



Search for the θ_{13} mixing angle with the Double Chooz reactor experiment

Inés Gil Botella
Basic Research Department



Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



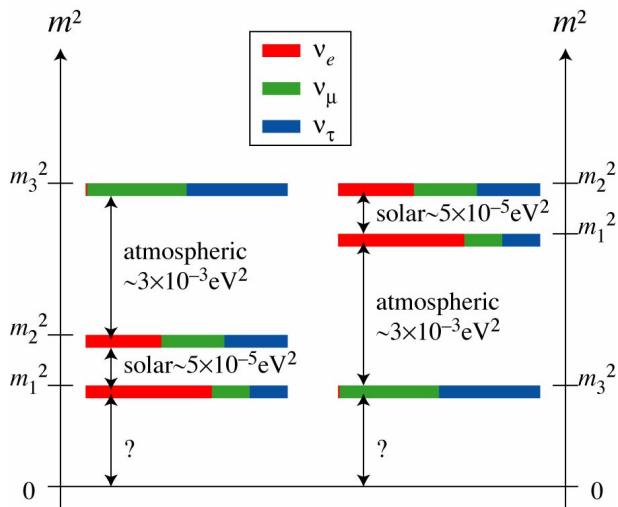
Global analysis of oscillation data

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

θ_{atm} θ₁₃, δ_{CP} ?? θ_{sol}

● m_1 ● m_2 ● m_3

↑ Δm^2_{21} ↑ Δm^2_{31}

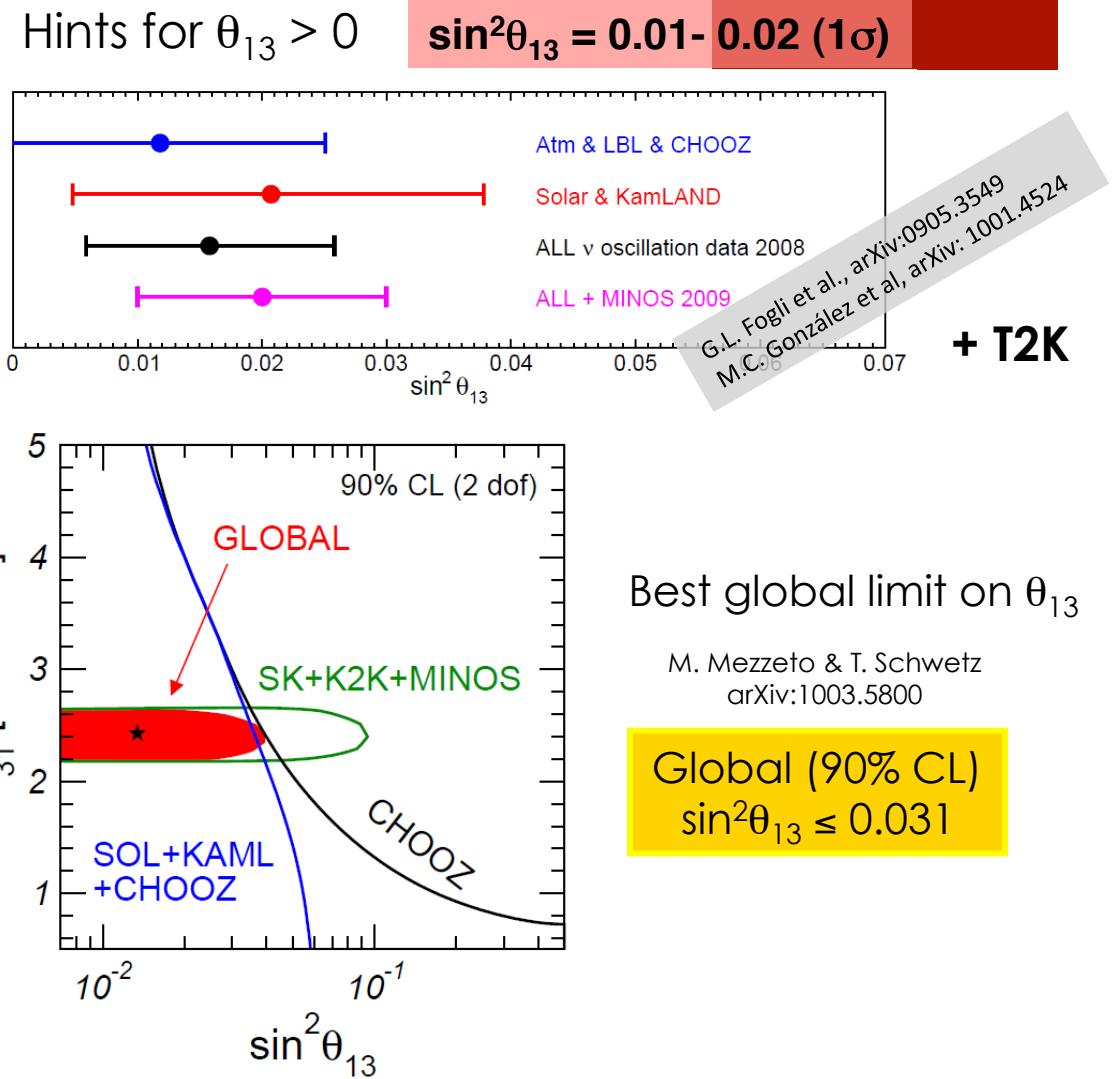
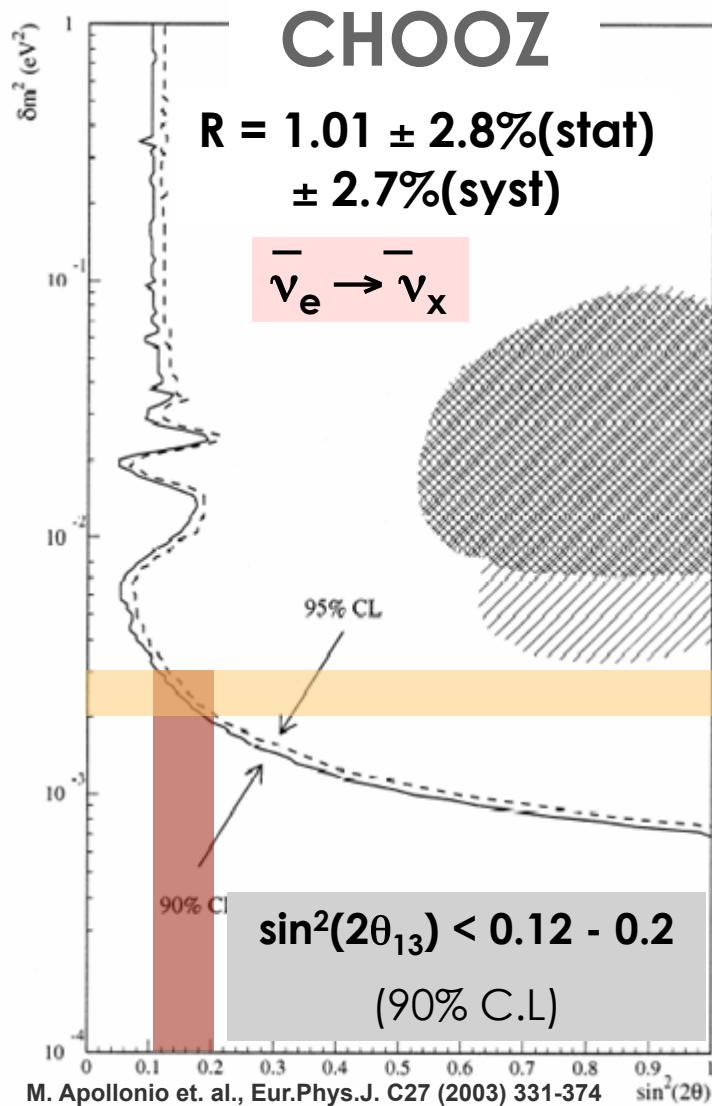


Experimental measurements

parameter	best fit	2σ	3σ
$\Delta m^2_{21} [10^{-5}\text{eV}^2]$	$7.65^{+0.23}_{-0.20}$	7.25–8.11	7.05–8.34
$ \Delta m^2_{31} [10^{-3}\text{eV}^2]$	$2.40^{+0.12}_{-0.11}$	2.18–2.64	2.07–2.75
$\sin^2 \theta_{12}$	$0.304^{+0.022}_{-0.016}$	0.27–0.35	0.25–0.37
$\sin^2 \theta_{23}$	$0.50^{+0.07}_{-0.06}$	0.39–0.63	0.36–0.67
$\sin^2 \theta_{13}$	$0.01^{+0.016}_{-0.011}$	≤ 0.040	≤ 0.056

θ₁₃, δ_{CP}, sign Δm²₃₁, θ₂₃ maximal??

The θ_{13} mixing angle



Two approaches for measuring θ_{13}

ACCELERATOR

- **Appearance** experiments
- $P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e)$ depends on $\sin^2(2\theta_{13})$, $\sin^2(\theta_{23})$, $\text{sign}(\Delta m^2_{31})$, δ_{CP} phase
 - Parameter degeneracies and correlations
 - Matter effects sensitive
- Possible measurement of CP and $\text{sign}(\Delta m^2_{31})$
- EXP. **CHALLENGES**: ν beam intensity, ν beam flavor contamination, ν flux properties, ν -N interactions

