

Paisaje sin neutrinos

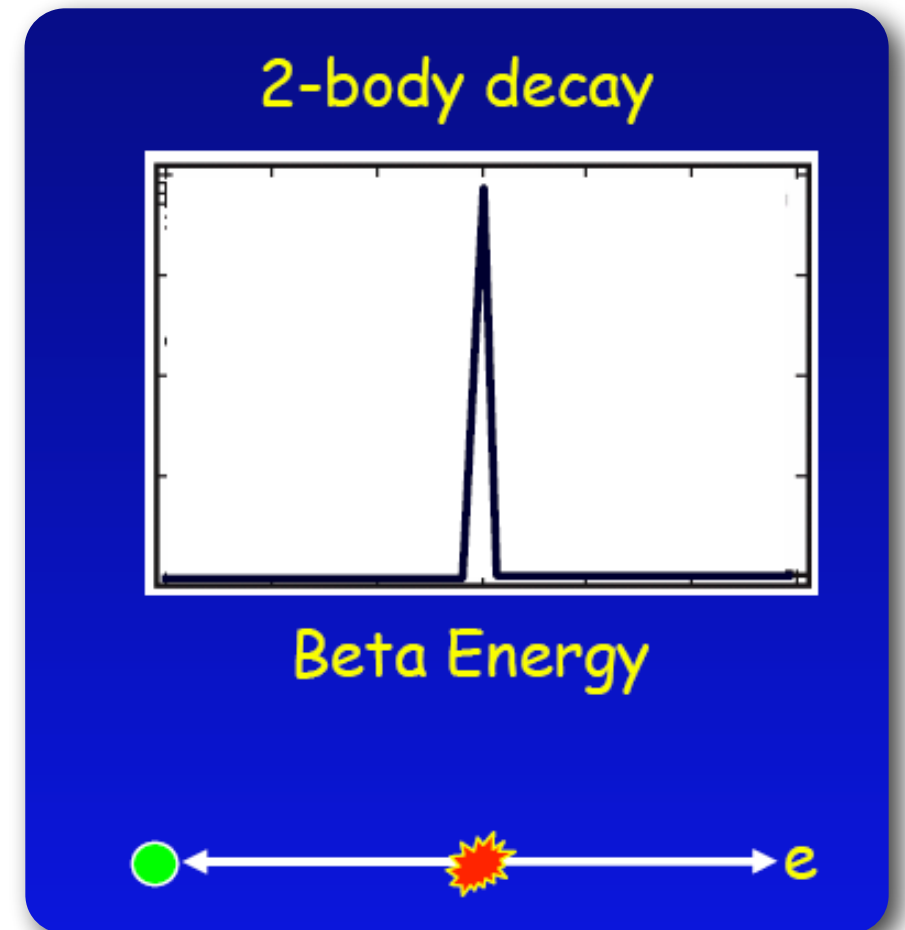
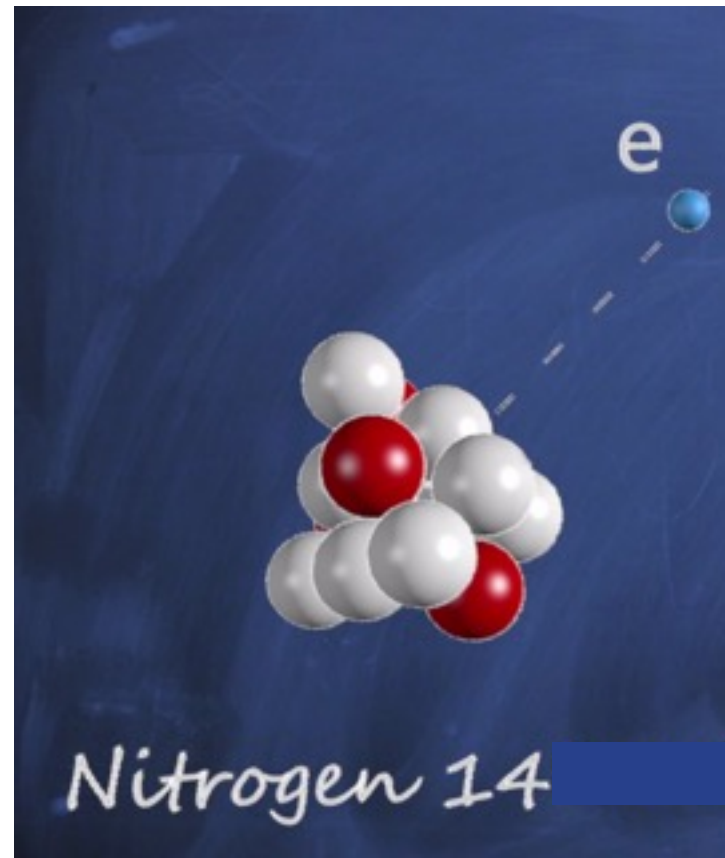
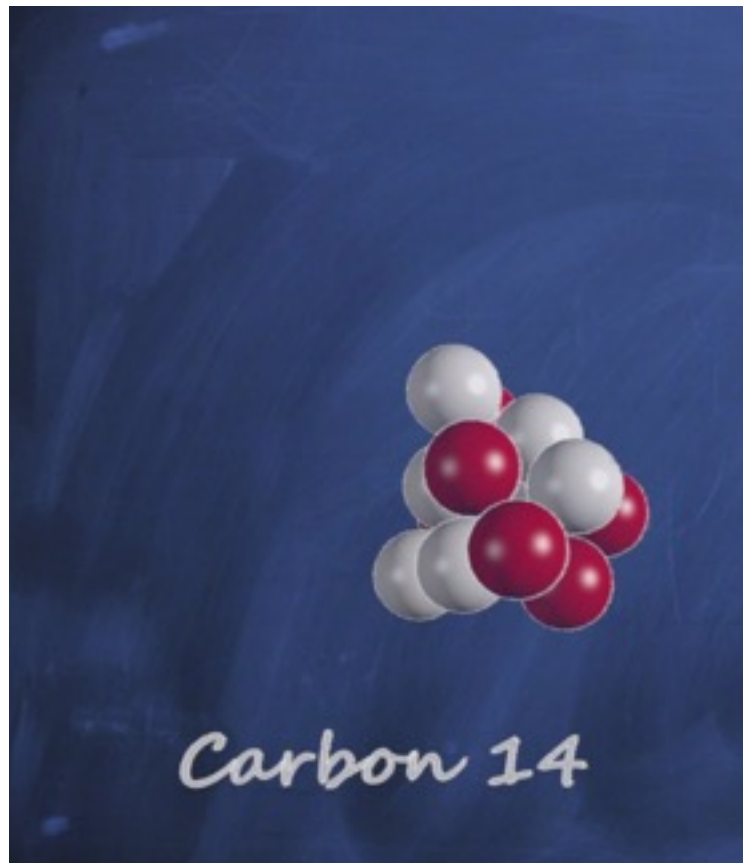


J.J. Gómez Cadenas

IFIC (CSIC/U. Valencia)

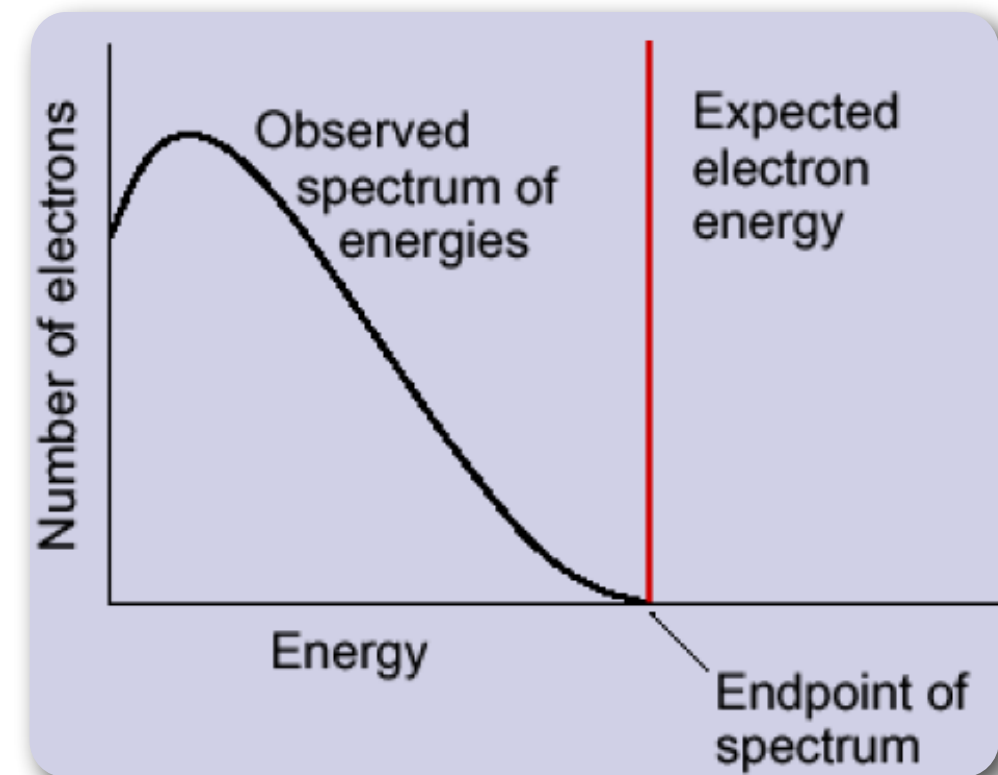


Neutrinos



Desintegración beta

¿Conservación de la energía?



Original - Photocopy of PLC 0393

Abschrift/15.12.36 FN

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst
anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich
angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie
des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg
verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,
welche den Spin $1/2$ haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und
sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie
nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen
müsste von derselben Grossenordnung wie die Elektronenmasse sein und
jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche
beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim
beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert
wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron
konstant ist.

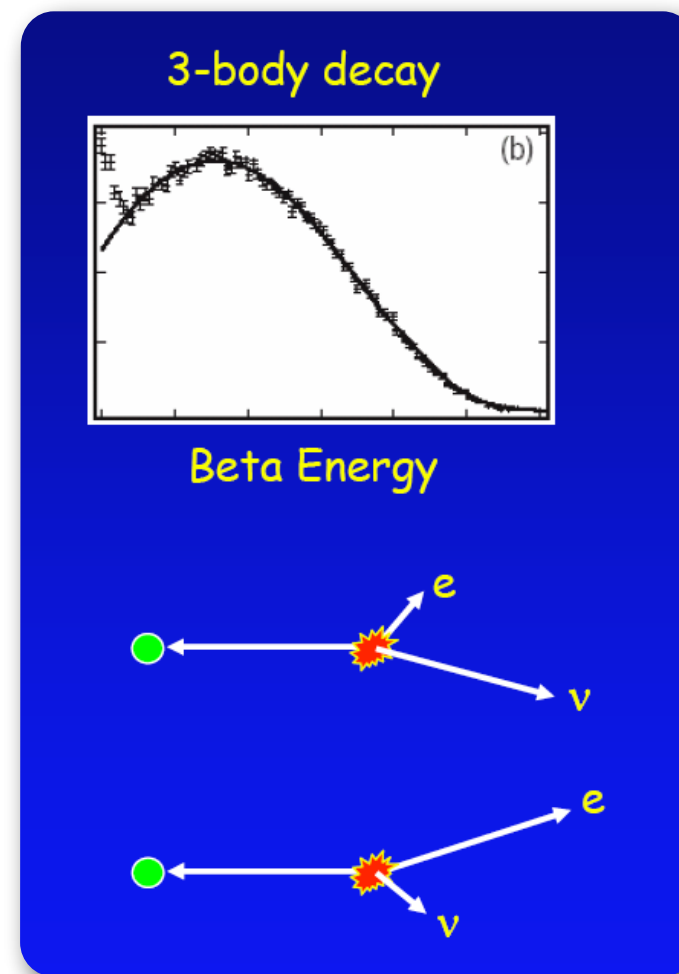
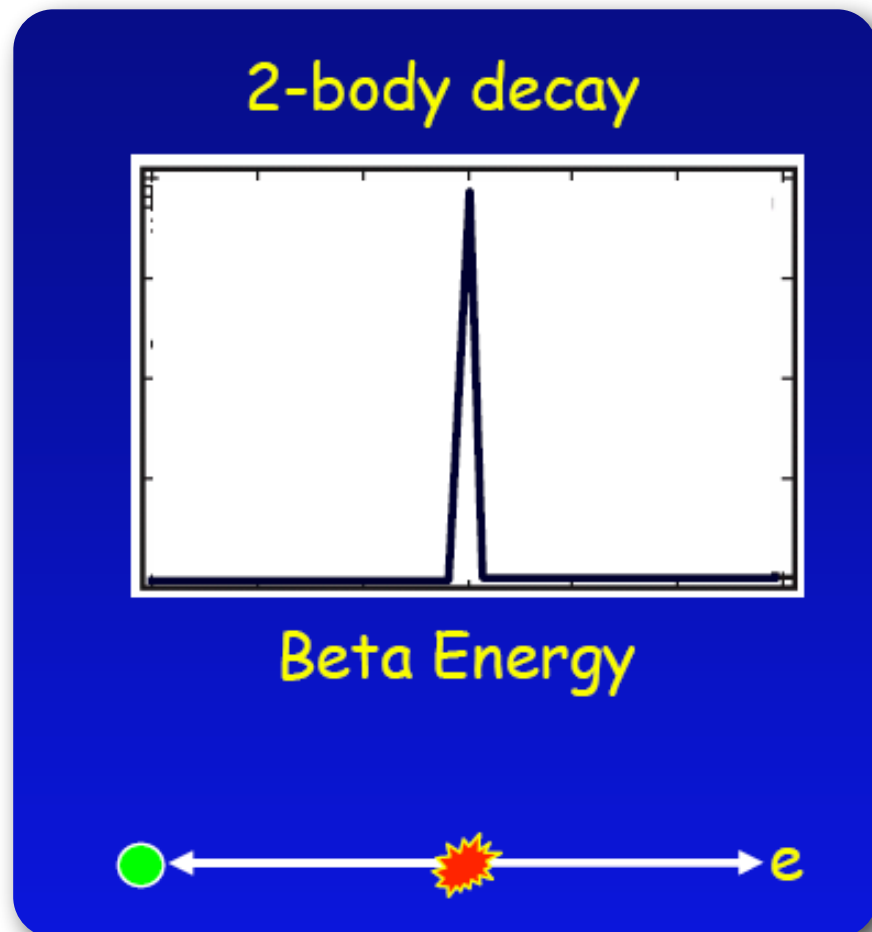
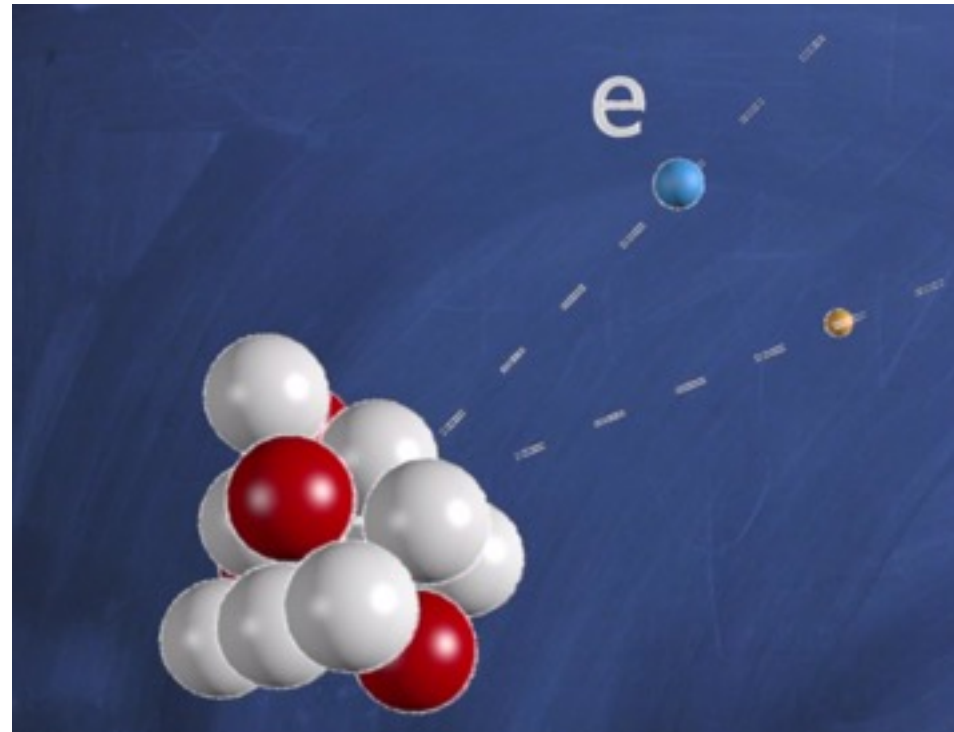
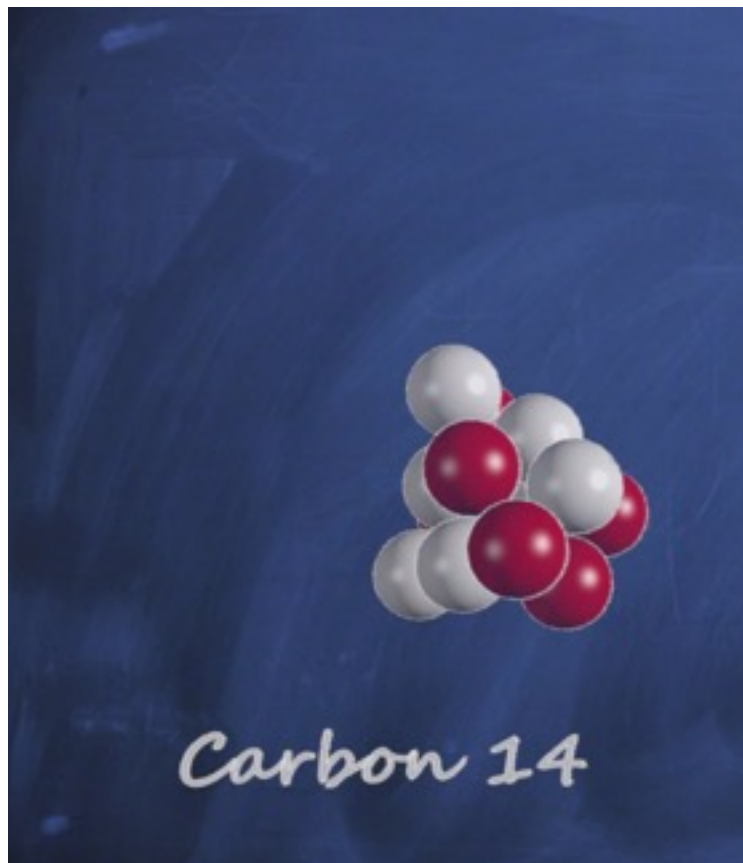
Zürich, Dec. 4, 1930

Physics Institute of the ETH
Gloriastrasse
Zürich

Dear Radioactive Ladies and Gentlemen,

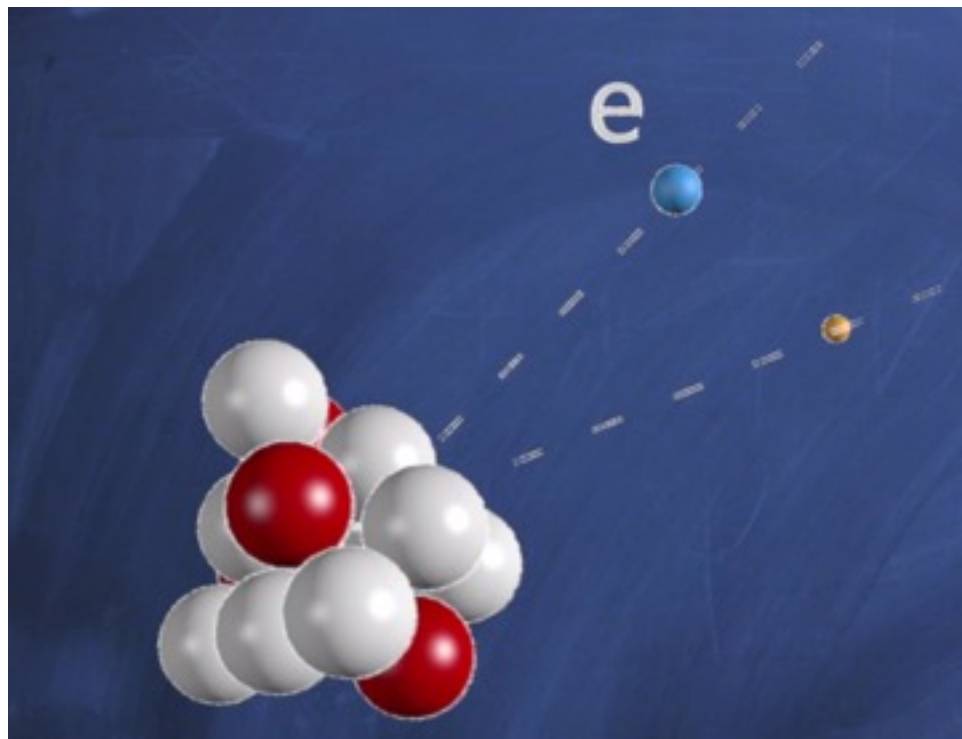
As the bearer of these lines, to whom I graciously ask you to listen, will explain to you in more detail, because of the "wrong" statistics of the N- and Li-6 nuclei and the continuous beta spectrum, I have hit upon **a desperate remedy** to save the "exchange theorem" (1) of statistics and the law of conservation of energy. Namely, the possibility that in the nuclei there could exist electrically neutral particles, which I will call neutrons, that have spin $1/2$ and obey the exclusion principle and that further differ from light quanta in that they do not travel with the velocity of light. The mass of the neutrons should be of the same order of magnitude as the electron mass and in any event not larger than 0.01 proton mass. - **The continuous beta spectrum would then make sense with the assumption that in beta decay, in addition to the electron, a neutron is emitted such that the sum of the energies of neutron and electron is constant.**





**Un remedio
desesperado**

El “neutrón” (rebautizado como “neutrino” un poco más tarde por Fermi) no se detecta. Además para conservar energía-momento su masa tiene que ser prácticamente nula (su carga también lo es) y su interacción con la materia despreciable. En otras palabras, Pauli había predicho la existencia de un fantasma



HE HECHO UNA COSA TERRIBLE
PROPONER UNA PARTÍCULA QUE
NO PUEDE DETECTARSE...

ES ALGO QUE UN FÍSICO TEÓRICO
NO DEBERÍA NUNCA HACER...



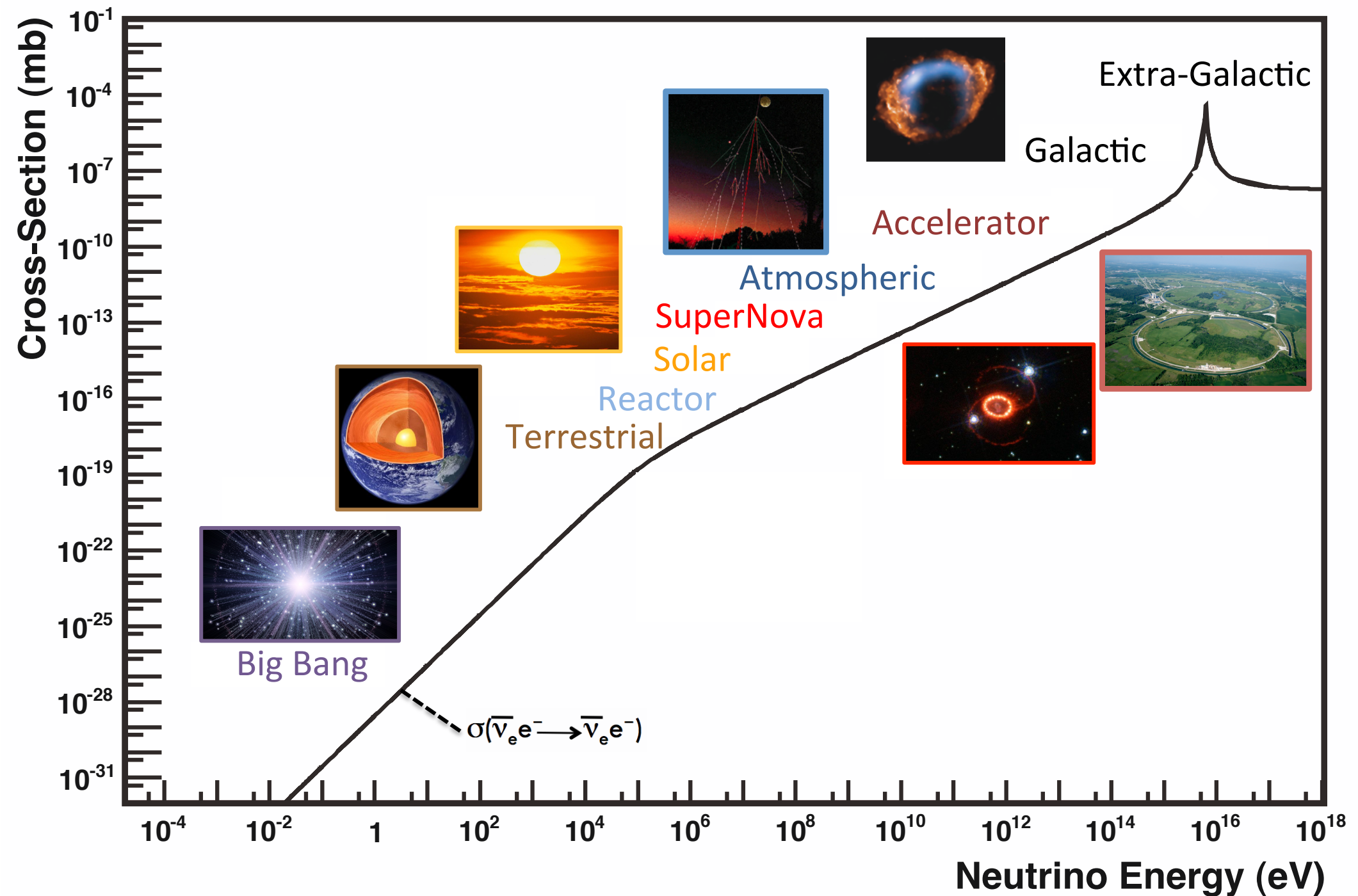
LO CIERTO ES QUE NO CREO EN LOS NEUTRINOS. INCLUSO ME ATREVERÍA A AFIRMAR QUE LOS FÍSICOS EXPERIMENTALES NO SON LO SUFICIENTEMENTE INGENIOSOS PARA DETECTAR O PRODUCIR NEUTRINOS...

