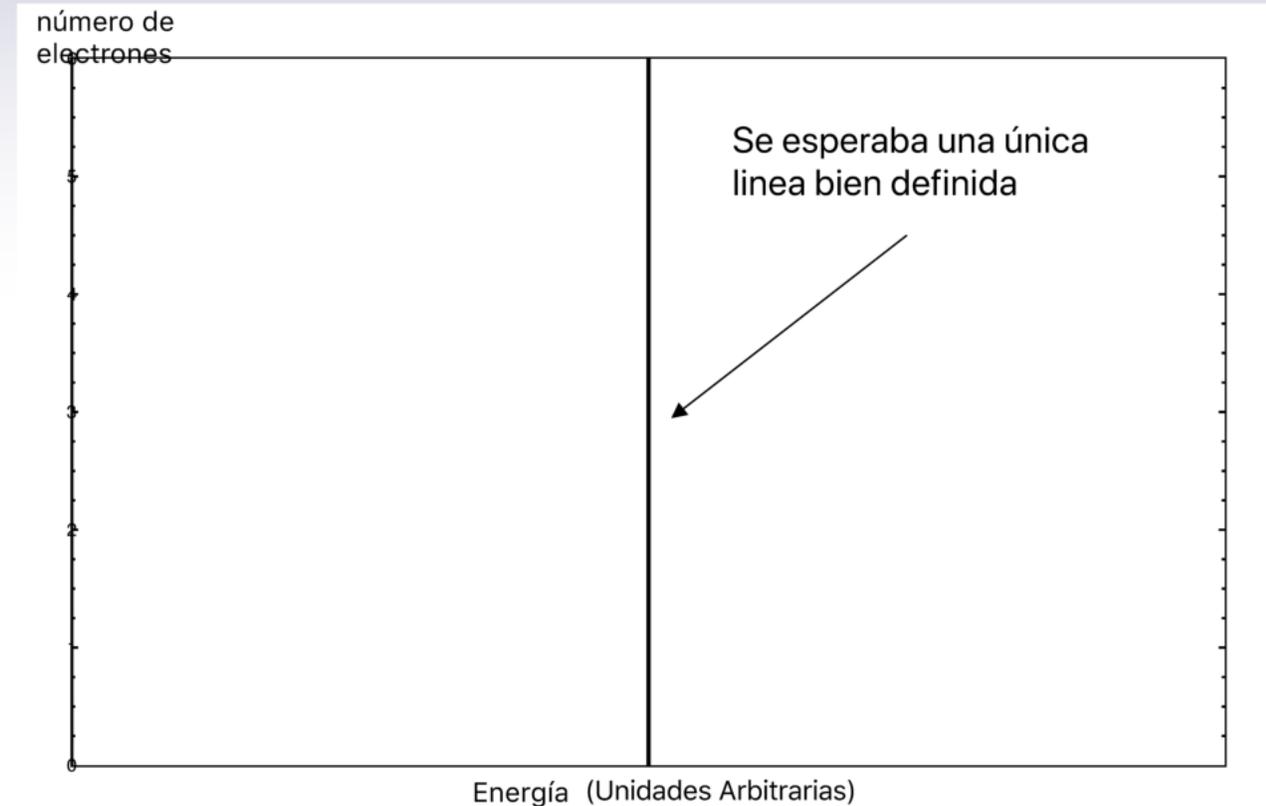
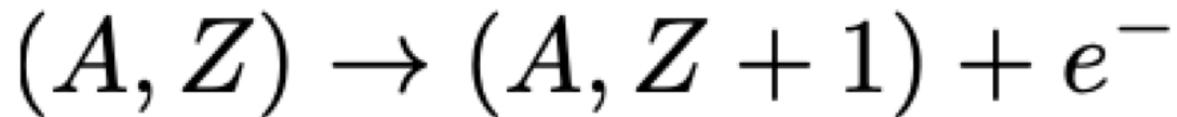




Radiación beta

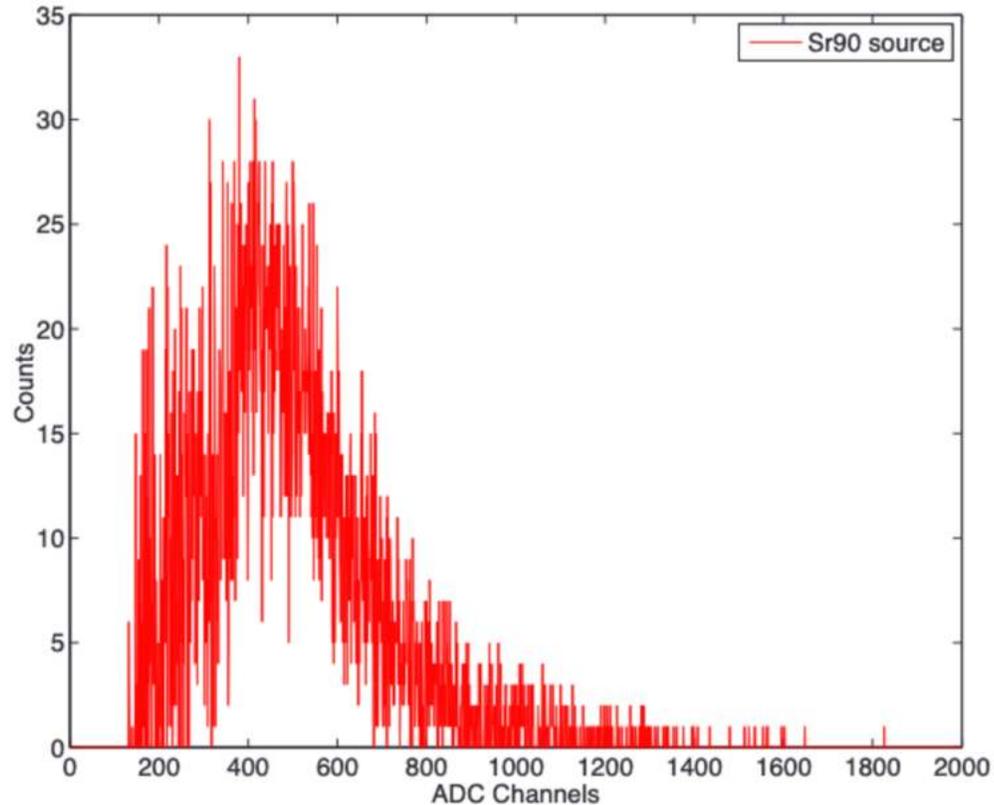
- En 1886 Becquerel descubre que algunas sustancias emiten radiación de forma espontánea
- Esta radiación es de diferente naturaleza.
- En esta historia la radiación beta es de interes, experimentalmente se observaba que:
 - Cambiaba la composición química de las sustancia que emitía
 - Y estaba compuesta por electrones
- Según la imagen del átomo de entonces la reacción nuclear que producía esta radiación se podía expresar como:



- Espectro esperado de energía de los electrones



Radiación beta



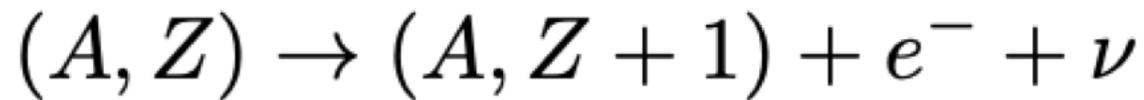
Espectro de radiación beta.
(CAEN SG6122)

- En 1930 Pauli propuso la existencia de una partícula neutra emitida junto con el electron.
- Pauli llamó a dicha partícula neutron
- Según Pauli debía tener una masa similar a la del electron y ser parte del núcleo.
- En 1932 Chadwick descubrió una partícula neutra eléctricamente pero la masa era más cercana a la del proton que a la del electron
- Chadwick llamó a dicha partícula neutron y recibió el premio Nobel en 1935



Hipótesis del neutrino

- Enrico Fermi (1934) usó la idea de Pauli para proponer un nuevo modelo de la radiación beta.
- El espectro continuo es debido a la participación de un segundo cuerpo emitido junto con el electrón.



