

Física Experimental de Neutrinos y desintegración del protón

Luis Labarga (T.U.)

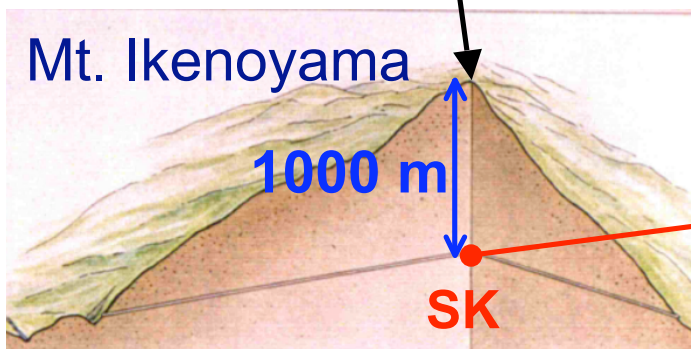
Lluís Martí (Post-Doc)

1. Experimentación con Super-Kamiokande (SK), la herramienta científica actual más poderosa en el campo.
2. Mejora de Super-Kamiokande: identificación del carácter de materia o antimateria del neutrino detectado. Uso del Laboratorio Subterráneo de Canfranc.
3. Preparación de la siguiente generación de experimentos (no tratado en esta exposición)

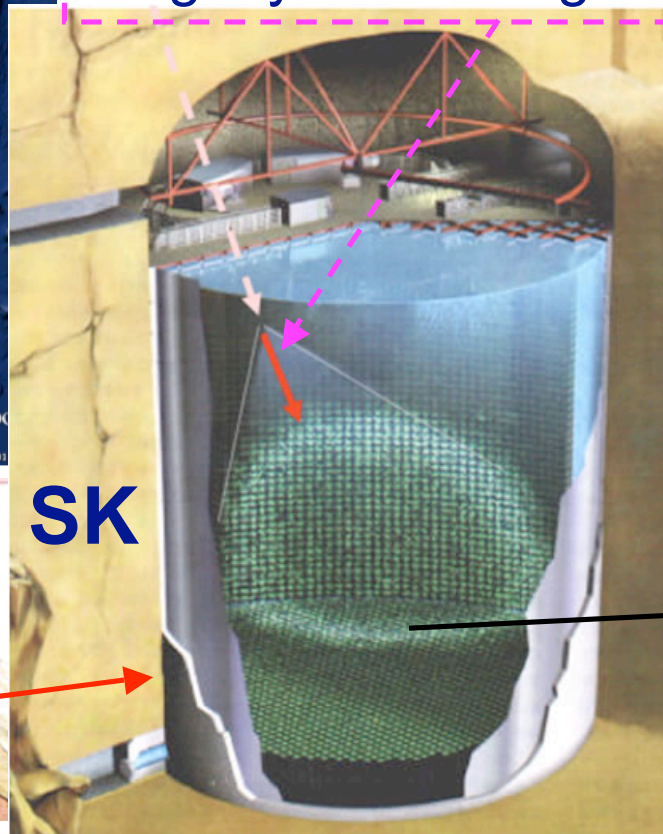
Super-Kamiokande (SK) paradigma de detector agua-Cherenkov

Observatorio de Kamioka
(Prefectura Gifu, Japón)

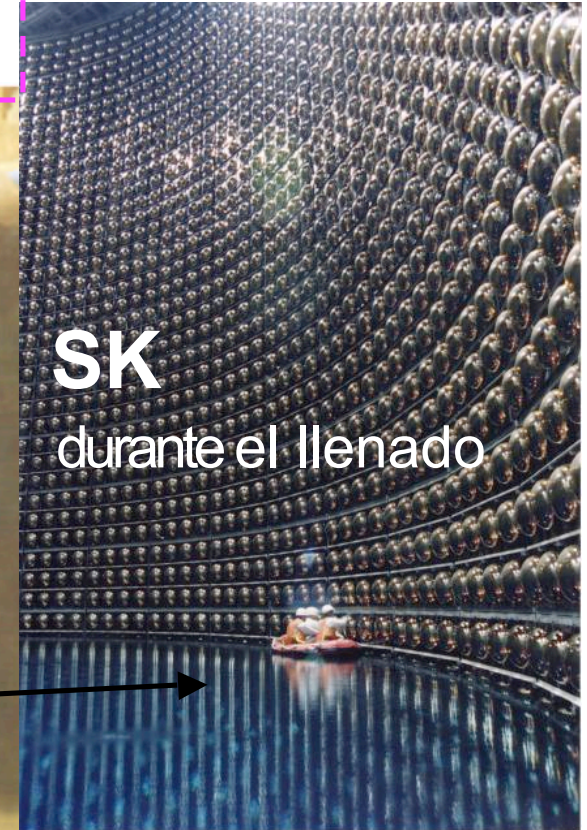
SK mide la **radiación Cherenkov** generada por las partículas con carga y alta energía



1000 m de tierra para apantallar muones de rayos cósmicos



50.000 m³ de agua
tanque: 40m \varnothing x 40m H

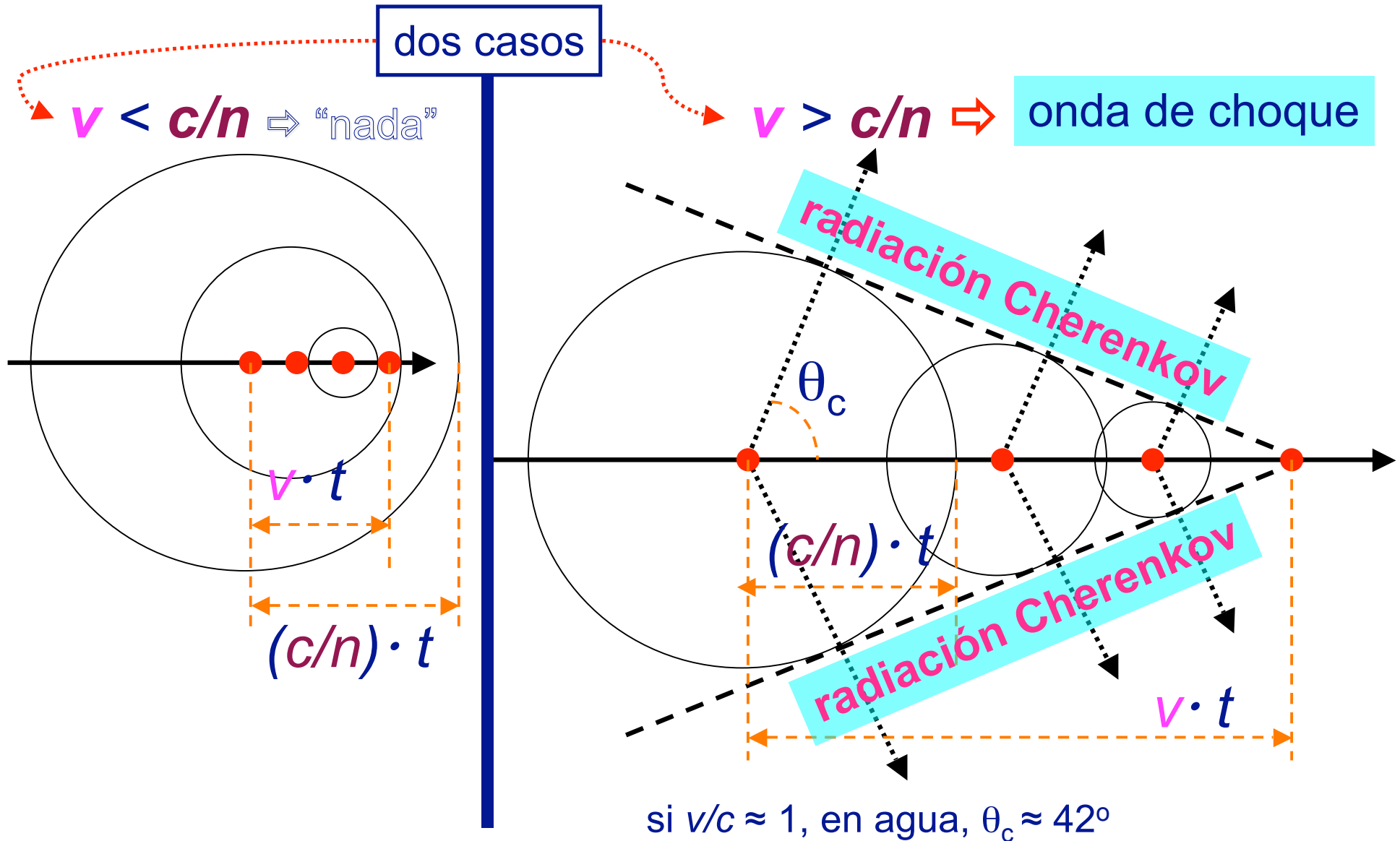


SK
durante el llenado

fotomultiplicadores
11148 de 50 cm \varnothing
1885 de 20 cm \varnothing

Básico de la radiación Cherenkov

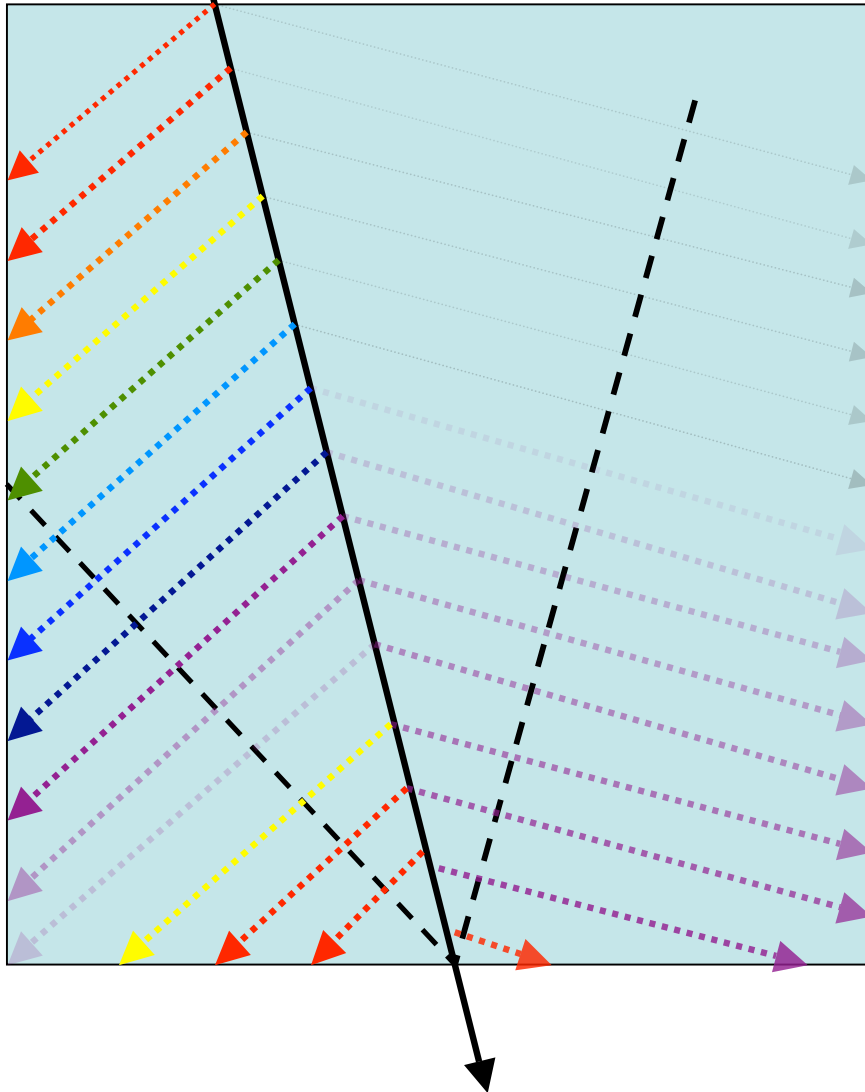
una **partícula cargada** moviéndose en un medio con velocidad v genera un **campo EM** que se propaga con velocidad c/n