SIR ARTHUR NO SE HUBIERA GANADO LA VIDA COMO PROFETA. HEMOS OBSERVADO NEUTRINOS PROCEDENTES DEL SOL, DE LA ATMÓSFERA (INDUCIDOS POR RAYOS CÓSMICOS), DE SUPERNOVA(S) (1987A) Y PRODUCIDOS POR EL HOMBRE EN REACTORES Y HACES DE NEUTRINOS

ADEMÁS EL EXPERIMENTO ICE CUBE ACABA DE DEMOSTRAR LA EXISTENCIA DE NEUTRINOS QUE PROVIENE DEL CENTRO DE LA GALAXIA Y DE OTRAS GALAXIAS

Neutrino sources

Neutrinos are everywhere!



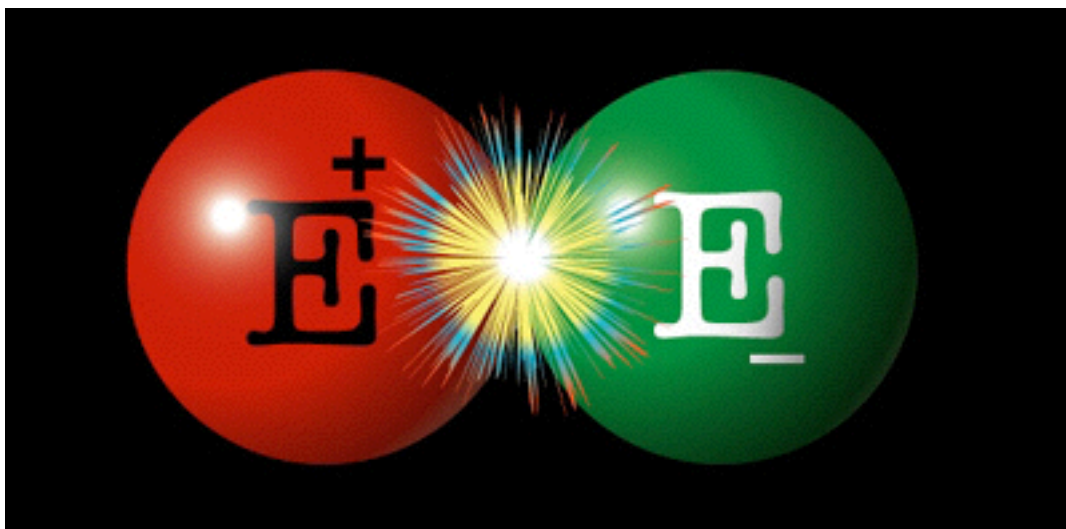
Fuentes de neutrinos detectadas por los hombres!

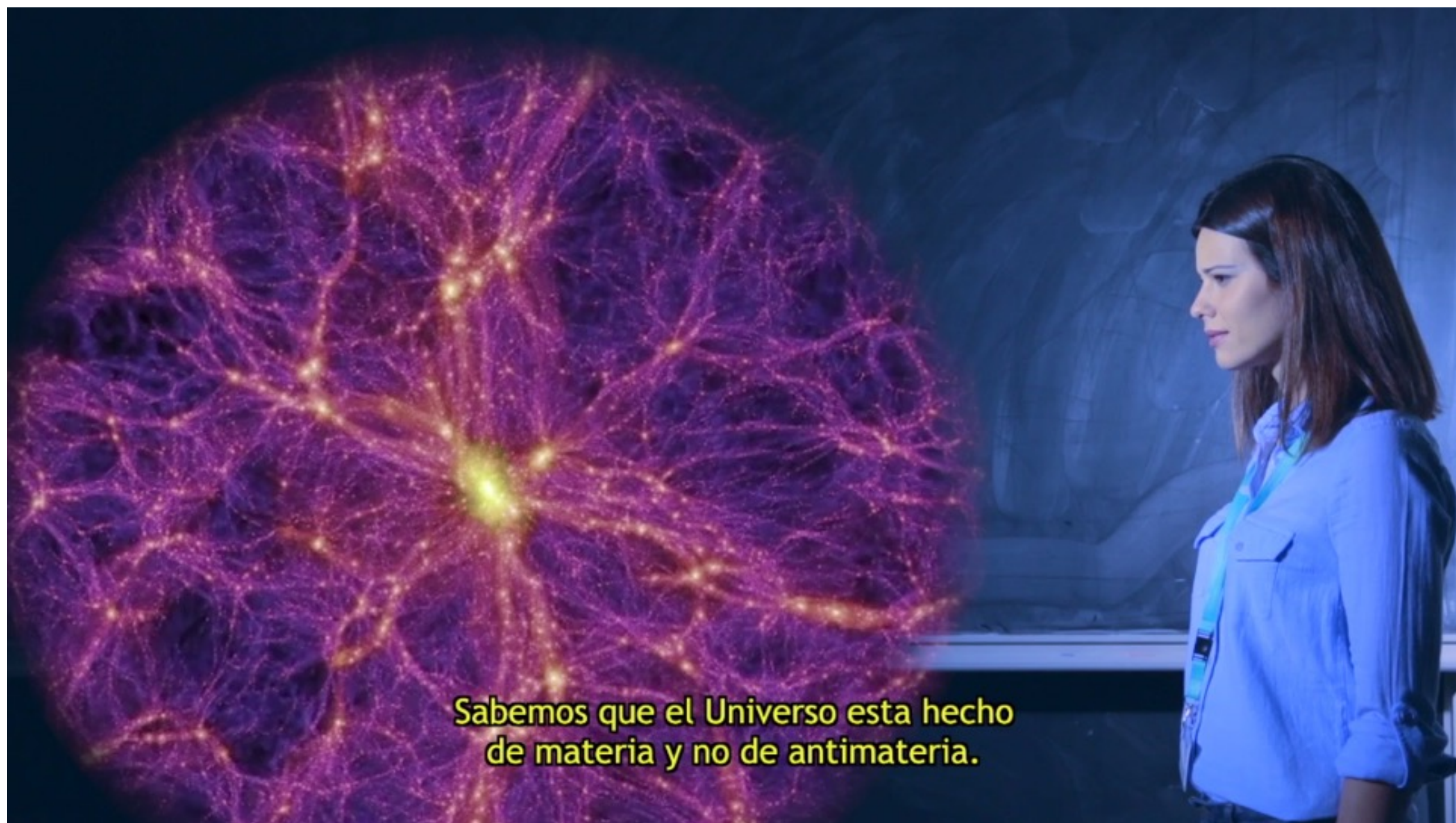


Materia y antimateria: Alice mirándose en el espejo de la realidad.

Los aceleradores de partículas producen materia con igual abundancia que antimateria

Todo indica que la materia y la antimateria deberían existir en proporciones idénticas





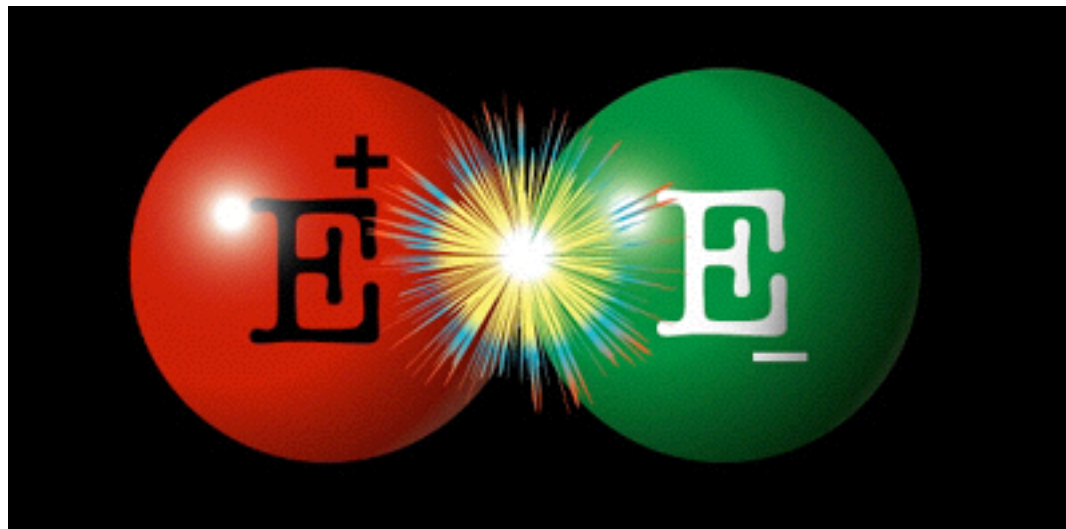
**Sabemos que el Universo esta hecho
de materia y no de antimateria.**



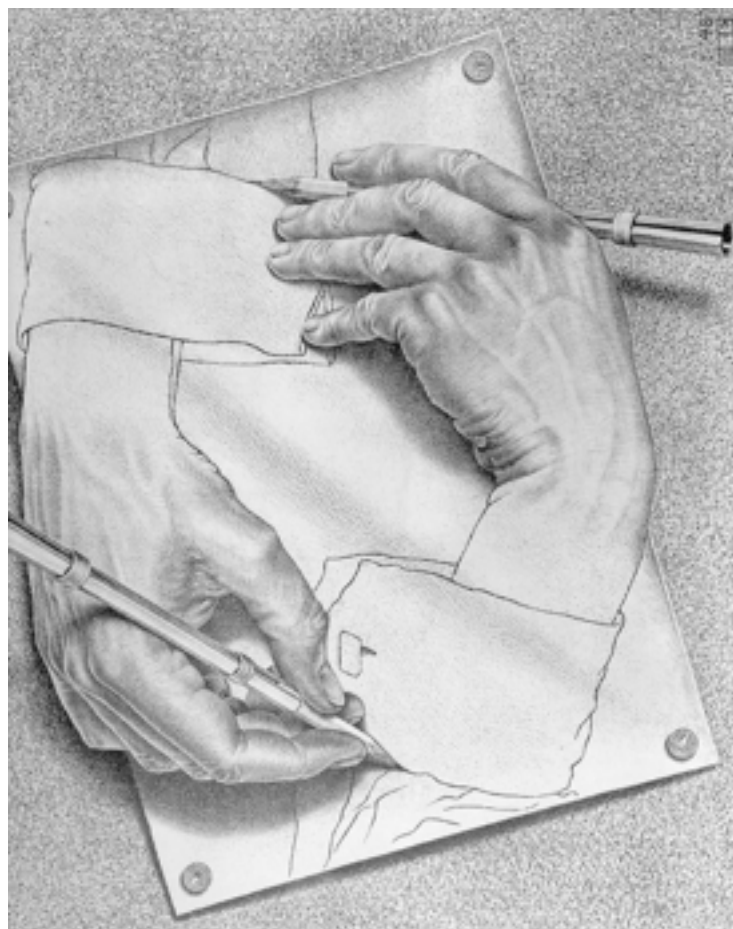
Sin embargo el universo primitivo debió constar de iguales cantidades de materia y antimateria. ¿Qué paso con la antimateria?



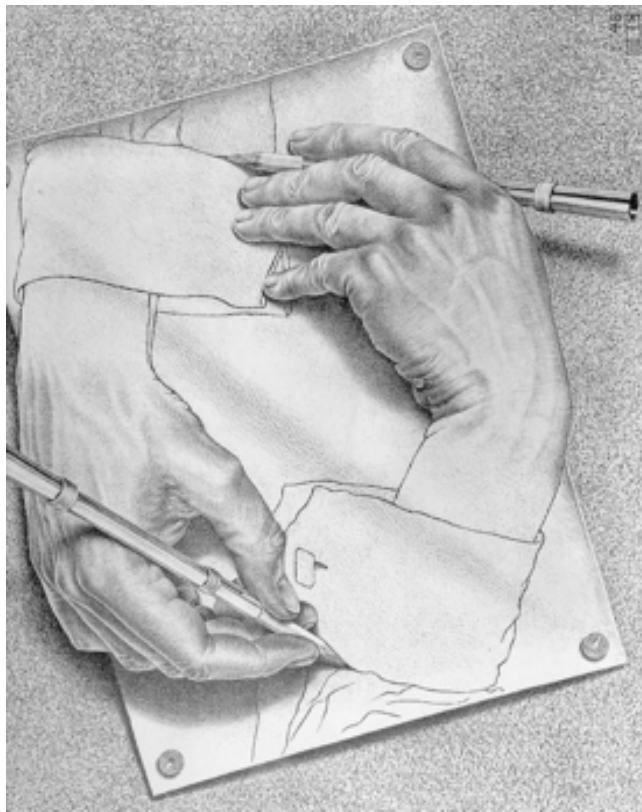
¿Cómo explicar su desaparición? (sin recurrir a Deus ex machina)



El neutrino no
tiene carga
eléctrica



Podría ser la única
partícula elemental
conocida que es su
propia
antipartícula

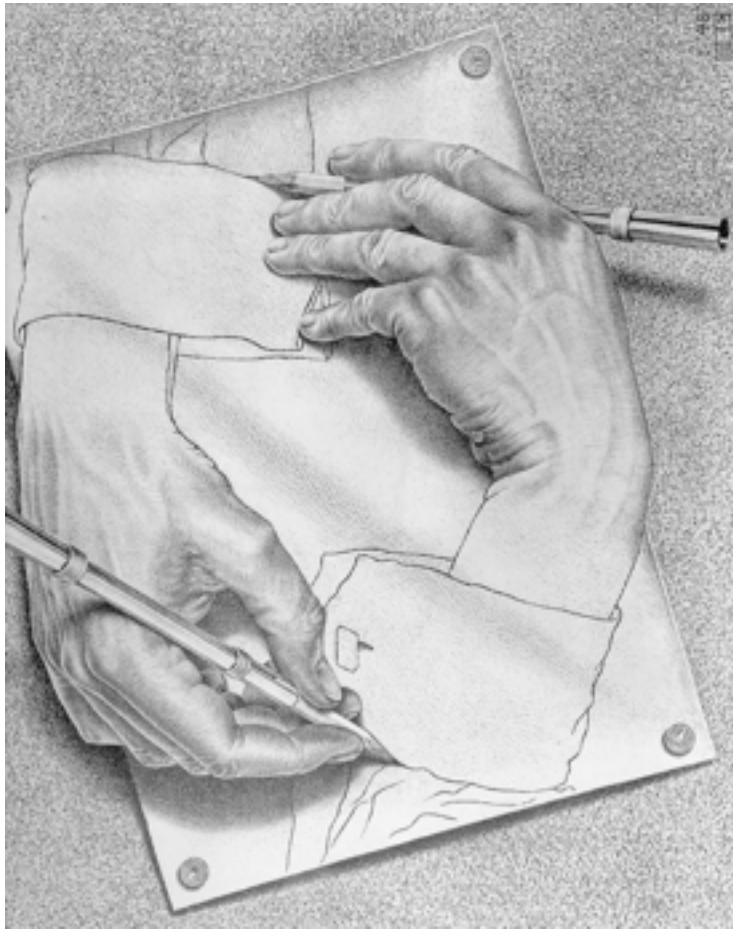


Si en el universo primitivo existen neutrinos que son a la vez materia y antimateria (neutrinos de Majorana)



Y se da el fenómeno de violación de CP (el neutrino primitivo se desintegra un poco más a materia que a antimateria, introduciendo una asimetría entre ambas)

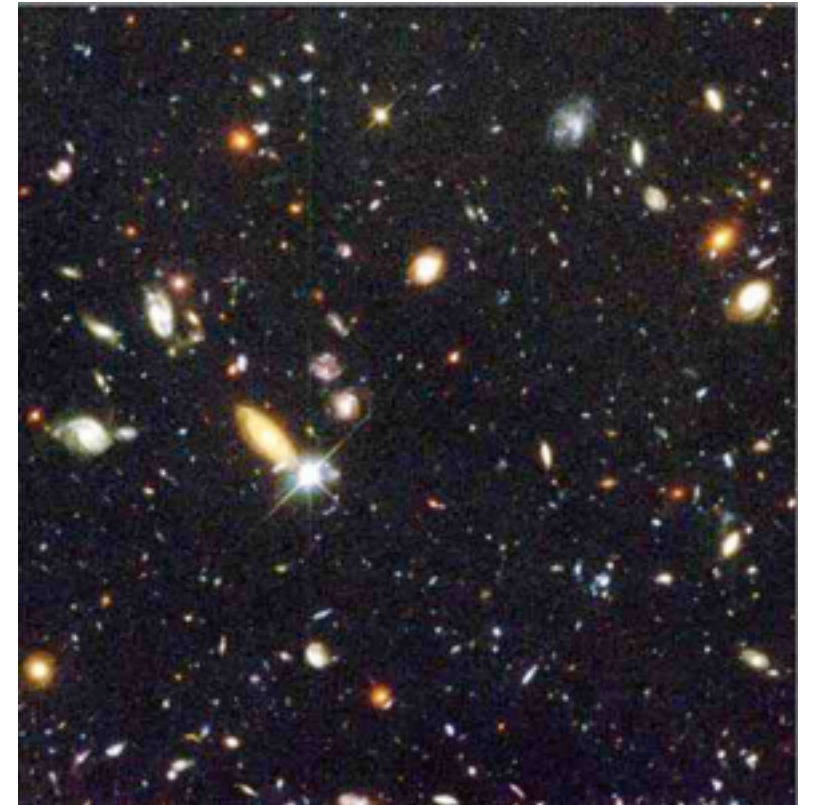
Entonces la fórmula del universo sería...



+

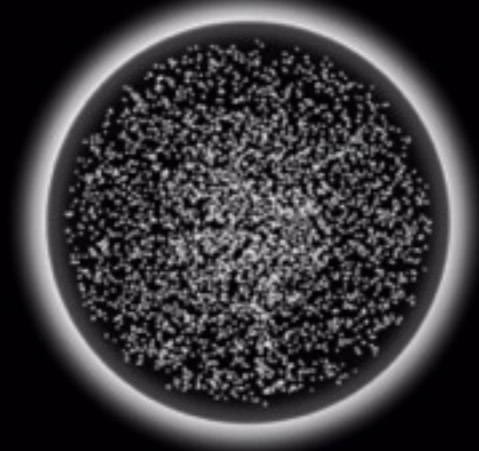


=



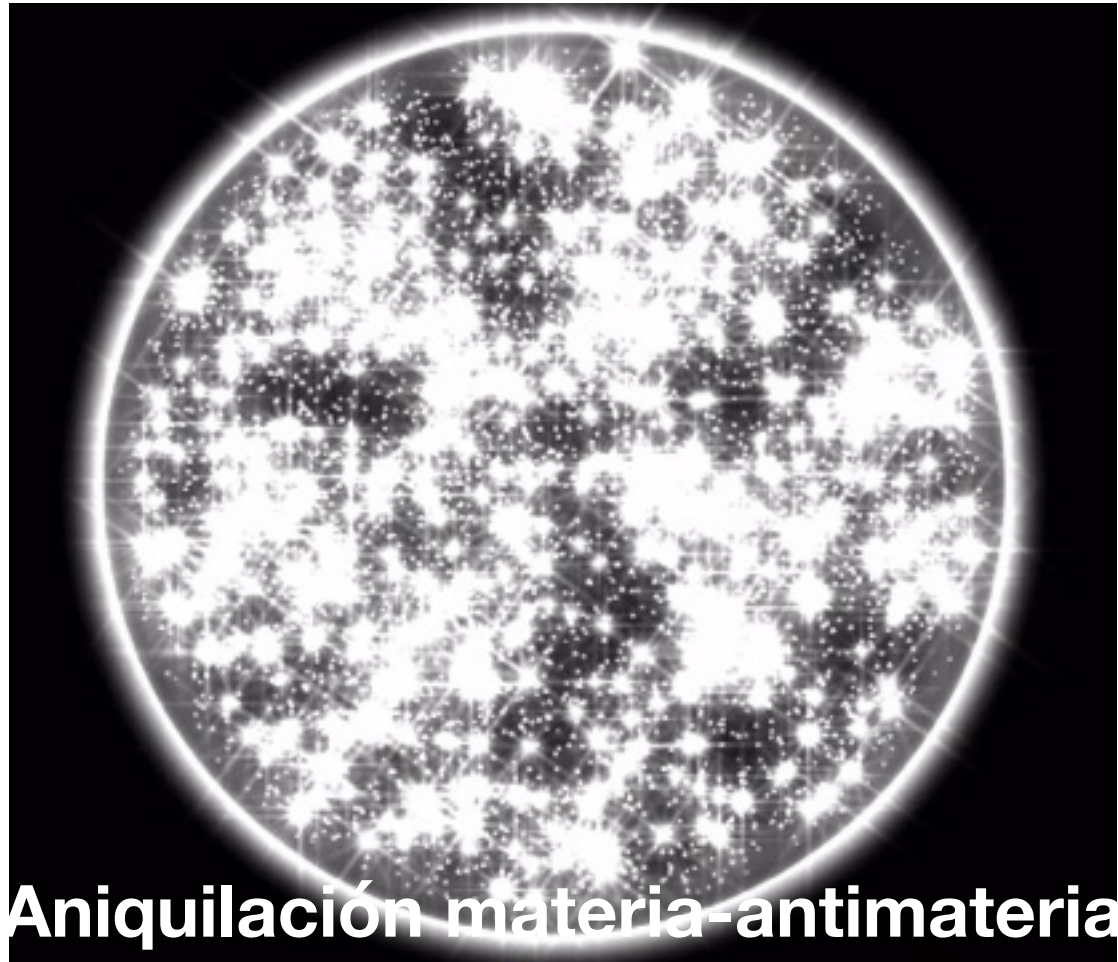
EARLY UNIVERSE

50/50...?