- Fermi suponía que dicha partícula debe ser neutra y de una masa pequeña.
- Por esa razón la llamó neutrino, que significa neutrón pequeño.
- Además, puso al neutrón de Chadwick como constituyente del núcleo

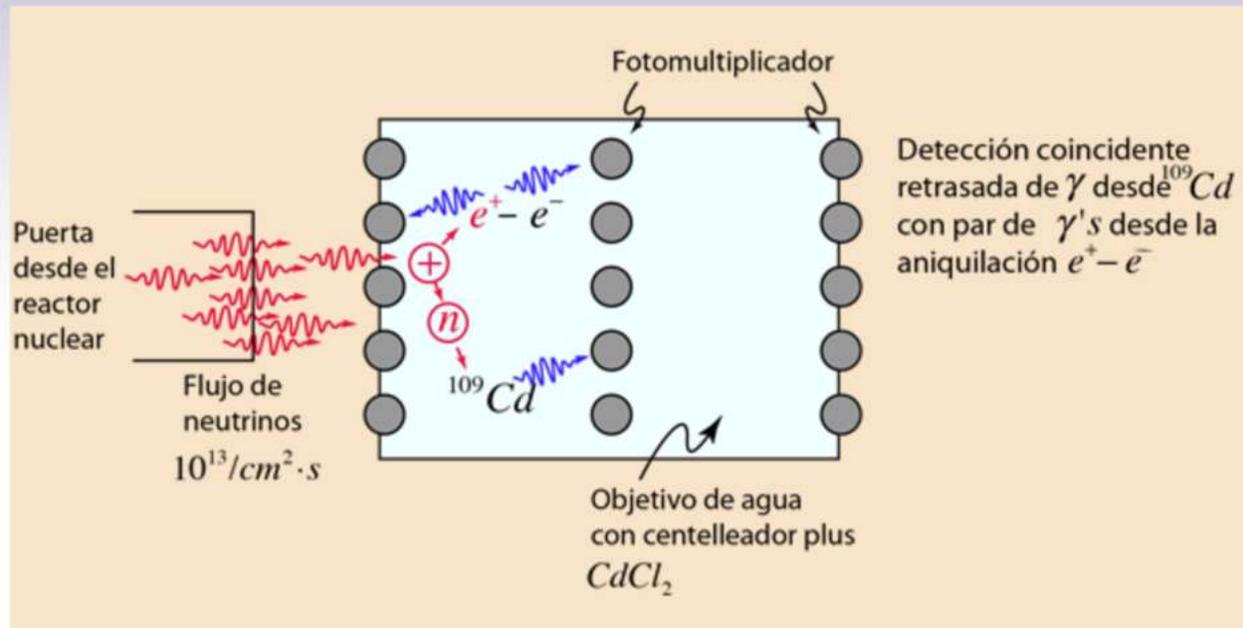
- Fermi supuso que el par electrón-neutrino se formaba en la transición cuántica del neutrón en protón.



- La idea de Fermi fue muy popular.
- Sin embargo, el neutrino tardó más de 20 años en ser detectado directamente.



Confirmación Experimental de la existencia del neutrino

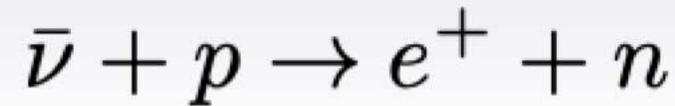


Esquema experimento Cowan and Reines

(Hyperphysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Particles/cowan.html>)



- En 1953 Frederick Reines y Clyde Cowan idearon un experimento para detectar neutrinos.



- Para el experimento usaron centelladores orgánicos acoplados fotomultiplicadores.
- Dos fotones eran esperados por la aniquilación del positron con el medio.
- Posteriormente se agregó CdCl_2 para absorber el neutrón y esperar otro fotón demorado con respecto a los dos iniciales
- En 1956 finalmente confirmaron la observación de los neutrinos.