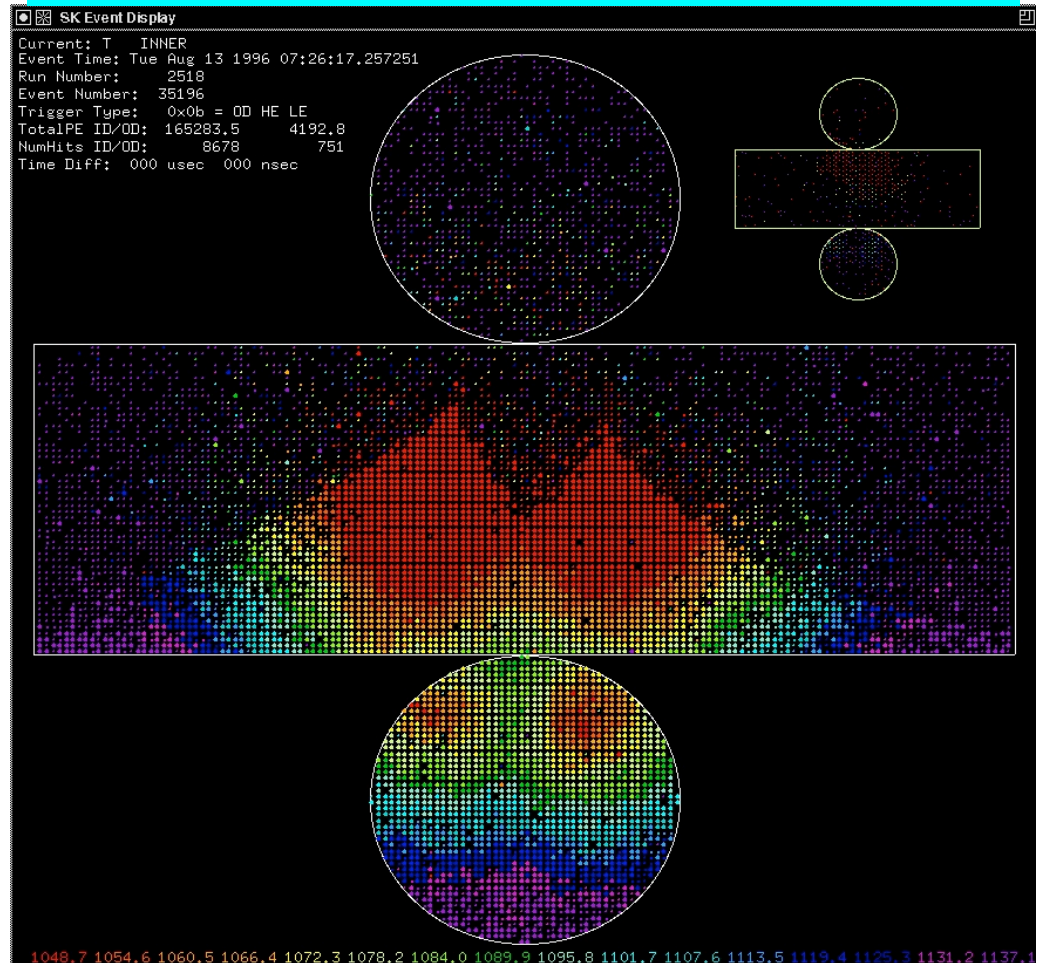
p.e.: la medida del **tiempo** que tarda la luz Cherenkov en llegar a los PMT's

rojo: corto
púrpura: largo
púrpura suave: muy largo

nos permite reconstruir la trayectoria de las partículas ...



suceso con 2 muones simultáneos;
medida del tiempo





viajando al laboratorio



edificios de superficie:
la Residencia



de camino a la entrada del túnel



a la entrada del
área experimental



acceso al experimento
y a su sala de control



sala de control de
Super-Kamiokande

*Please tell
me how ν 's
get mass*

19 May 2003

*Sheldon Lee
Glashow*



bóveda encima del tanque (40 m Ø):
electrónica, LINAC de calibración, etc., etc., etc.

Super-Kamiokande is currently the most powerful scientific apparatus for p -decay and ν physics

- ⇒ discovery of *Atmospheric- ν* oscillations
- ⇒ help solving *Solar- ν* problem
- ⇒ world's best limit on p lifetime
- ⇒ first long base ν experiment (K2K), currently T2K is running

- ⇒ precise measurement of leptonic mixing matrix parameters
- ⇒ discovery of SN1987a ν burst (Kamiokande)
- ⇒ world's best limit on relic Supernova ν ,s

Origen de éstos detectores: búsqueda de la **desintegración del protón**

- en el Modelo Estándar, el protón es absolutamente estable
 - sin embargo, dados
 - la estructura físico-matemática del MS,
 - las aproximaciones teóricas realistas para su evolución,
 - el conocimiento actual sobre la creación y desarrollo del Universo ...
- ⇒ existe el “convencimiento” (intuición) de la no estabilidad del protón

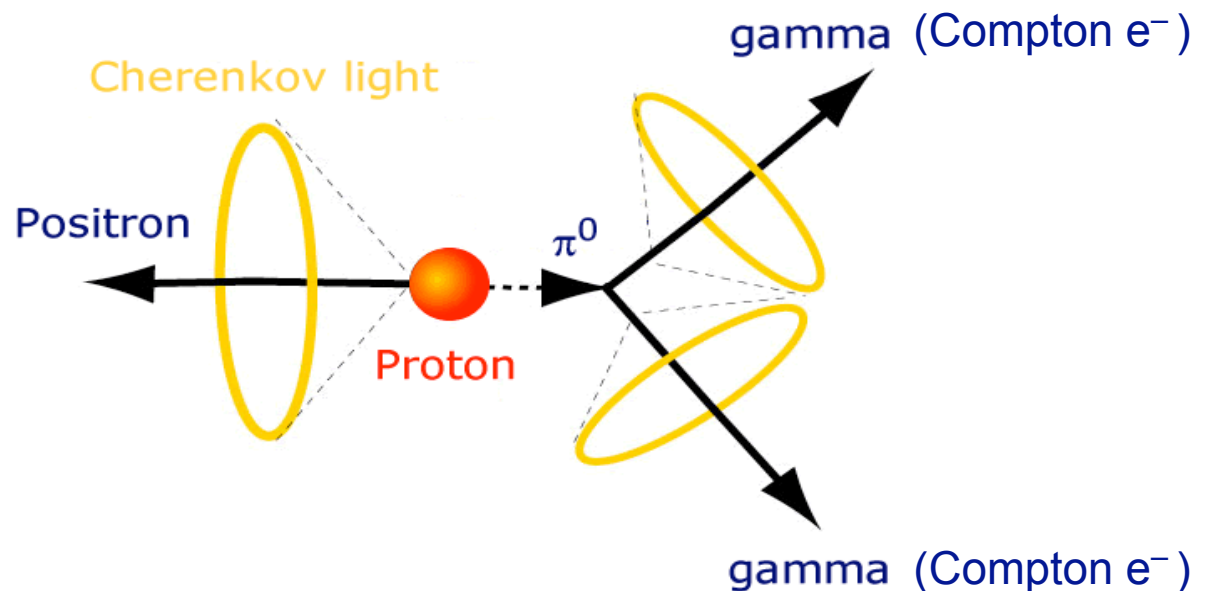
La desintegración del protón es el concepto científico y filosófico más importante de la Humanidad

y **SK** es el mejor detector para su búsqueda

p.e.: $p \rightarrow e^+ \pi^0$

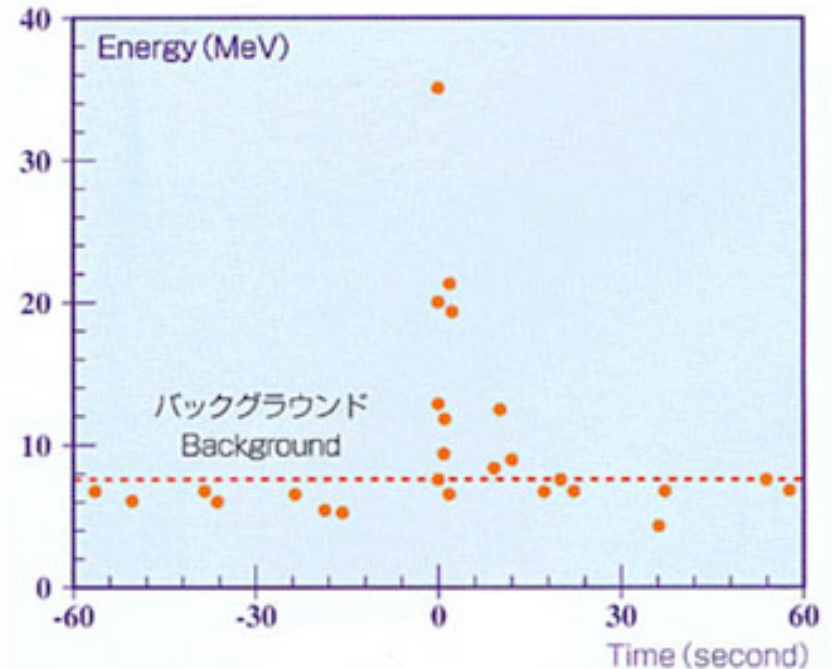
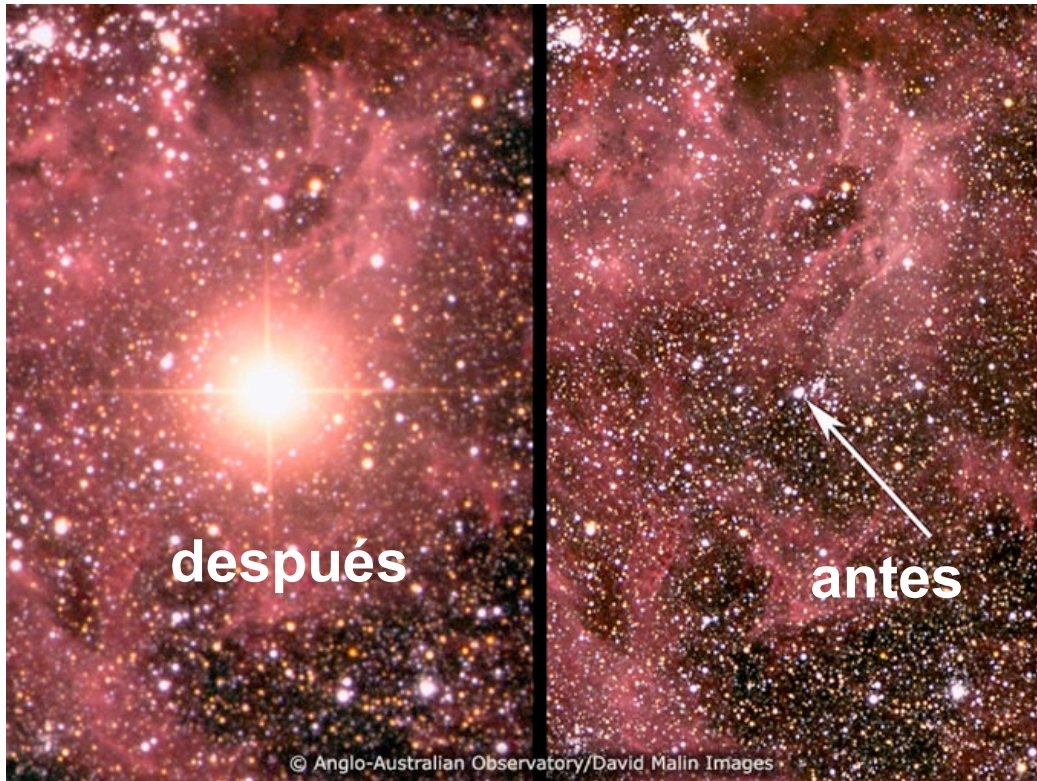
no se ha observado
ningún candidato
hasta ahora