quarks

anti-quarks



Aniquilación materia-antimateria



antimateria desaparece

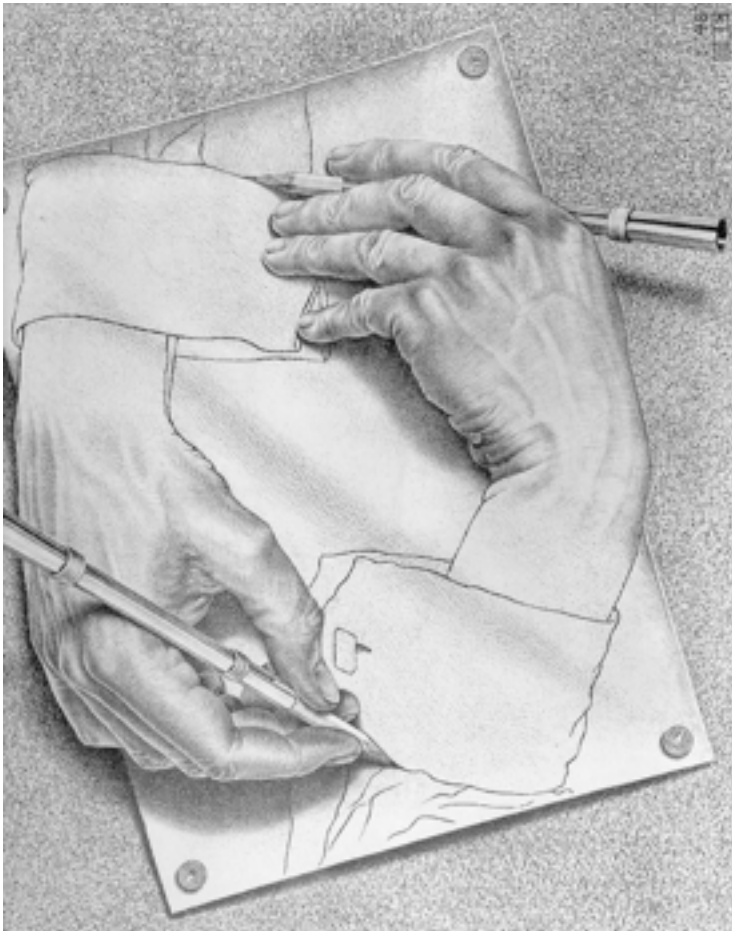


el universo, hoy



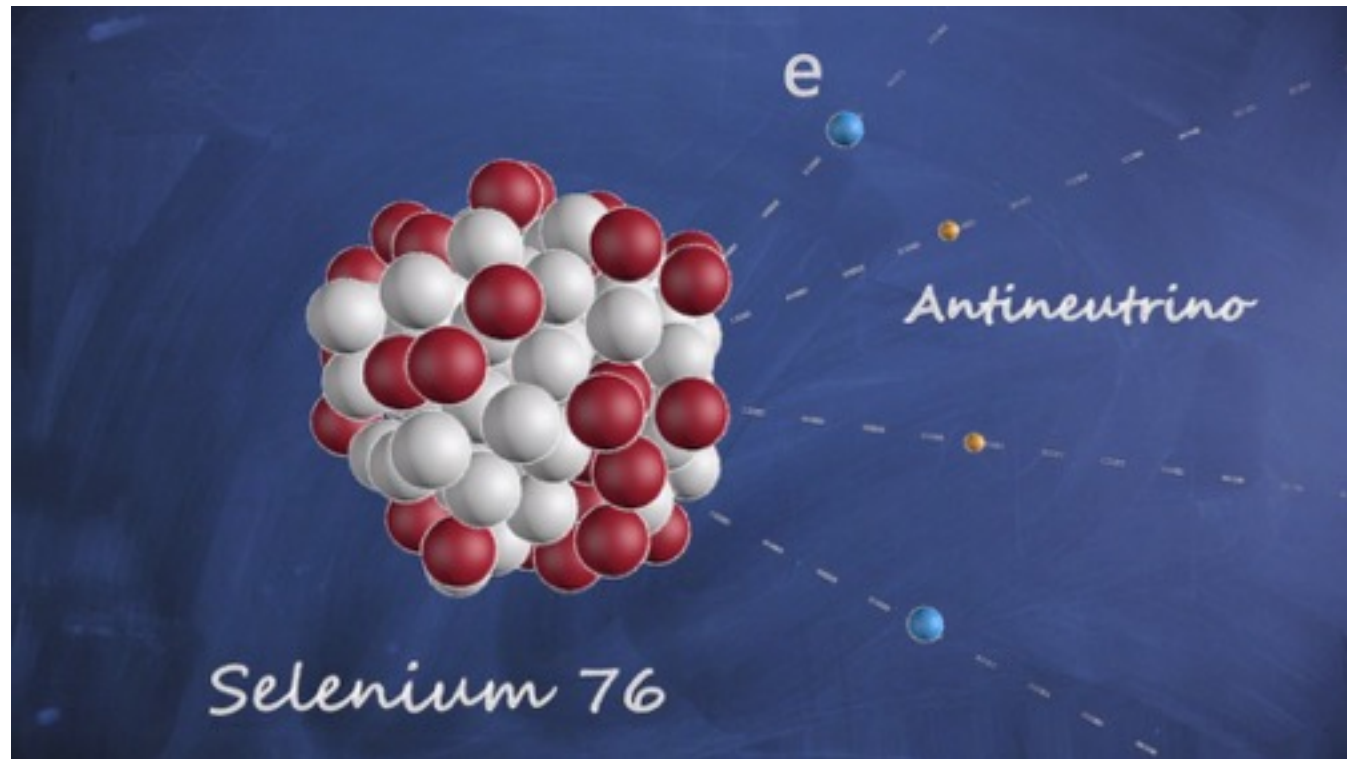
SOME DISAPPEARED
OTHERS ARE NOW LEFTOVERS

Podemos demostrar que el neutrino es su propia antipartícula?



Sí! Observando la desintegración doble beta sin neutrinos

Desintegración doble beta

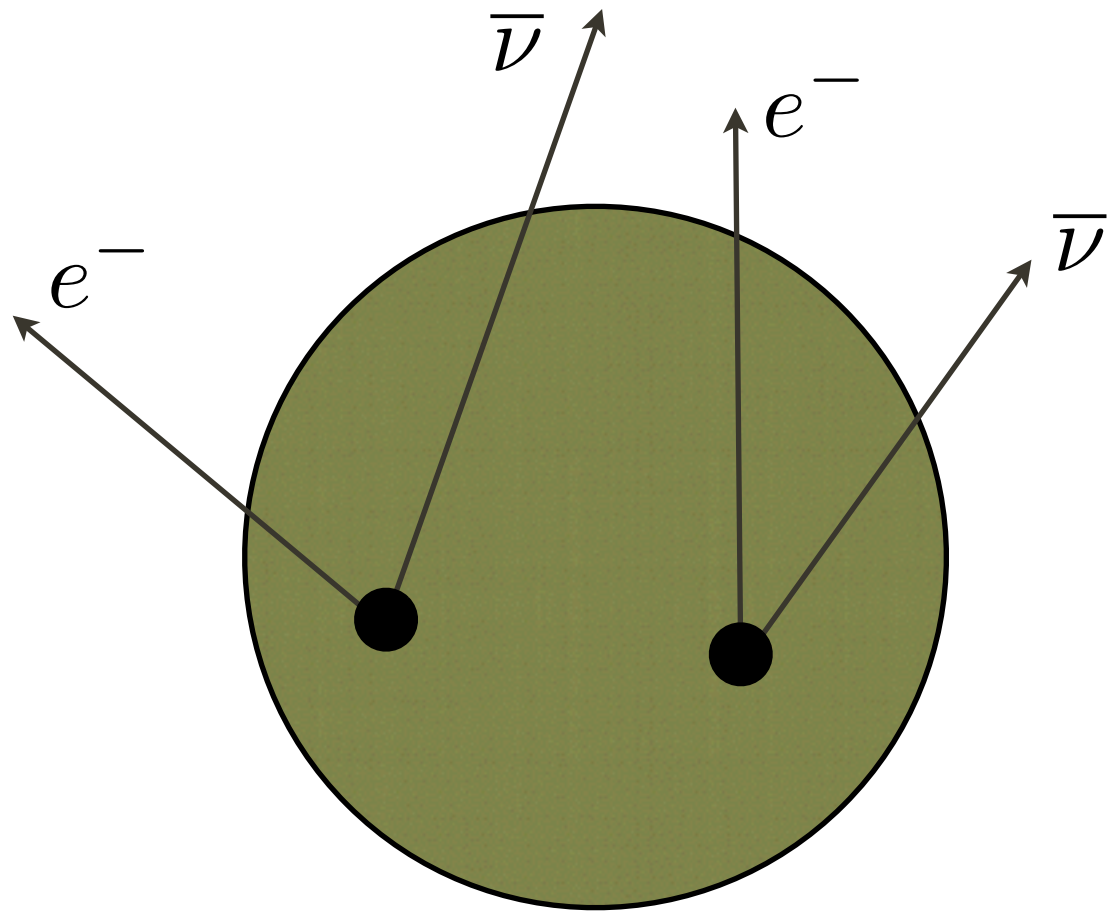


Modo permitido: 2e y 2 neutrinos.
Desintegración exótica, pero relativamente fácil de observar



Modo “prohibido”: los neutrinos se aniquilan y sólo se emiten dos electrones.
Observación = neutrino es su propia antipartícula

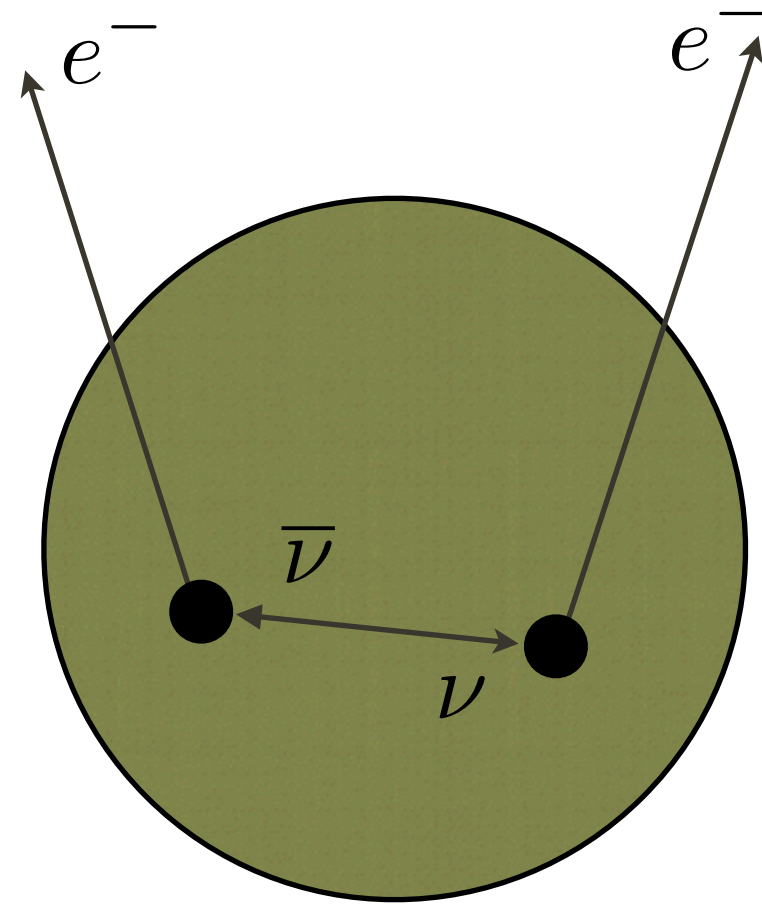
Desintegración doble beta



$\beta\beta 2\nu$

**SM-allowed process.
Measured in several nuclei.**

$$T_{1/2} \sim 10^{18} - 10^{20} \text{ y}$$

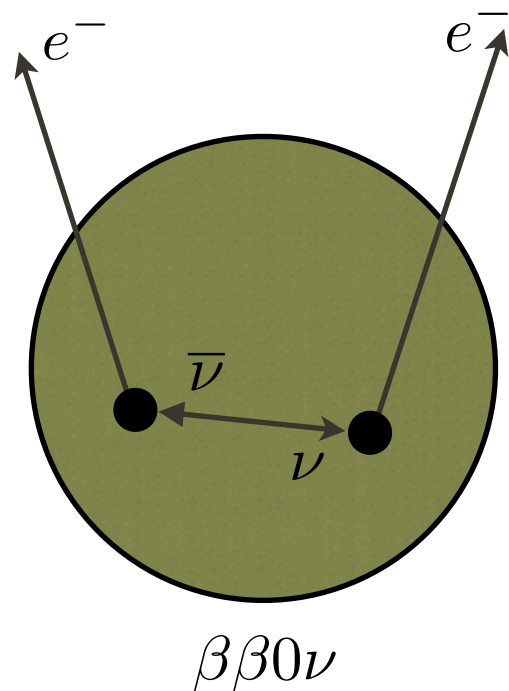


$\beta\beta 0\nu$

**Lepton number violating process.
Requires massive, Majorana
neutrinos.**

$$T_{1/2} > 10^{25} \text{ y}$$

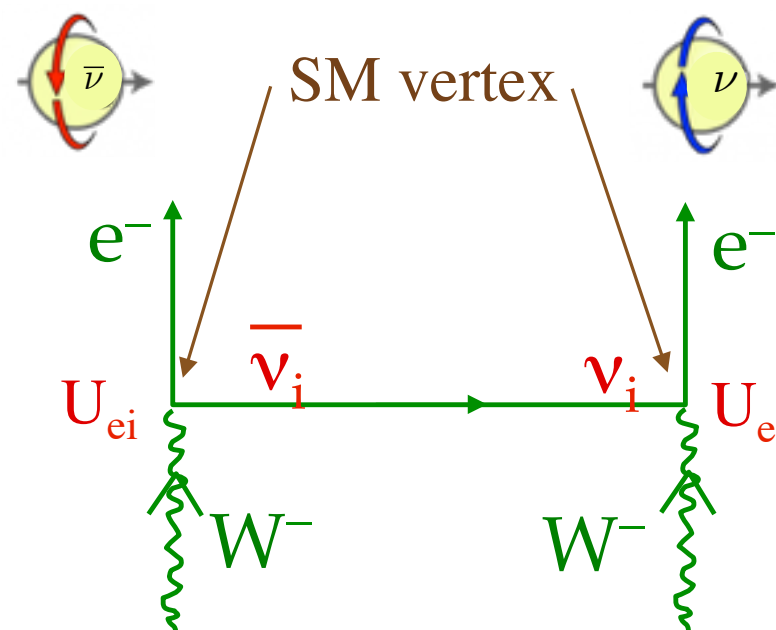
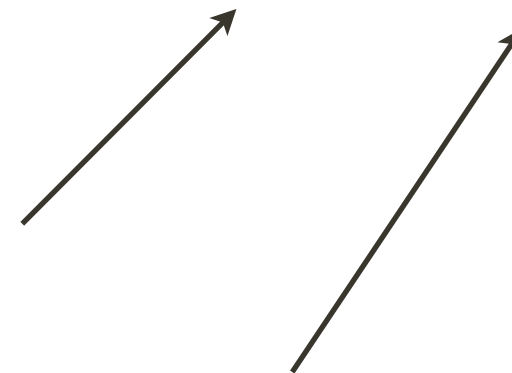
Desintegración doble beta sin neutrinos



$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = \boxed{G^{0\nu}(Q, Z)} \boxed{|M^{0\nu}|^2} m_{\beta\beta}^2$$

phase-space

nuclear matrix



Majorana neutrino

Mixing matrix

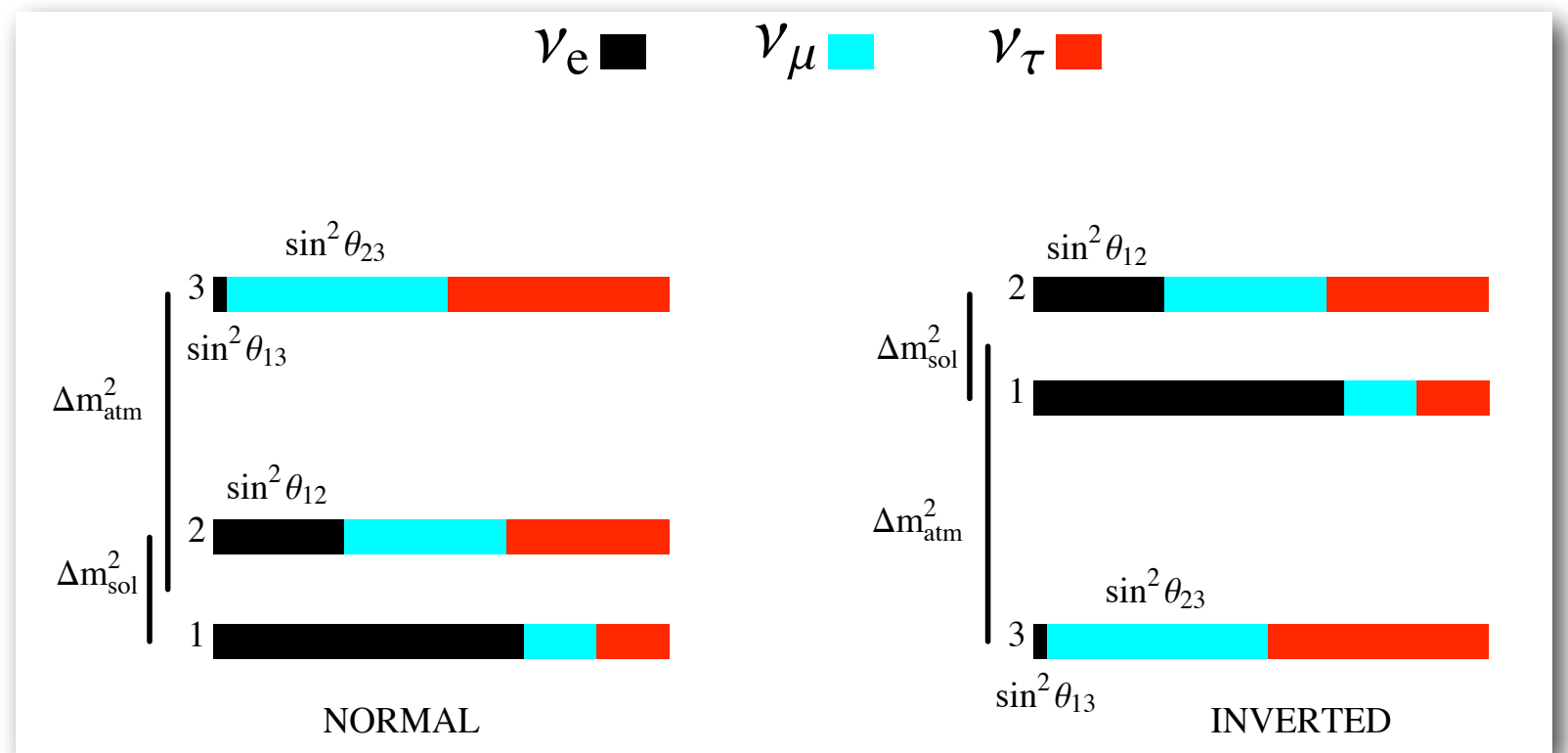
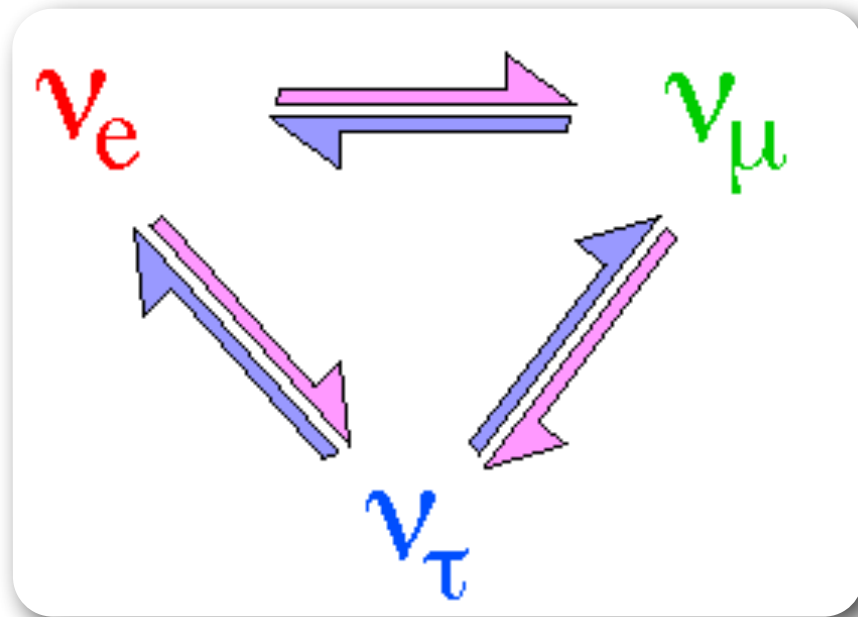


helicity flip $\propto \frac{m_i}{E}$

$\mathcal{A} \propto m_i$ **for each** ν_i



Curso acelerado de oscilaciones de neutrinos



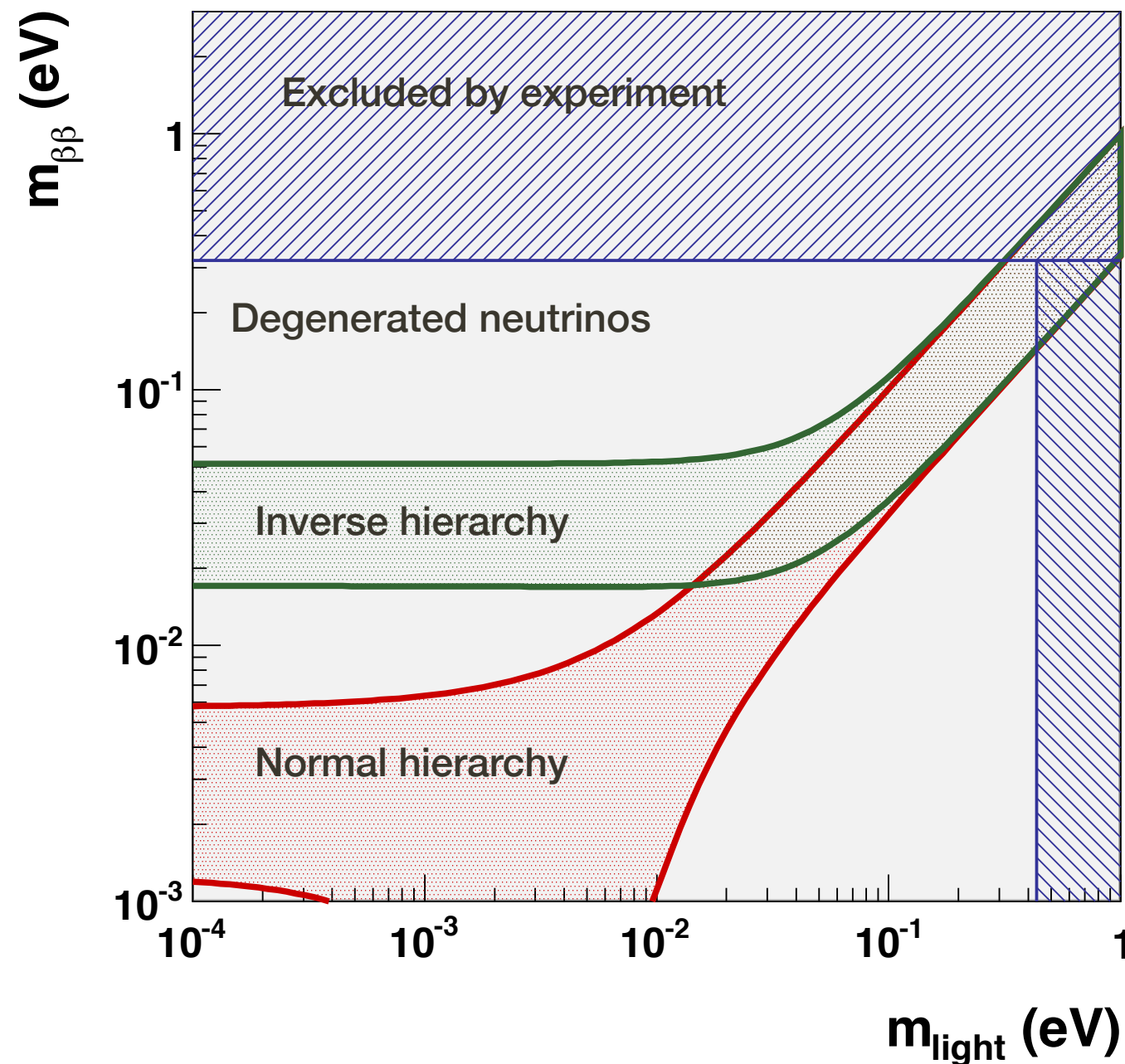
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U_{PMNS}(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}, \delta, \dots) \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

$$m_{\beta\beta} = ||U_{e1}|^2 m_1 + e^{i\alpha_1} |U_{e2}|^2 m_2 + e^{i\alpha_2} |U_{e3}|^2 m_3|$$

La probabilidad de observer bb0nu depende de mbb

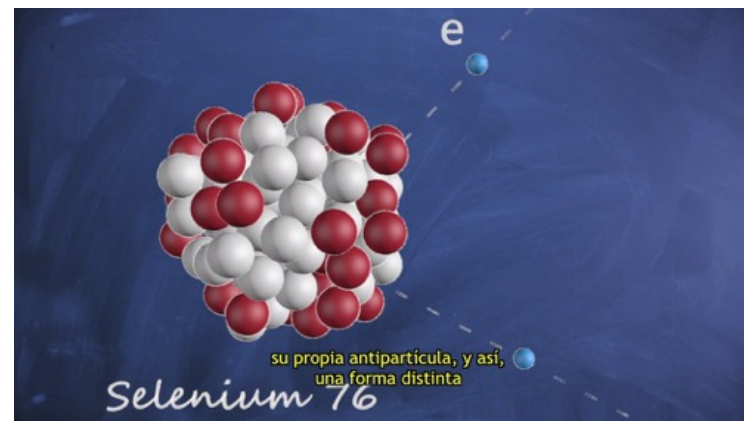
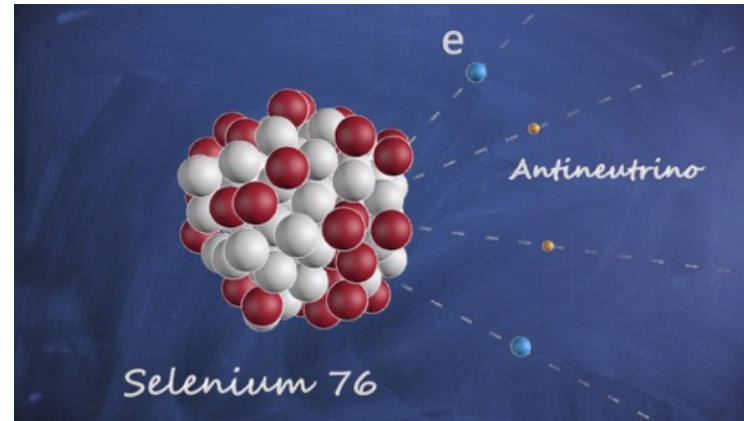
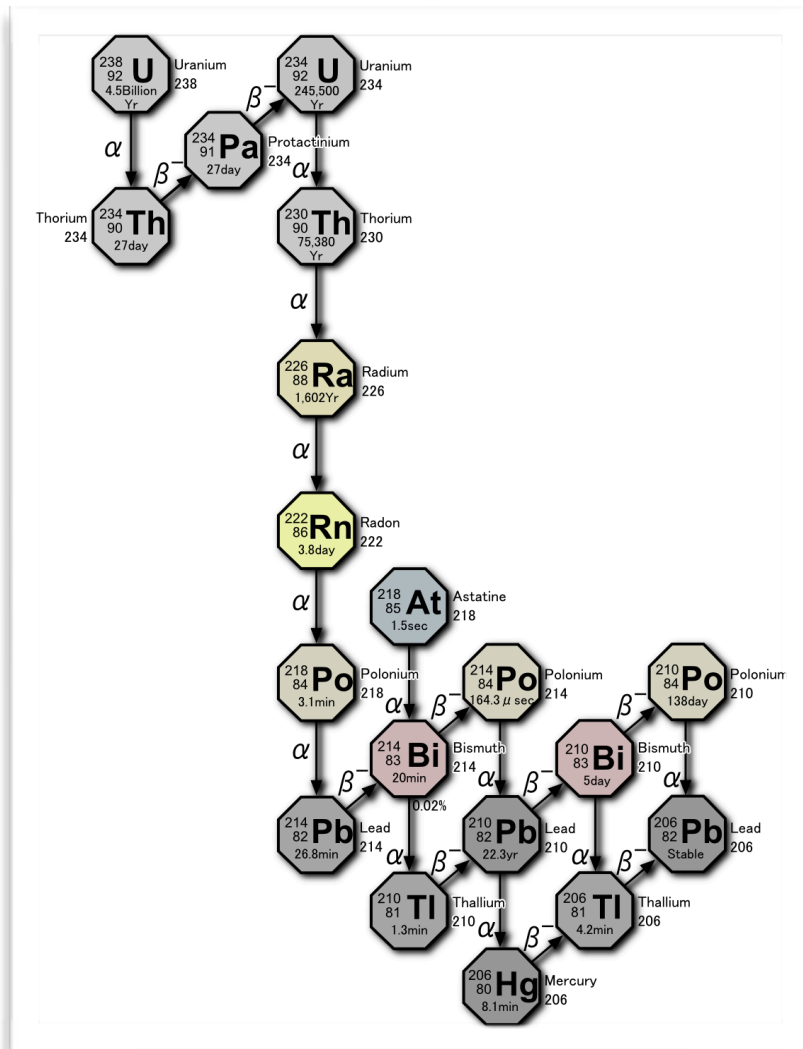
El valor de mbb depende de los valores de m1, m2, y m3 y de los ángulos de mezcla.