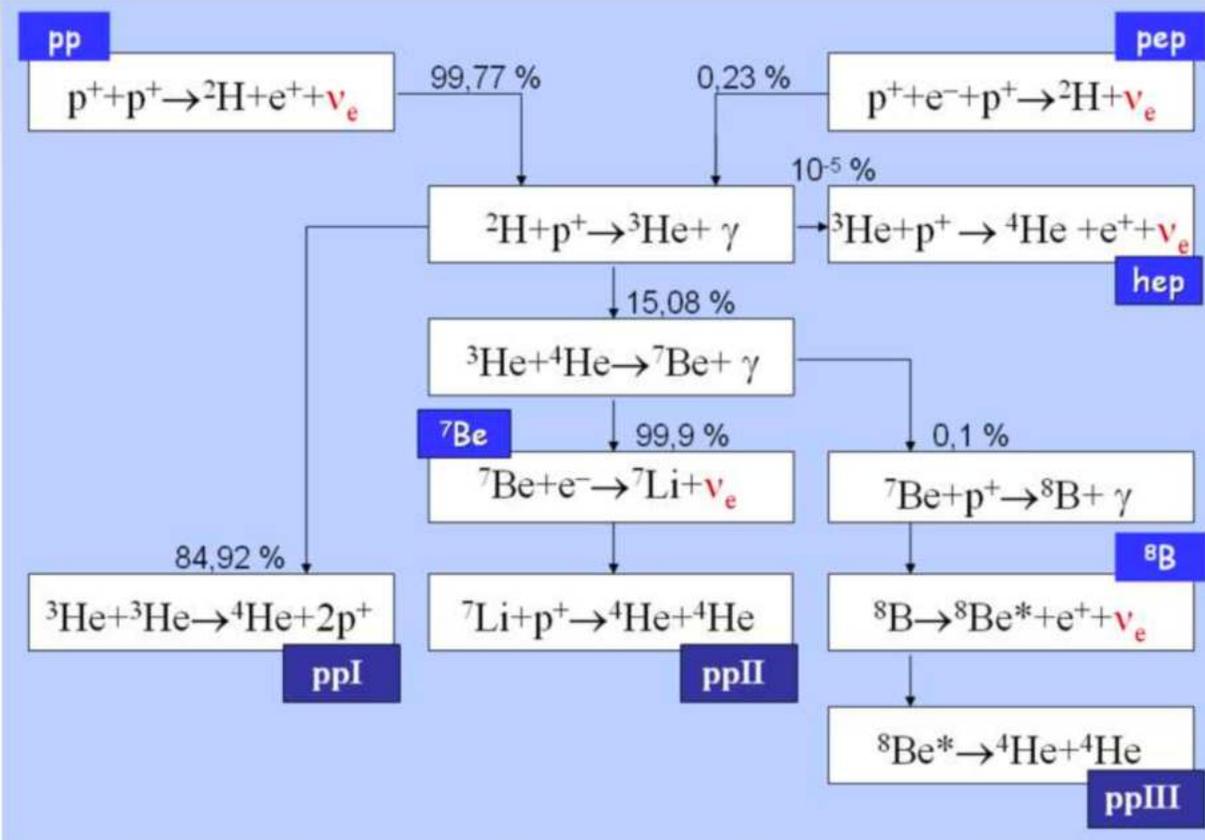


Nota 1: Bases de la detección de neutrinos

- El experimento de Reines y Cowan sentaron los elementos básicos de los detectores de neutrinos
 - Grandes volúmenes llenos de sustancias apropiadas para la interacción de neutrinos.
 - El uso de materiales centelladores acoplados a detectores de fotones.
 - Necesidad de incrementar el flujo de neutrinos.
- Así mismo, para los neutrones se usa la misma técnica de absorción por materiales que presentan una gran sección eficaz de interacción con el neutrón.
- Por ejemplo, barras moderadoras de neutrones en centrales nucleares

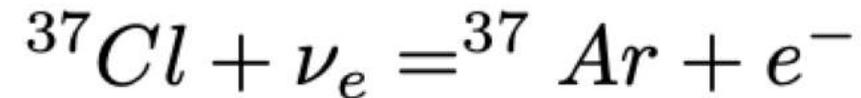


Neutrinos Solares



Modelo de generación de energía en el Sol

- En 1965 Ray Davis y John Bahcall idearon una reacción para detectar neutrinos solares.
- En la mina de oro Homestake 615 toneladas de líquido limpiador (perclorato de de etileno)



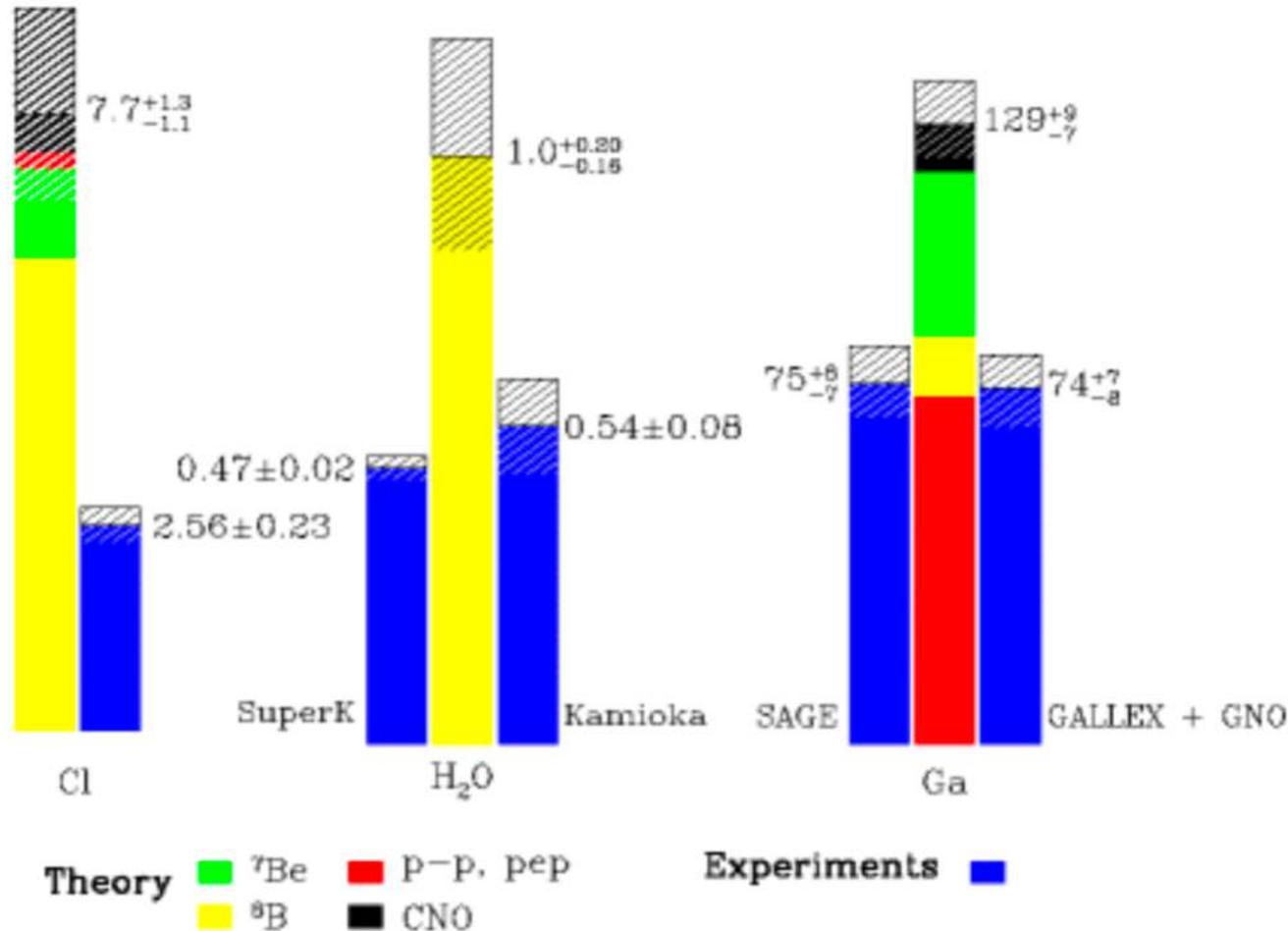
- Los tanques con el liquido se filtraban cada 60 días y se esperaba la detección del decaimiento del Argon emitiendo un fotón de rayos Xs





Problema de los neutrinos solares

Total Rates: Standard Model vs. Experiment
Bahcall-Pinsonneault 2000



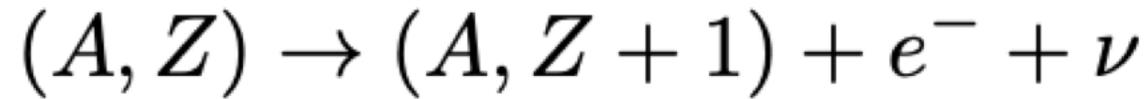
- Em 1968 se publican los resultados de Homestake: 2.56 ± 0.23 SNU
- La predicción teórica era: 8.1 ± 0.25 SNU
- Por lo tanto, un deficit de aprox. 1/3
- Otros experimentos solares confirman el deficit
- Esto se conoce como el problema de los neutrinos solares.

1 SNU = 10^{-36} interacciones por átomo blanco por segundo

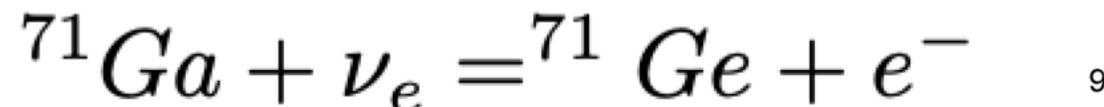


Nota 2: Detección Radioquímica

- Su principio es el proceso beta inverso.