⇒ $\tau_p > 8.2 \times 10^{33}$ años



pero la propia Naturaleza nos hizo descubrir que este tipo de detectores son extraordinarios **telescopios de neutrinos**

explosión SuperNova SN1987A

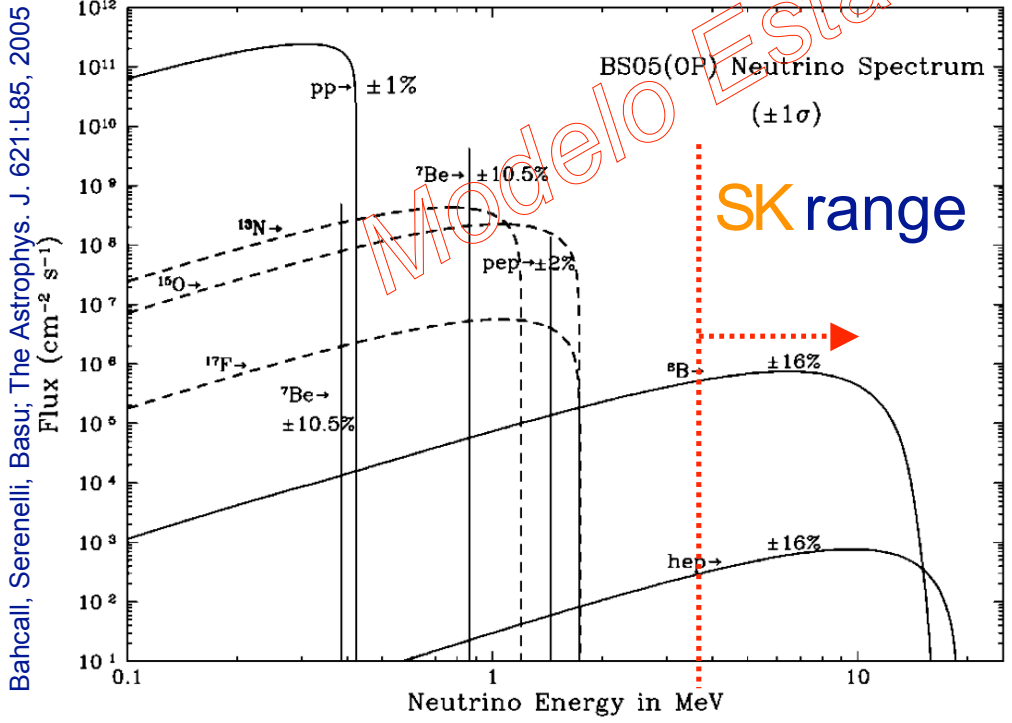
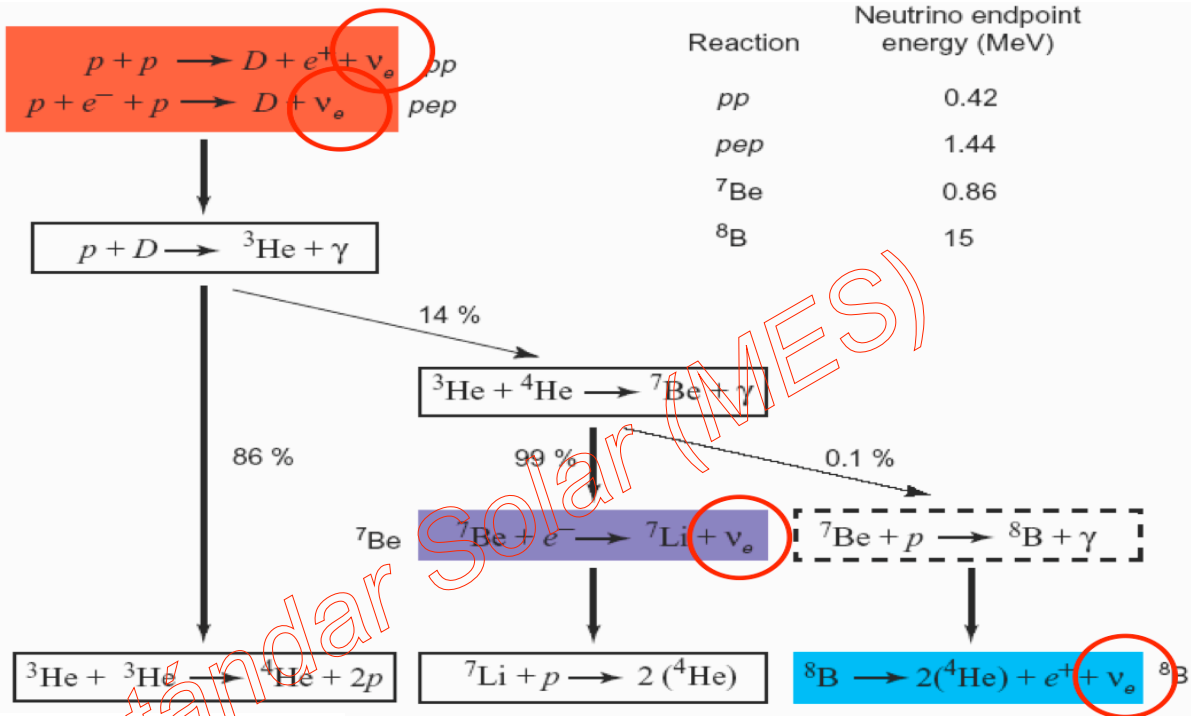
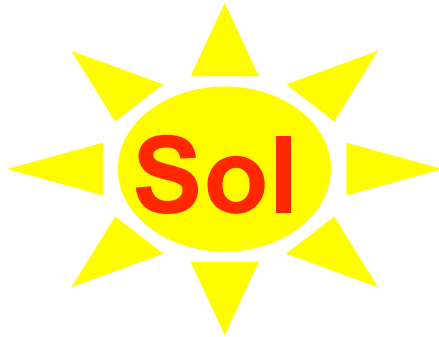


flujo y espectro de ν 's medido por Kamiokande (precursor de SK)

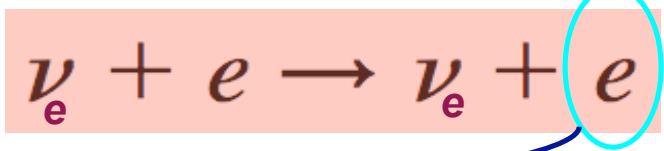
telescopios con los que, además de éste (Nobel 2002), se han hecho otros **descubrimientos fundamentales**