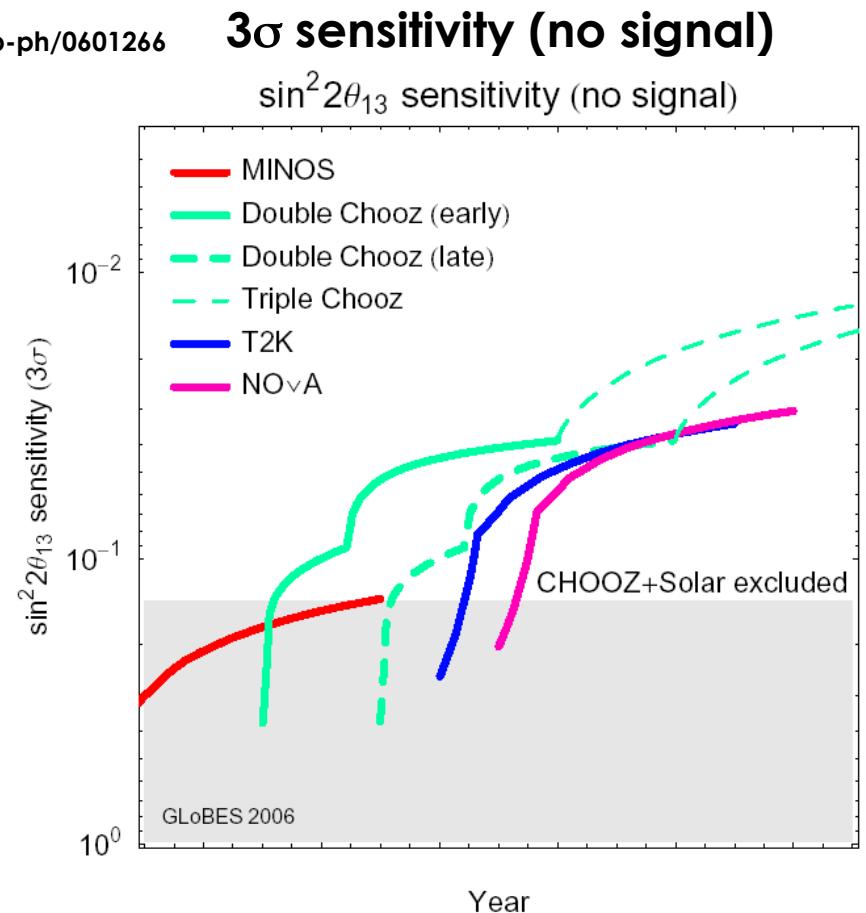
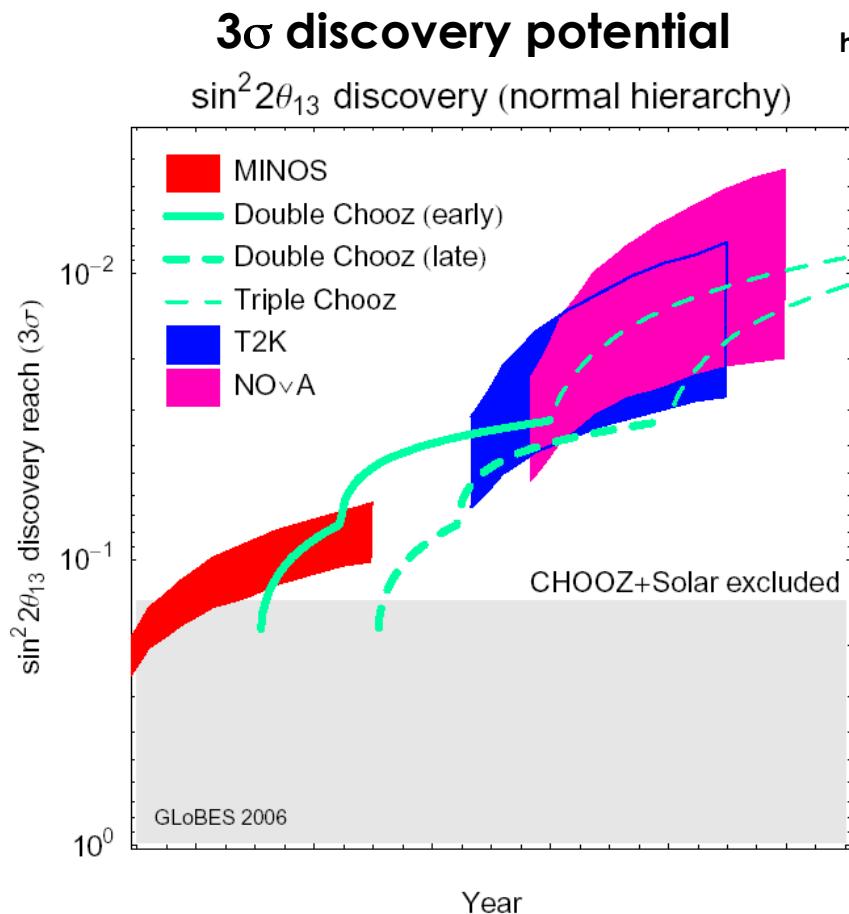
REACTOR

- **Disappearance** experiments
- $P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e)$ depends on $\sin^2(2\theta_{13})$
- **Unambiguous determination of θ_{13}**
 - no dependence on δ_{CP}
 - no dependence on mass hierarchy
 - weak dependence on Δm^2_{12}
- Resolve θ_{23} degeneracy combined with accelerator experiments
- EXP. **CHALLENGES**: backgrounds, systematic uncertainties

Both type of experiments provide independent and complementary information on θ_{13}

Evolution of the 3σ discovery and sensitivity

hep-ph/0601266



Neutrino oscillations at nuclear reactors

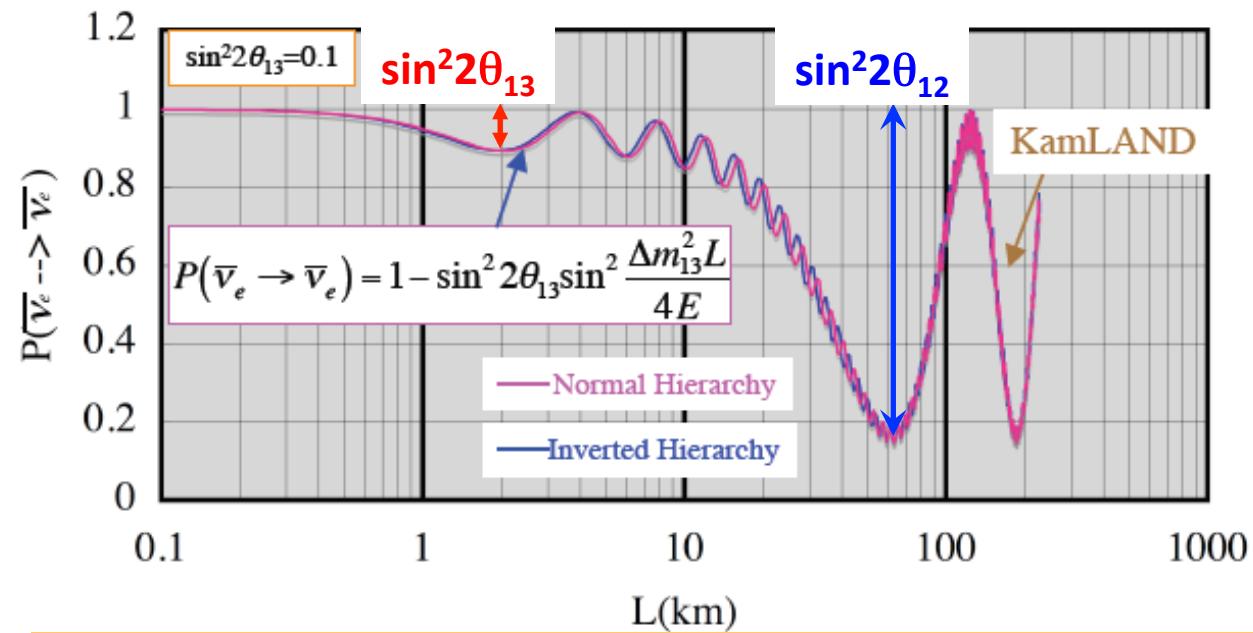
$\bar{\nu}_e$ survival probability

Clean measurement

$$P_{ee} \approx 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \left(\frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E_\nu} \right) - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \left(\frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E_\nu} \right)$$



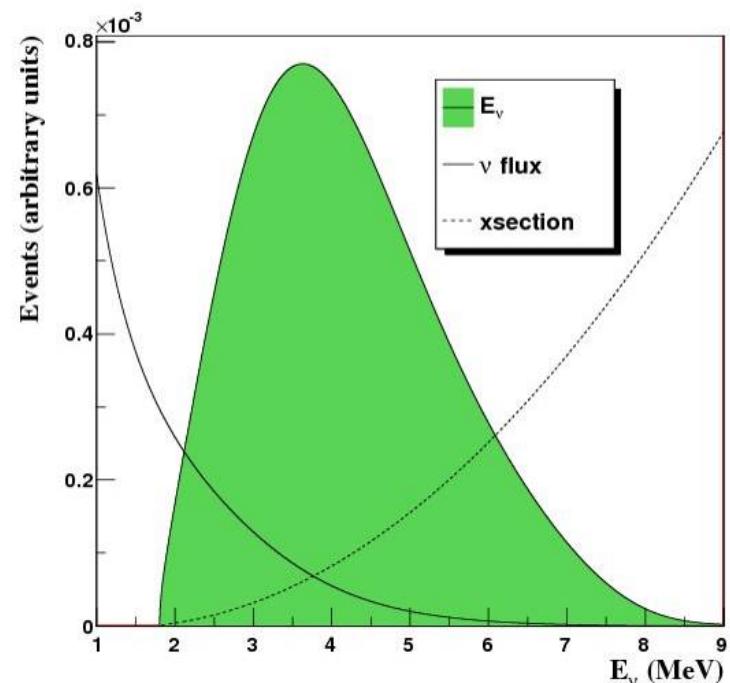
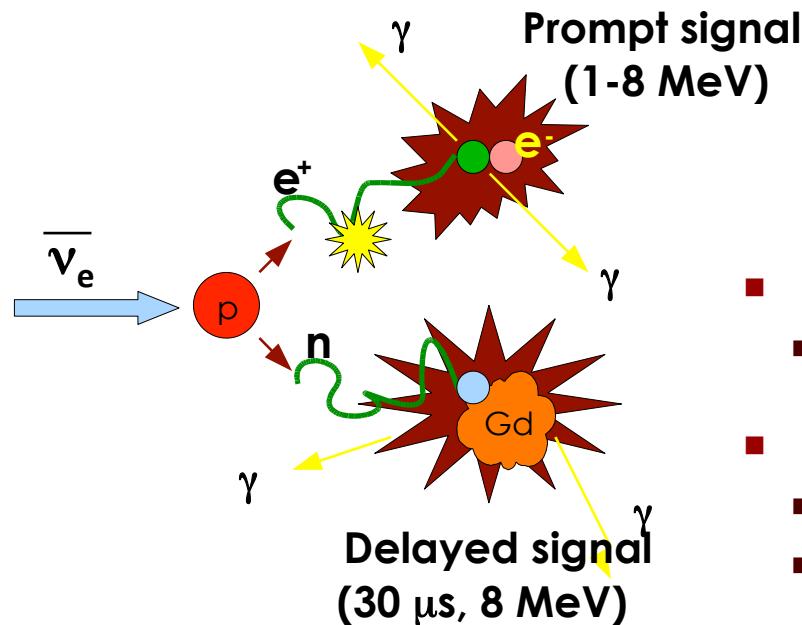
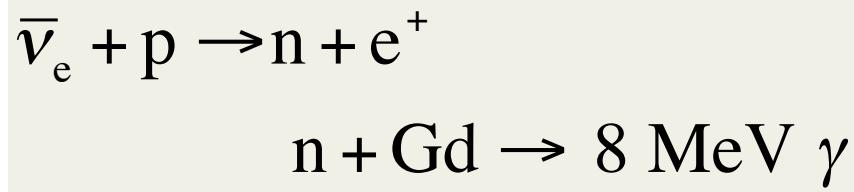
Nuclear reactors are strong, pure sources of electron antineutrinos
 $\sim 2 \times 10^{20} \bar{\nu}_e (\text{s GW}_\text{th})^{-1}$



Small deficit ($= \sin^2 2\theta_{13}$) \Leftrightarrow high precision is necessary

Antineutrino detection at nuclear reactors

$\bar{\nu}_e$ detection: inverse beta decay



- **Prompt** photons from e^+ annihilation:
 - $E_{\text{VIS}} \approx E_\nu - (M_n - M_p) + m_e$
- **Delayed** photons from n capture:
 - on H : $\Delta t \sim 200 \mu\text{s}$, $E \sim 2 \text{ MeV}$
 - on dedicated nuclei (Gd) : $\Delta t \sim 30 \mu\text{s}$, $E \sim 8 \text{ MeV}$

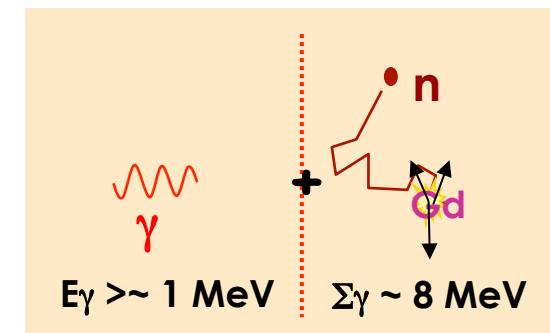
Backgrounds at nuclear reactors

■ Accidental events:

- **e+ signal-like**: radioactivity from materials, PMTs, surrounding rock,...