Experimentalmente, la relación clave es la inversa del periodo con el CUADRADO de mbb



$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G^{0\nu}(Q, Z) |M^{0\nu}|^2 m_{\beta\beta}^2$$

¿Es fácil observar $bb0\nu$?



Pero la vida media de la desintegración doble beta es del orden de la edad de quince universos consecutivos

Es MUY DIFÍCIL

La tierra es un planeta muy radioactivo

Las vida media del Th-232 es del orden de la edad del universo (14 Gy)

¿Tan difícil como...?



**Buscar una aguja en
un pajar?**



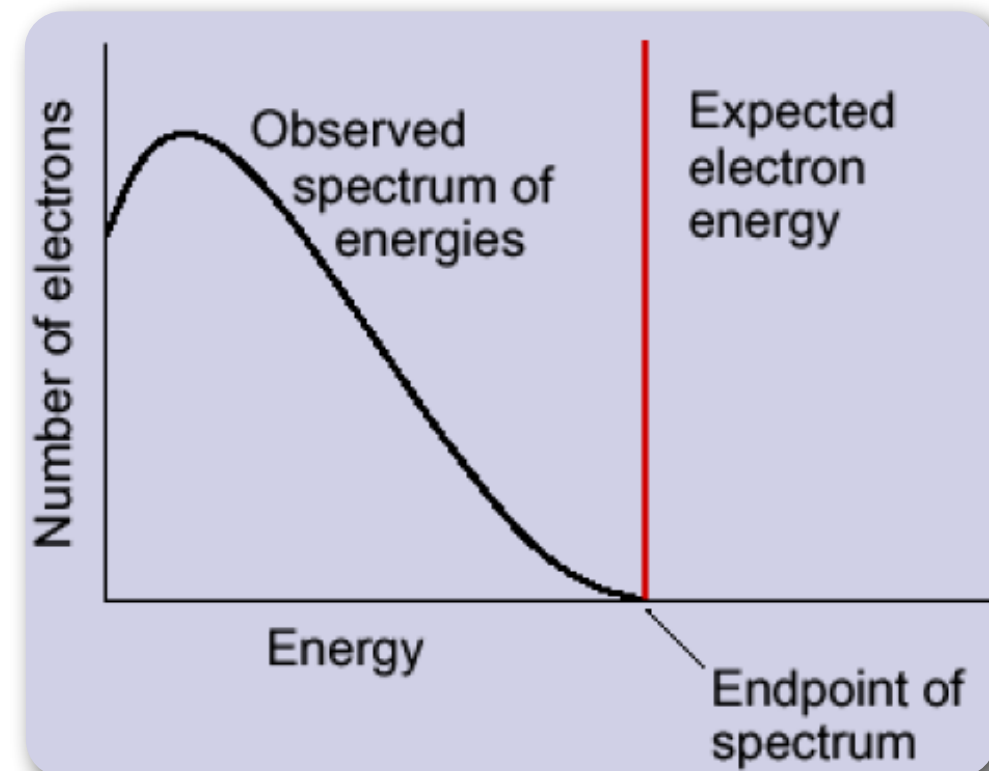
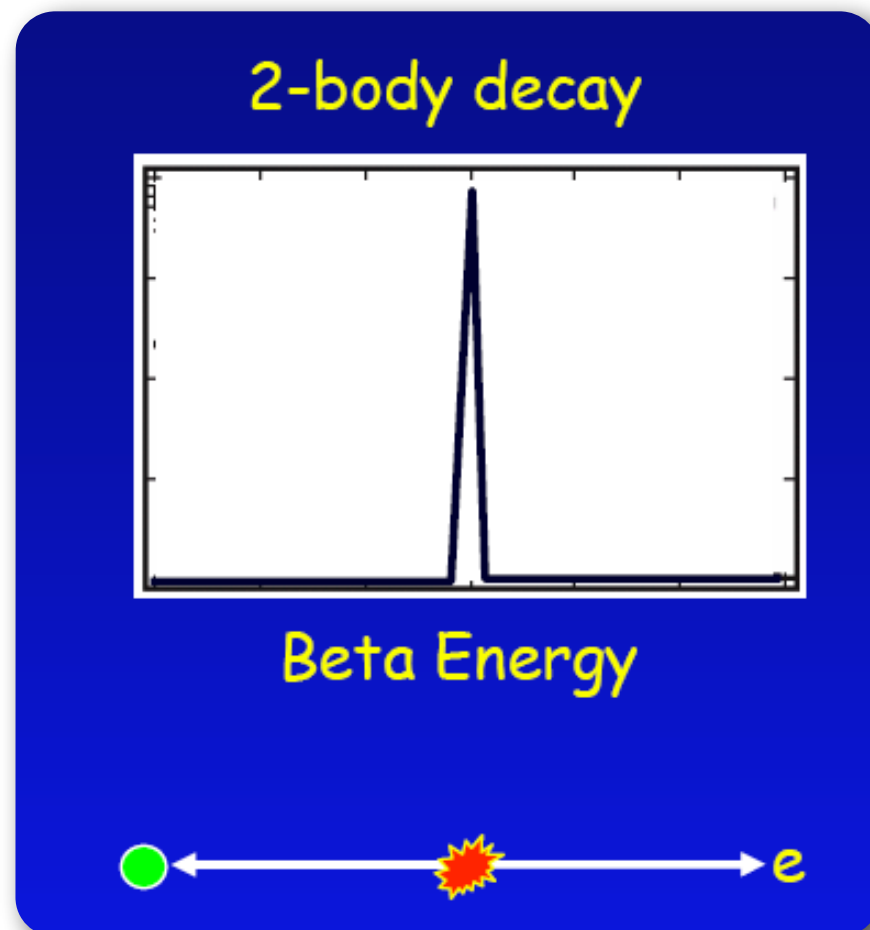
**Más bien un grano de arena en
una playa**

¿Cómo separar la escasa señal del ingente ruido?



**Por cada suceso de señal nuestro detector tiene que
eliminar unos 10 millones de sucesos de ruido de fondo**

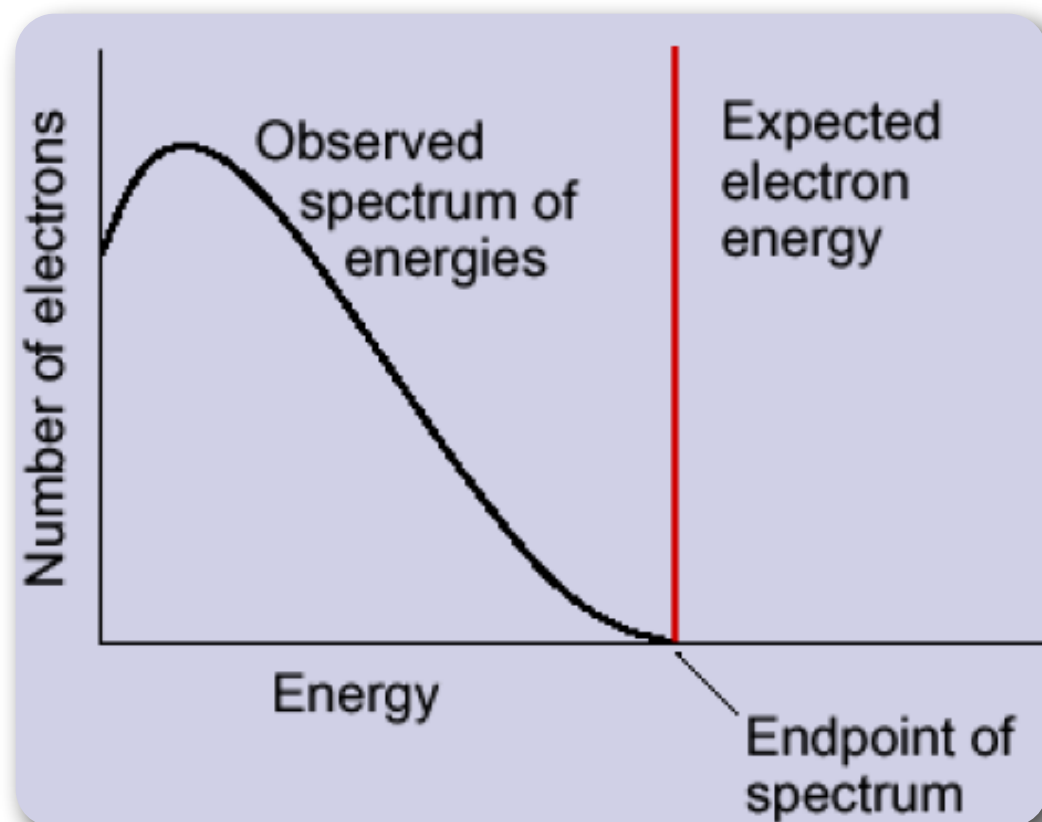
La física al rescate...



Receta para un detector bb2nu

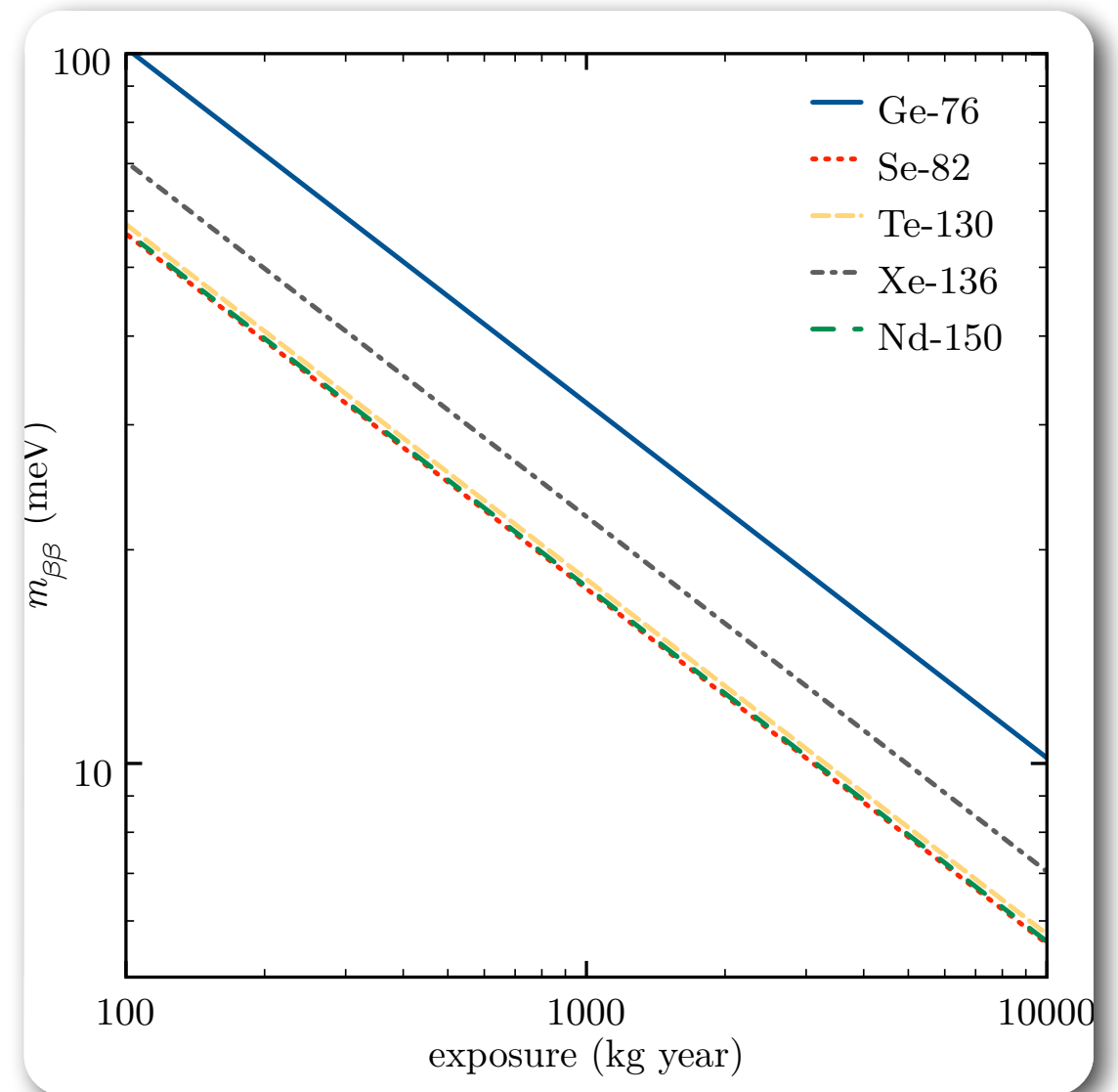
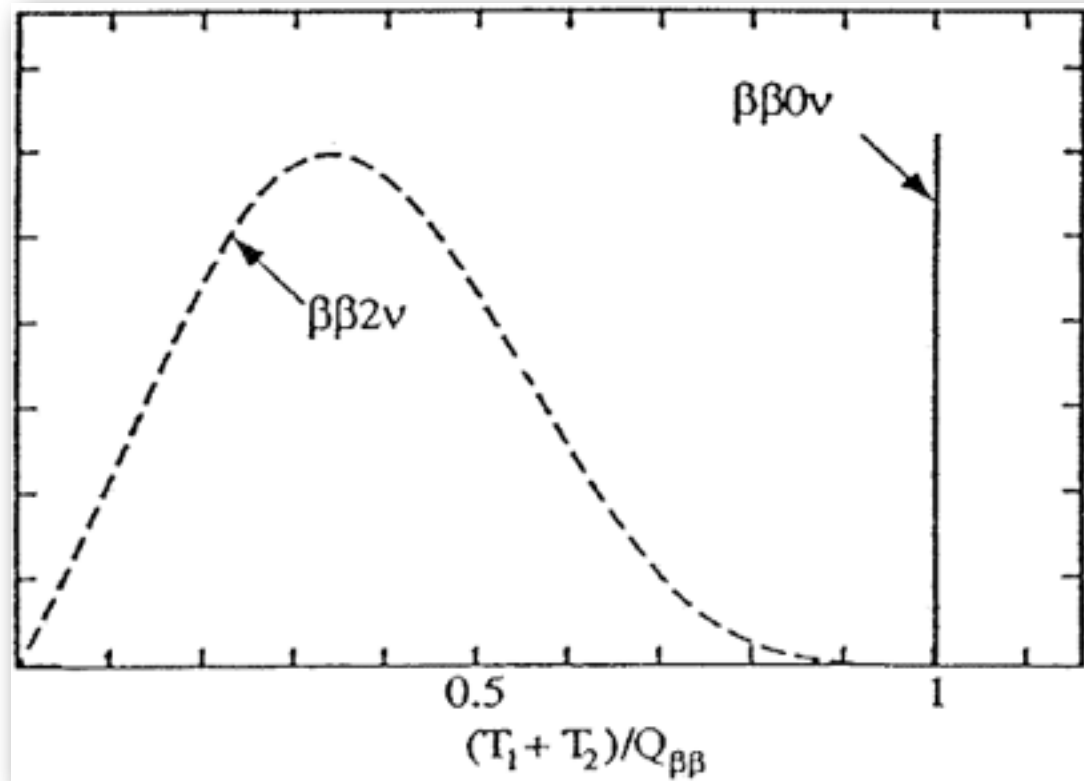


Distinguir los 2 electrones característicos del $\text{bb}0\nu$ de otros procesos (que dan típicamente 1 electrón)



Medir muy bien la energía

Receta para un detector bb2nu

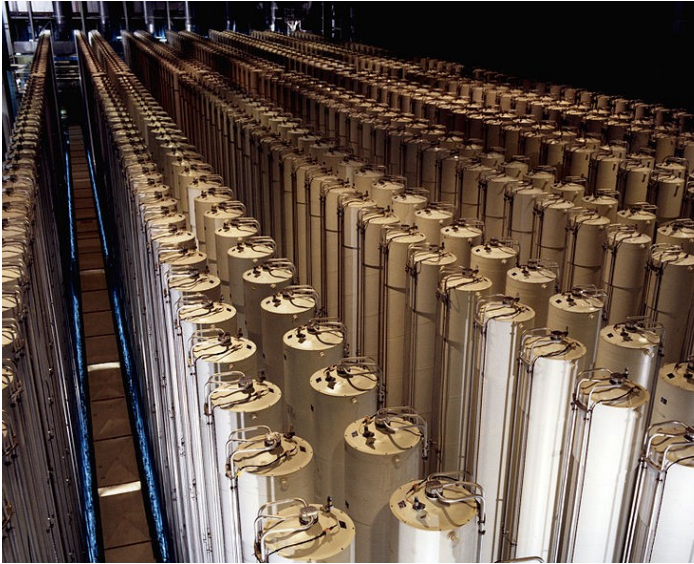


$$T_{1/2} = \log 2 \frac{N_A M t}{A N_{\beta\beta}}$$

$$M = 100 \text{ kg}, \quad A = 136, \quad T_{1/2} = 10^{26} \text{ y} \quad N_{\beta\beta} \sim 3$$

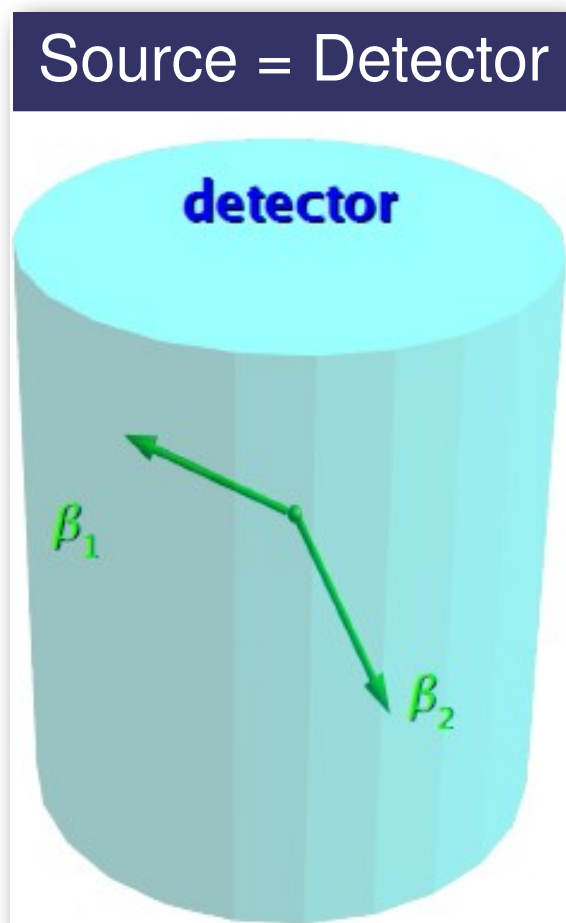
$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G^{0\nu}(Q, Z) |M^{0\nu}|^2 m_{\beta\beta}^2$$

Ingredientes para un detector



Los isótopos $\beta\beta 0\nu$ son raros y muy caros

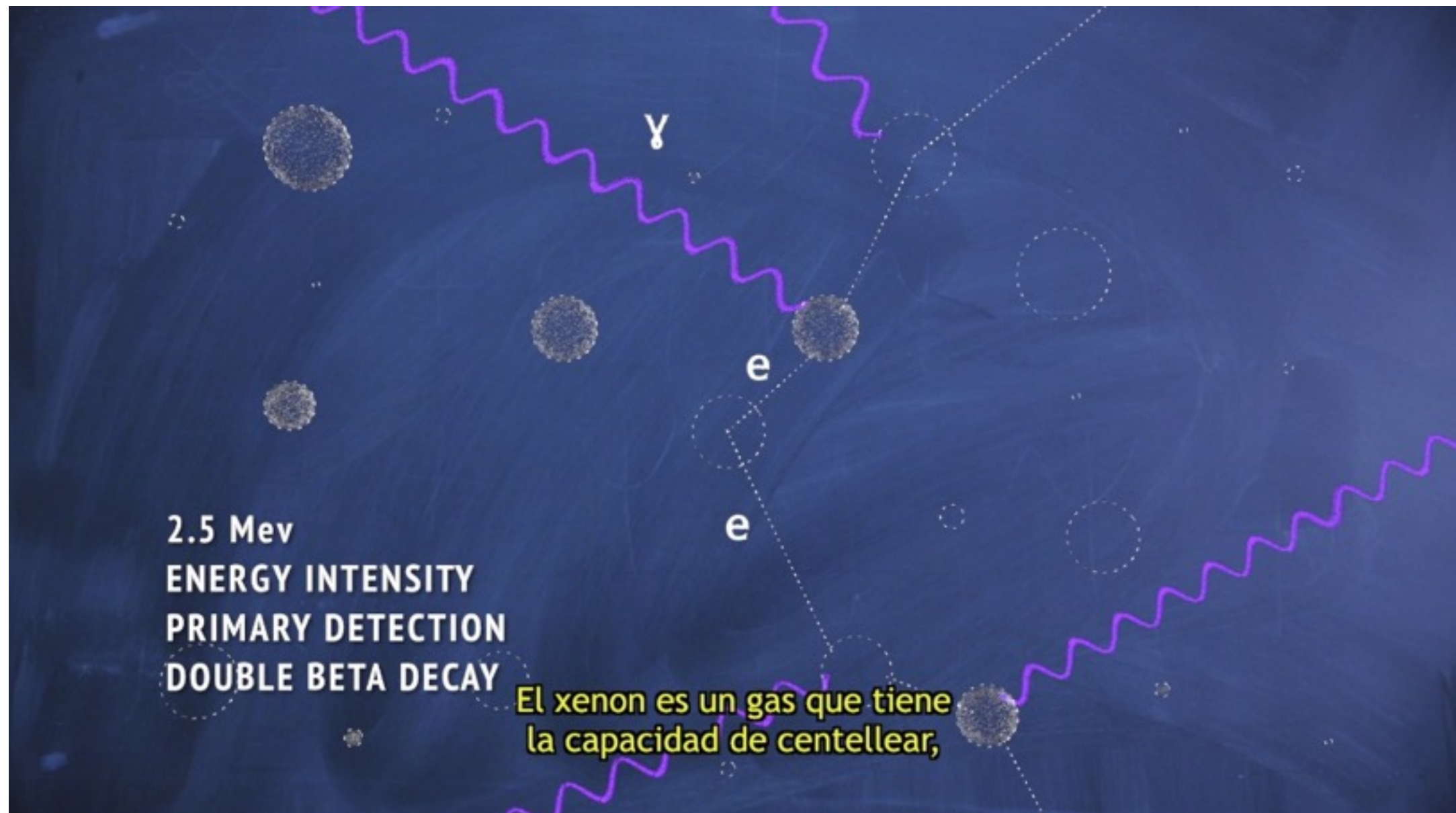
El Xe-136 es el más barato y fácil de enriquecer de todos



