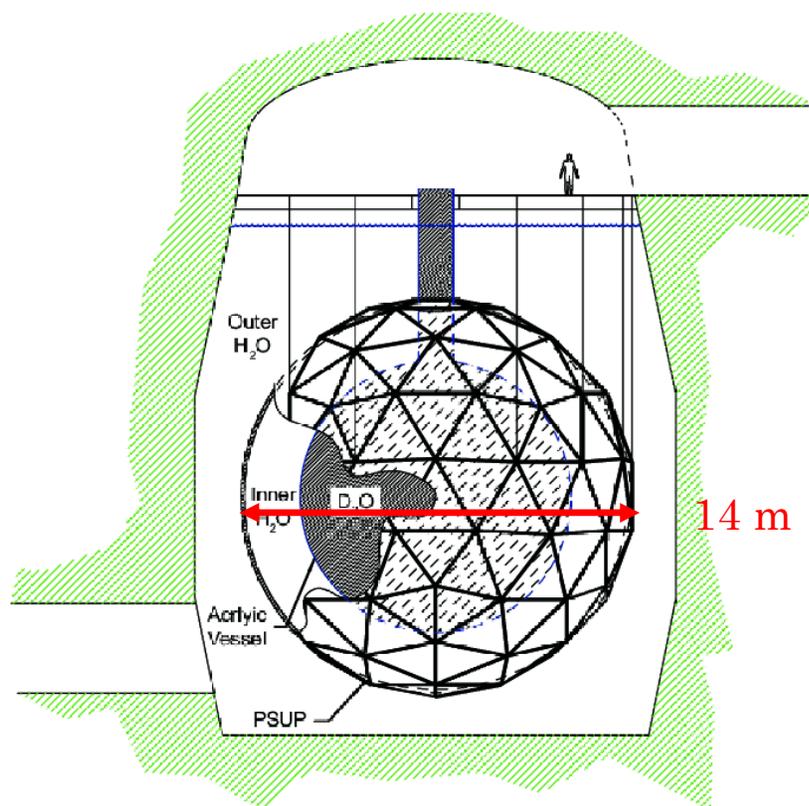


No interazioni per i ν_μ, ν_τ : Energia insufficiente a generare la massa a riposo di μ, τ

Corrente neutra



Rivelatore



Smoking gun

Risultati SNO:

$$\frac{\text{Flusso}^{mis}(CC)}{\text{Flusso}_{att}(CC)} = 0,35 \pm 0,02$$

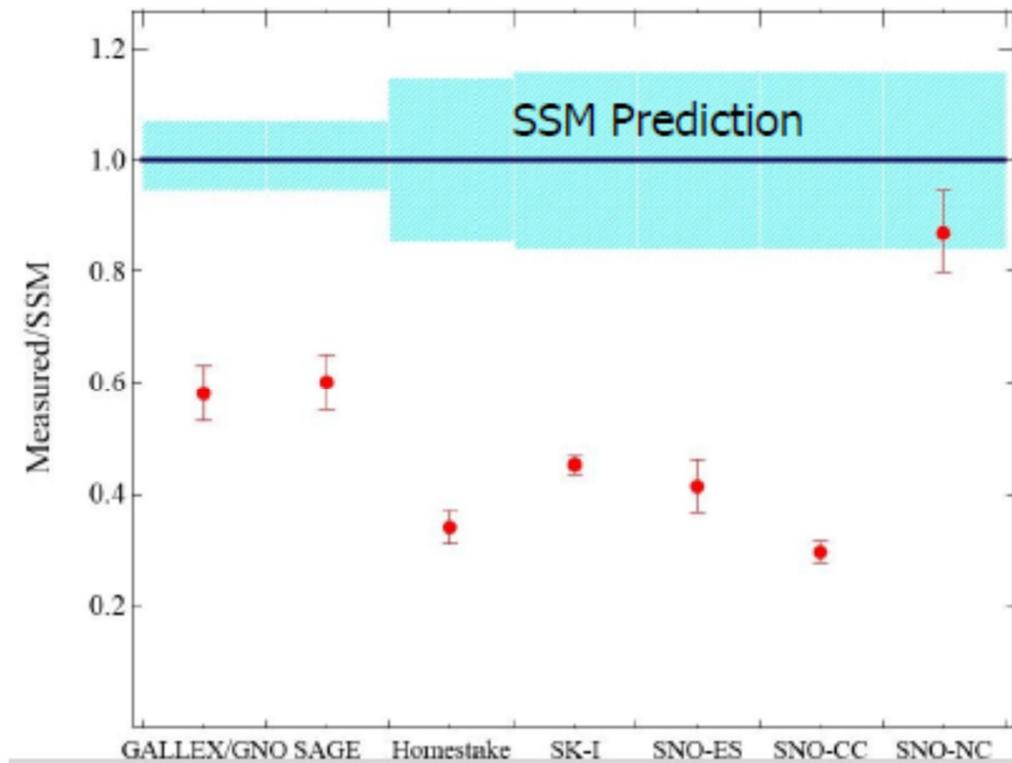
$$\frac{\text{Flusso}^{mis}(NC)}{\text{Flusso}_{att}(NC)} = 1,02 \pm 0,13$$