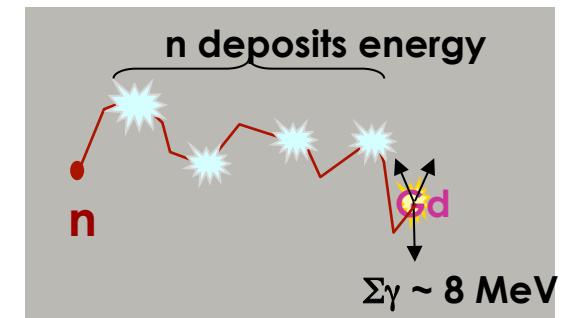
+

- **n signal-like**: neutrons from **cosmic μ 's** (thermalization + Gd-capture)



■ Correlated events:

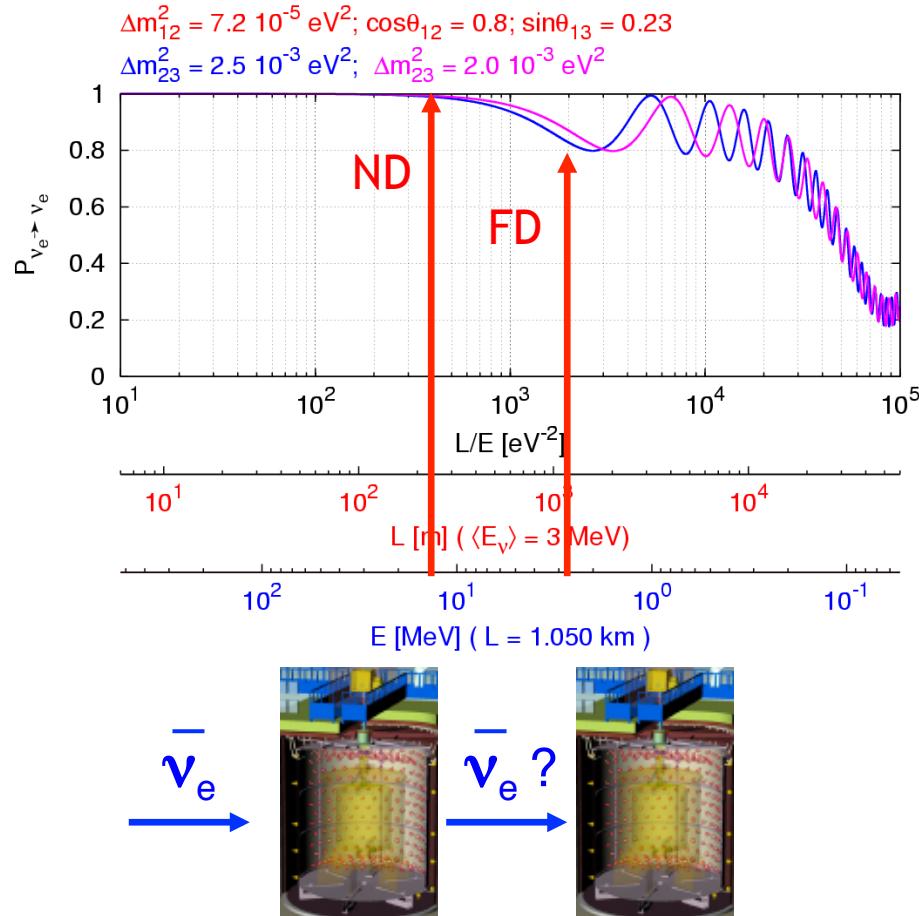
- **Fast neutrons**: produced by **cosmic μ 's**
 - Recoil-p (low energy) + Gd-capture
- **Long-lived isotopes**: ^9Li & ^8He (β -n decay), half-life time $\sim 100 \text{ ms}$



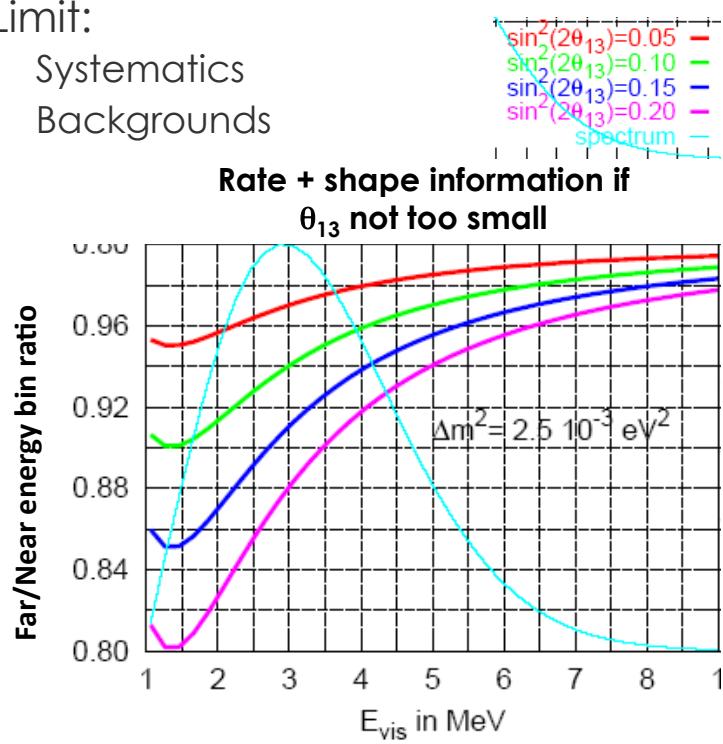
The Double Chooz concept



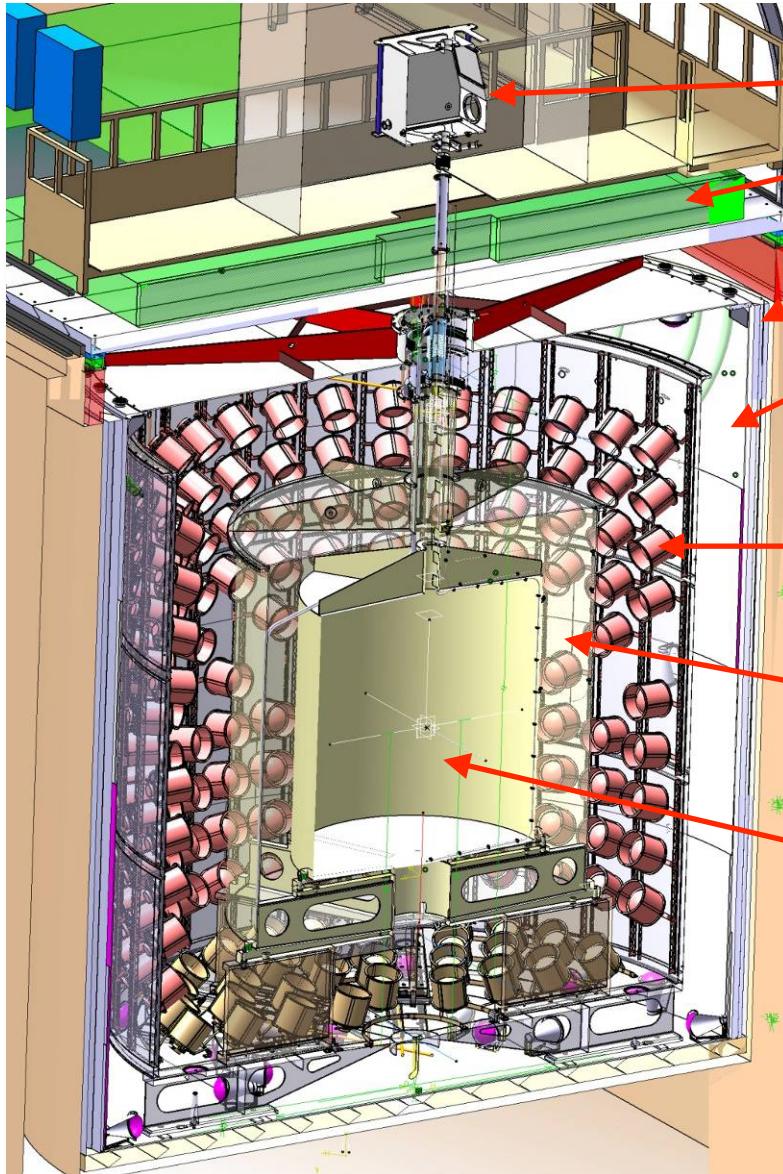
Reactor measurement principle



- 2 “identical” detectors
- Rate comparison
- Spectral distortion
- Limit:
 - Systematics
 - Backgrounds



Detector design



- **Calibration glove box**
- **Outer veto:** plastic scintillator strips
- **Shielding:** 15 cm steel
- **Inner veto:**
 - 90 m³ of liquid scintillator & 78 8" PMTs
- **Buffer:**
 - 110 m³ of non scintillating mineral oil & 390 10" PMTs
- **Gamma-catcher:**
 - 22.3 m³ of liquid scintillator
- **Target:**
 - 10.3 m³ of liquid scintillator doped with 1 g/L of Gd

Acrylic vessels and PMTs installed



Outer veto installation completed

13



Milestones

- May 2008 – October 2010: far detector construction
- December 2010: far detector filling completed
- April 2011: far detector commissioned
- **April 2011: start physics data with far detector**
- July 2011: Outer veto commissioned
- July 2011: Glove box installed
- August 2011: First campaign of calibration
- April 2012: Expected delivery of near lab
- End 2012: Expected near detector completion
- Beg 2013: Start data taking with far and near detectors

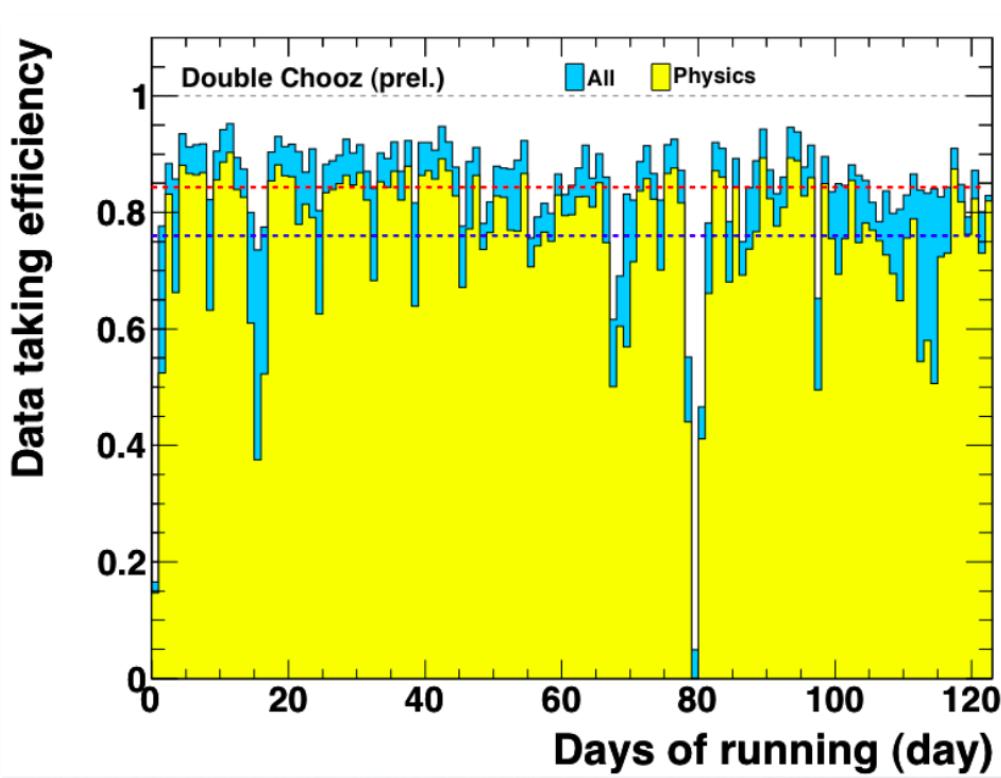


Near detector lab civil construction



- Delivery April 2012
- Detector construction until end 2012
- Overburden: 120 mwe