Además el xenón es un gas noble

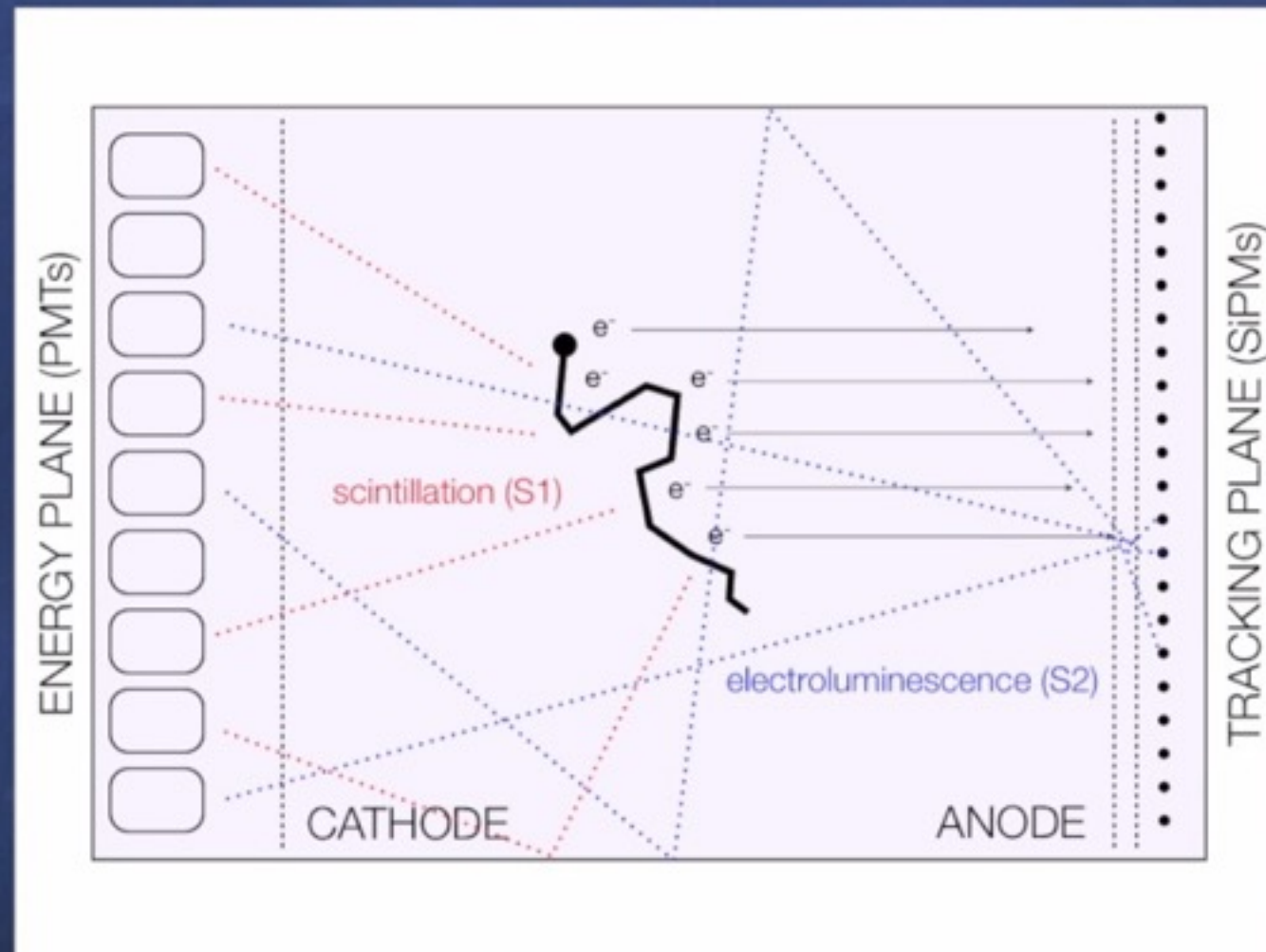
Es posible construir un detector en el que el xenón sea a la vez la fuente de las desintegraciones y el detector

Principio de funcionamiento



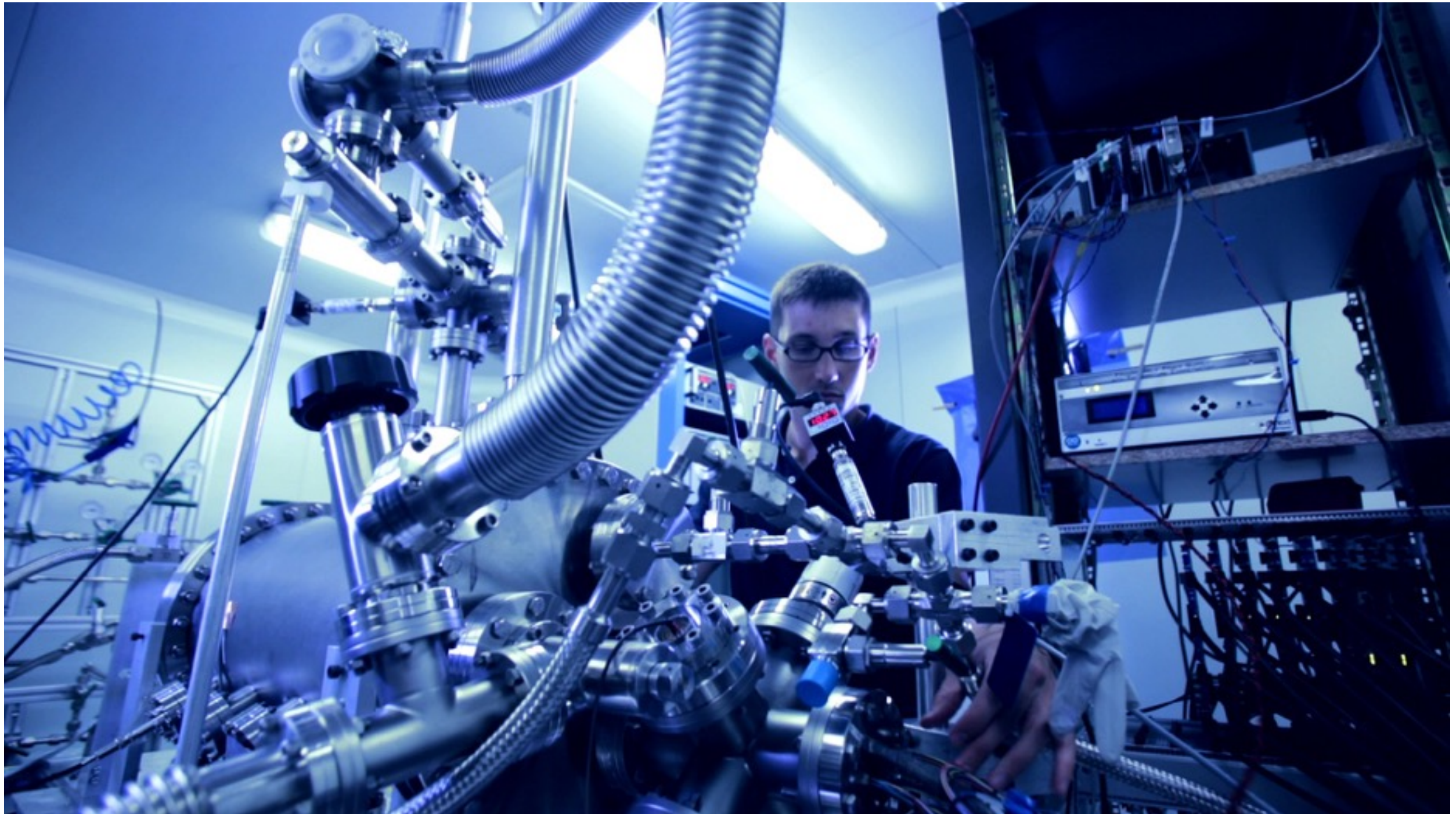
Podemos registrar ese centelleo usando sofisticados sensores ópticos que nos permiten reconstruir la topología y energía del suceso

Concepto



Primer paso: Una idea garabateada en un trozo de papel

Demostración del concepto



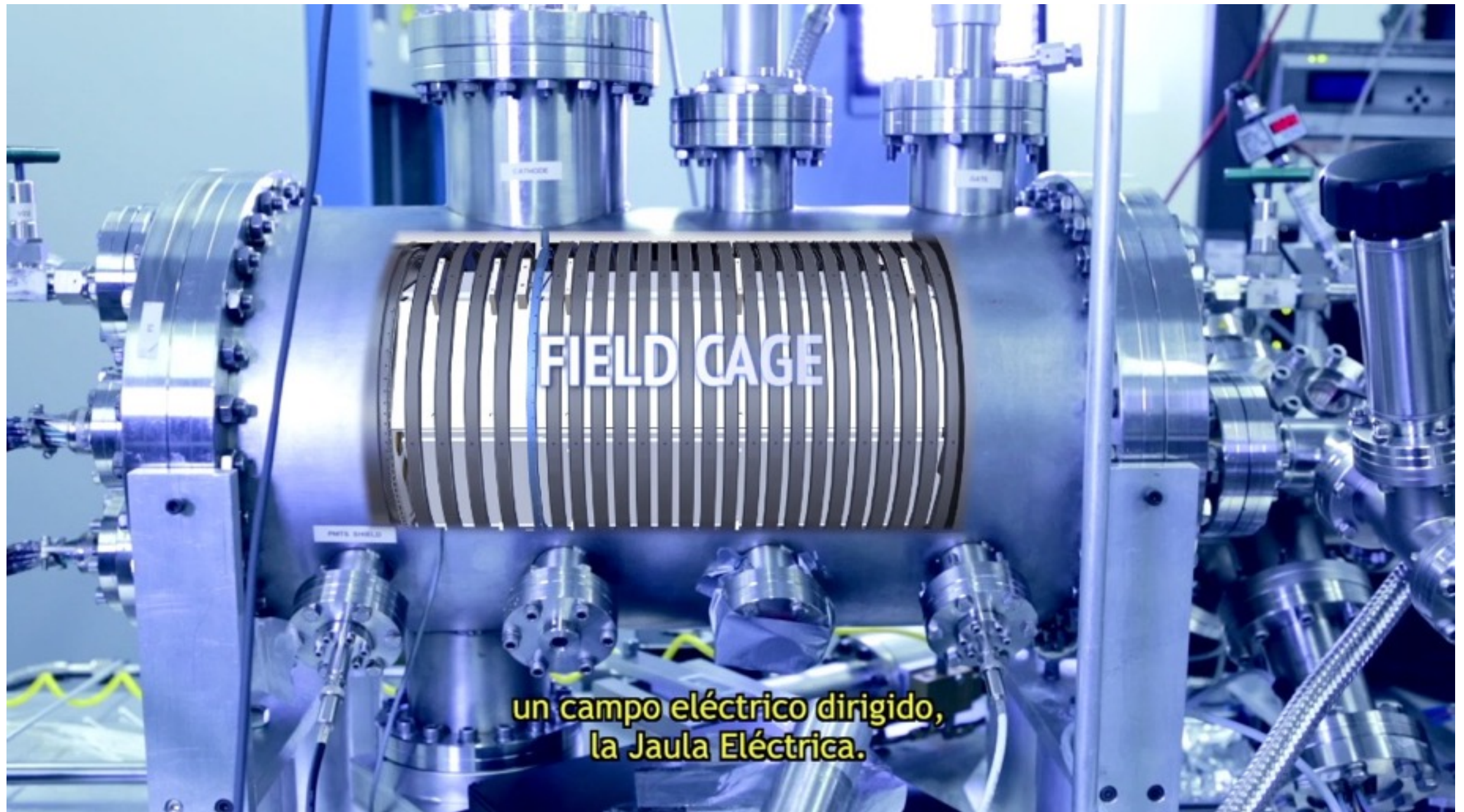
NEXT-DEMO: La primera cámara de xenón a alta presión basada en electroluminescencia del mundo

Anatomía de NEXT-DEMO



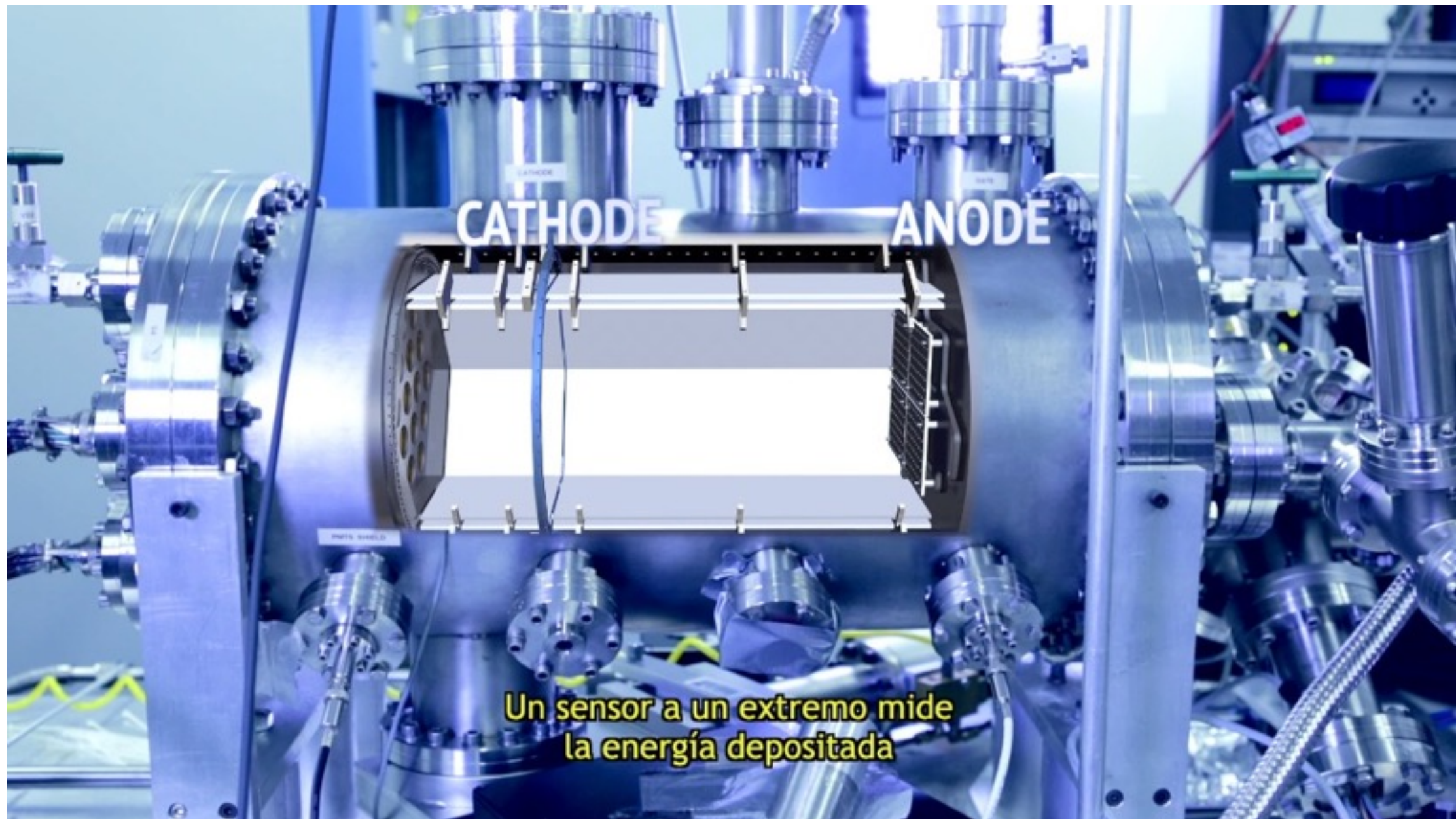
Por fuera: Una cámara de acero-titanio, capaz de encerrar xenón a alta presión

Anatomía de NEXT-DEMO



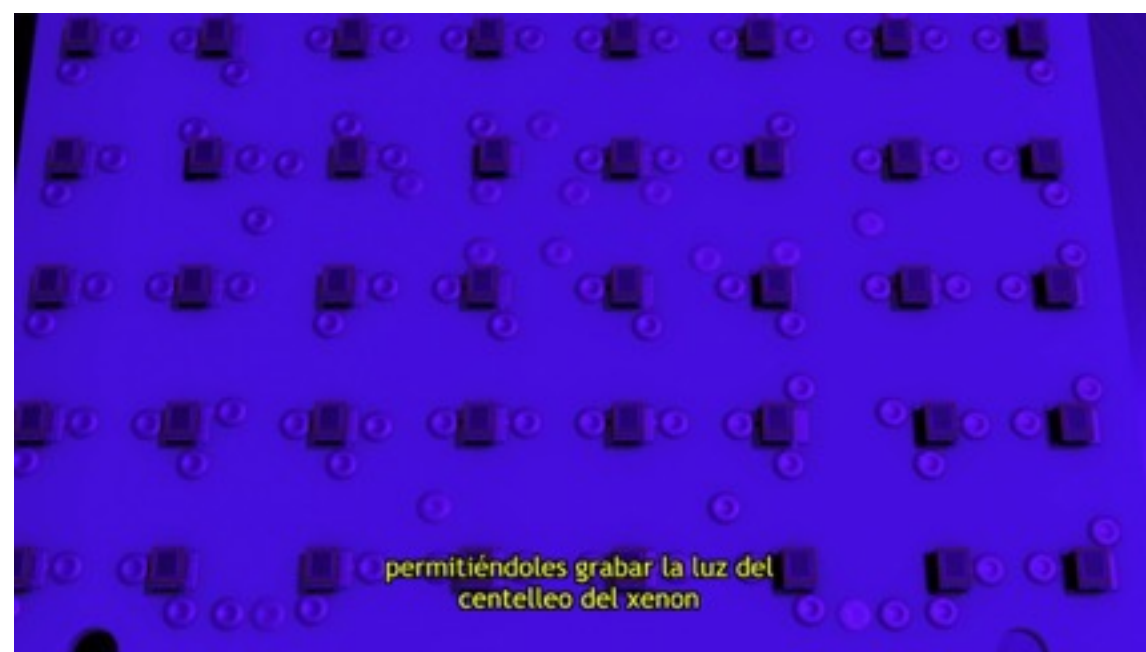
Dentro: Una jaula eléctrica donde grandes campos eléctricos permiten recoger la carga eléctrica usada para medir la energía y la topología

Anatomía de NEXT-DEMO



Dentro: Dos planos de sensores que nos permiten medir la luz ultravioleta emitida por el xenón previamente transformada en luz azul

Los ojos de NEXT



Hot Getter

Gas System

HHV modules

NEXT-DEMO

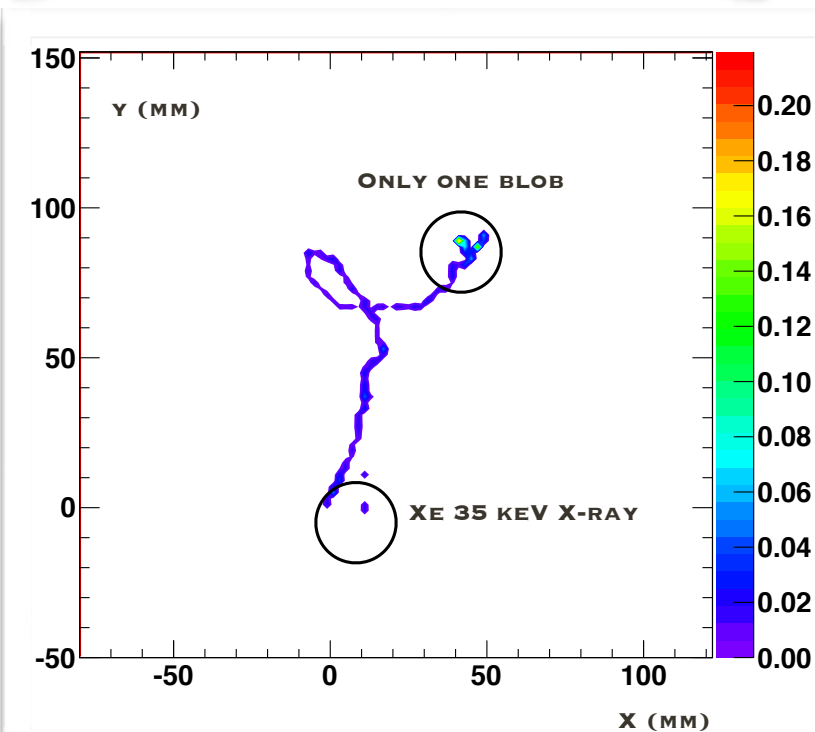
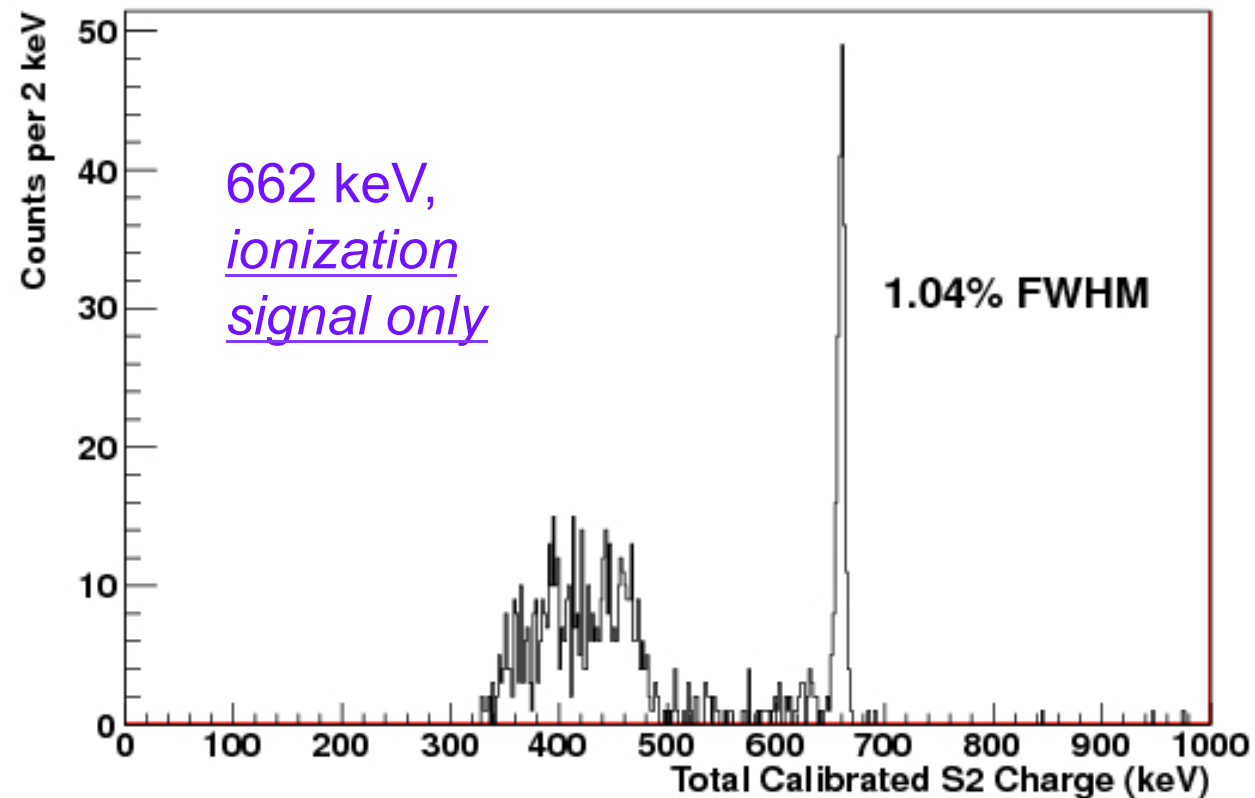
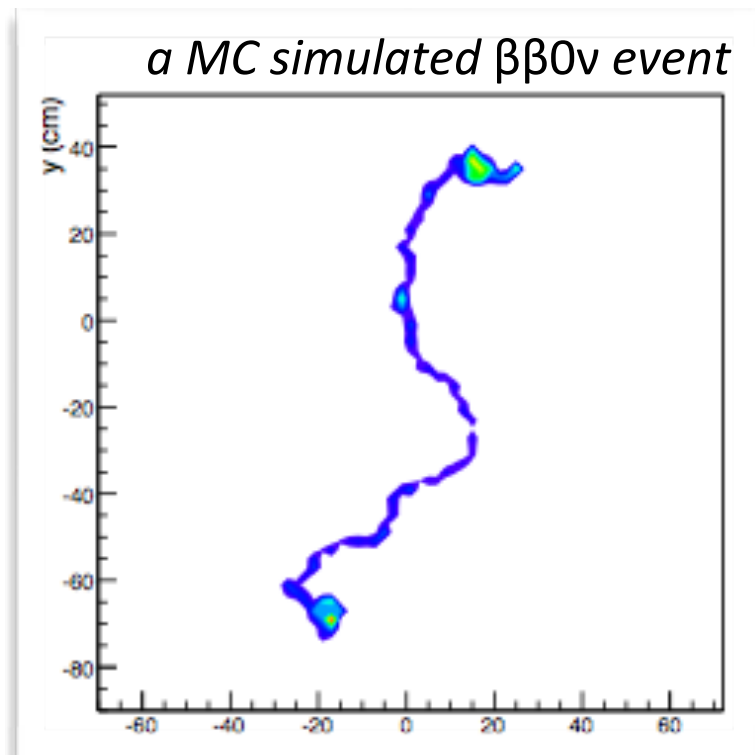
DAQ