Unica possibile spiegazione:

ν_e provenienti dal Sole e diretti verso la Terra diventano in parte ν_μ , ν_τ durante il percorso

Oscillazione $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$, $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$

Oscillazioni!

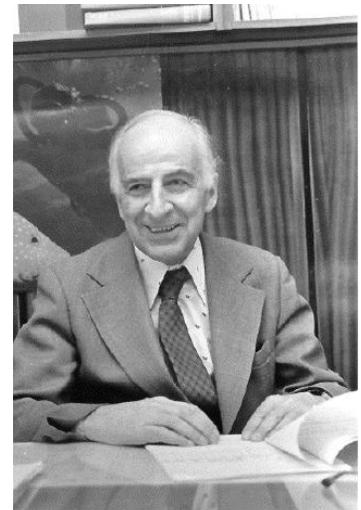


Pontecorvo II

Così, un neutrino elettronico partito dal Sole viene assorbito nella materia sulla Terra a volte come neutrino muonico, a volte come neutrino tauonico, a volte come neutrino elettronico

Spiegato infine il mistero dei neutrini elettronici mancanti: **Non sono osservati perché sono diventati neutrini muonici o tauonici!**

Fenomeno noto come 'Oscillazione del neutrino': previsto molti anni fa da Pontecorvo



Ci sono ma non ci sono

Stranezze quantistiche:

Una particella in un dato stato dinamico e' contemporaneamente anche in altri stati dinamici

Per es, se misurate dove si trova, essa «possiede contemporaneamente» molti valori di velocita'

Viceversa, se misurate la sua velocita' e poi cercate dove si trova, «potete trovarla» in molti posti diversi



Neutrini con tre personalità

Un neutrino che si propaga nello spazio e nel tempo ha un valore preciso e definito di massa

Ma se la massa non è zero può comportarsi come una combinazione di diversi 'sapori' di neutrino!



La probabilità quantistica di osservarlo in un dato sapore dipende dal tempo

Magie quantistiche

Neutrini emessi o assorbiti:

Sempre di un 'sapore' specifico ν_e, ν_μ, ν_τ

Neutrini che si propagano:

Sempre di una massa specifica ν_1, ν_2, ν_3

Gli uni sono 'combinazioni' quantistiche degli altri

P es: ν_e = specifica combinazione di ν_1, ν_2, ν_3

A causa della massa diversa, ν_1, ν_2, ν_3 evolvono con ritmi diversi

→ Nel tempo la combinazione cambia → ν_e può diventare ν_μ

→ Oscillazione!

Oscillanti solo se massivi

Origine delle oscillazioni:

Differenze di ritmo nella propagazione delle 3 componenti

Possibili solo se $m \neq 0$

Neutrini a massa zero: differenze di fase nulle

Visto che oscillano...