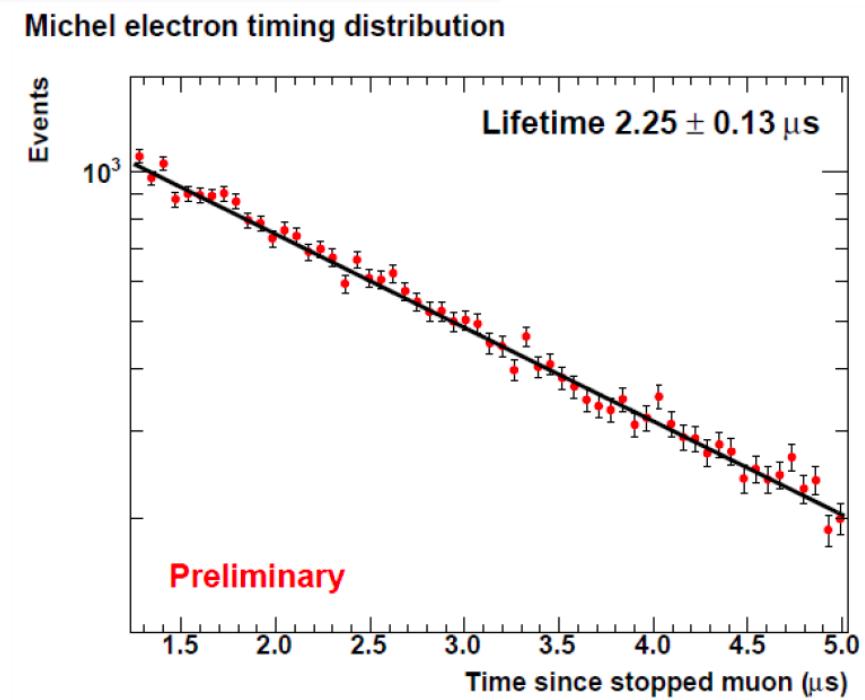
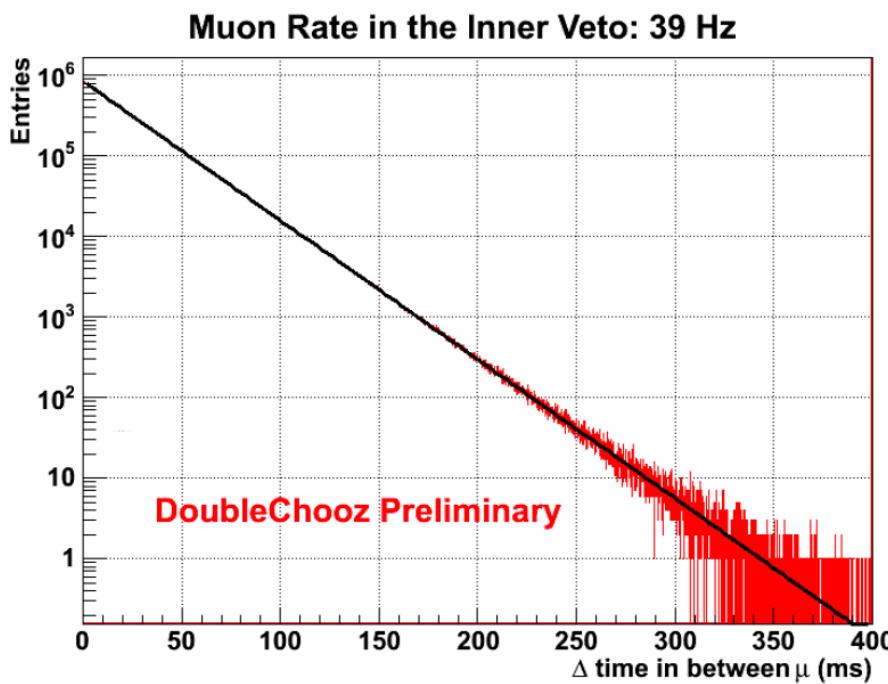
Data taking



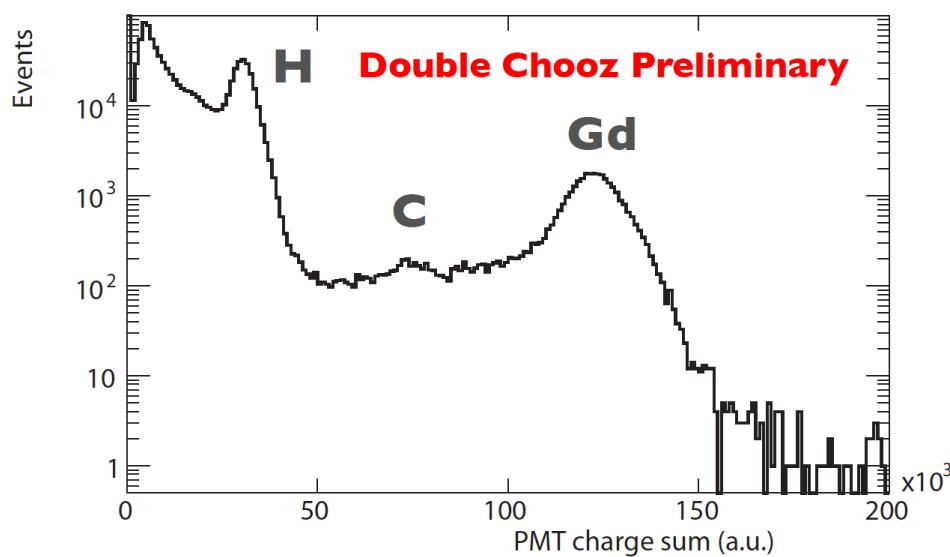
- Taking physics data since April, 13th 2011
- 75% of physics data efficiency
- 10% of calibration runs
- Trigger rate \sim 120 Hz
- Trigger threshold < 0.6 MeV

Muon detection

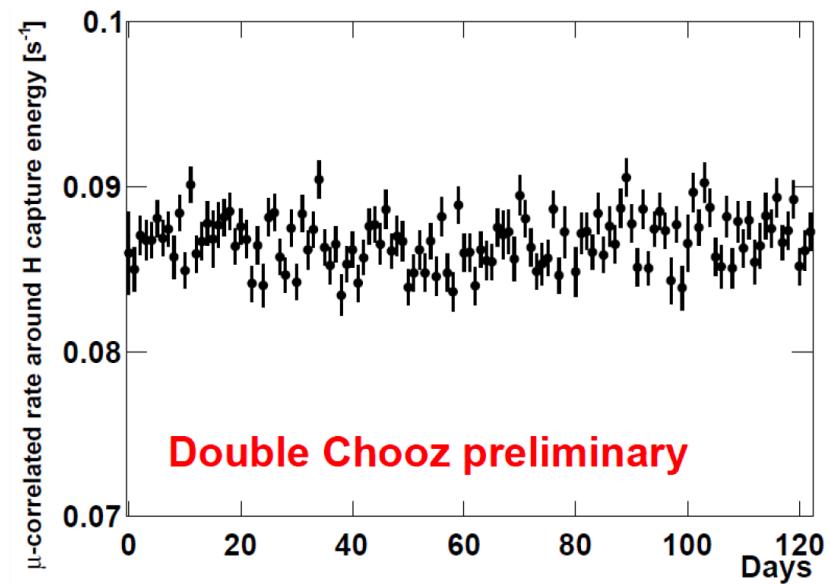
- Rate of muons in IV: 39 Hz
- Rate of muons in ID: 11 Hz
- Stopping muons can also be tagged and the Michel electron is clearly seen
- Michel electrons: $\tau = 2.25 \pm 0.13 \mu\text{s}$ (stat error only)



Muon correlated physics



Preliminary energy reconstruction only



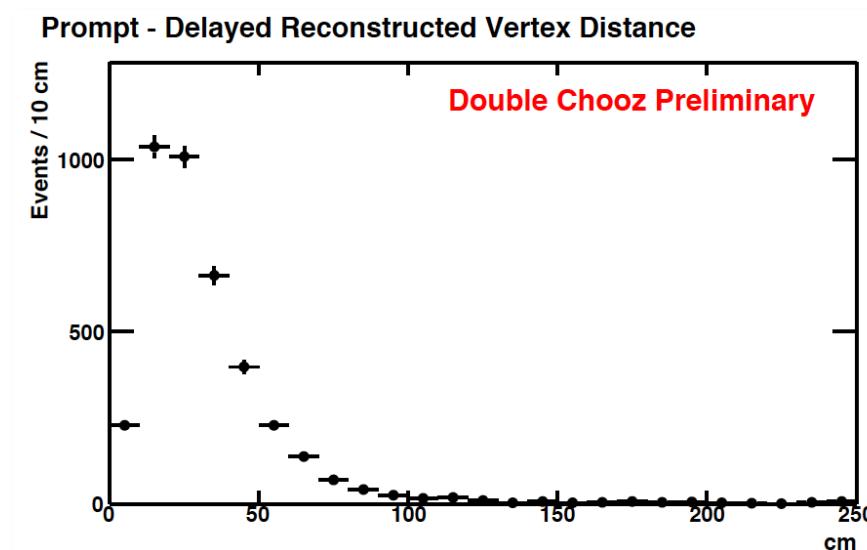
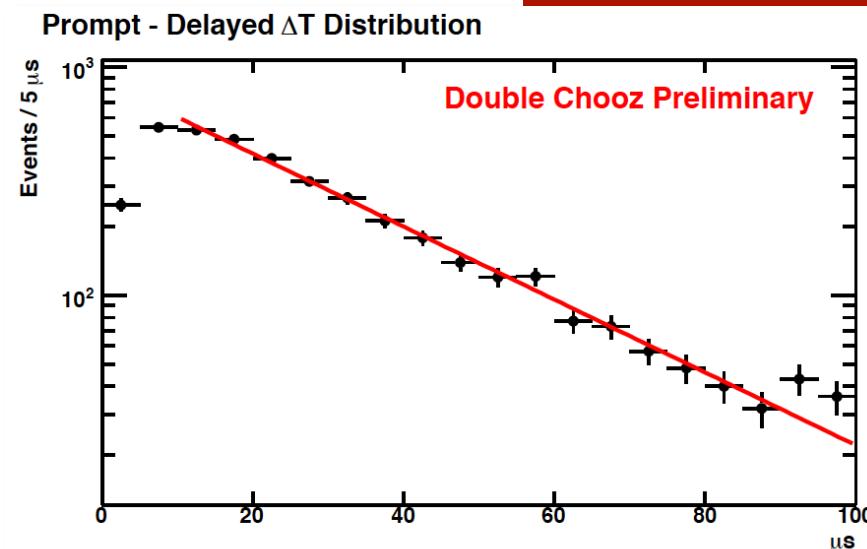
Muon induced neutron capture in H energy window (1.9 – 2.5 MeV)
Rate < 0.1 Hz stable for 120 days

Singles rate

- After vetoing muon-correlated events
- Prompt signal window [0.7-12] MeV
 - Single rate \sim 10 Hz
 - As in DC proposal (in CHOOZ, 64.8 Hz in [\sim 0.7-8] MeV)
- Delayed signal window [6-12] MeV
 - Single rate $<$ 0.01 Hz
 - $< \frac{1}{2}$ DC proposal (scaled from CHOOZ, 0.024 Hz)
- Accidental background is expected to be very low