PMTs FEE

SiPMs FEE



La demostración de la técnica



NEXT-DEMO usa fuentes radioactivas para “simular” la rara señal que NEXT va a buscar y demostrar que somos capaces de separar los 2 electrones de otros procesos y medir su energía con gran resolución

NEW (NEXT-WHITE) at glance

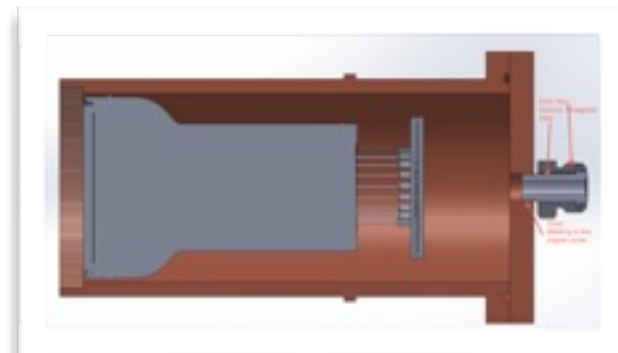
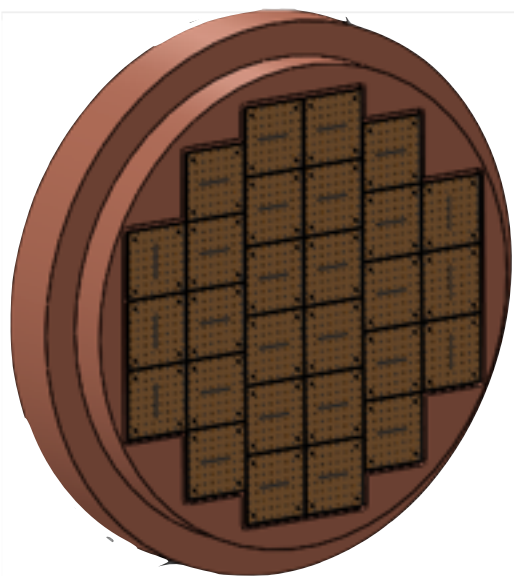
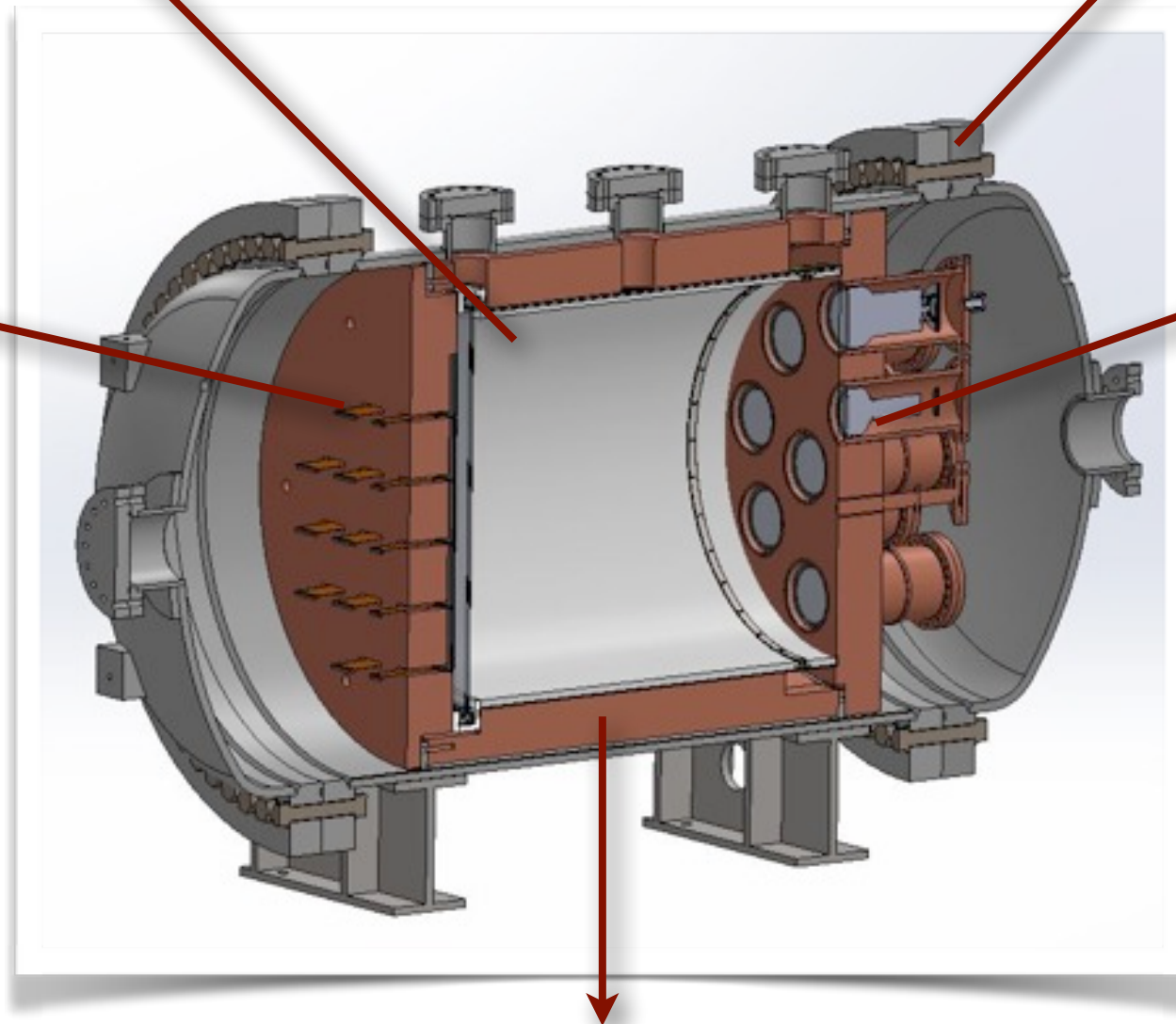
Time Projection Chamber:
10 kg active region, 50 cm drift length

Tracking plane:
1,800 SiPMs,
1 cm pitch

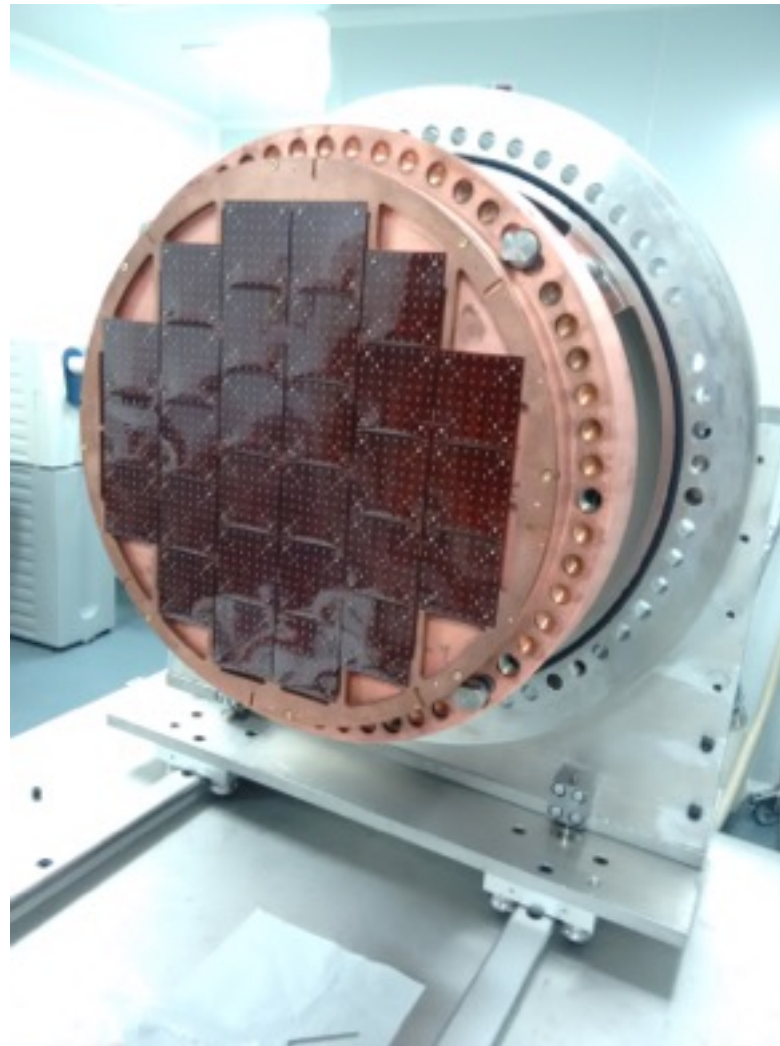
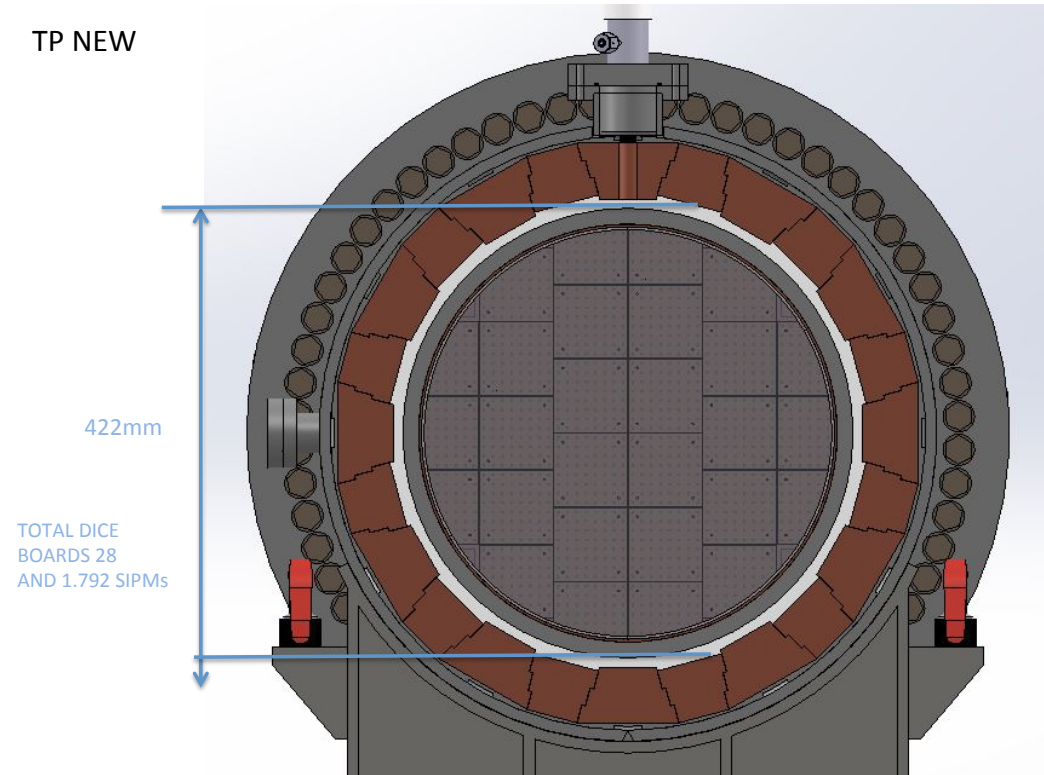
Pressure vessel:
316-Ti steel, 30 bar max pressure

Energy plane:
12 PMTs,
30% coverage

Inner shield:
copper, 6 cm thick



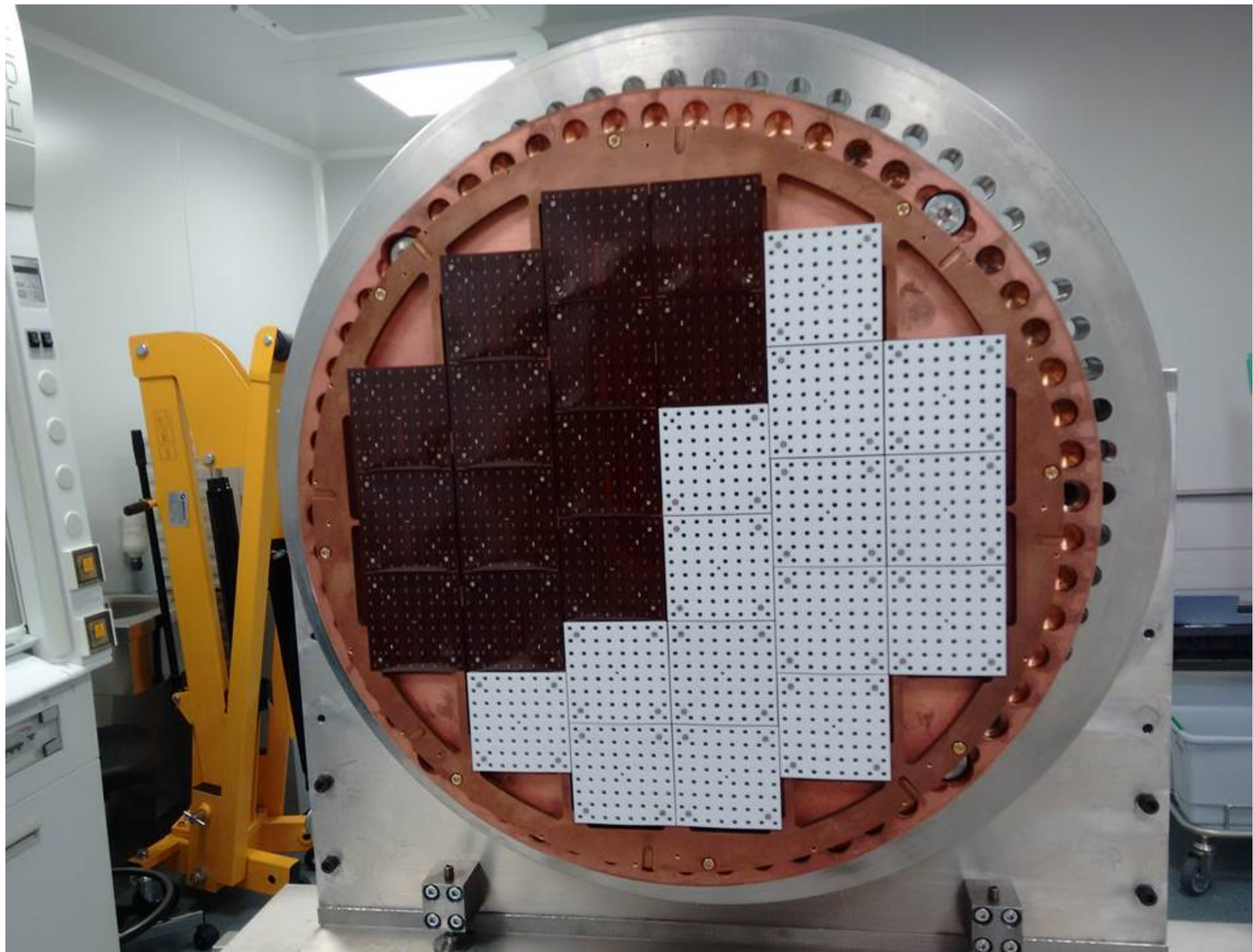
Tracking plane

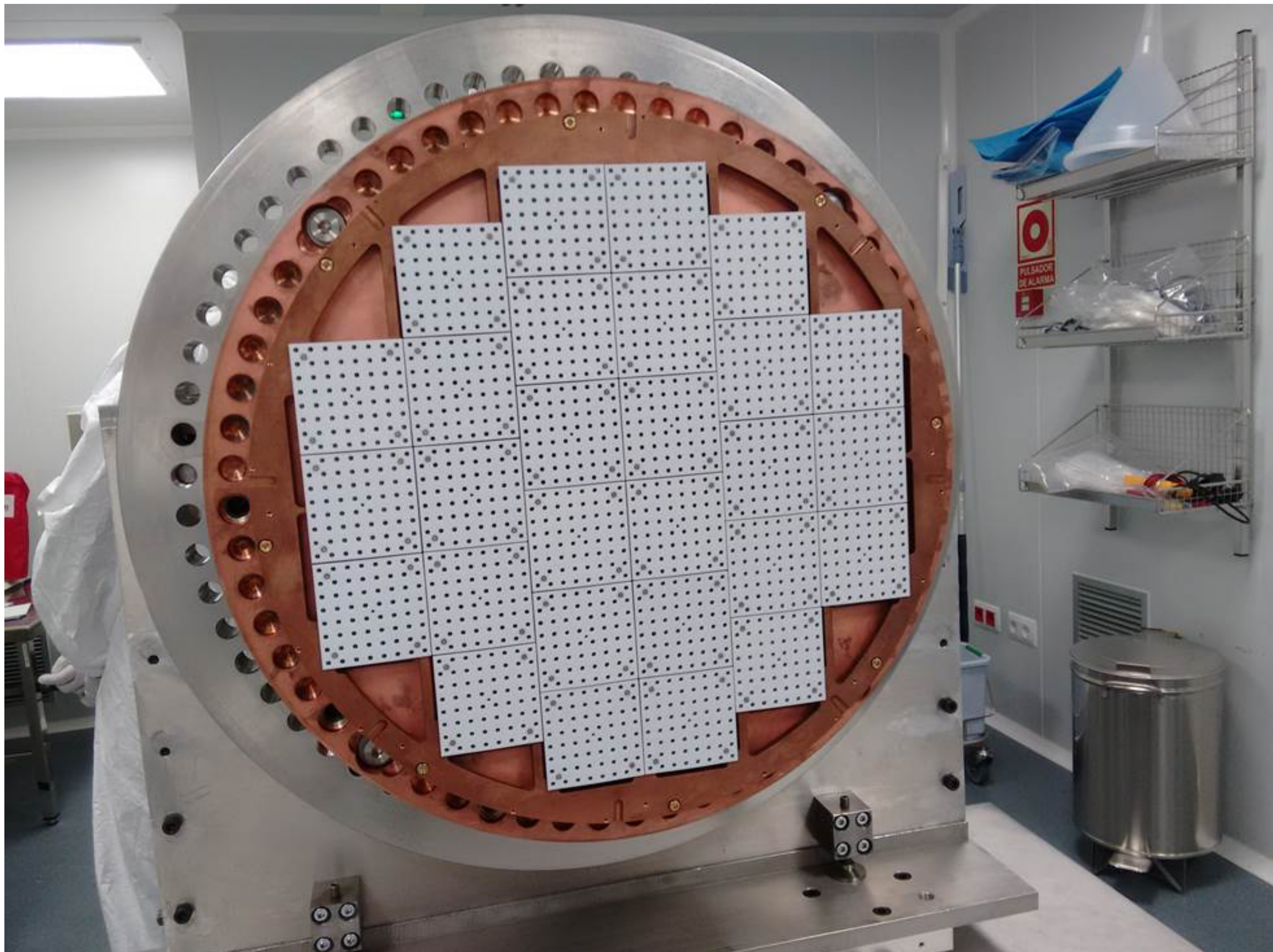


28 Kapton Dice Boards (KDBs) NEXT 100 will have ~100

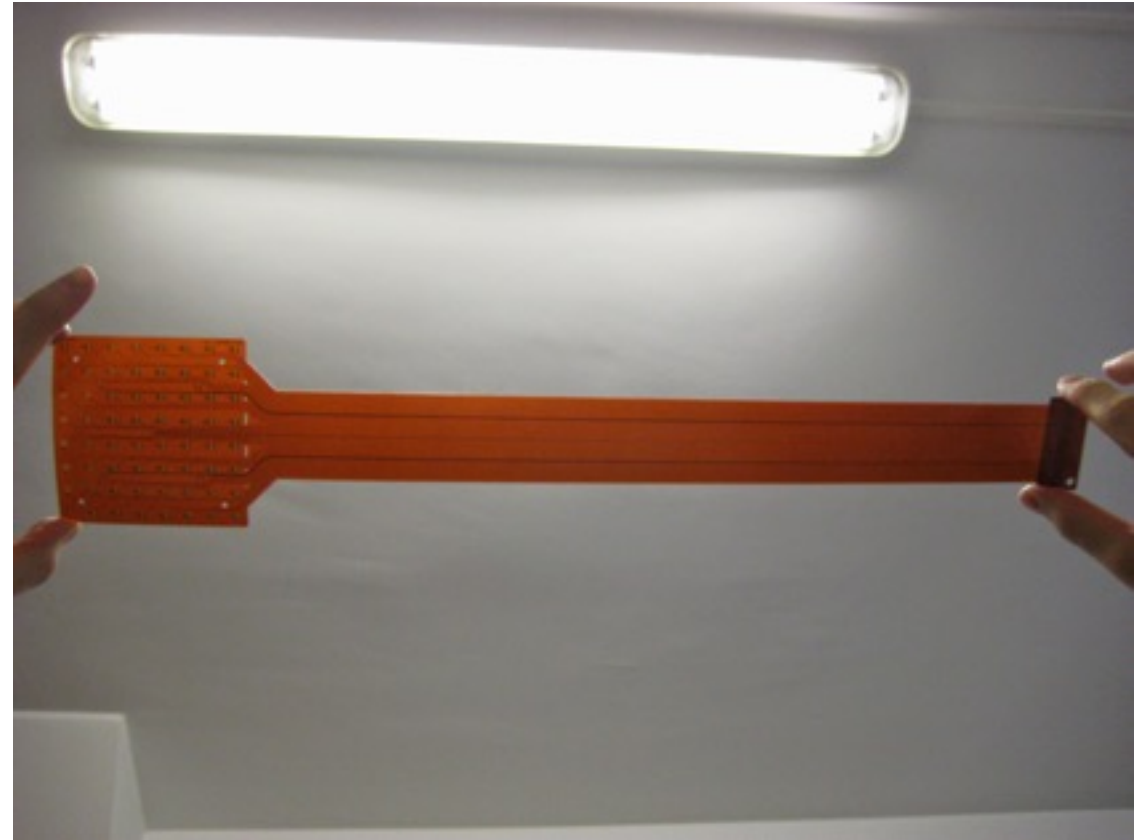
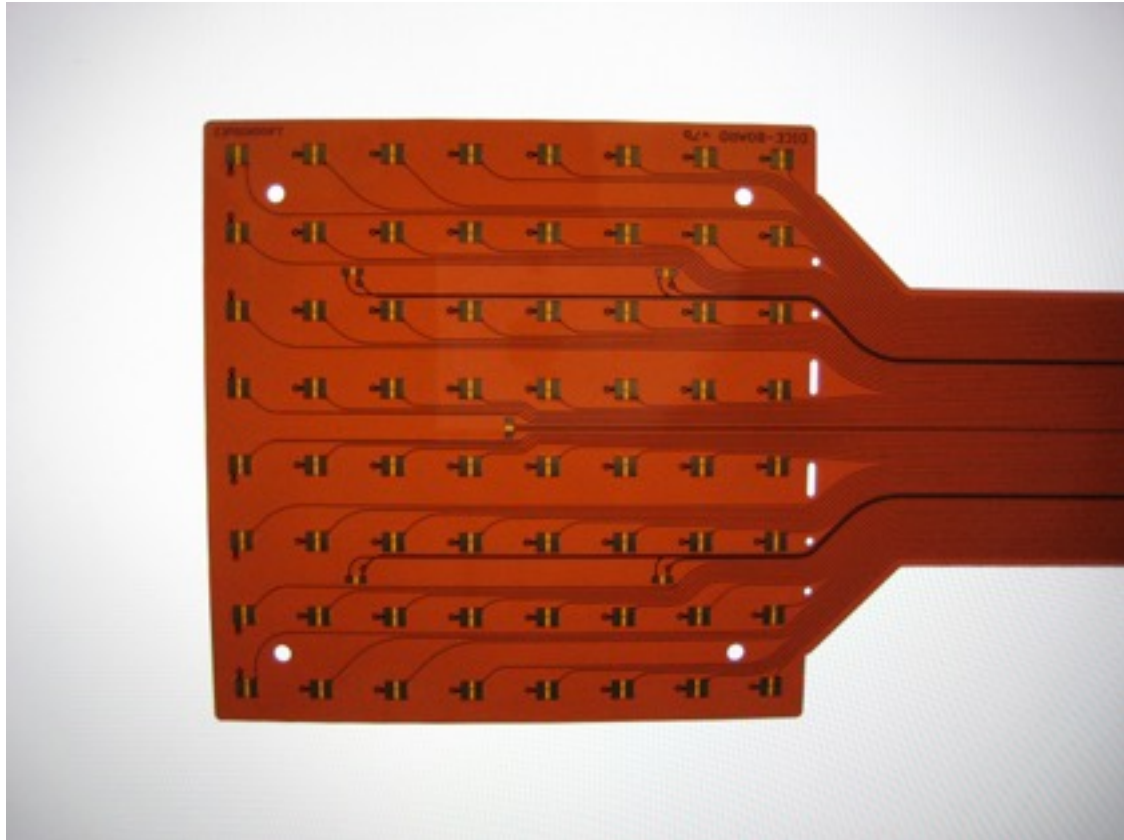
Each KDB has 64 SiPMs from SENSL (thus, about 1,800 SiPms)