- El núcleo hijo es inestable y decae con una razonable vida media
- En estos experimentos usualmente se detectan los decaimientos radiactivos del núcleo hijo.
- Los núcleos hijos se dejan acumular y periódicamente se filtra el tanque.
- Los productos del decaimiento del radionúcleo son detectados
- Se puede estimar el número de electron neutrinos en un tiempo determinado mas no energía, dirección del neutrino, tiempo de interacción.
- Otros experimentos usando esta técnica son SAGE, Galen y GNO





Anomalía de los neutrinos atmosféricos

- El deficit de neutrinos atmosféricos fue observado por Kamiokande e IMB.
- Era necesario observar neutrinos electrónicos y neutrinos muónicos.
- Para esto se usaron tanques de agua con detectores Cerenkov
- La razón del número de eventos del tipo muon al número de eventos de electron era diferente al esperado.
- A esto se le llamó anomalía de los neutrinos atmosféricos.

$$R = \frac{\left(\frac{N_{\mu}}{N_e}\right)_{data}}{\left(\frac{N_{\mu}}{N_e}\right)_{sim}}$$

Experiment	Type of experiment	R
Super-Kamiokande	Water Cerenkov	0.675 ± 0.085
Soudan2	Iron Tracking Calorimeter	0.69 ± 0.13
IMB	Water Cerenkov	0.54 ± 0.12
Kamiokande	Water Cerenkov	0.60 ± 0.07
Frejus	Iron Tracking Calorimeter	1.0 ± 0.15

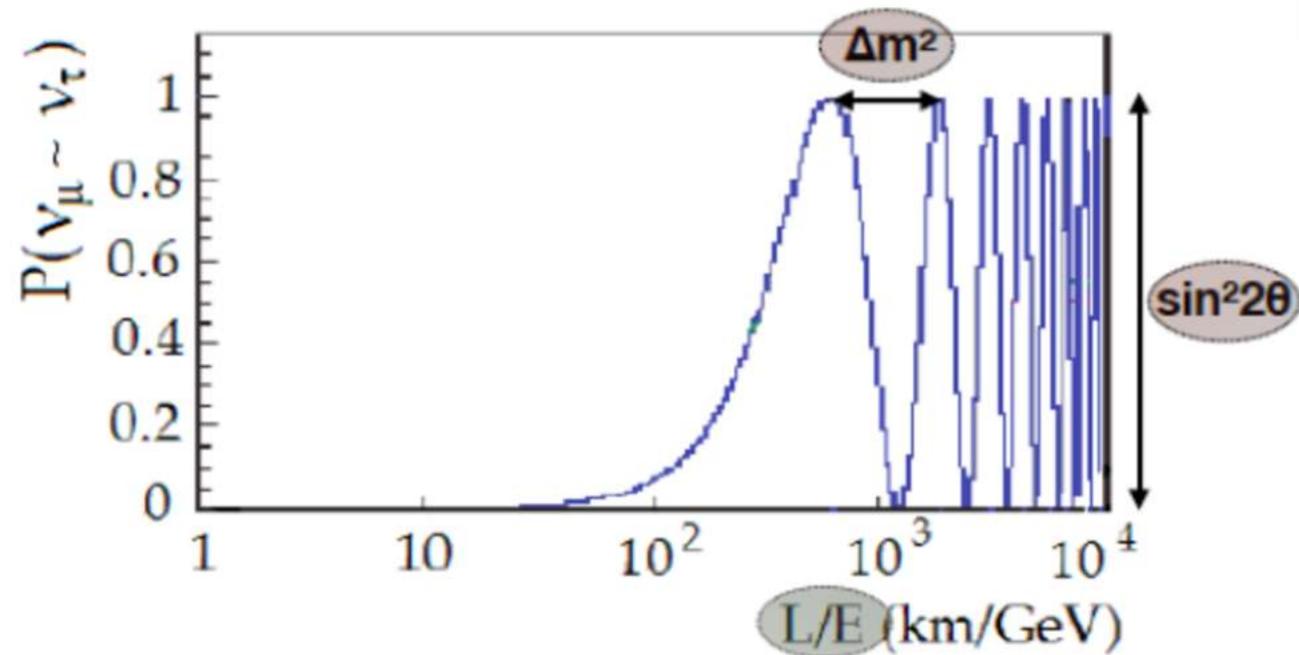
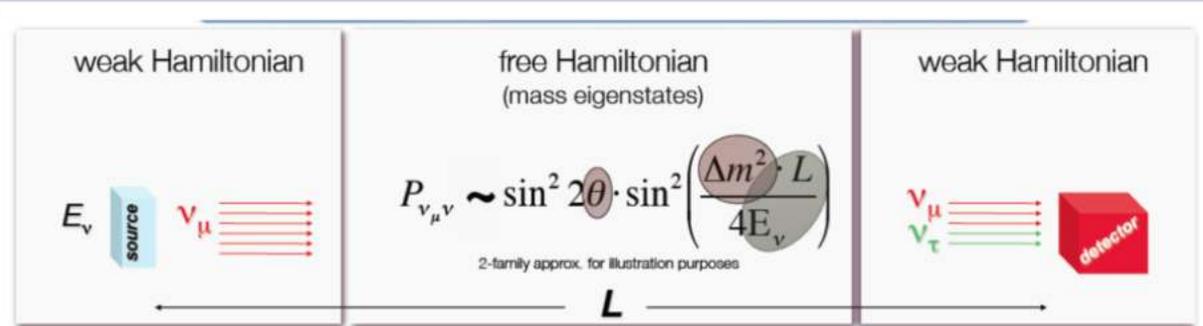


Nota 3: Detectores de Cerenkov

- Cuando una partícula cargada viaja mas rápido que la luz en ese medio emite radiación llamada Cerenkov
- En este tipo de experimentos se usan detectores de luz que detectaran un cono de luz alineado con la dirección de la partícula incidente.
- Identificación de partículas es más difícil, ejemplo muon de pion.
- Electron-muon separación es posible.
- Ejemplos de este tipo de detectores:
 - Kamiokande
 - Super-Kamiokande
 - SNO
- Estos consisten de enormes tanques de agua hiperpura rodeada de fotomultiplicadores.(SNO usa agua pesada en lugar de agua ligera)