Neutrino candidates

- **Preliminary neutrino selection:**
 - Prompt signal between 0.7 and 12 MeV
 - Delayed signal between 6 and 12 MeV
 - Coincidence window of 100 μ s
 - No trigger between prompt and delayed
 - Discard triggers in 1 ms after a muon
- **Timing distribution** between prompt and delayed signal
 - Expected n-capture on Gd \sim 30 μ s
- **Spatial distribution** between prompt and delayed signal
 - \sim 20 – 30 cm expected

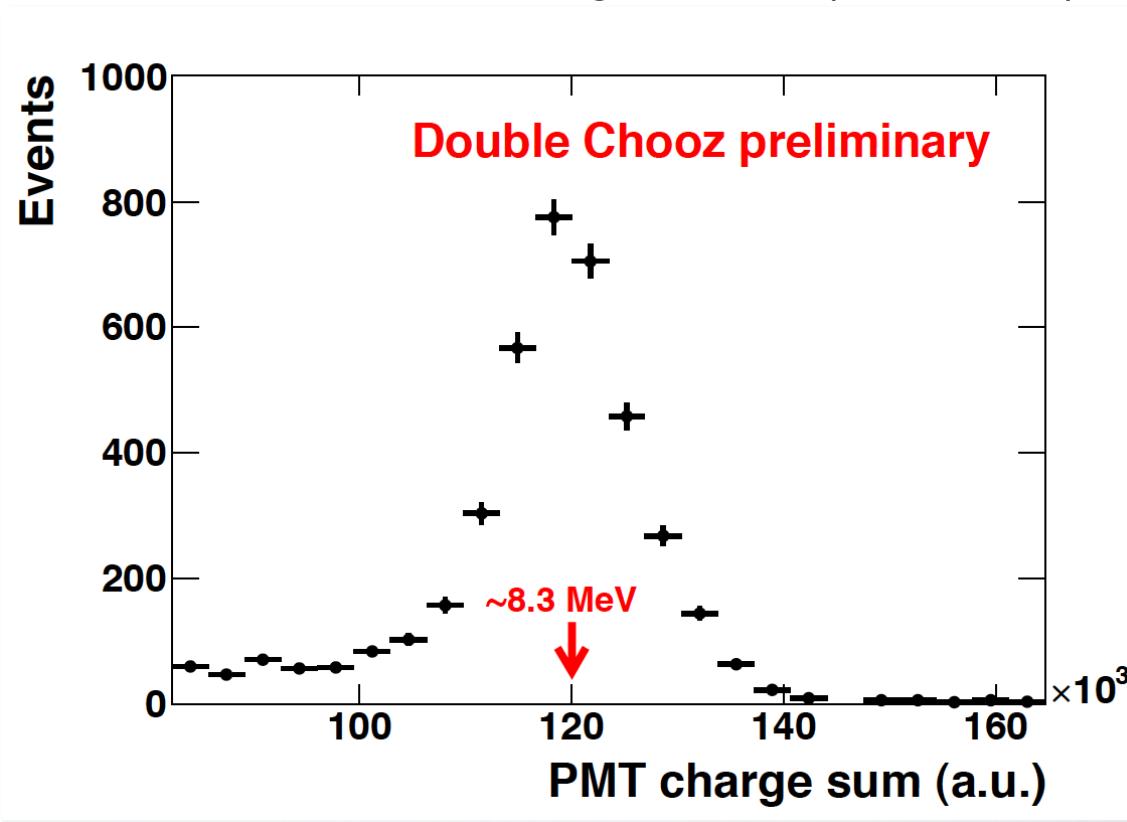


Prompt energy spectrum

- **SOON!!**
- Not allowed to show it yet

Delayed energy spectrum

Energy spectrum in the delayed Gd-energy window (6 – 12 MeV)

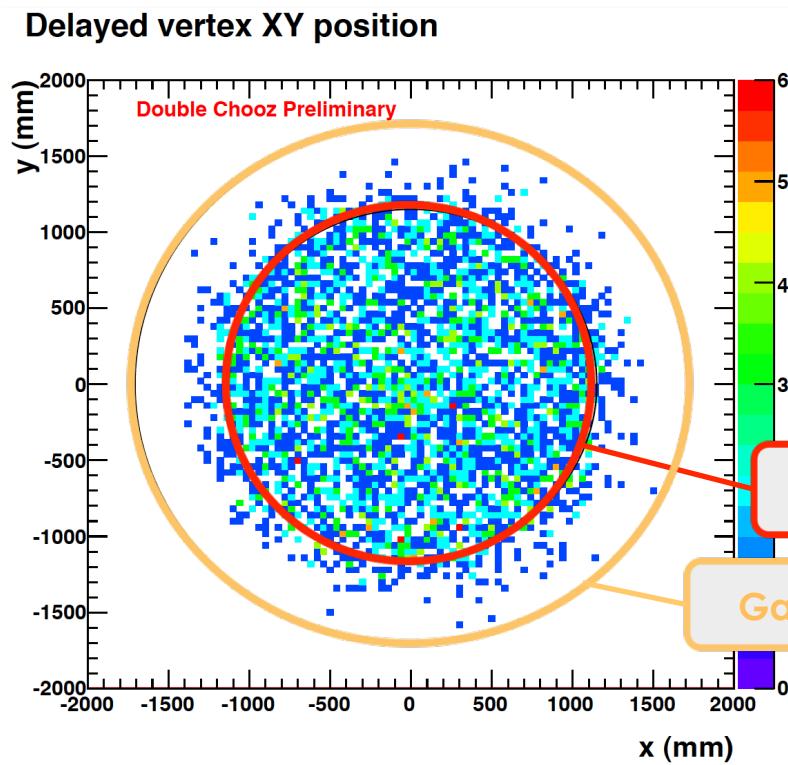


Gd peak at ~ 8 MeV

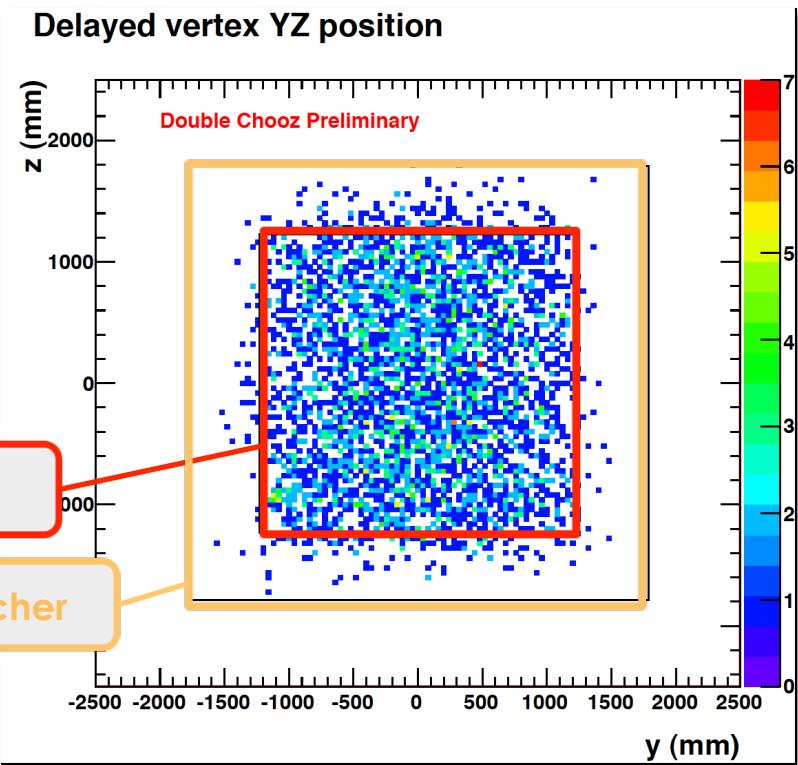
Vertex position of the delayed signal

- Vertex position reconstruction of the delayed signal
- As expected vertices inside the target where scintillator is doped with Gd

Detector top view

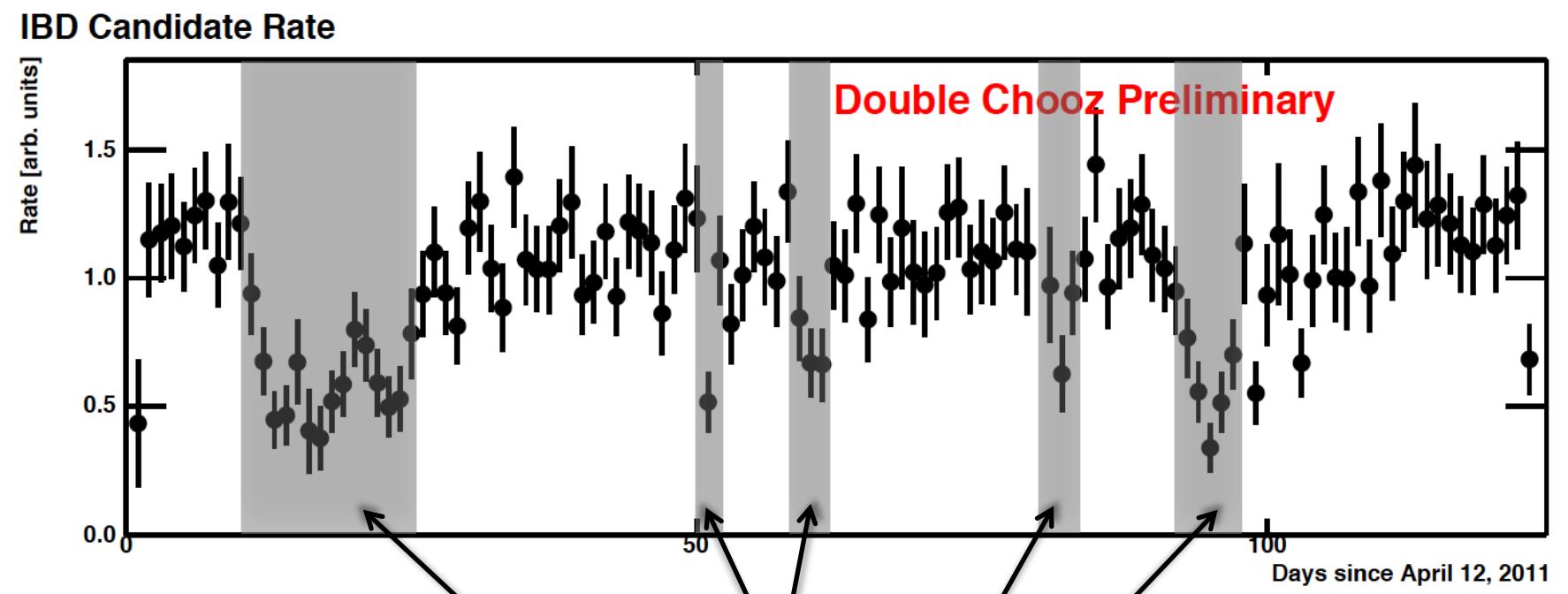


Detector side view



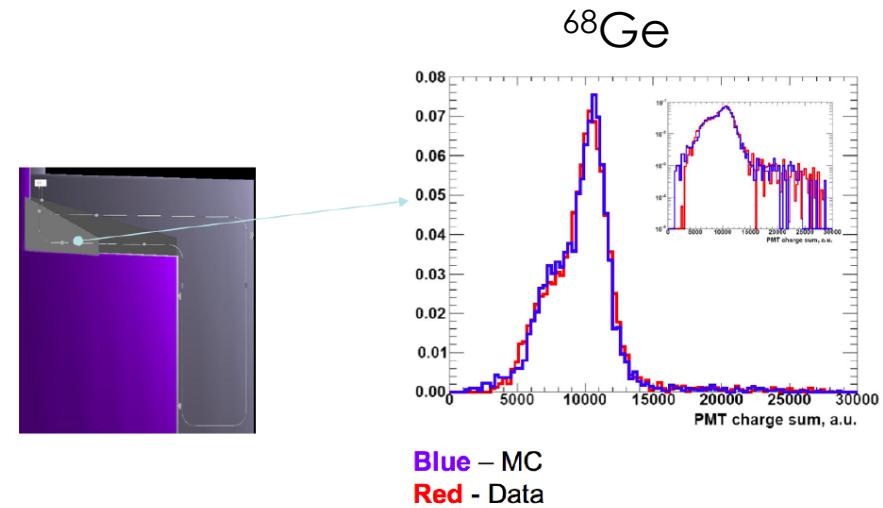
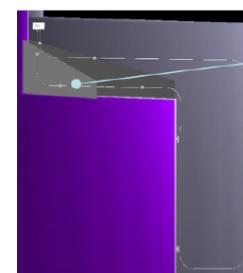
Neutrino candidates