SENSL SiPMs are the most radiopure currently in market,





Tracking plane: KDBs



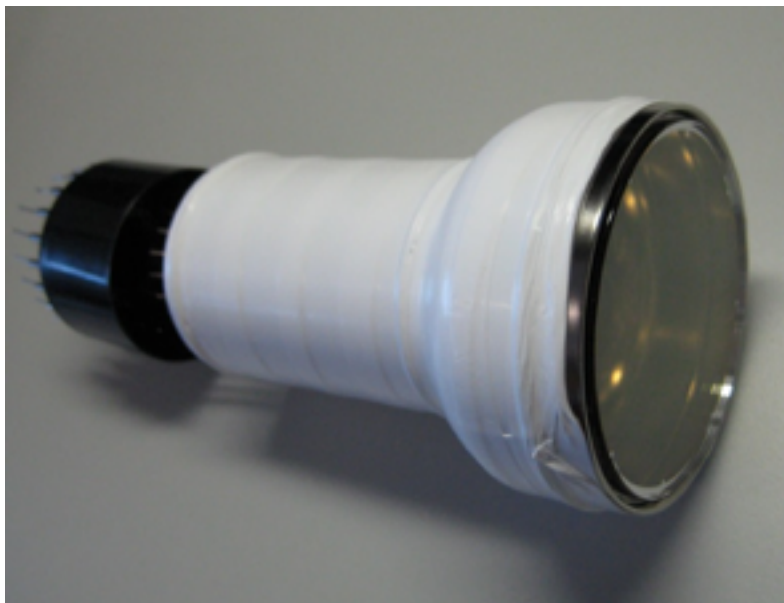
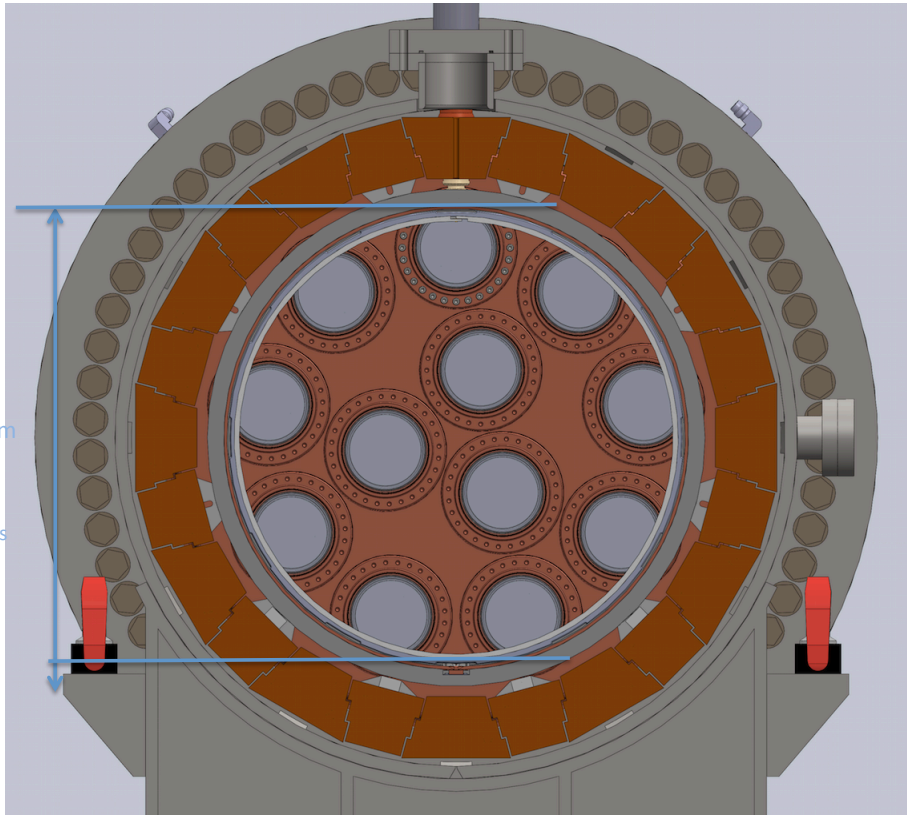
Made of low-background Kapton

Long pigtail runs through 12 cm of copper shield.

Connector BEHIND copper shield



Energy plane



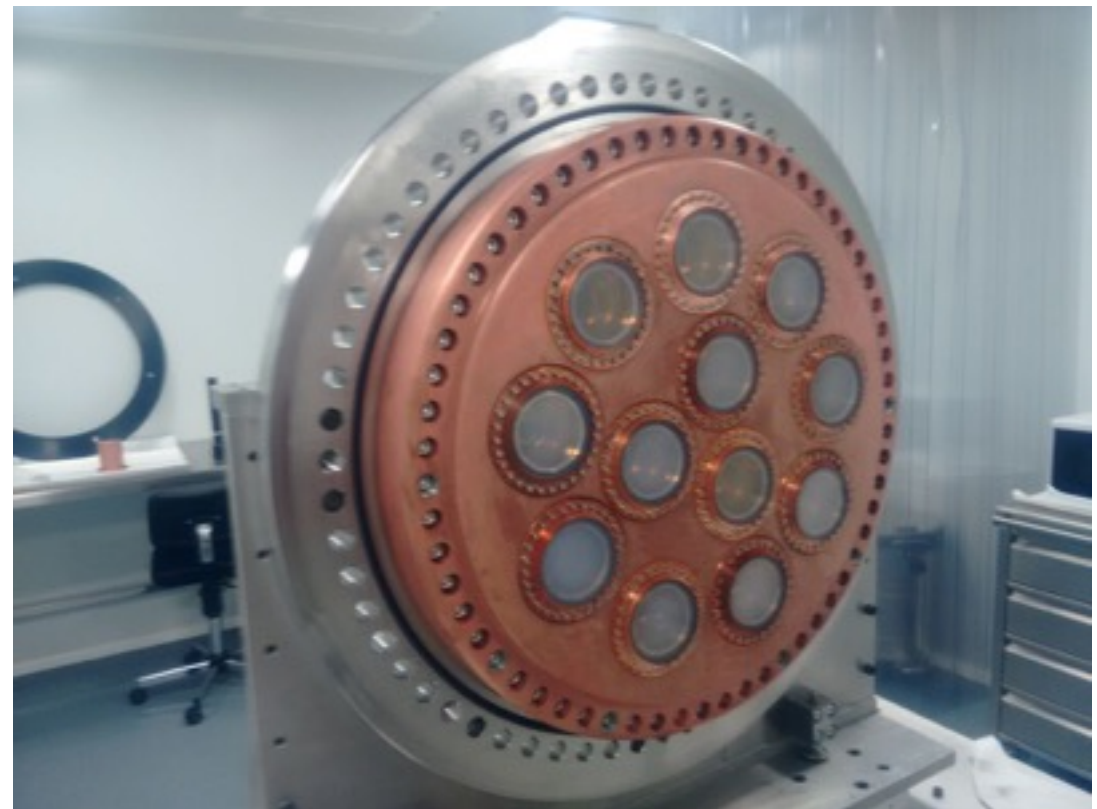
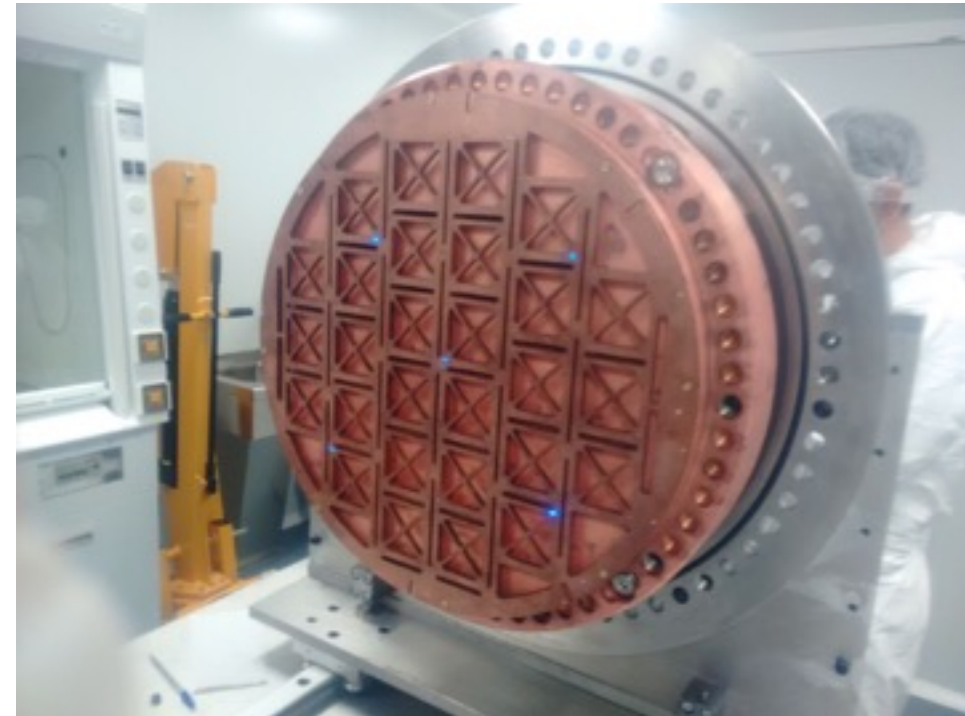
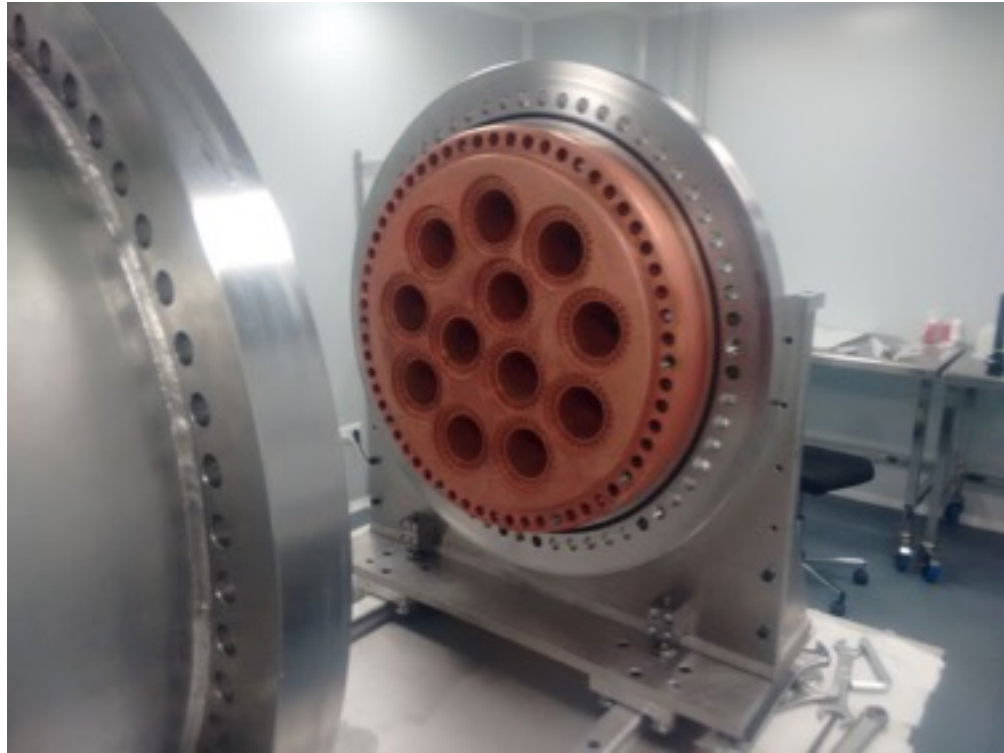
12 R11410-10 PMTs (Hamamatsu)

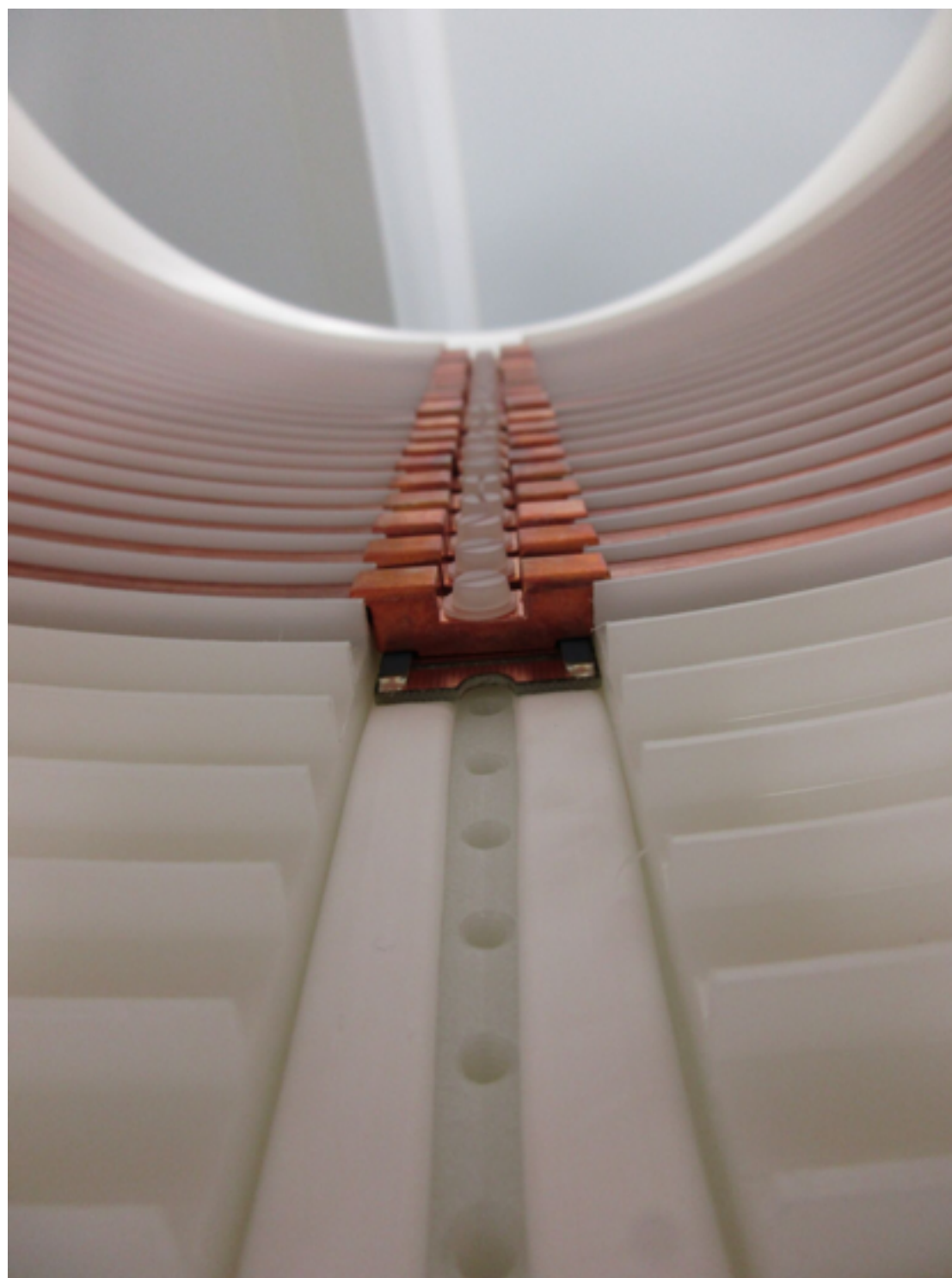
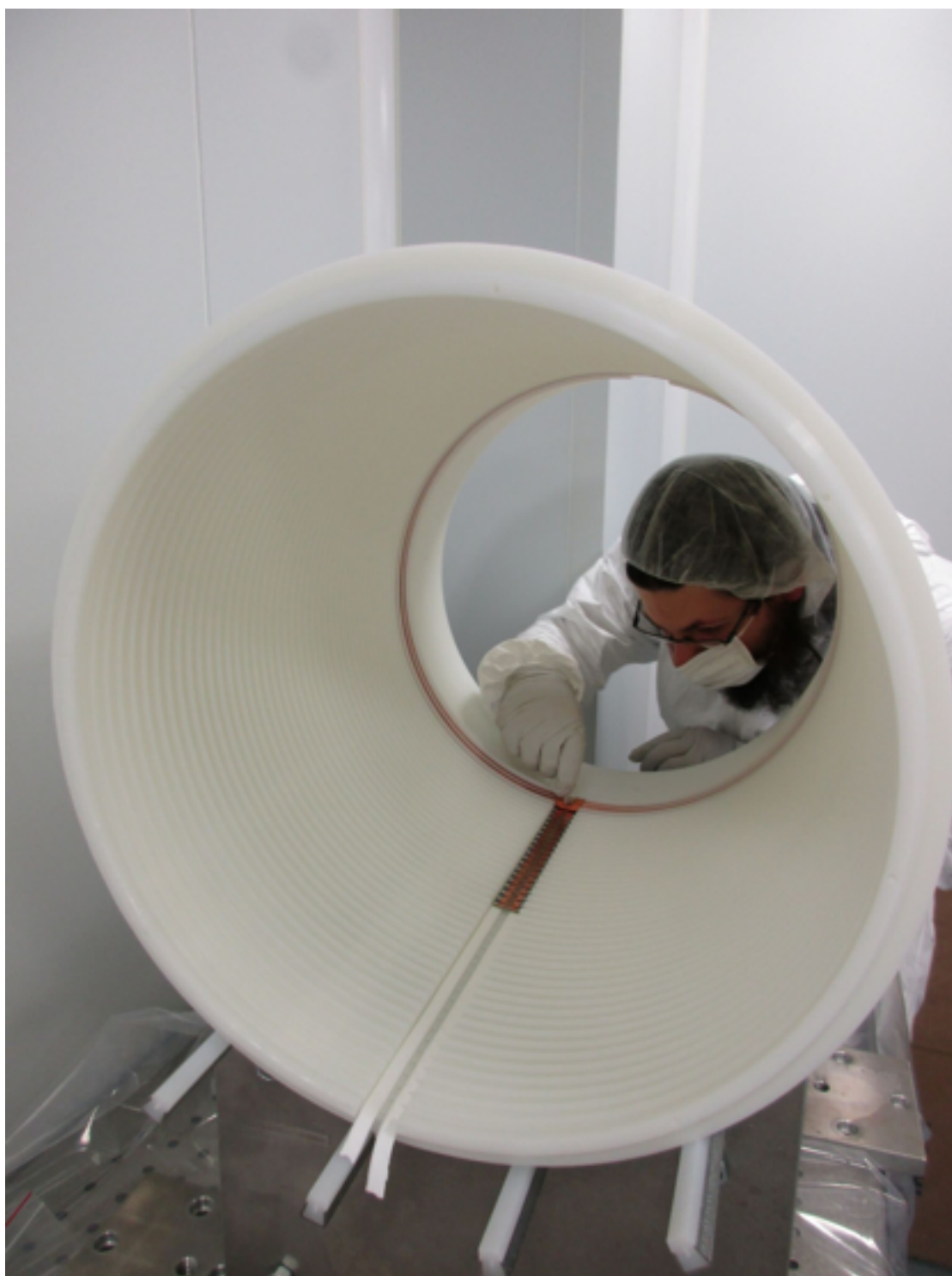
NEXT 100 will have 60

Excellent response (low noise very low dark current) in gas.

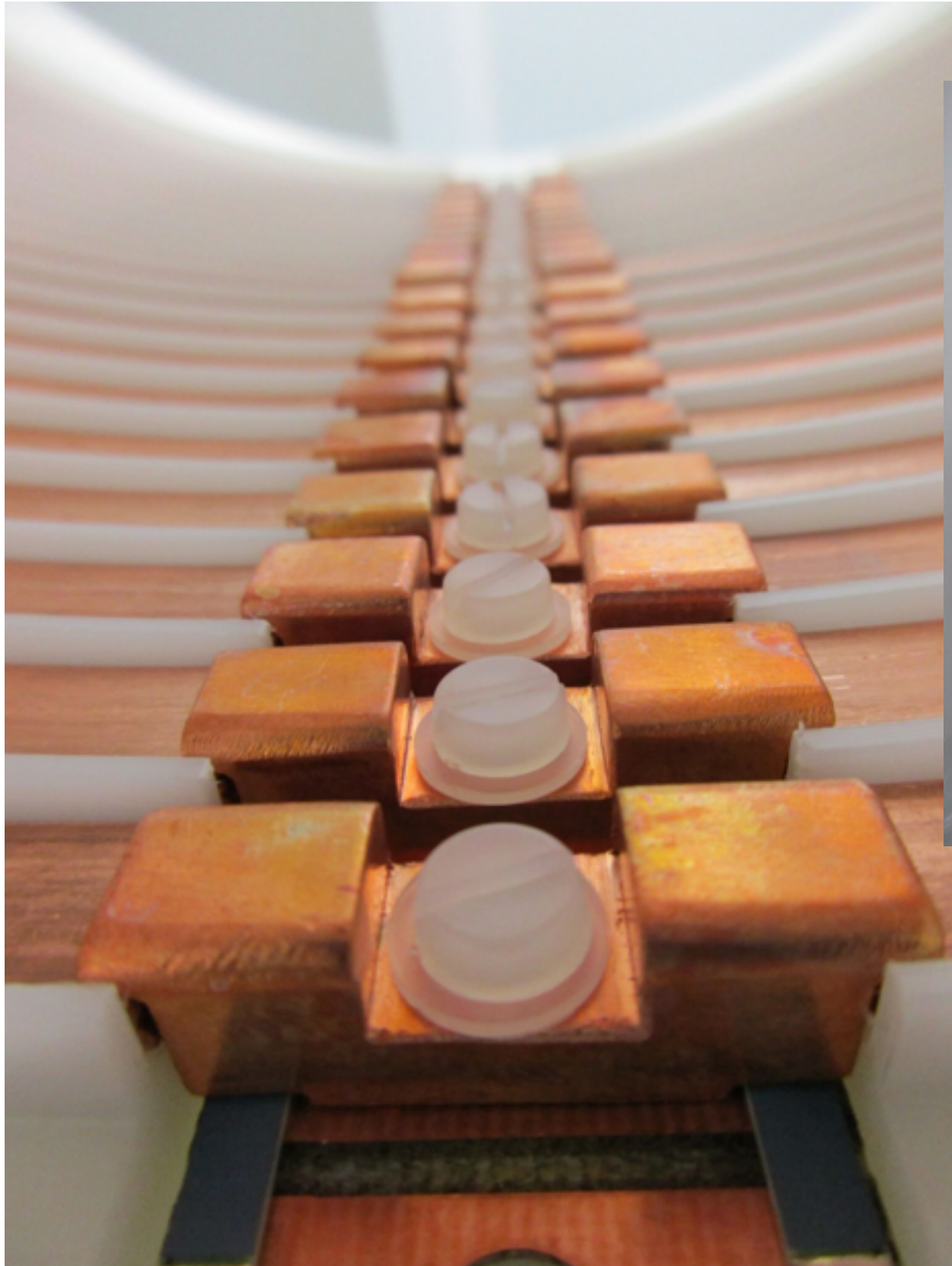
Radiopure (less than 1 mBq/PMT in Tl-208 and Bi-214)