Oscilación de neutrinos

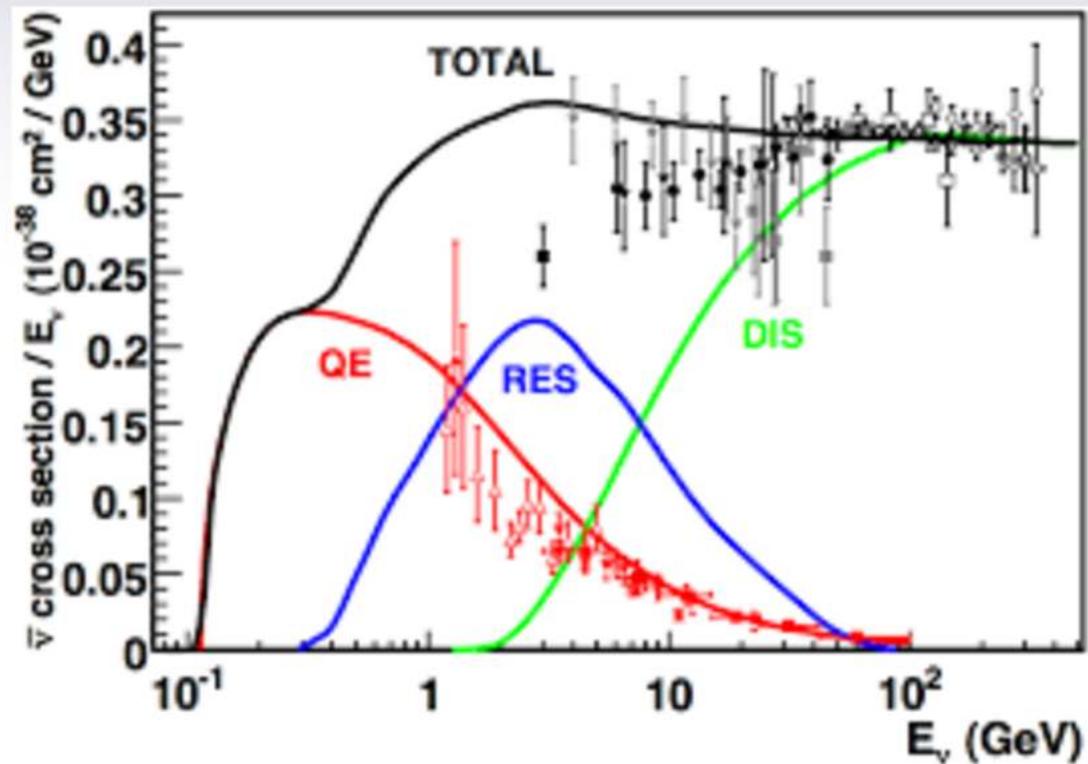
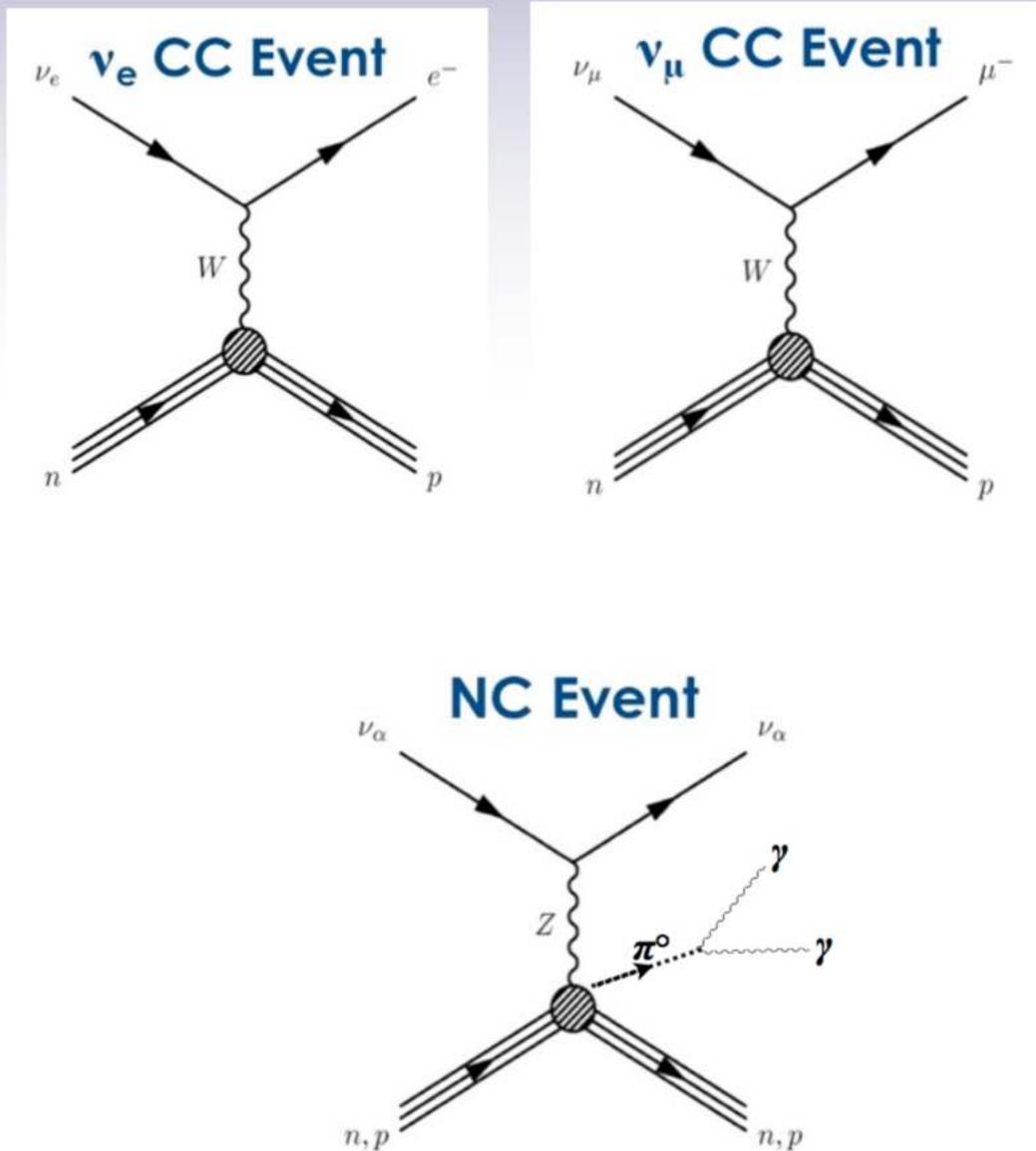


- Los autoestados de sabor son combinaciones lineales de autoestados de masa
- Hay una probabilidad de detectar un sabor de neutrino diferente que el producido en la fuente

$$P(\alpha \rightarrow \beta) = \sin^2 2\theta_{ij} \sin \left(\frac{1.27 \Delta m_{ij}^2 (\text{eV}) L (\text{Km})}{E_\nu (\text{GeV})} \right)$$