- About 4000 candidates (neutrinos + background) in 4 months of data
- Current data exceeds Chooz statistics



Detector calibration

- Multiple calibration methods
 - **Light injection** in ID and IV
 - Monitor stability of readout (timing, gain) and scintillator
 - **Radioactive sources** deployment
 - Across most energy scale
- Sources deployed in Z axis and guide tube in GC:
 - ^{68}Ge (plot in guide tube)
 - ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{252}Cf (n source)
- MC tuning and analysis ongoing



Statistical and systematic errors

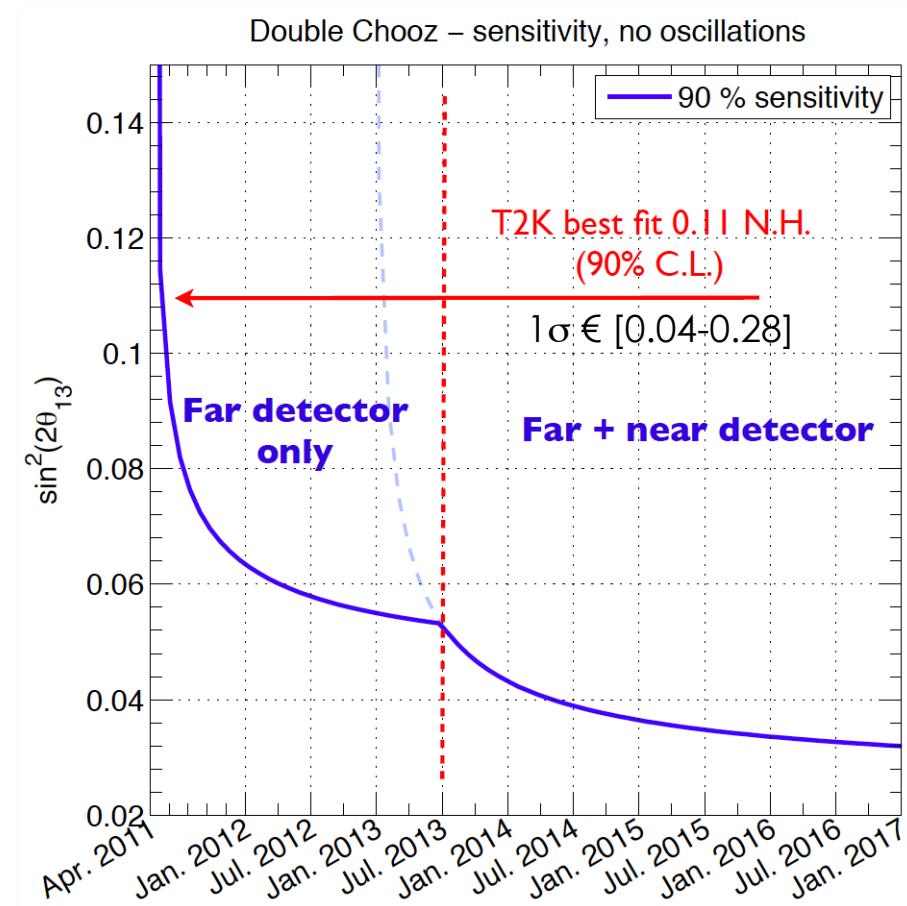
$$\text{CHOOZ: } N_{\text{obs}} / N_{\text{exp}} = 1.01 \pm 2.8\% \text{ (stat.)} \pm 2.7\% \text{ (sys.)}$$

	CHOOZ	Double Chooz
Target volume	5.55 m ³	10.3 m ³
Data taking period	few months	3-5 years
Event rate	2700	far: 20.000/y near: 150.000/y
Statistical error	2.8 %	0.5 %

	CHOOZ	Double Chooz
Reactor uncertainties (ν flux and reactor power)	2.1 %	< 0.1 %
Number of protons	0.8 %	< 0.2 %
Detector efficiency	1.5%	< 0.5 %
Systematic error	2.7%	< 0.5 %

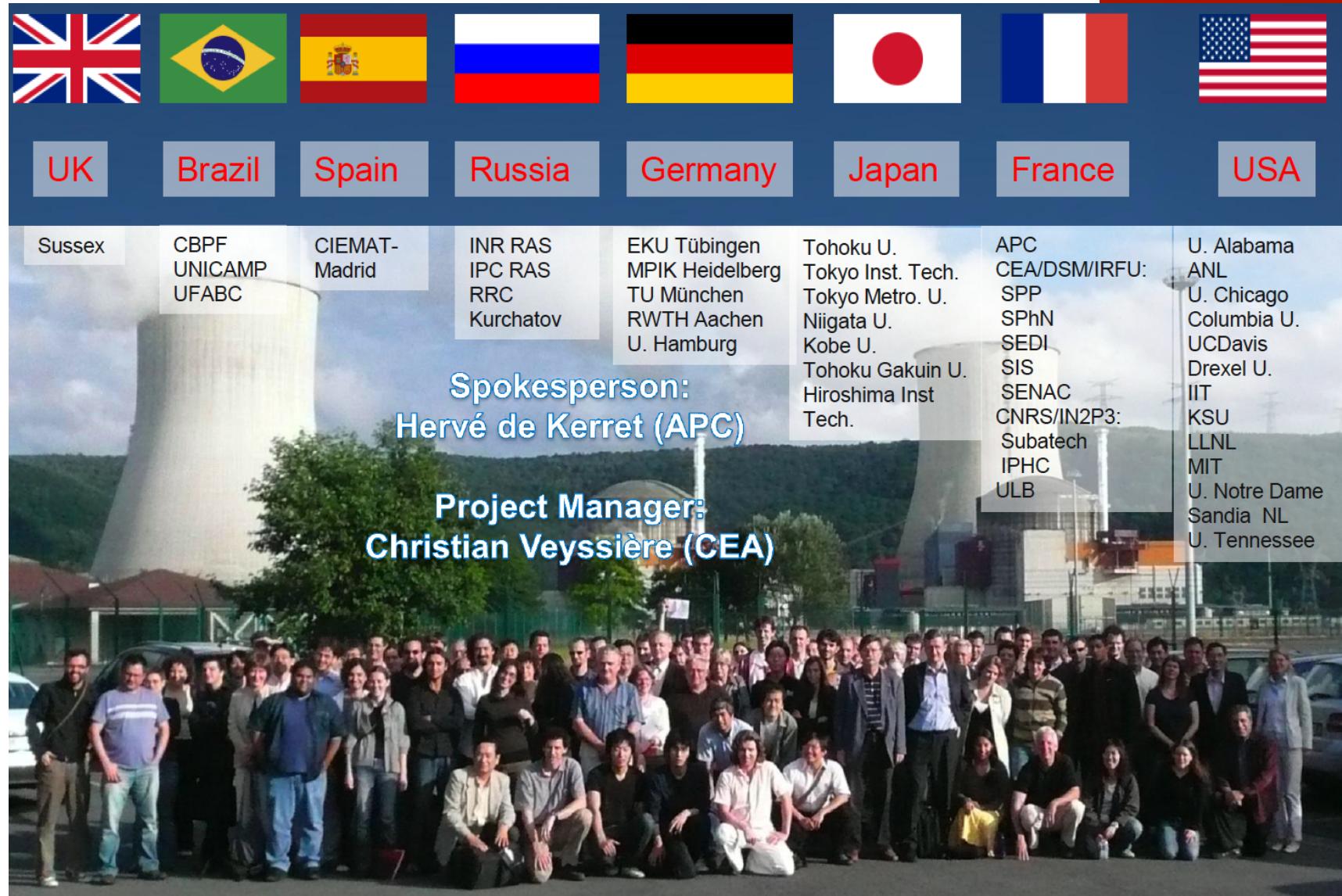
Double Chooz sensitivity

- Double Chooz measures **neutrinos with low backgrounds**
- **Data taking continues without stop**
- Analysis ongoing...
 - First results **very soon!**
- Normalization to Bugey-4 cross section (with FD) to be independent from the flux prediction
- T2K best fit can be addressed with 2011 statistics
- With 3 years of data taking (2 detectors) the sensitivity of the experiment is $\sin^2(2\theta_{13}) < 0.03$ at 90% CL and the **discovery potential is $\sin^2(2\theta_{13}) > 0.05$** at 3 σ C.L.



The Double Chooz collaboration

28



Experimental neutrino group at CIEMAT

The only Spanish group
working in Double Chooz

RESEARCHERS	
I. Gil Botella	(I. P.) Permanent
M. Cerrada	Permanent
C. Palomares	Permanent
P. Novella	Postdoc
R. Santorelli	Postdoc
J. Crespo	PhD student
M. López	PhD student

ENGINEERS	
E. Calvo	Mechanical E.
S. Jiménez	Electronic E.
A. Verdugo	Electronic E.
TECHNICAL STAFF	
J.M. Ahijado	Permanent
F. García	Permanent
CIEMAT mechanical workshop	

Spanish contributions to Double Chooz

DETECTOR MECHANICS

- Design and construction of special tools for acrylics installation
- Design, construction and assembly of PMT mechanical supports
- Installation of PMTs in the detectors

PHOTODETECTION SYSTEM

- PMT functionality tests
- PMT characterization under magnetic field
- Design, tests, production and assembly of PMT magnetic shields

COMMON FUND

- Filling system
- Buffer and veto liquids
- Safety systems
- Running costs

ELECTRONICS

- Design, tests, production and installation of PMT HV splitters

ONLINE SYSTEM

- DAQ Event Builder development

SIMULATION, DATA RECONSTR. AND PHYSICS ANALYSIS

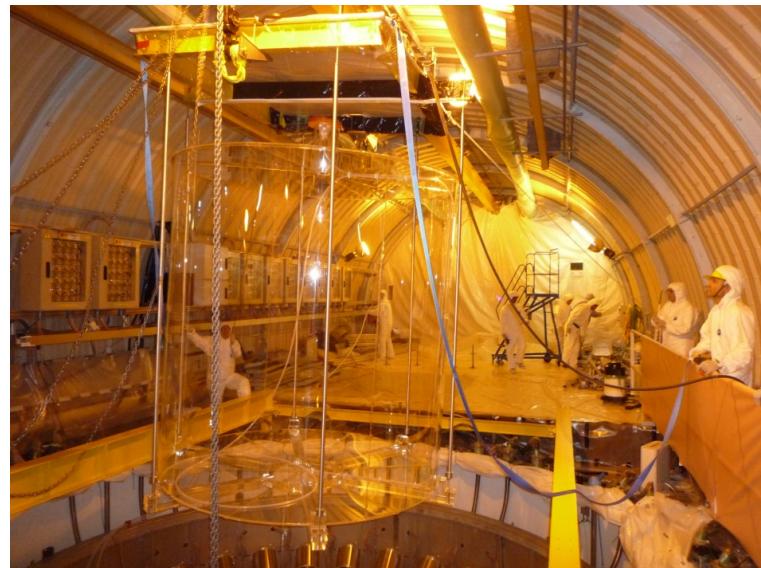
- Detector simulation software
- Data reconstruction algorithms
- Background simulation
- Analysis tools for sys. and sens. estimation
- Coordination of the European cluster