ν_e provenientes

del

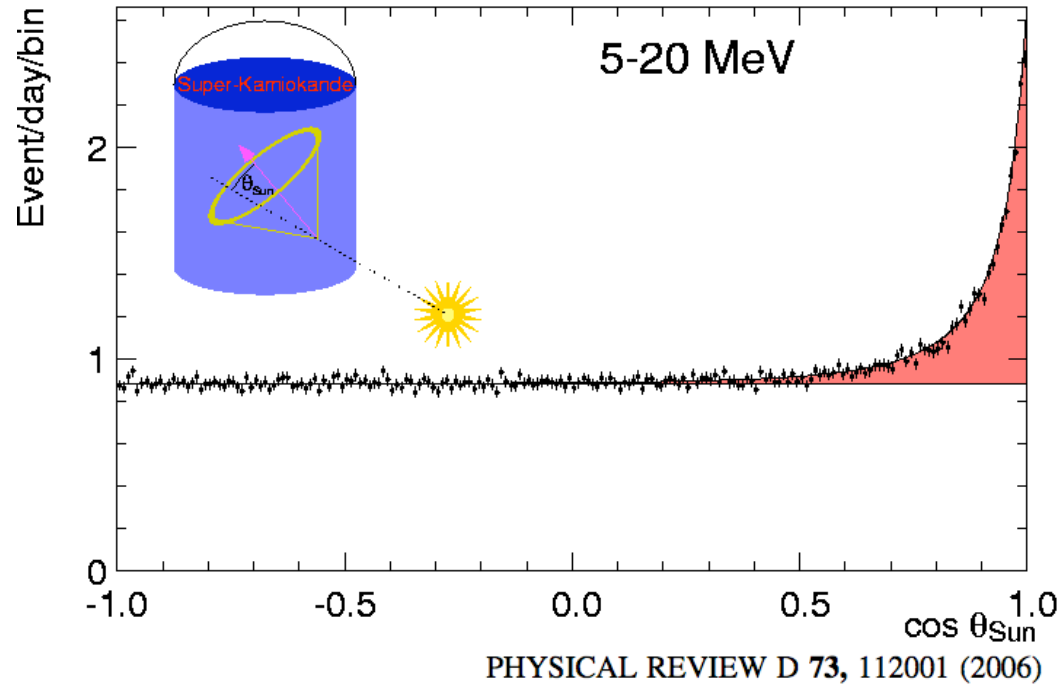


son detectados en SK por su interacción elástica con los e^- del medio

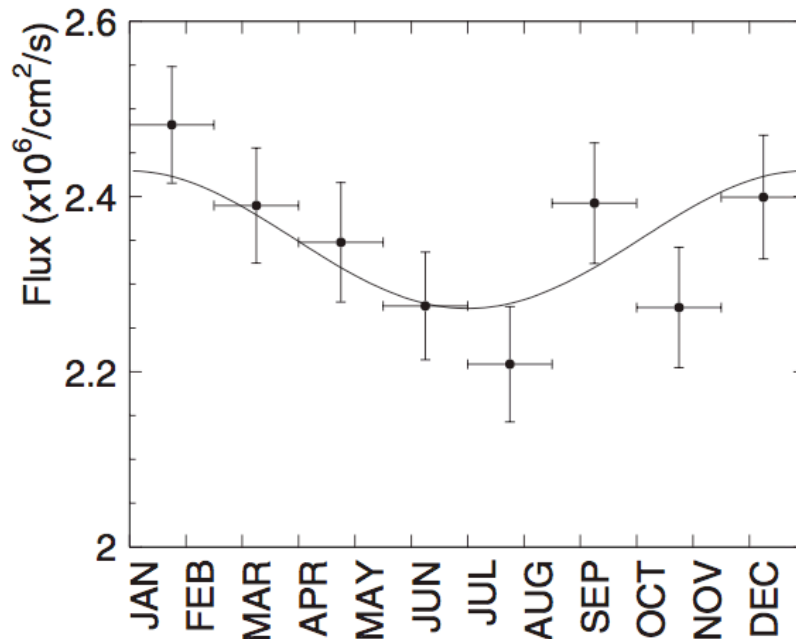
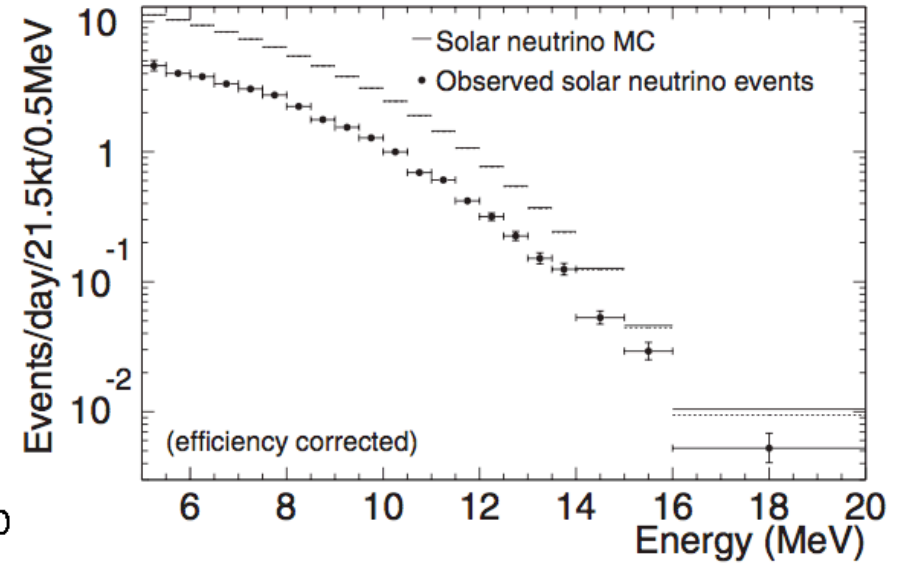


produce luz Cherenkov en SK

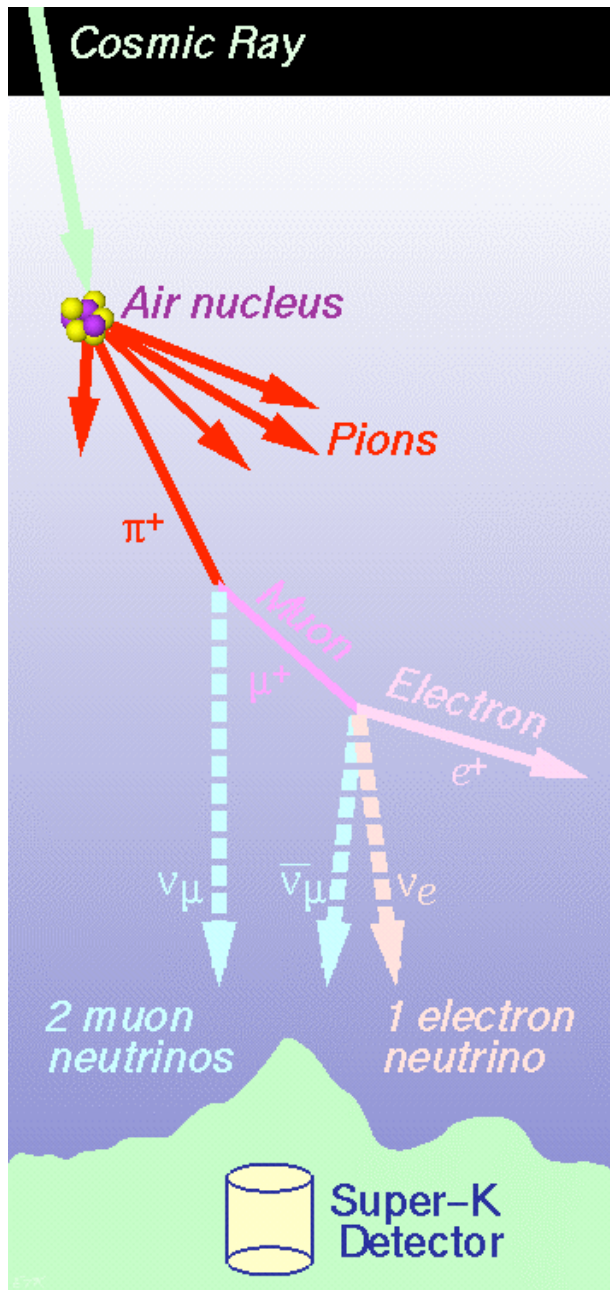
flujo angular de los ν_e detectados:



pero es menor que el predicho por el MES



y está correlacionado con la excentricidad de la órbita terrestre:
cuanto más viajan más déficit



result from the decay of particles produced in the interactions of **Cosmic Rays** with the atmosphere (mainly K^\pm , π^\pm , μ^\pm)

<http://pdg.lbl.org> (June 2010)

K^+ DECAY MODES

Fraction (Γ_i/Γ)

Leptonic and semileptonic modes

| | |
|--|----------------------------------|
| $K^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ | $(1.55 \pm 0.07) \times 10^{-5}$ |
| $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ | $(63.55 \pm 0.11) \%$ |
| $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ Called K_{e3}^+ | $(5.07 \pm 0.04) \%$ |
| $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu_\mu$ Called $K_{\mu3}^+$ | $(3.353 \pm 0.034) \%$ |

π^+ DECAY MODES

Fraction (Γ_i/Γ)

| | |
|------------------------|--|
| $\mu^+ \nu_\mu$ | [b] $(99.98770 \pm 0.00004) \%$ |
| $\mu^+ \nu_\mu \gamma$ | [c] $(2.00 \pm 0.25) \times 10^{-4}$ |
| $e^+ \nu_e$ | [b] $(1.230 \pm 0.004) \times 10^{-4}$ |

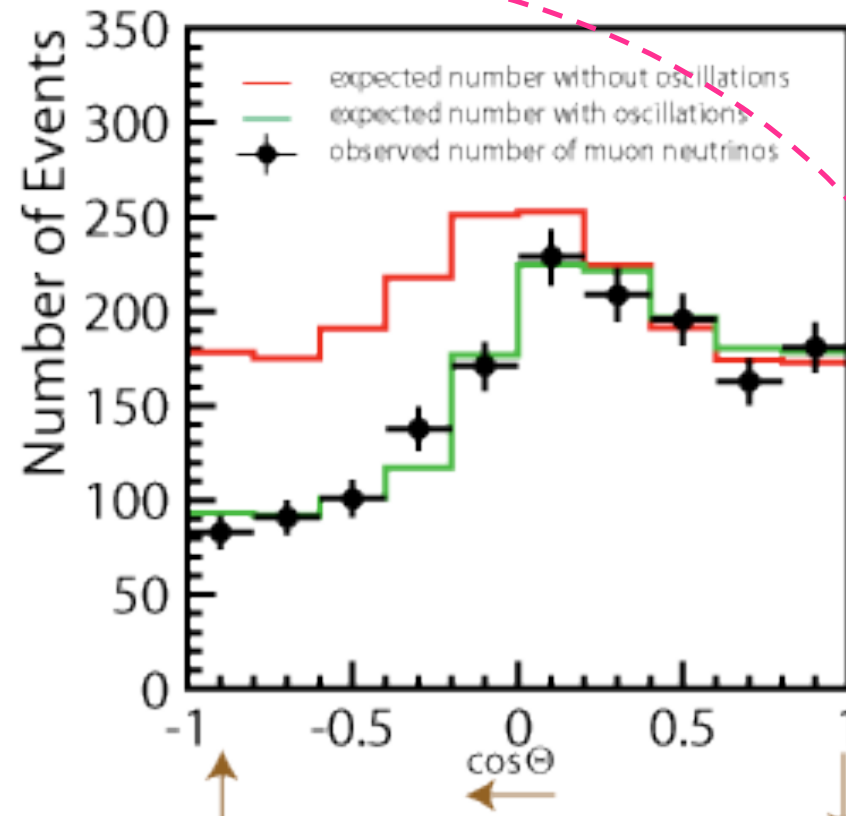
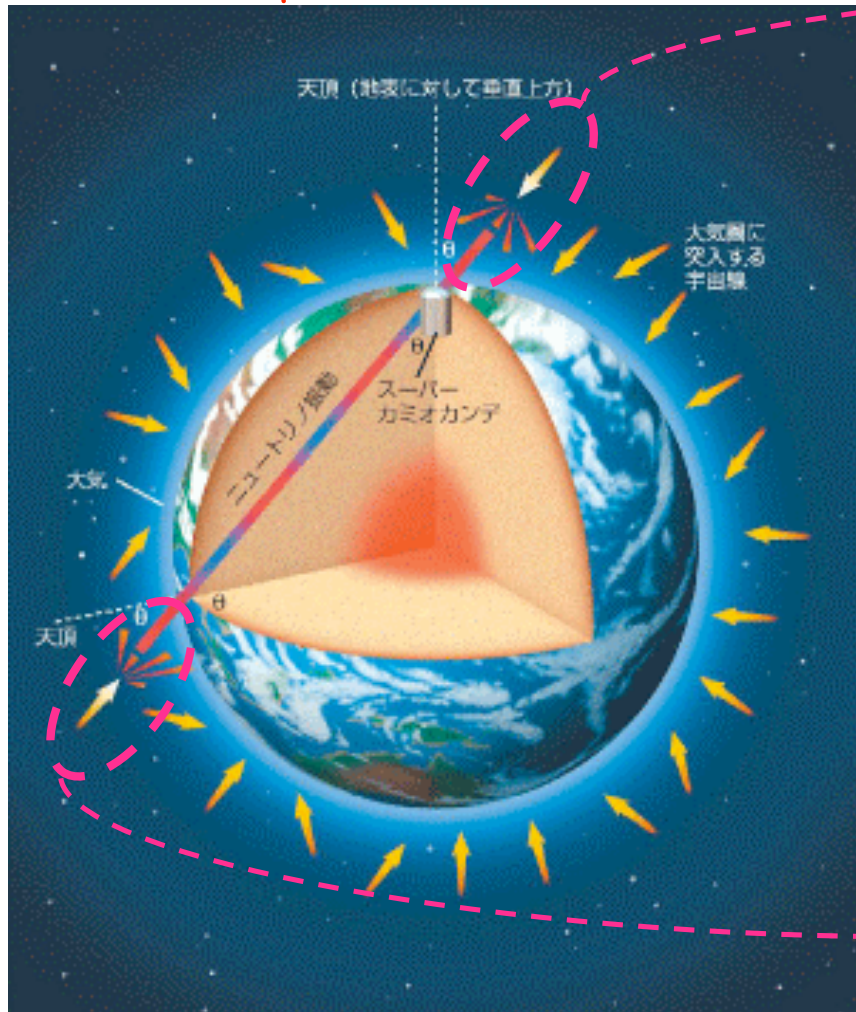
μ^- DECAY MODES

Fraction (Γ_i/Γ)

| | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| $e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ | $\approx 100\%$ |
| $e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \gamma$ | [d] $(1.4 \pm 0.4) \%$ |
| $e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu e^+ e^-$ | [e] $(3.4 \pm 0.4) \times 10^{-5}$ |

principalmente neutrinos muónicos ν_μ

flujo de ν_μ en función del ángulo de incidencia:



hacia arriba,
viajan ~13000 km

hacia abajo,
viajan ~20 km

también el flujo de ν_μ depende de la distancia de vuelo !