→...*i neutrini hanno massa!*

Neutrini massivi !?

Limiti *diretti* sulle masse dei neutrini

$$m_{\nu_e} < 3 \text{ eV}$$

$$m_{\nu_\mu} < 190 \text{ keV}$$

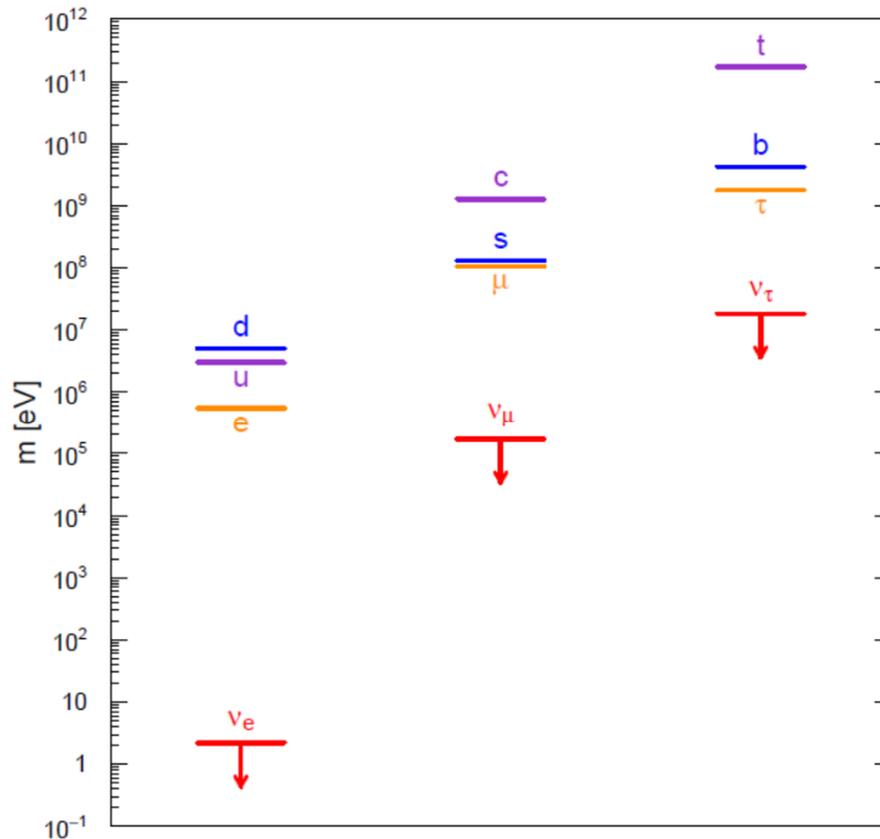
$$m_{\nu_\tau} < 18 \text{ MeV}$$

Limite *indiretto* (cosmologico) sulla somma delle masse:

$$\sum_{\nu} m_{\nu} < 24 \text{ eV}$$

da assenza di effetti gravitazionali osservabili

Masse dei fermioni fondamentali



Coprono >12 ordini di grandezza

Difficile spiegarlo con un unico Meccanismo (es Higgs)

Uno degli angoli più oscuri e meno capiti del Modello Standard

Here, There and Everywhere

Neutrini: Previsti per disperazione, scoperti per cocciutaggine, hanno rivelato molte proprietà sorprendenti e inattese

Presenti ovunque nell'Universo, leggeri, veloci e quasi inafferrabili, trasportano informazioni su

Big Bang

Struttura ed evoluzione stellare

Modello Standard

e forse su ciò che sta oltre

Lezioni di scienza

Da un problema apparentemente modesto e circoscritto, un intero, nuovo capitolo di fisica fondamentale, e un' inattesa finestra sull'Universo
Cosa impariamo?

I particolari contano

La testardaggine non e' sempre un difetto

Migliorare le misure non e' mai inutile

...e, naturalmente:

Il diavolo sta nel dettaglio