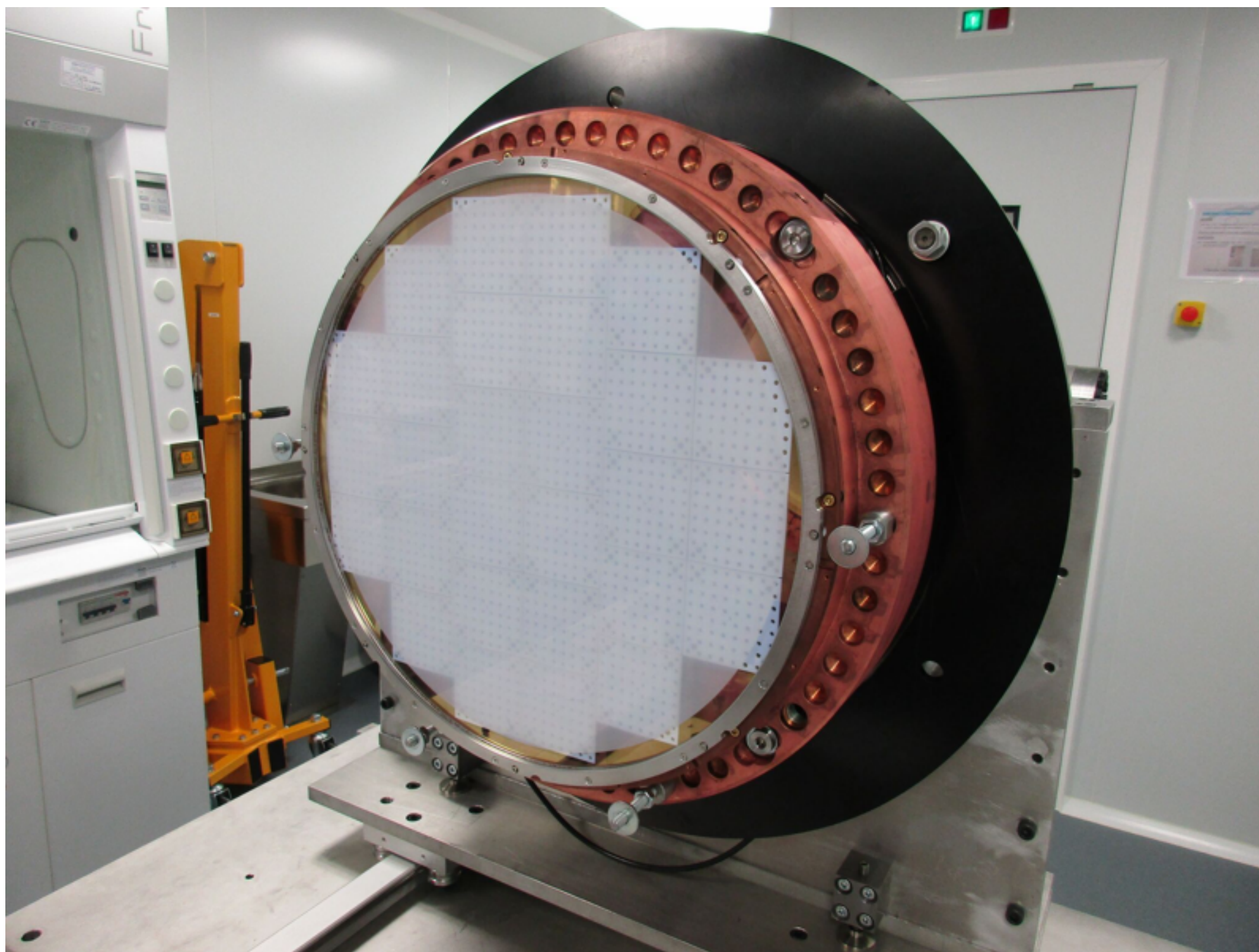
Energy Plane installation (July 2015)

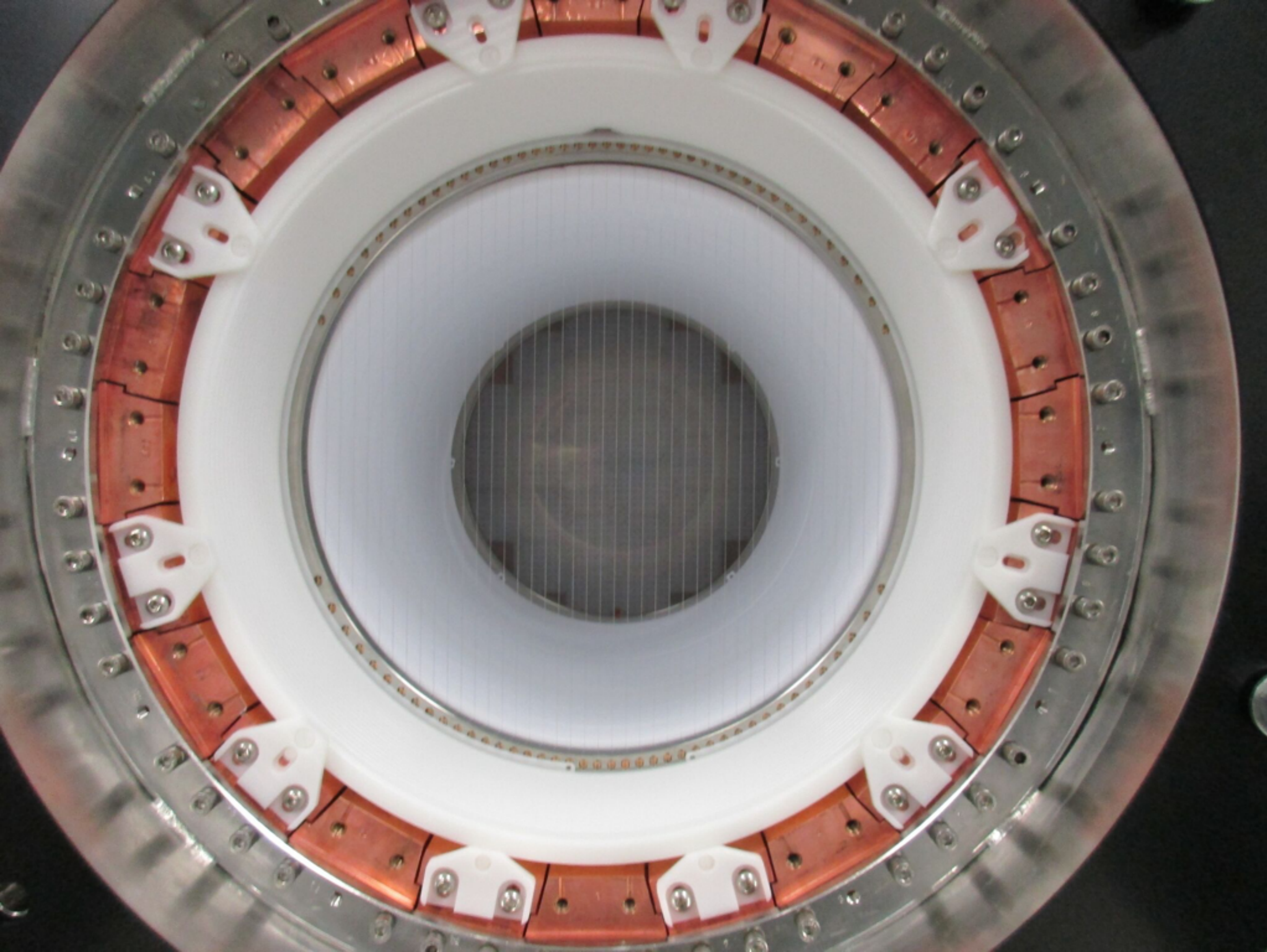








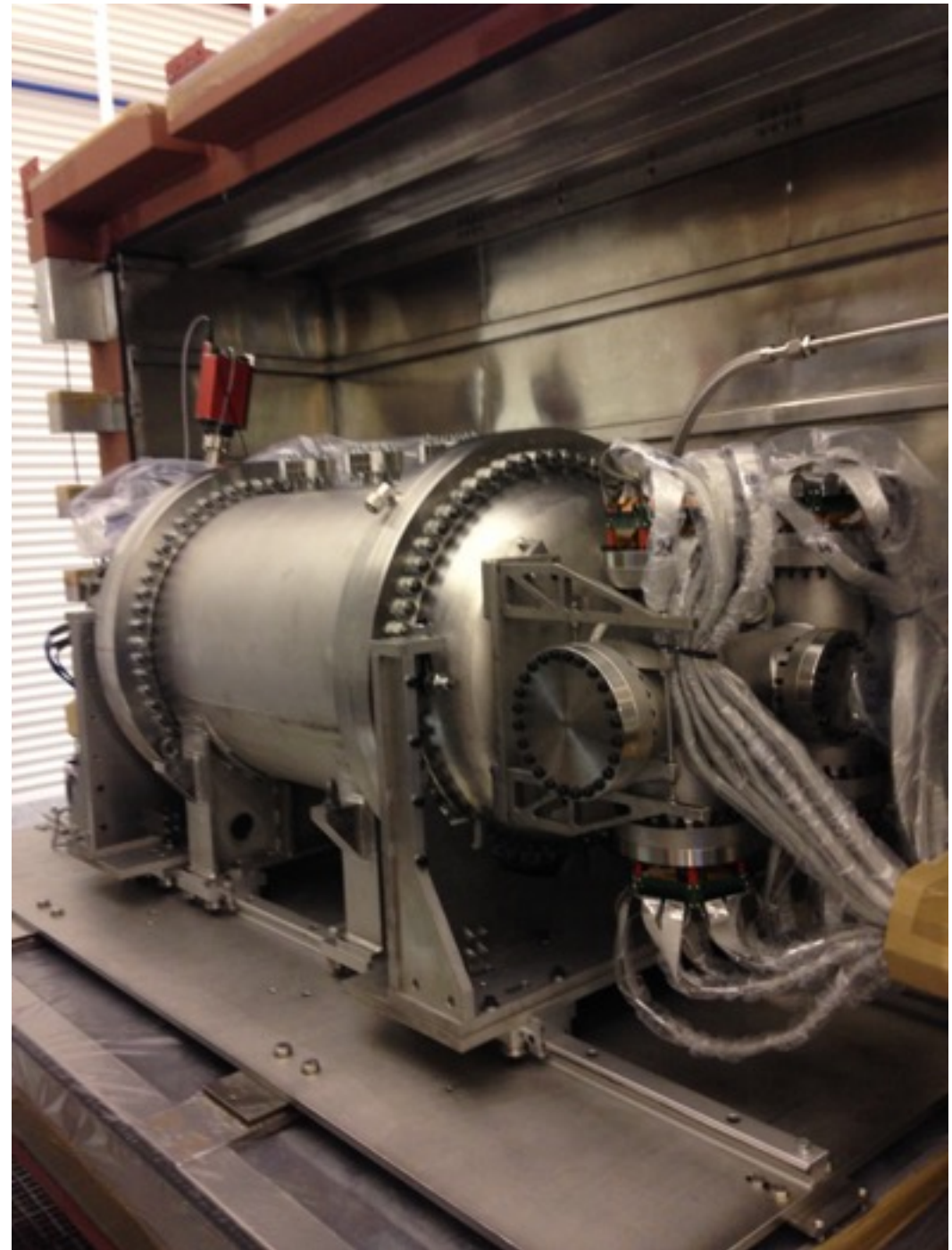








Tracking Plane installation



La vida en las catacumbas...



Master chef...



El detector NEXT-100



NEXT-100: Con cien kilos de Xe-136, esperamos poder identificar la firma del $\bar{\nu}_e$ y demostrar que el neutrino es su propia antipartícula

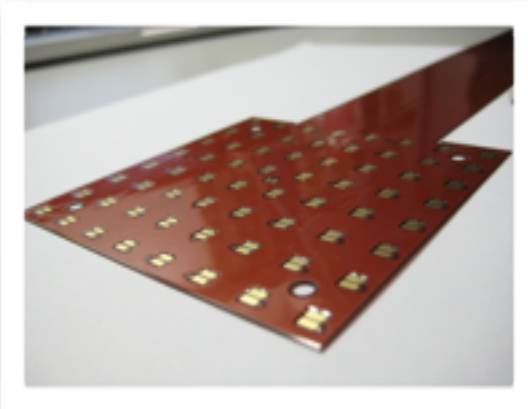
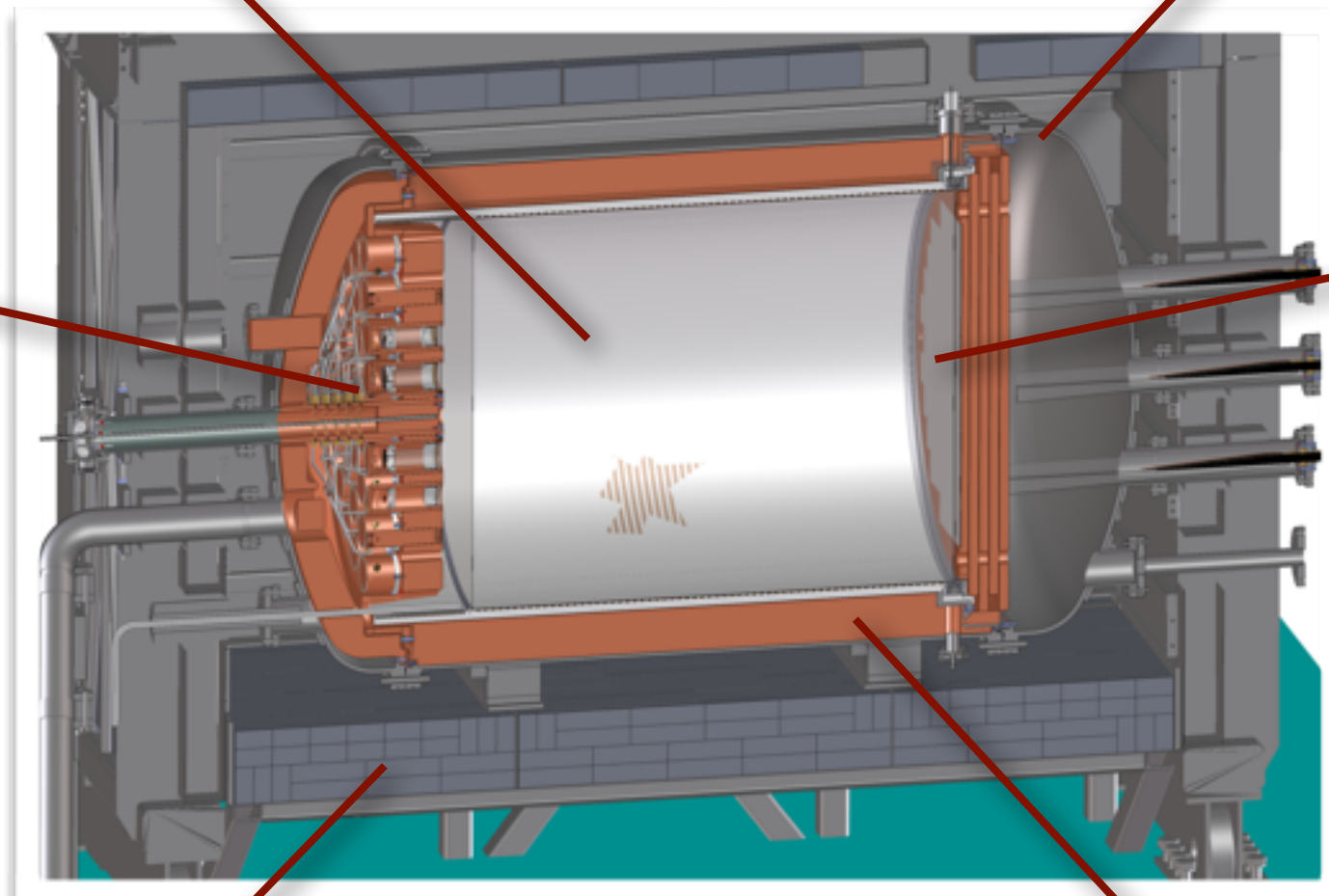
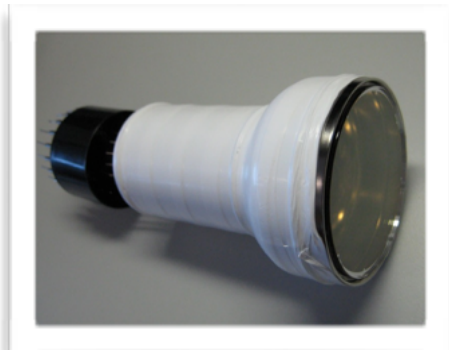
NEXT 100 kg detector at LSC: main features

Time Projection Chamber:
100 kg active region, 130 cm drift length

Pressure vessel:
stainless steel, 15 bar max pressure

Energy plane:
60 PMTs,
30% coverage

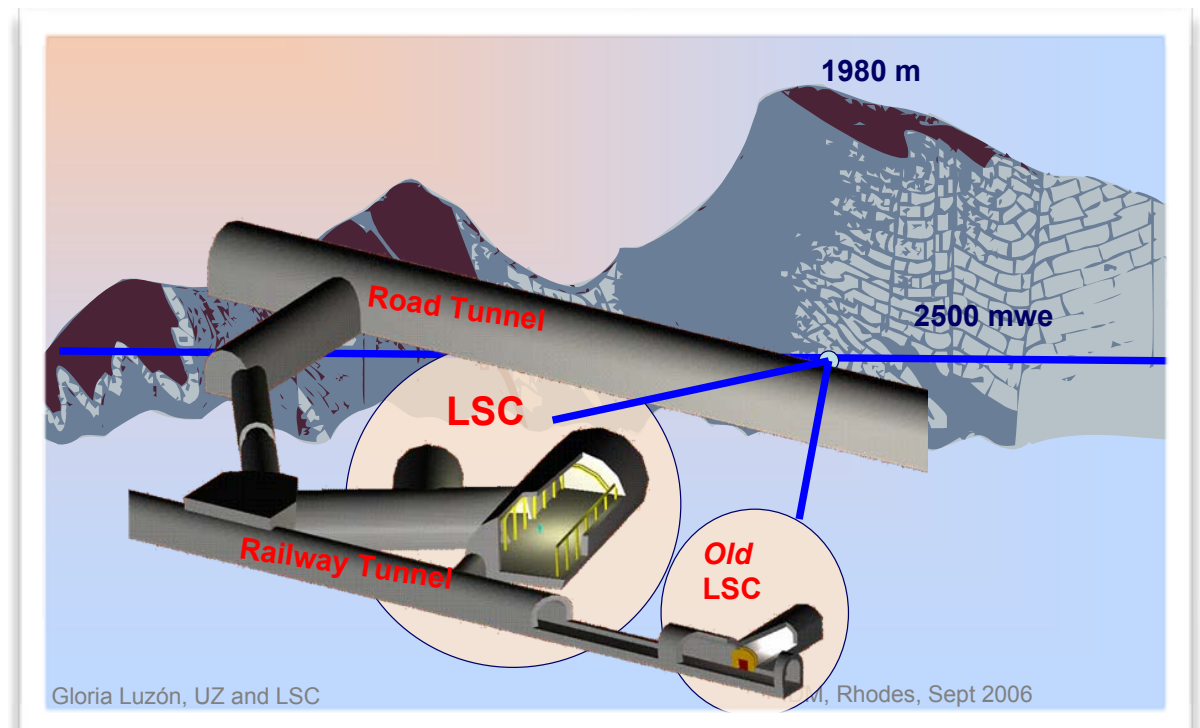
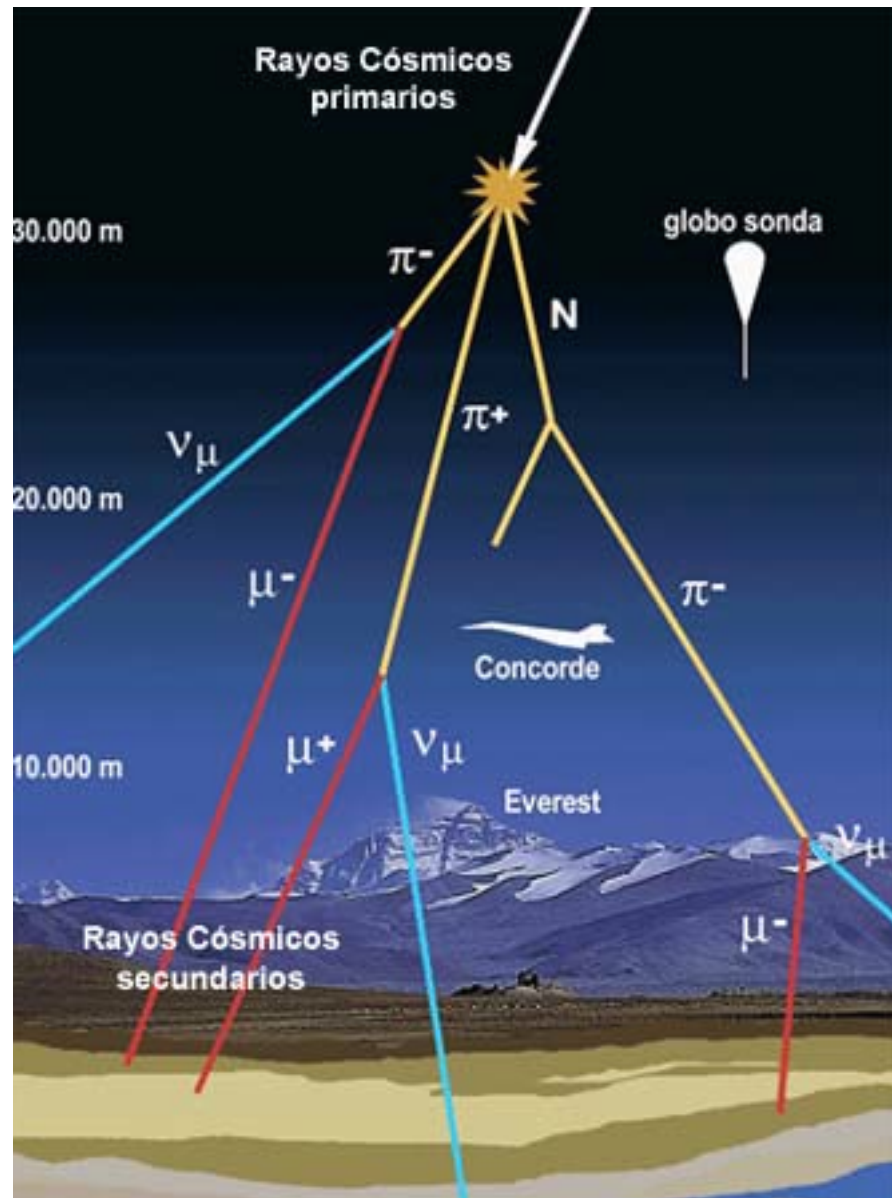
Tracking plane:
7,000 SiPMs,
1 cm pitch



Outer shield:
lead, 20 cm thick

Inner shield:
copper, 12 cm thick

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc



El Laboratorio Subterráneo de Canfranc







<https://www.youtube.com/watch?v=APpXdIZYcTY>

next - Neutrino Experiment with a Xenon TPC

next.ific.uv.es/next/

ajes y ensayos iRex Shop iRex Technologies Wind and Hy...bines Work World Data ...nstructions Resultados ...6may07.jpg Diego Meca IEA Energy ...s Homepage imxxz.cz. Cc. X. C. C

Play Chess... Live Chess... RecPack::Ho... Miguel Illes... jjgomezcad... Online Ches... Chess Tactics Revista de L... groups - Go...

next

HOME THE EXPERIMENT DOCUMENTS GALLERY MEDIA MISCELLANEA

incenro 2010 **Consolider**

GOBIERNO DE ESPAÑA **MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**

erc European Research Council
Established by the European Commission
Supporting top researchers from anywhere in the world

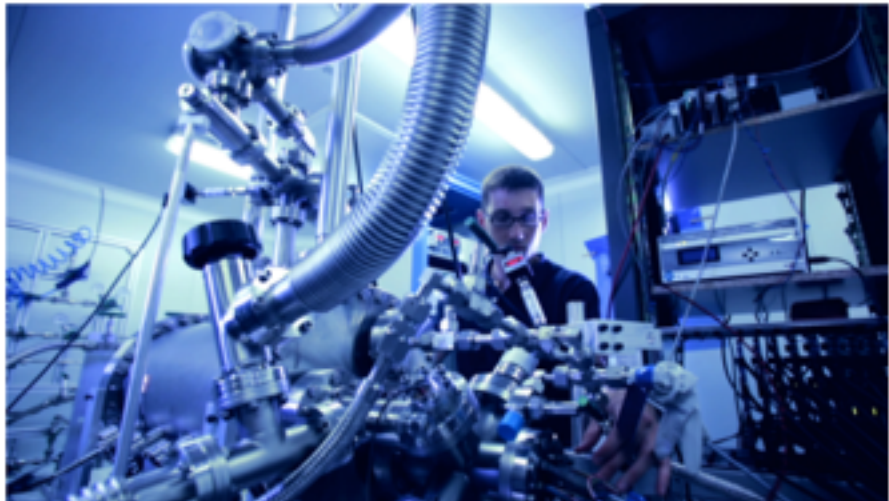
July 2013: J.J. Gómez Cadenas got the **ERC Advanced Grant for NEXT**

Starting from March 2013, NEXT is a Recognized Experiment at CERN!

THE NEXT MOVIE IS FINISHED

Last Updated on Friday, 13 June 2014 09:30

Neutrino, measuring the unexpected,



Paisaje sin neutrinos



Quizás en los próximos años NEXT sea capaz de encontrar la desintegración doble beta sin neutrinos. Ese grano de arena en la playa que nos ayude a explicarnos por qué estamos aquí.