Solares, atmosféricos, ν_e , ν_μ producidos de forma totalmente distinta con flujos que cambian de forma similar con la distancia viajada

⇒ oscilaciones de sabor ⇒ ¡masa !

y la correspondiente **matriz de mezcla masa / sabor** que abre un mundo de posibilidades ... a destacar la **violación de CP en el sector leptónico**

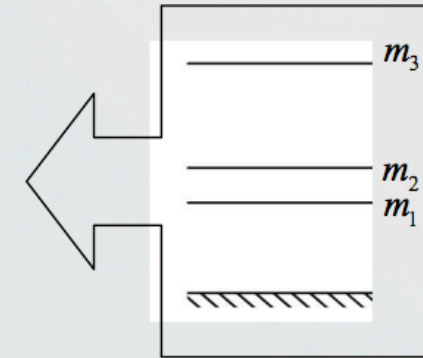
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}_L \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}_L \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}_L$$

Standard Model states

$$s_{12} \equiv \sin\theta_{12} ; c_{12} \equiv \cos\theta_{12} \text{ etc.}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{13}c_{12} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - s_{23}s_{13}c_{12}e^{i\delta} & c_{23}c_{12} - s_{23}s_{13}s_{12}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{23}s_{12} - s_{13}c_{23}c_{12}e^{i\delta} & -s_{23}c_{12} - s_{13}s_{12}c_{23}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Neutrino mass states



$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta_{CP}} \\ 0 & 0 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta_{CP}} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{i\beta_1} & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\beta_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Atmospheric experiments

Reactors, T2K, NOVA...CP phase, Nufact, BBeam

Solar experiments

Majorana phases

es fundamental el determinar los parámetros de la matriz de mezcla

Hasta aquí el pasado/presente

¿ cuál es el presente/futuro ?

¿ en que vamos a trabajar en los próximos años ?

1. continuar el programa actual:

⇒ siempre buscando la no estabilidad del protón

⇒ mejora significativa de la medida de los parámetros de la matriz de mezcla leptónica

⇒ en particular θ_{13} ⇒ ¿violación CP en el sector leptónico ?

⇒ búsqueda indirecta de materia oscura

2. aumentar significativamente el potencial científico de **SK** ...
(*ver a continuación*)

Hasta aquí el pasado/presente

¿ cuál es el presente/futuro ?

¿ en que vamos a trabajar en los próximos años ?

1. continuar el programa actual:

- ⇒ siempre buscando la no estabilidad del protón
- ⇒ mejora significativa de la medida de los parámetros de la matriz de mezcla leptónica
- ⇒ en particular θ_{13} ⇒ violación CP en el sector leptónico ?
- ⇒ búsqueda indirecta de materia oscura

2. aumentar significativamente el potencial científico de **SK** ...
(ver a continuación)

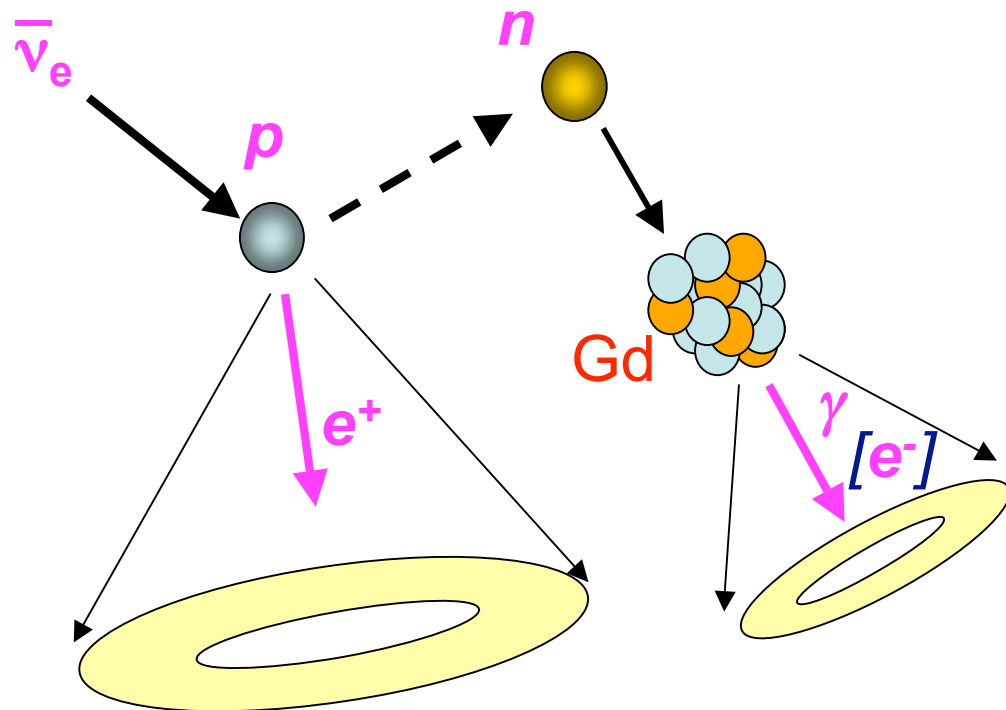
**se necesitan estudiantes con
buen expediente para Doctorado
contactar L. Labarga**

Water Cherenkov detectors and the Gadolinium (Gd)

- SK success largely due to detection technique: Water Cherenkov
- Caveat: no *n* neutron tagging
 - ⇒ no inverse β^- decay reaction (CCQE) measurement
 - ⇒ no anti- ν tagging at all
 - *marginal sensitivity to “relic” Supernova- ν*
 - *no sensitivity to reactor- ν*
 - *no “others” ...*
- Solution: dissolve 0.2% (by mass) Gd compound in SK water
 - key:*
 - Gd has a very large cross-section for *n* capture,
 - in the process it emits a few γ ,s with total energy 8 MeV
 - SK has setup a **very strong R&D program** to implement it
 - ... see what follows ...*

neutron tagging in Gd-enriched Water-Cherenkov detectors

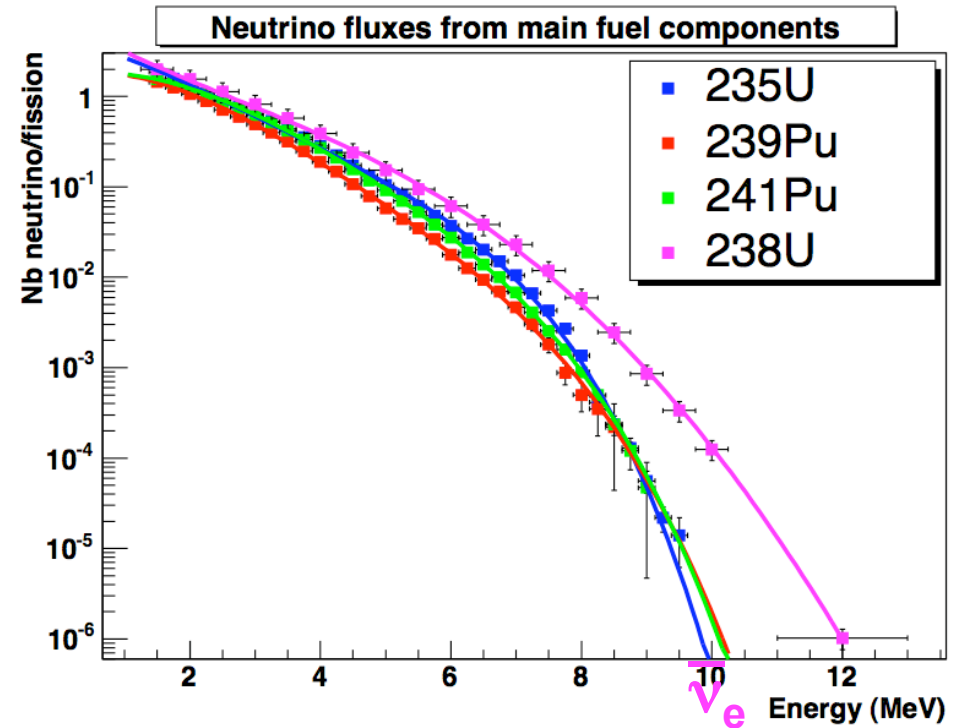
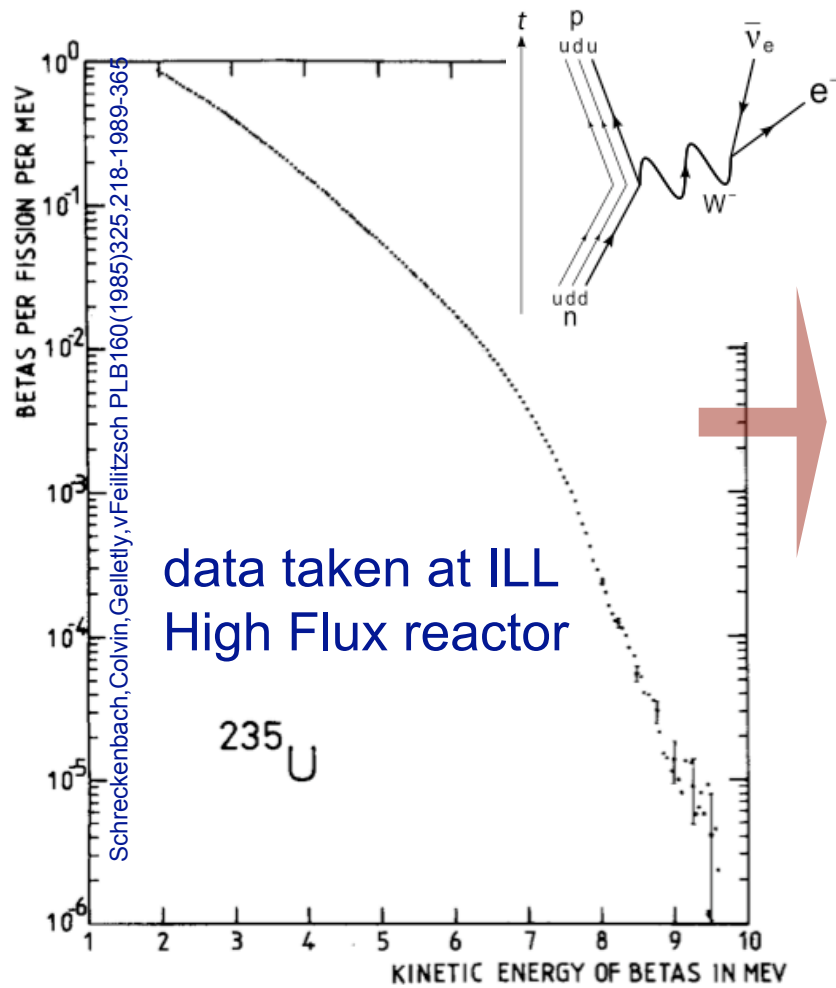
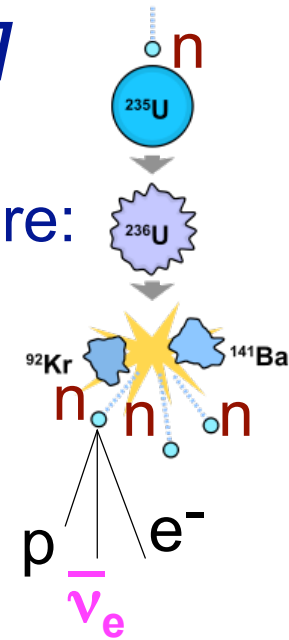
basic reaction is inverse β process