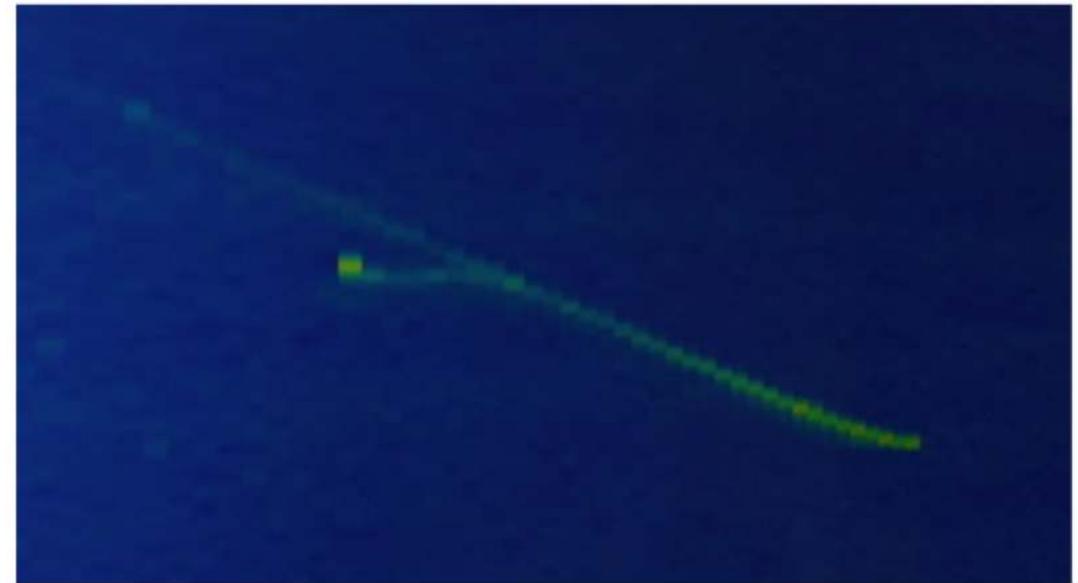
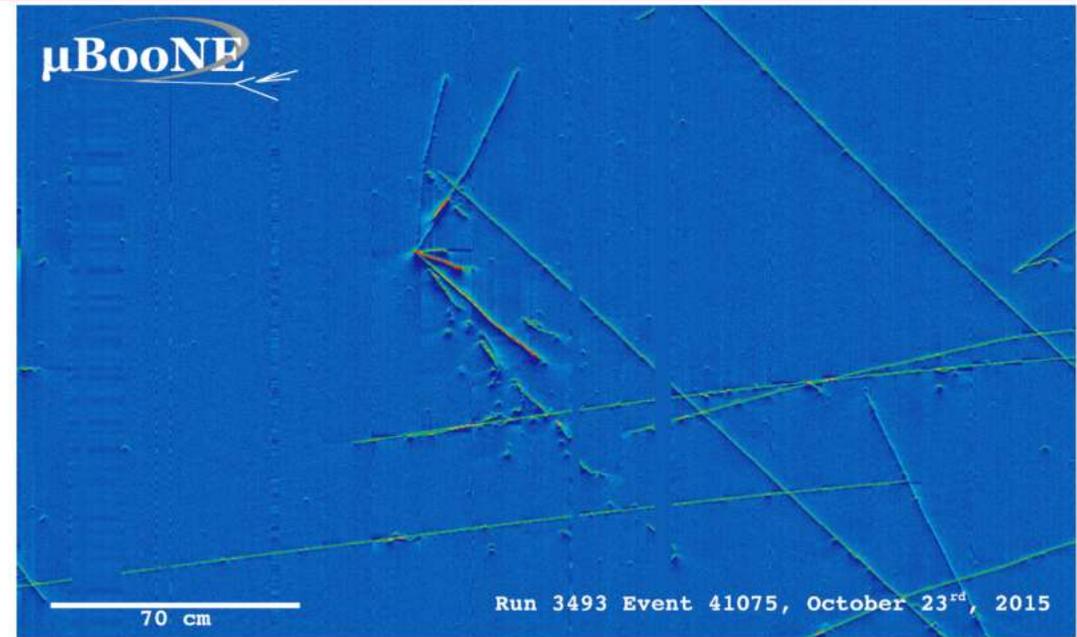
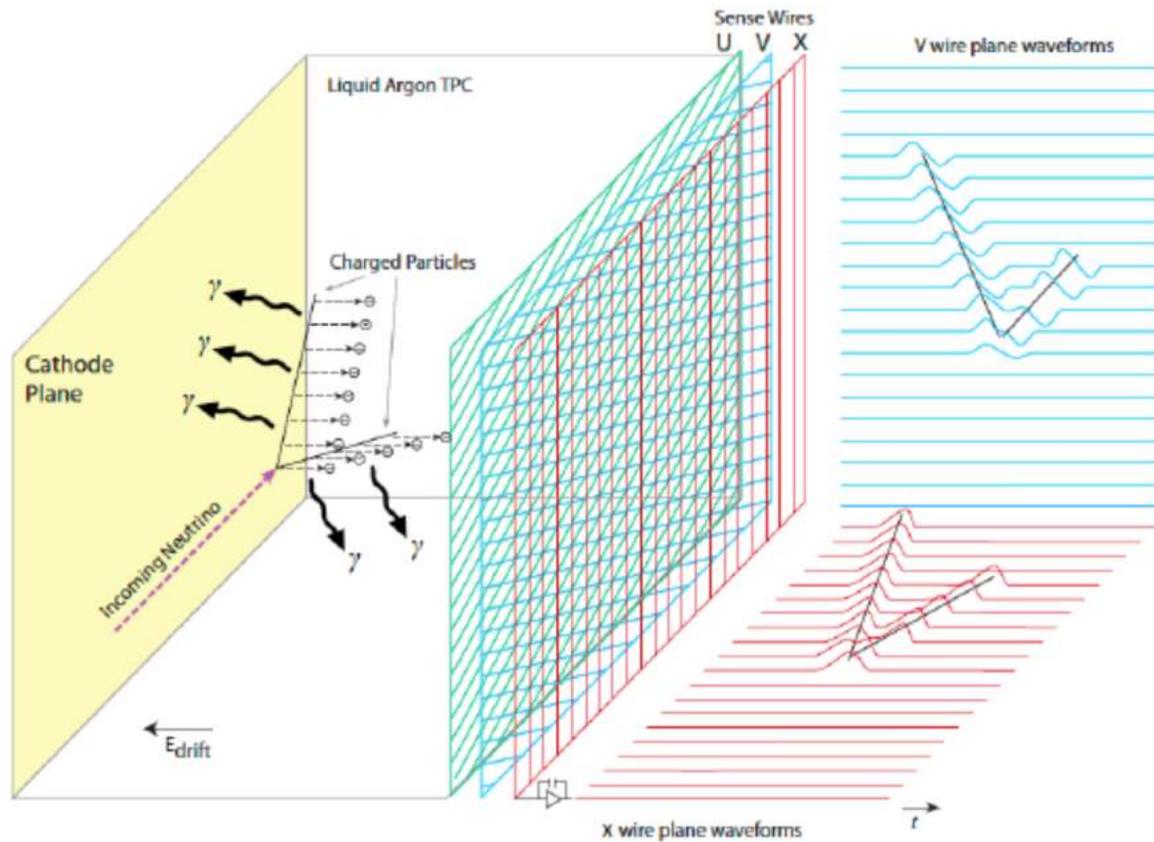


Tipos de interacción de neutrinos





Nota 4: Cámaras de proyección de tiempo (TPC)