Mechanical tools for acrylics installation

- 3 mechanical tools for construction and transportation of *target acrylic vessels*
- 1 mechanical tools for construction, transportation and installation of *gamma catcher vessel*
- Tools designed in collaboration with Saclay
- **Manufactured at CIEMAT workshop in 2008**
- Successful acrylic vessel installation at Chooz in 2009



Successful installation at Chooz



PMT magnetic characterization & magnetic shields

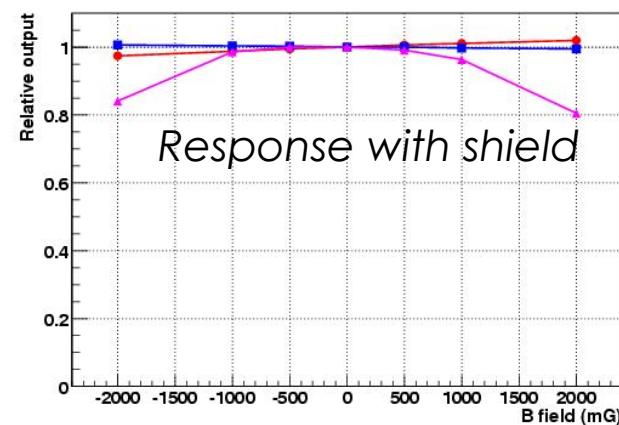
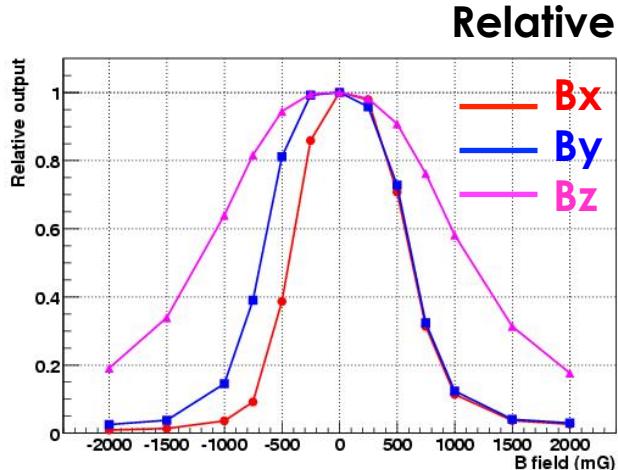
33



- Hamamatsu 10" R7081 **tests at CIEMAT**:
 - Main characteristics
 - Response under low B-field (for the first time)
 - Uniformity measurements
- **Design and production** of 800 magnetic shields keeping >95% of signal for B-fields up to 1G in any direction
- **Quality tests** of final production shields before their assembly
- **2 NIM papers published**



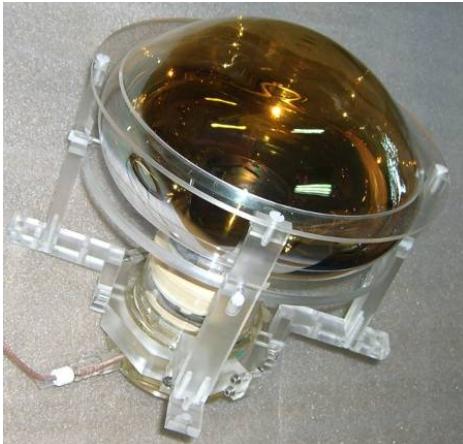
Quality tests of shields



PMT mechanics: design and fabrication

- Complete design of **PMT mechanical supports** for Double Chooz
- Mechanical and pressure tests at CIEMAT
- Design and production of **fixing system to the buffer wall**
- **Production of all mechanical pieces** (~10,000 pieces) **at CIEMAT workshop**
 - 8 technicians during 8 months (only for FD production)
 - Production also finished for near detector
- **Quality control, cleanliness** procedure and **thermal treatment** of acrylics, nylon and stainless steel components at CIEMAT by our technicians (~8 months)

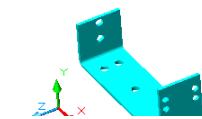
Acrylics (18 pieces per PMT)



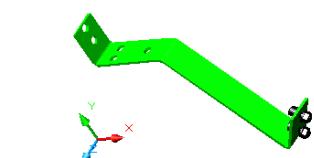
Stainless steel



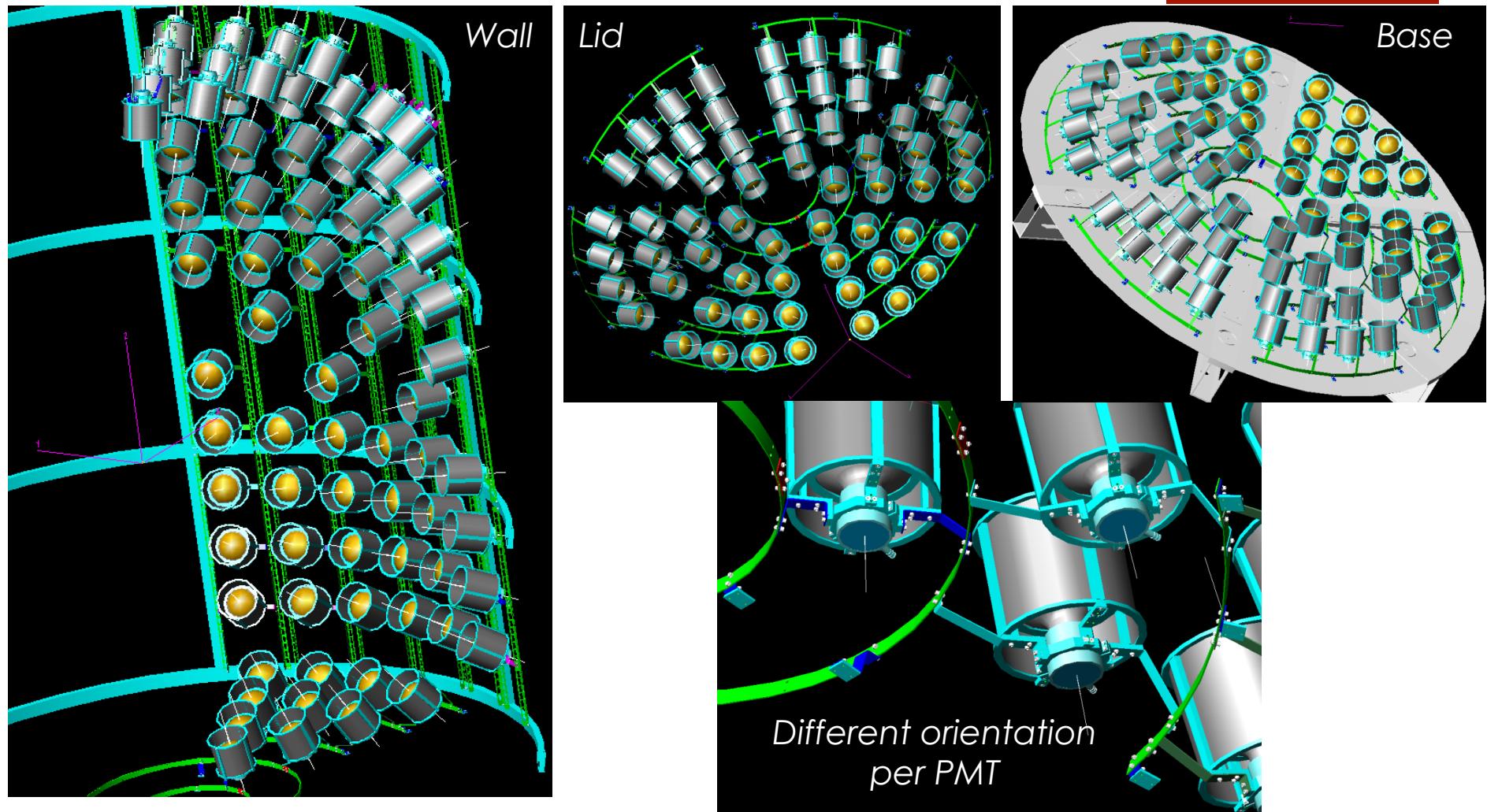
Wall



Base and lid



PMT mechanics: distribution and fixing system to the buffer

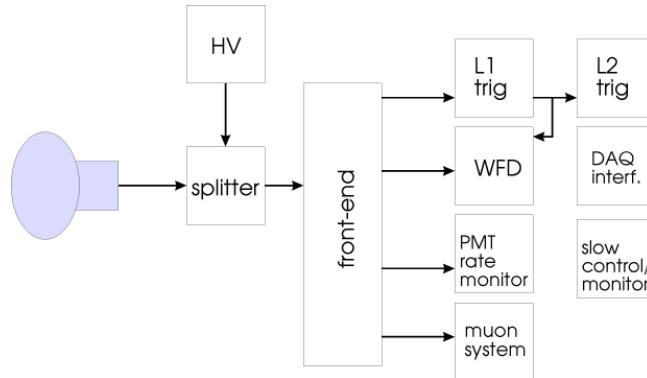


PMT mechanics: assembly

- **7 weeks** of work for far detector in MPIK Heidelberg
- **4 technicians** from CIEMAT
- Preparation of special tools
- Clean room environment
- 3 CIEMAT technicians **currently assembling** near detector PMTs



PMT HV splitters

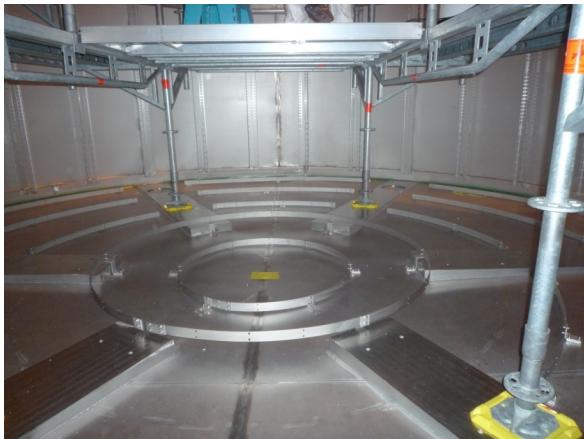


- Divide PMT signal (~10 mVpp) and HV (~1500 V) and filter power supply noise (~300 mVpp) and EMI noise induced in HV cables
- **Design, tests and manufacturing of 480 HV splitters for far detector at CIEMAT labs**
 - 10 modules – 48 HV splitters each
- **HV cables manufactured and tested at CIEMAT**
- Successful installation at Chooz in 2009
- **Currently working in the production for near detector**



PMT installation inside the pit

- **Detailed procedure** (phase I: bottom and wall, phase II: lid)
- Performed during **2 months by a team of 10 people** (2 technicians from CIEMAT inside the pit + 1 technician for cabling + our engineers)