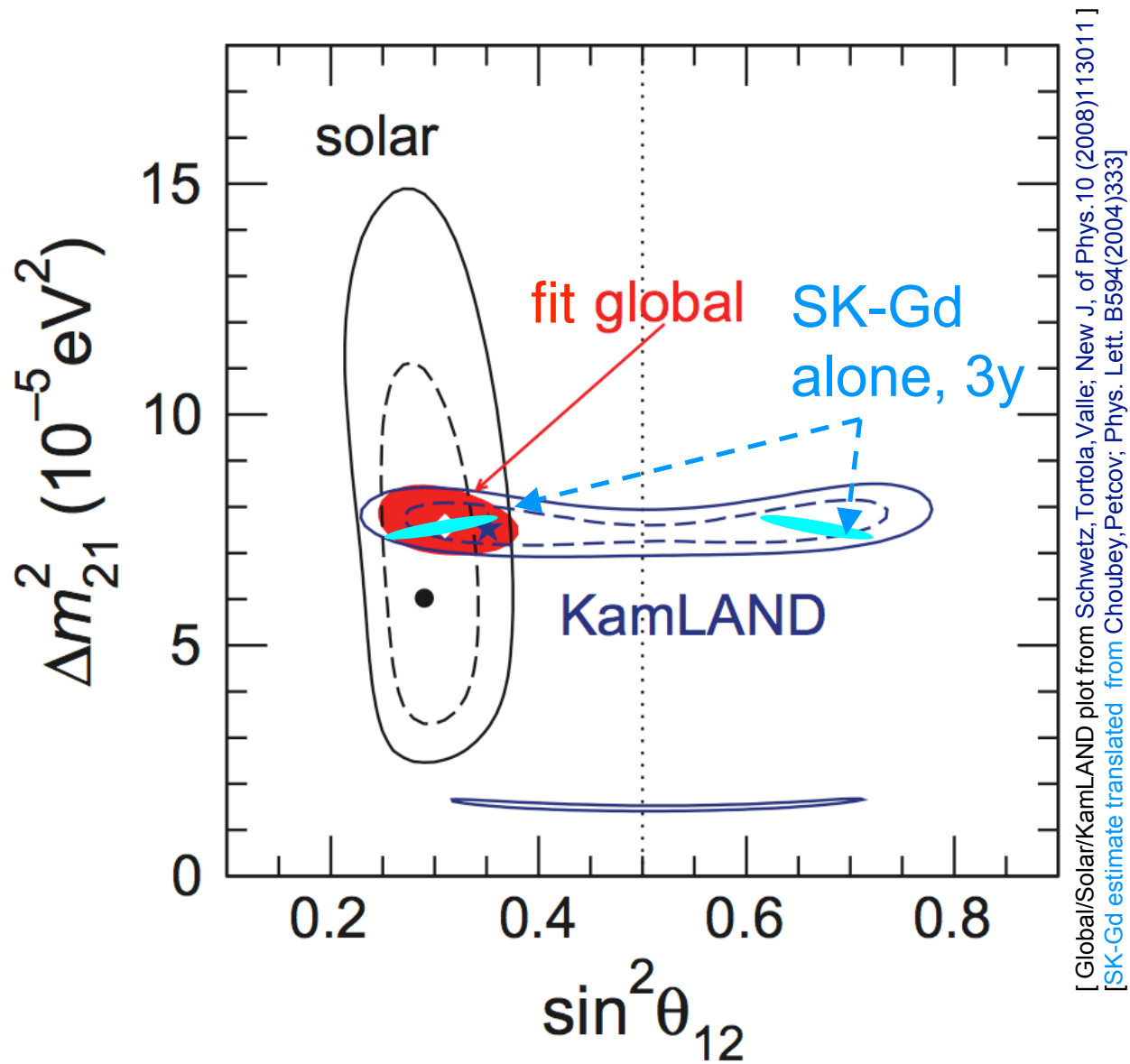
- e^+ is detected
- n wanders around for $\sim 12\mu s$ until thermalises
- $\sim 20\mu s$ [$50cm$] until Gd-capture → $8MeV$ γ s
- an e^- is Compton-scat. off the γ and detected
- ⇒ $\bar{\nu}_e$ is identified by the coincidence between the e^+ and the *delayed* e^- , with **high efficiency** ($> 80\%$)

Nuclear Power Reactor ν 's [$\bar{\nu}_e$ to be precise ...]

from β^- decay of fission products in the core:



Nuclear Power Reactor ν 's

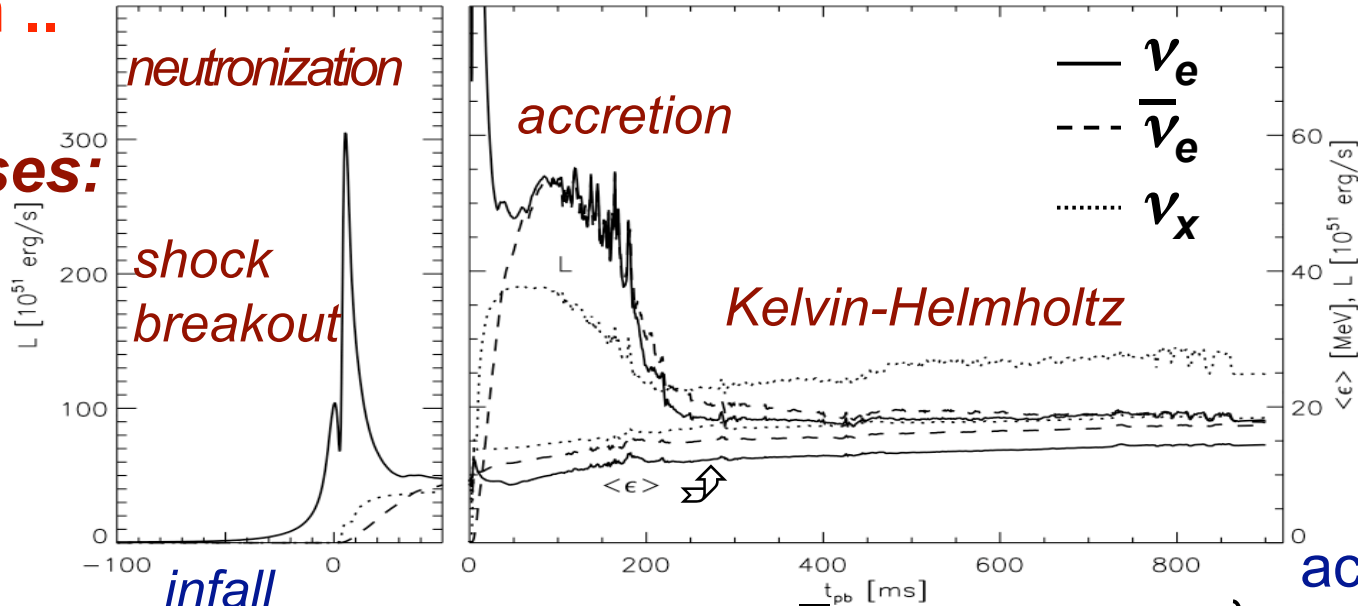


⇒ **SK-Gd** will improve significantly the measurement of Δm_{21}^2

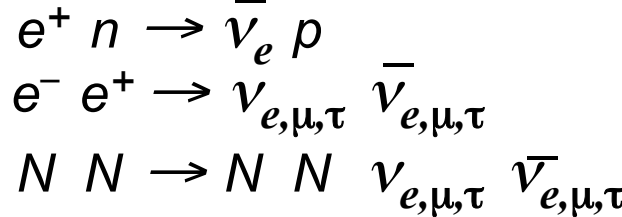
ν 's from Super-Nova explosions

Main ..

phases:



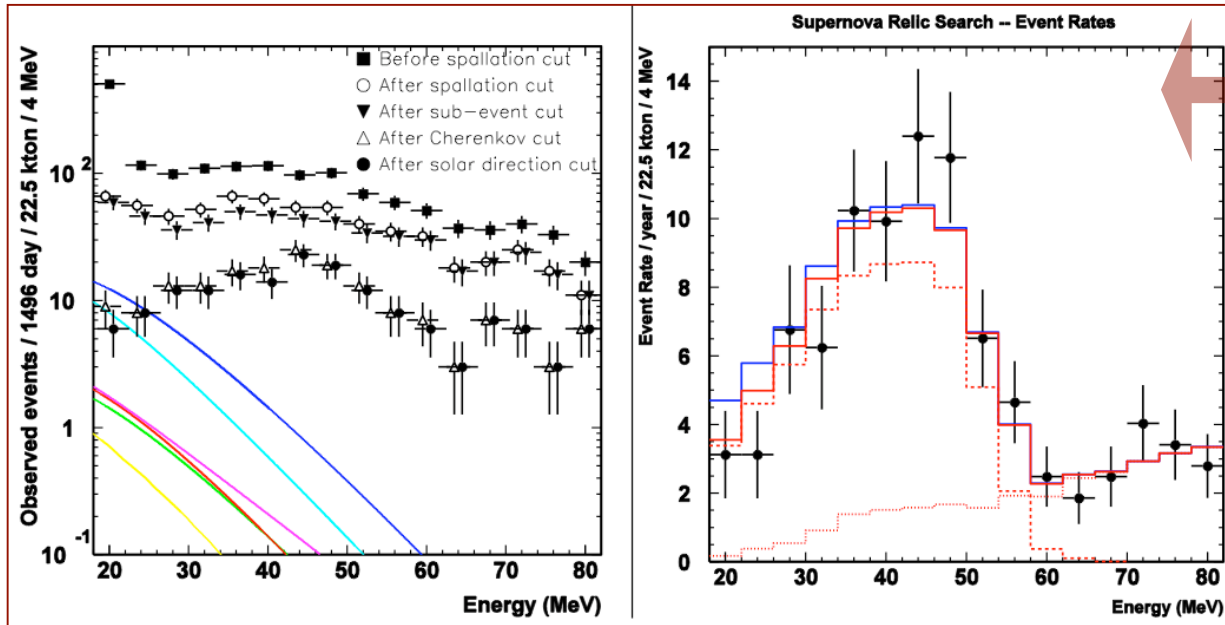
reactions:



access to these reactions,
access to those phases

During a core-collapse supernova, $\sim 10^{53}$ ergs of energy are released, $\sim 99\%$ of which are in the form of ν ,s. To date, the only time that a burst of such ν ,s has been detected was in the case of SN1987A. However, it is generally believed that core-collapse supernovae have occurred throughout the universe since the formation of stars. Thus, *it should exist a diffuse background of ν ,s originating from all the supernovae that have ever occurred.*

“relic” ν 's or Diffuse SN Neutrino Background (DSNB) in SK



without delayed n -tag

world's best limit (SK)