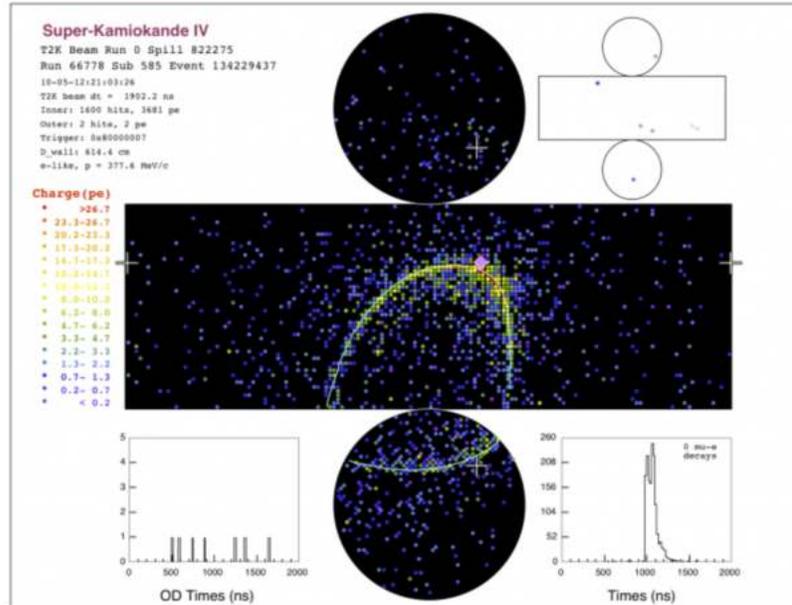


Experimentos de neutrinos: Super-Kamiokande



Super-Kamiokande

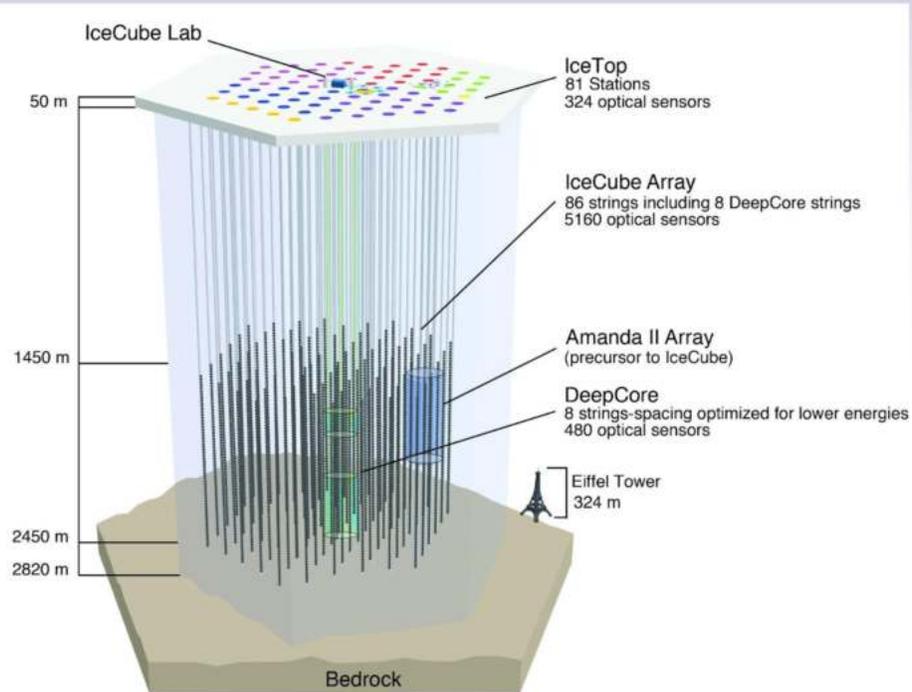
Super-Kamiokande



- Ubicado en la mina Karaoke en Japón, este experimento consiste de un tanque cilíndrico lleno con 50000 toneladas de agua ultrapura.
- Originalmente concebido para detectar el decaimiento de protones, este experimento es adicionalmente iluminado por un haz de neutrinos procedentes del acelerador JPARC.
- Está formado por dos cilindros concéntricos.
- El exterior tiene una altura de 42 metros y un diámetro de 40 metros.
- La superficie interior de este cilindro está tapizada de 11147 tubos fotomultiplicadores, cada uno de los cuales está en la capacidad de detectar un solo fotón individual emitido en el proceso Cherenkov.



Experimentos de neutrinos: ICECUBE



- Usando el mismo principio de detección Cherenkov, ICECUBE usa agua como medio de interacción con el agua pero esta vez en su estado sólido.
- Este experimento se encuentra alojado en el Polo Sur, donde más de 10000 sensores de Cherenkov han sido ubicados bajo la capa polar en un volumen de un metro cúbico de hielo.



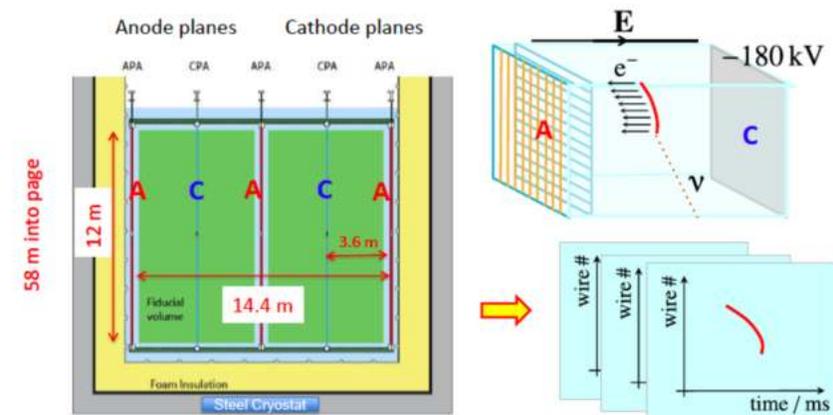
Experimentos de neutrinos: DUNE

Why Argon?

- Inert – since need to avoid anything electronegative
 - In pure argon, ionization electrons can drift long distances (metres)
- Good dielectric properties, supports high-voltages/fields: 500 V/cm
- An excellent **scintillator** (128 nm) and transparent at this wavelength
- Argon is cheap and readily available (1% of atmosphere)

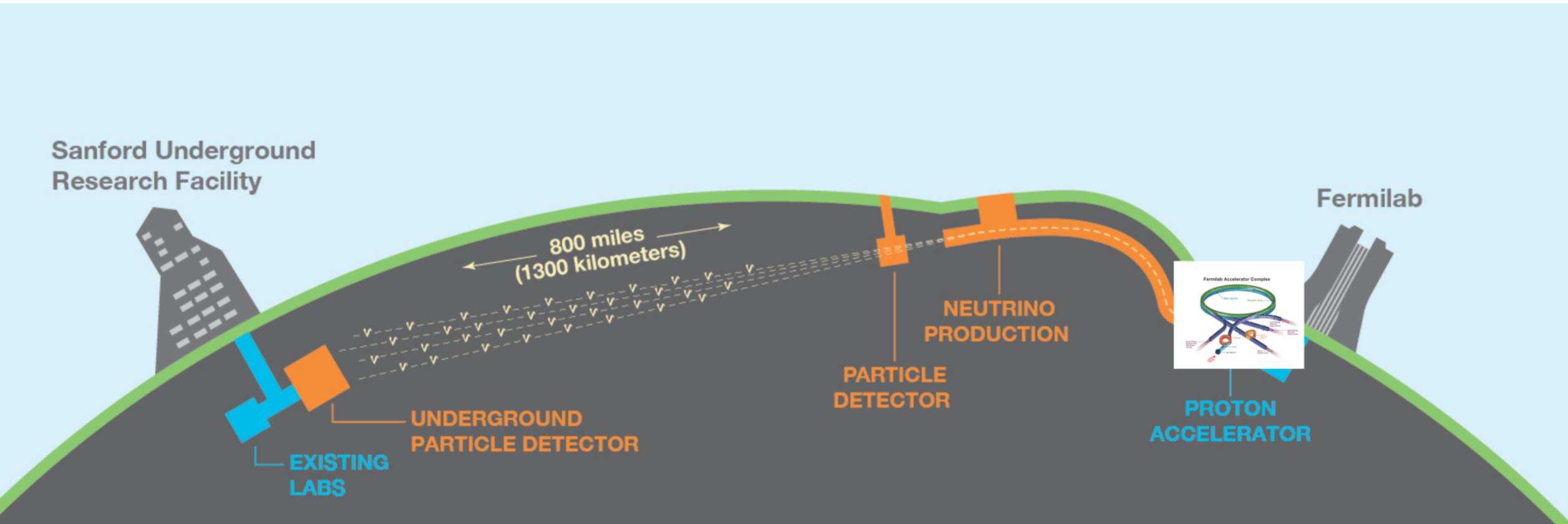
	Water	He	Ne	Ar	Kr	Xe
Boiling Point [K] @ 1atm	373	4.2	27.1	87.3	120.0	165.0
Density [g/cm ³]	1	0.125	1.2	1.4	2.4	3.0
Radiation Length [cm]	36.1	755.2	24.0	14.0	4.9	2.8
Scintillation [γ / MeV]	-	19,000	30,000	40,000	25,000	42,000
dE/dx [MeV/cm]	1.9		1.4	2.1	3.0	3.8
Scintillation λ [nm]		80	78	128	150	175