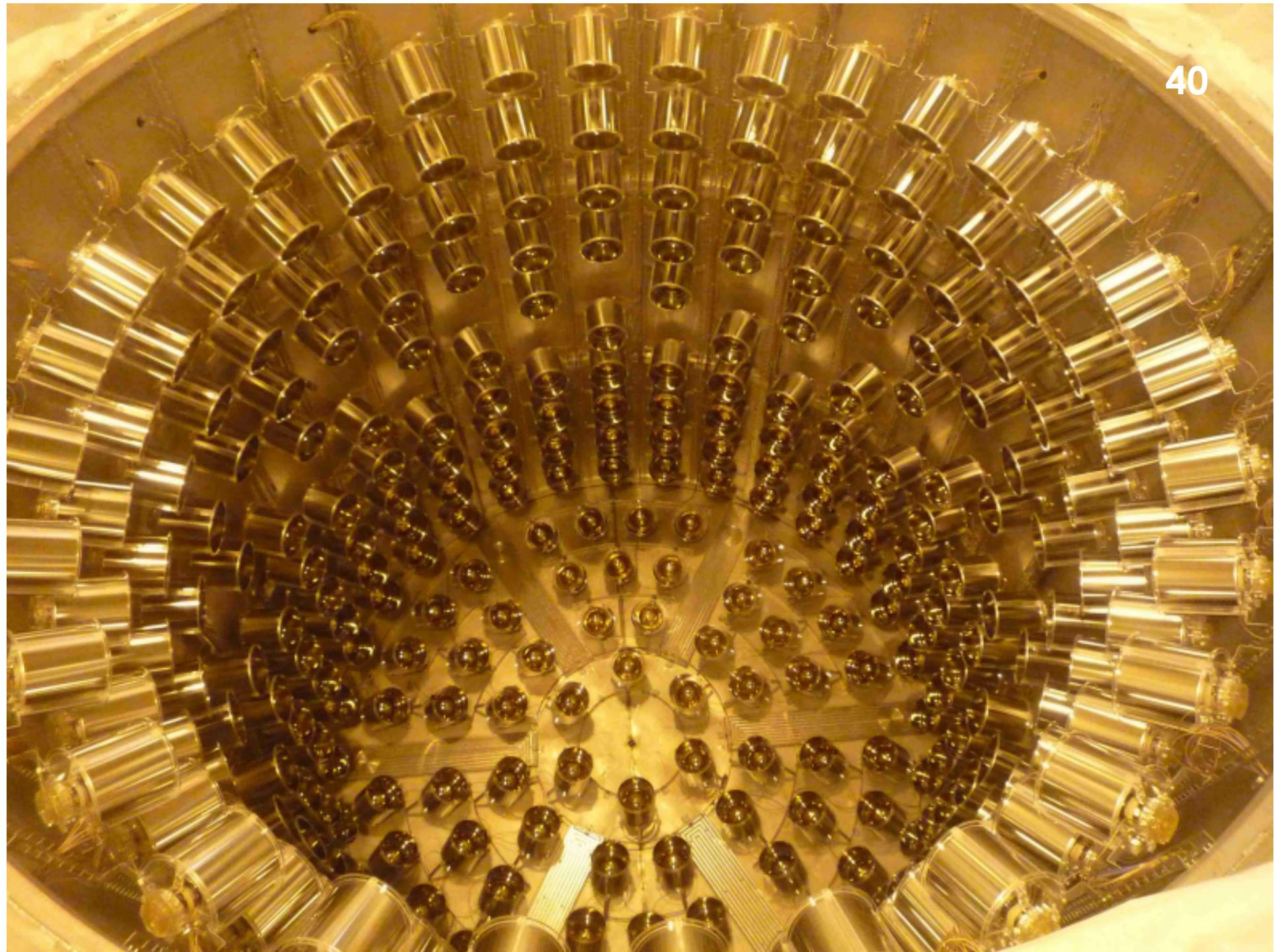


PMT cabling

- Cabling strategy inside & outside the detector designed by our engineers and technicians



40



PMT installation on the lid



- One more week for installing 60 PMTs on the lid



Outreach

- Press release announcing the start of data taking (03/02/2011)
- Radio interview in the program "Partiendo de cero" from Onda Cero (20/02/2011)
- Seminars in universities about neutrinos
- Article in Investigación y Ciencia journal to appear in December 2011

miod Un lugar para la ciencia y la tecnología

madi+d información i+d investigadores y empresas ciencia y sociedad

noticias

COMPARTIR NOTICIA [Tweet](#) [Facebook](#) [Email](#) [Print](#)

Sugíernos tu noticia Suscríbete



Cómo medir un parámetro desconocido del neutrino

Un grupo de científicos del **Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)**, Organismo Público de Investigación adscrito al **Ministerio de Ciencia e Innovación**, participa en el experimento **Double Chooz**, una colaboración internacional de 35 instituciones que acaba de terminar la construcción del primero de sus dos detectores y comienza a obtener datos.

FUENTE | CIEMAT - miod

07/02/2011

Situado en la región francesa de Las Ardenas, este experimento detecta antineutrinos producidos en una central nuclear para medir el último parámetro desconocido en la oscilación del neutrino, fenómeno por el que esta enigmática partícula se transforma en los tres tipos de neutrinos que existen. Esta medida contribuirá a mejorar futuros experimentos en física de neutrinos, que además permitirá otras aplicaciones como el desarrollo de instrumentos capaces de detectar actividades nucleares al margen de los tratados internacionales.

Imagen número 1818 El neutrino es una partícula propuesta por Wolfgang Pauli en 1930 para compensar la pérdida de energía observada en la desintegración beta del neutrón. En teoría debería ser una partícula sin carga eléctrica, ni masa, ni sujetos a la atracción fuerte (una de las cuatro fuerzas fundamentales), por lo que sería difícilmente detectable. Estas cualidades le han valido apelativos como el de "partícula fantasma", cada segundo miles de millones de neutrinos procedentes del Sol "atravesan" la Tierra, y a nosotros con ella sin que nos de cuenta.



EN UN EXPERIMENTO INTERNACIONAL El CIEMAT profundiza en el conocimiento del neutrino

Un grupo de científicos del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) participa en el experimento internacional 'Double Chooz' que detecta antineutrinos (neutrinos con carga negativa) producidos en una central nuclear para medir un parámetro hasta ahora desconocido y que demostraría por qué esta partícula se transforma en los tres tipos de neutrinos que existen.

El CIEMAT ha explicado que la oscilación del neutrino depende de tres "parámetros de mezcla", dos de los cuales, los más comunes, ya han sido determinados. El tercero, denominado 'theta 13' (θ_{13}), aún no ha sido medido, y es el objetivo del experimento donde trabajan los investigadores españoles.

SUSCRÍBETE A LAS NOTICIAS DE CIENCIA EN TELENTORNO.

Panorama

PARTÍCULAS ELEMENTALES En busca de la última transformación de los neutrinos

El experimento Double Chooz intenta medir un parámetro desconocido del modelo estándar

En 1930, Wolfgang Pauli postuló la existencia de una partícula indeetectable para explicar la aparente no conservación de la energía en la desintegración beta. La hipotética partícula se caracterizaba por carecer de carga eléctrica y poseer una masa nula o muy pequeña, lo que condujo a Enrico Fermi a bautizarla con el nombre de *neutrino*, «neutrón diminuto». Veintiséis años después de la predicción de Pauli, se detectaron los primeros antineutrinos en las proximidades de un reactor nuclear.

Hoy en día sabemos que los neutrinos abundan en el Universo. Sin embargo, apenas interactúan por lo que resultan tecto: cada segundo neutrinos atraviesan la Tierra sin dejar rastro. Existe tres tipos de neutrinos: el electrónico, muónico y tauónico. La cantidad de neutrinos que pasan a través de la Tierra es de un decenio.

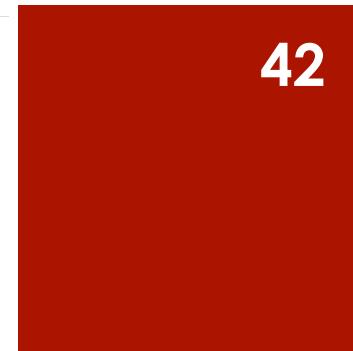
Las oscilaciones entre neutrinos de familias diferentes requirieron ampliar el modelo estándar mediante la introducción de tres parámetros llamados *ángulos de mezcla*. Dos de ellos, los que gobernan las oscilaciones de los neutrinos solares y los atmosféricos, ya han sido medidos en diferentes experimentos. Del tercero, sin embargo, continuamos sin conocer su valor, si bien se sabe que es muy pequeño y podría ser incluso nulo.

Ese ángulo de mezcla desconocido se denota θ_{13} . Su importancia radica en que, en caso de no ser nulo, abriría las puertas a la posibilidad de medir la violación de

la simetría entre las interacciones débil y fuerte. La medida de θ_{13} permitiría medir la violación de la simetría entre las interacciones débil y fuerte.

El experimento Double Chooz intenta medir un parámetro desconocido del modelo estándar

42



UNIVERSIDAD DE MURCIA

INICIO INFORMACIÓN UTILIDADES Y SERVICIOS ACTUALIDAD AYUDA PERFIL

Ciencia y Tecnología

Cultura Artes Plásticas Literatura Artes Escénicas, Música y Cine Ciencia y Tecnología

Ciclo Lunes de Ciencia. Conferencia: "A la caza de las partículas misteriosas: los neutrinos" a cargo de Inés Gil Botella (CIEMAT, Madrid)

Dentro del Ciclo "Lunes de Ciencia" el Vicerrectorado de Extensión Universitaria a través del Área de Ciencia y Tecnología organiza la presente conferencia que correrá a cargo de Inés Gil Botella, investigadora del CIEMAT. El acto cuenta con la colaboración de José Antonio Oller, Dpto. de Física, Universidad de Murcia.

Más información

Fecha: 22-02-2010

Hora: 16:00

Lugar: Aula 007 Aulario General, Campus de Espinardo

CPAN Ingenio 2010

Menú principal

¿Qué es el CPAN?

Contratados

Documentos

Noticias

MF Global, por la descliente de dól Transferencia de Conocimiento

Promoción Tecnológica

Convocatorias CPAN

Otras convocatorias

Eventos

Grupos Participantes

Estructura

Plan de actuación

Cursos para estudiantes

Prensa y Divulgación

INTRANET

CPAN CPAN_Ingenio

Inicio Noticias Detalle de la noticia

2011-02-03

Investigadores españoles participan en un experimento para medir un parámetro desconocido del neutrino



Un grupo de científicos del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Organismo Público de Investigación adscrito al Ministerio de Ciencia e Innovación, participa en el experimento Double Chooz, una colaboración internacional de 35 instituciones que acaba de terminar la construcción del primero de sus dos detectores y comienza a obtener datos. Situado en la región francesa de Las Ardenas, este experimento detecta antineutrinos producidos en una central nuclear para medir el último parámetro desconocido en la oscilación del neutrino, fenómeno por el que esta enigmática partícula se transforma en los tres tipos de neutrinos que existen. Esta medida contribuirá a mejorar futuros experimentos en física de neutrinos, que además permitirá otras aplicaciones como el desarrollo de instrumentos capaces de detectar actividades nucleares al margen de los tratados internacionales.

El neutrino es una partícula propuesta por Wolfgang Pauli en 1930 para compensar la pérdida de energía observada en la desintegración beta del neutrón. En teoría debería ser una partícula sin carga eléctrica, ni masa, ni sujetos a la atracción fuerte (una de las cuatro fuerzas fundamentales), por lo que sería difícilmente detectable. Estas cualidades le han valido apelativos como el de "partícula fantasma", cada segundo miles de millones de neutrinos procedentes del Sol "atravesan" la Tierra, y a nosotros con ella sin que nos de cuenta.

Stay tuned!

- Analysis ongoing
- **First publication very very soon...**
 - First data with new reactor experiments
 - Check T2K region
 - Unique information about θ_{13} will be provided