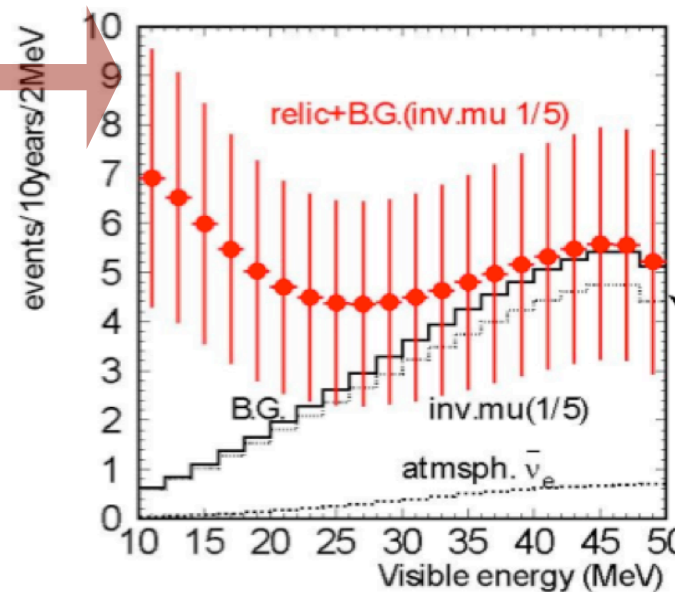
SK, M.Malek et al. PRL90(2003)061101

overwhelmed by the background

with delayed n -tag

Relic model:
AstropartPhys18(2003)307
with flux revised in NNN05

Assumptions:
- 67% detection efficiency
- Invisible μ can be reduced
by a factor of 5



SK, 10y, 10-30 MeV

33 signal events

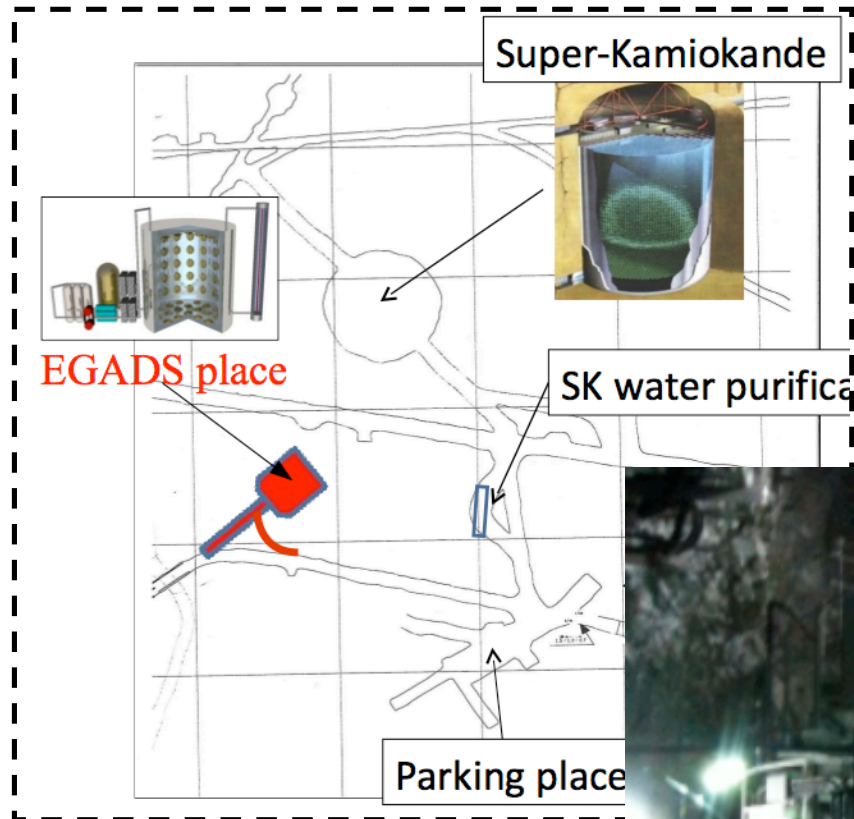
27 bkg. events



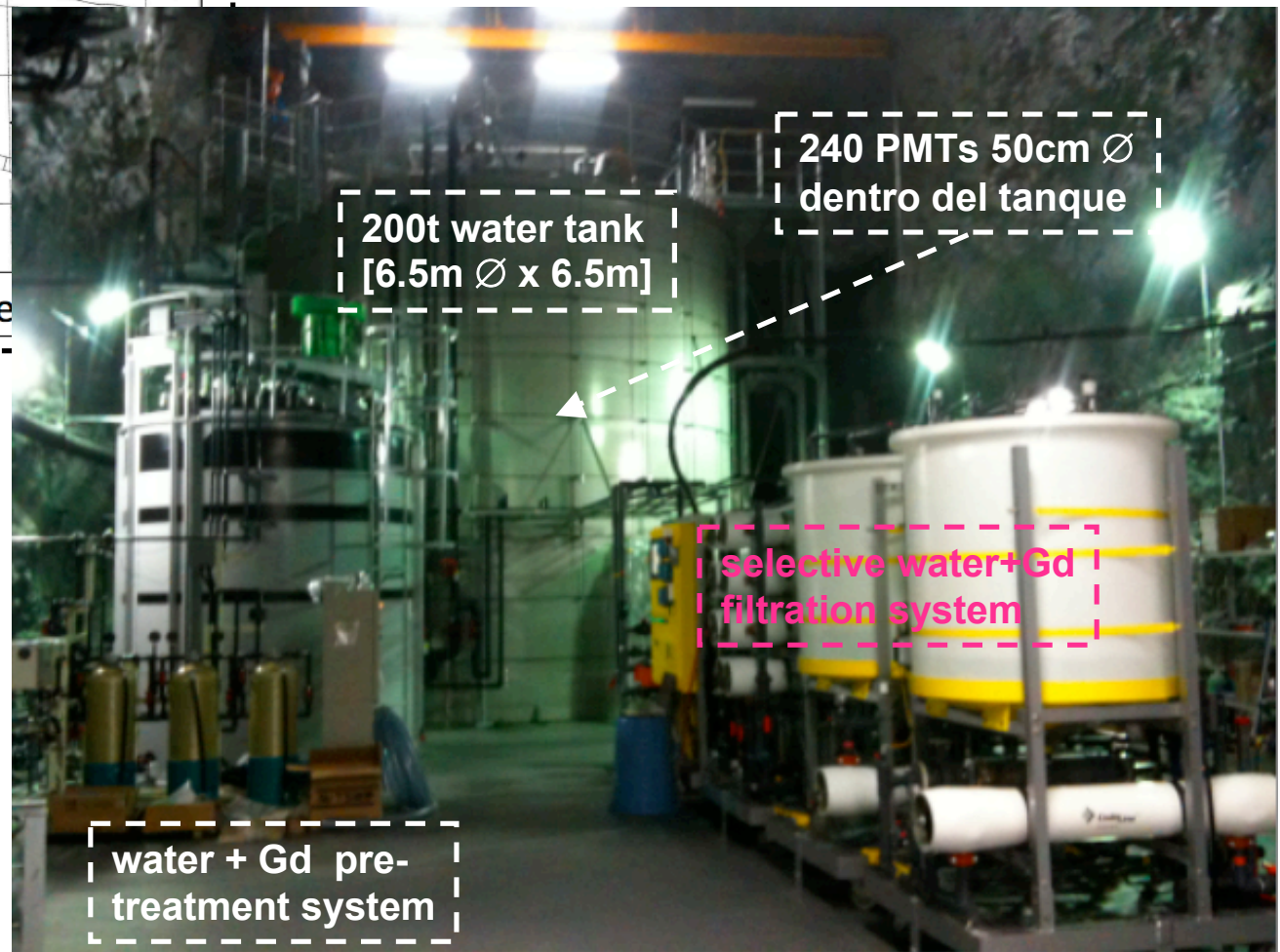
SK will discover DSNB

El ***Programa de I+D para la identificación de neutrones*** se desarrolla alrededor de **EGADS**: el **tanque-prueba de 200 t** y su equipamiento auxiliar que se está poniendo a punto en una nueva caverna en el Observatorio Subterráneo de Kamioka.

A día de hoy (marzo 2011) el **hall** experimental está totalmente **operativo**. También lo están el **tanque**, el sistema automático de **medida de la longitud de atenuación del agua** y el sistema de **medida de la concentración de Gd en agua**.



caverna, infraestructura y equipo experimental de EGADS

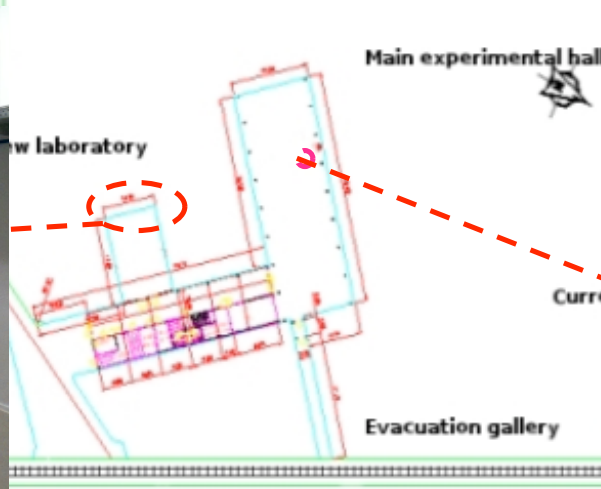
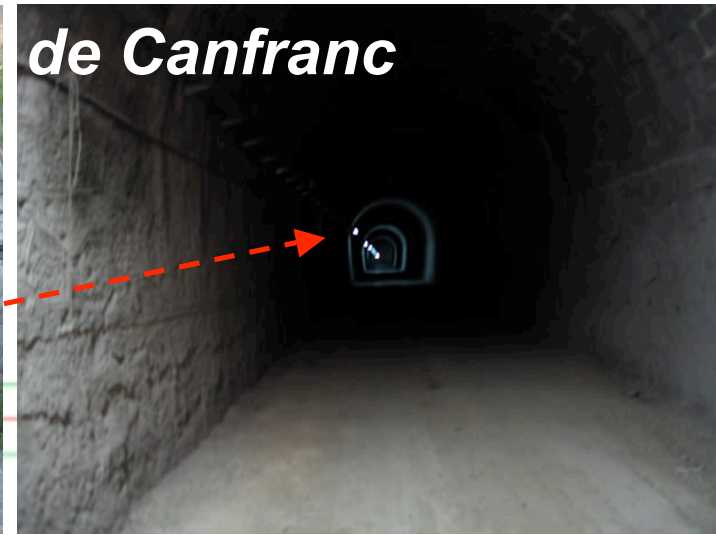
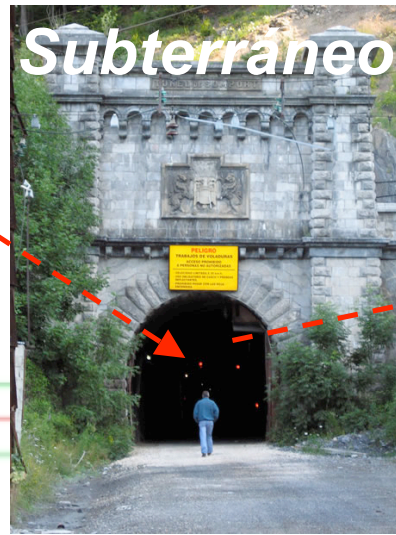
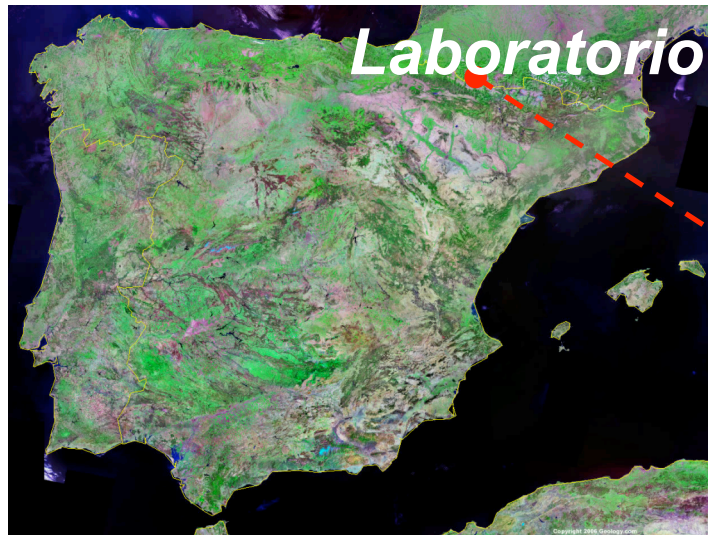


- actualmente nuestra principal actividad es la puesta a punto y toma de confianza del **sistema de filtrado selectivo de agua**, sistema totalmente pionero que tiene como objeto mantener la pureza del agua a niveles extremos, pero permitiendo a su vez que el $Gd_2(SO_4)_3$ pase libremente por él.
- desde hace más de un mes lo estamos **monitorizando** 24h/día, 7 días /semana, **principalmente de forma remota**, analizando y corrigiendo los distintos fallos que van surgiendo
- la puesta a punto del sistema para disolver el $Gd_2(SO_4)_3$ en el agua se llevará a cabo una vez finalizado lo anterior

estamos llevando a cabo muchas otras actividades y estudios, entre ellos, y fundamental, la investigación de posibles **fondos**, principalmente **neutrones** de otras fuentes ...



parte del programa lo desarrollamos **en el LSC**



medida de las **contaminaciones radioactivas** [neutrones fondo] en los materiales que intervienen en SK+Gd con detectores de **Ge** de alta pureza y ultra-bajo fondo

preparando el material a medir



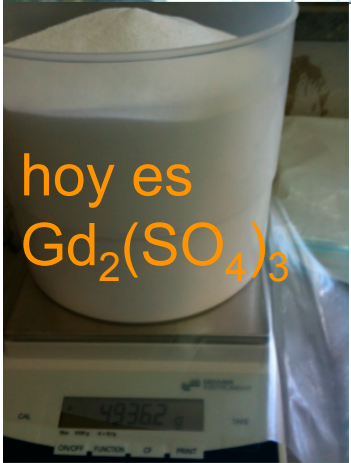
midiendo: todo bien apantallado y blindado



dos de los detectores de Ge del LSC



hoy es $Gd_2(SO_4)_3$



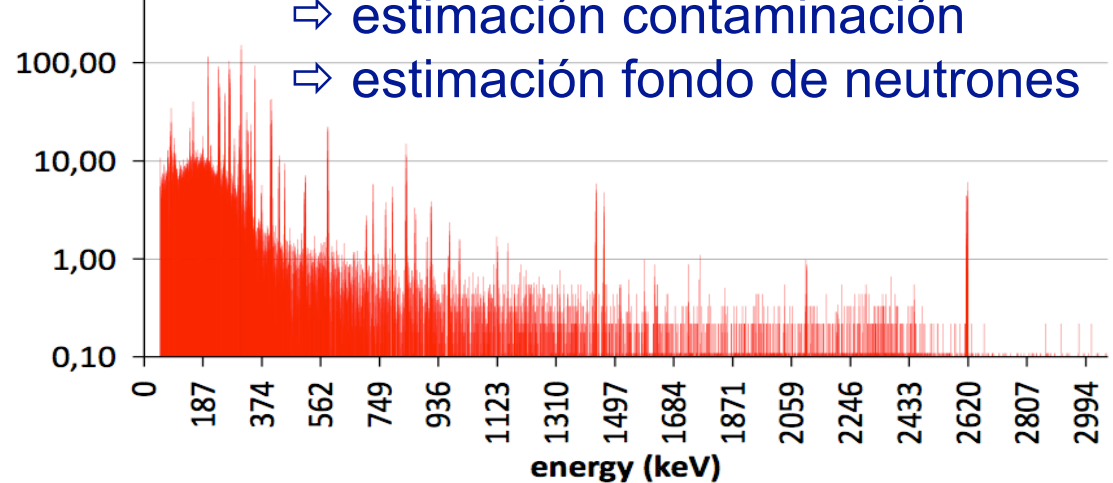
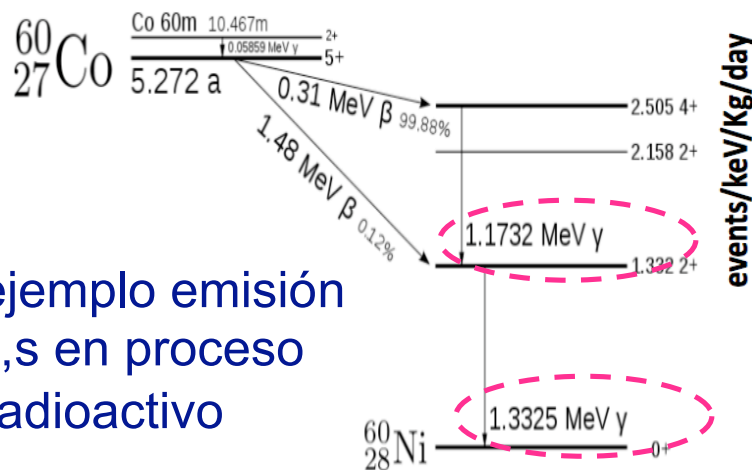
Gd batch 200904, GeOroel, run20101224-20110104, bkg (run20101214-22) corrected

espectro y flujo medido

⇒ estimación contaminación

⇒ estimación fondo de neutrones

ejemplo emisión γ ,s en proceso radioactivo



preparando el material a medir

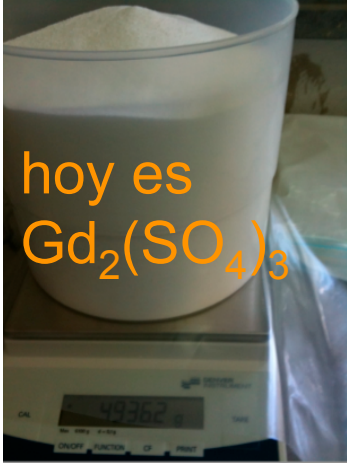


midiendo: todo apantallado y blindado



dos de los detectores de Ge del LSC

hoy es $Gd_2(SO_4)_3$

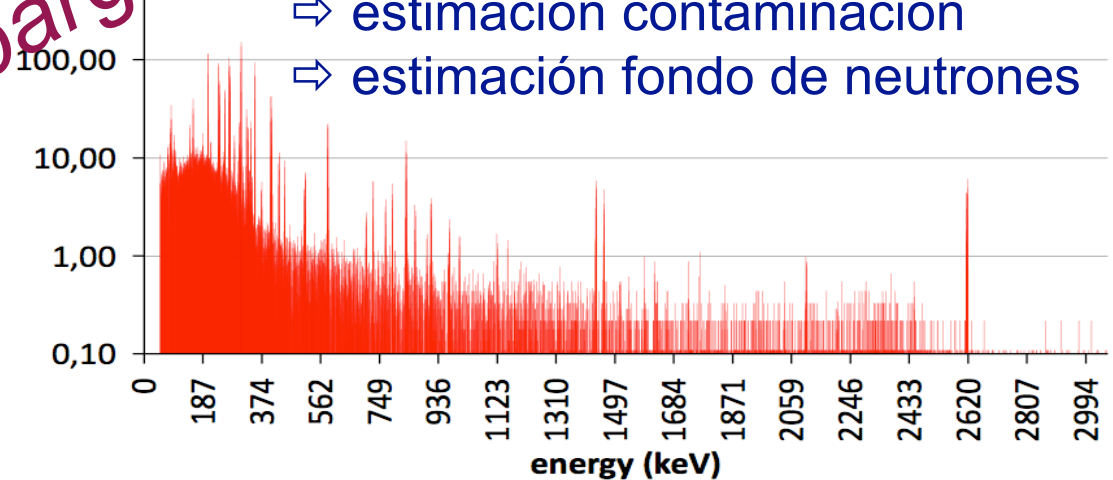


Gd batch 200904, GeOroel, run20101224-20110104, bkg (run20101214-22) corrected

espectro y flujo medido

- ⇒ estimación contaminación
- ⇒ estimación fondo de neutrones

ejemplo emisión γ ,s en proceso radioactivo



se necesitan estudiantes con buen expediente para contactar L. Labarga

Beca Colaboración

volvemos a Kamioka, a la caverna de **EGADS**

tanque (fuera de la figura)

sala de control y apoyo



Lluís Martí, PostDoc UAM, en acción



con los 500 Kg de $Gd_2(SO_4)_3$
a disolver en el tanque prueba



sistema desarrollado para la
medida de la concentración de
Gd en agua basado en espec-
trometría de absorción atómica



medida de la contaminación de U/Th
en una muestra de $Gd_2(SO_4)_3$ con un
espectrómetro de masas ICP

El paso siguiente (este verano) es la instrumentación del tanque;

1. las señales de la interacción de las partículas en el agua se van a medir con **240 foto-multiplicadores Hamamtsu de 50 cm** de diámetro
2. cada uno de estos foto-multiplicadores ha de ser **probado** en detalle, **calibrado** con precisión, **cableado** a su fuente de alto voltaje y a su electrónica de lectura
3. los foto-multiplicadores han de ser **montados** dentro del tanque
4. además de estos trabajos con los foto-multiplicadores, se han de **comprobar** uno a uno los **cables** de alto voltaje y señal, los canales de **alto voltaje**, los canales de **electrónica** de lectura etc.



El paso siguiente (este verano) es la instrumentación del tanque;

1. las señales de la interacción de las partículas en el agua se van a medir con **240 foto-multiplicadores Hamamtsu de 50 cm de diámetro**
2. cada uno de estos foto-multiplicadores ha de ser probado en detalle, **calibrado** con precisión, **cableado** a su fuente de alto voltaje y a su electrónica de lectura
3. los foto-multiplicadores han de ser **montados** dentro del tanque
4. además de estos trabajos con los foto-multiplicadores, se han de **comprobar** uno a uno los **cables** de alto voltaje y señal, los canales de **alto voltaje**, los canales de **electrónica de lectura** etc.



Una vez el tanque esté totalmente instrumentado:

- 1. se llenará de agua y se probará todo el conjunto usando rayos cósmicos**
 - 2. se irá sustituyendo paulatinamente el agua pura con una disolución al 0,2 % de $Gd_2(SO_4)_3$,**
- ⇒ fase de análisis y evaluación crítica de la técnica de detección de neutrones.**

Una vez el tanque esté totalmente instrumentado:

1. se llenará de agua y se probará todo el conjunto usando rayos cósmicos
2. se irá sustituyendo paulatinamente el agua pura con una disolución al 0,2% de $Gd_2(SO_4)_3$,

⇒ fase de análisis y evaluación crítica de la técnica de detección de neutrones.

se necesitan estudiantes con buen expediente para Doctorado
contactar L. Labarga