- DUNE es un experimento del tipo TPC
- El material usado para la interacción es Argon líquido.
- Los productos de la ionización son recogidos por alambres
- Fotones producidos por la ionización del argon son recogidos por fotomultiplicadores de silicio (SiPM)





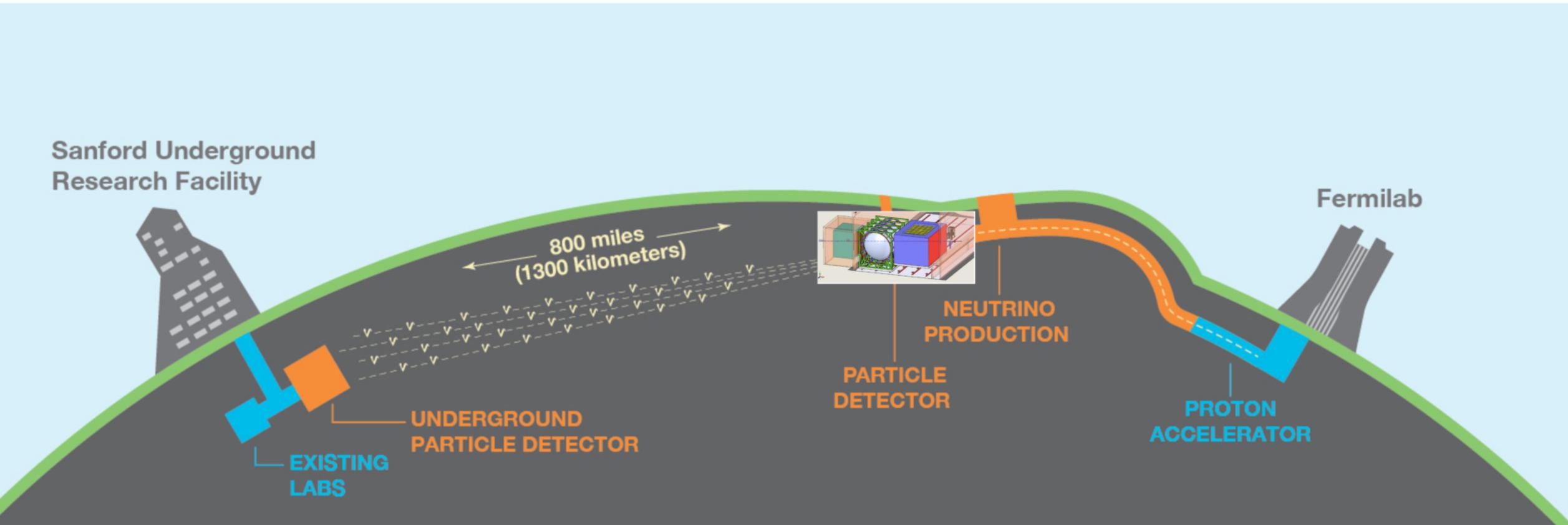
DUNE: Deep Underground Neutrino Experiment



- 60-120GeV protones serán producidos en Fermilab
- Será el haz de neutrinos mas potente del mundo



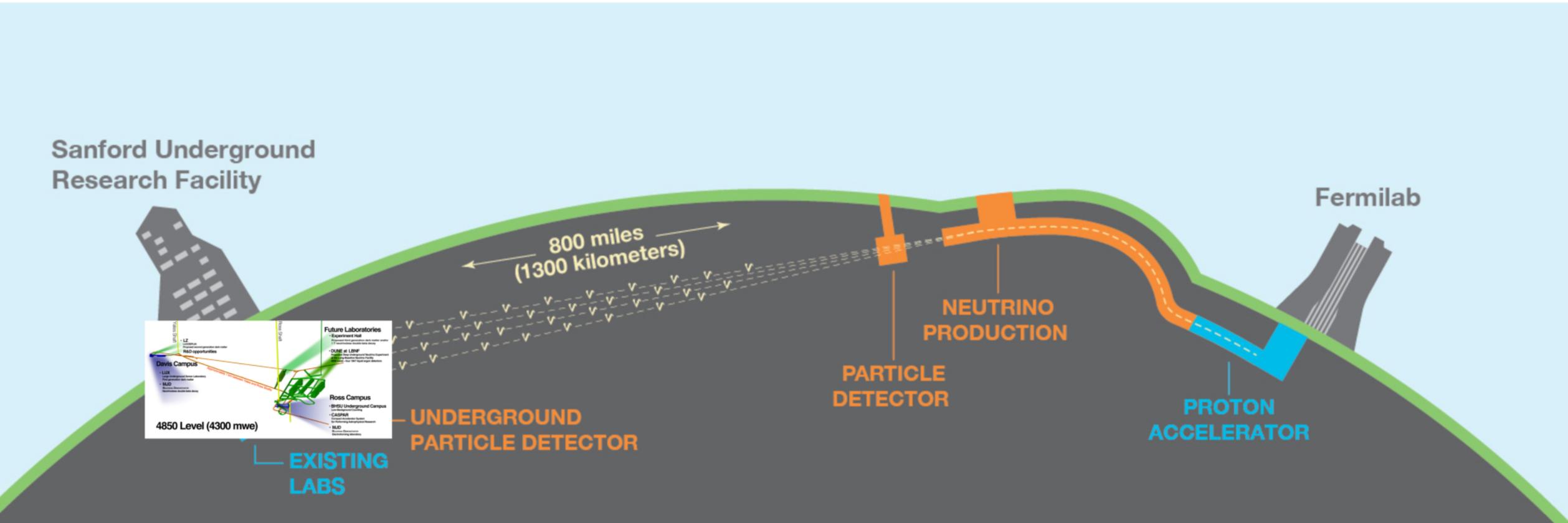
DUNE: Deep Underground Neutrino Experiment



- Un detector cercano completamente instrumentalizado mediara el flujo inicial



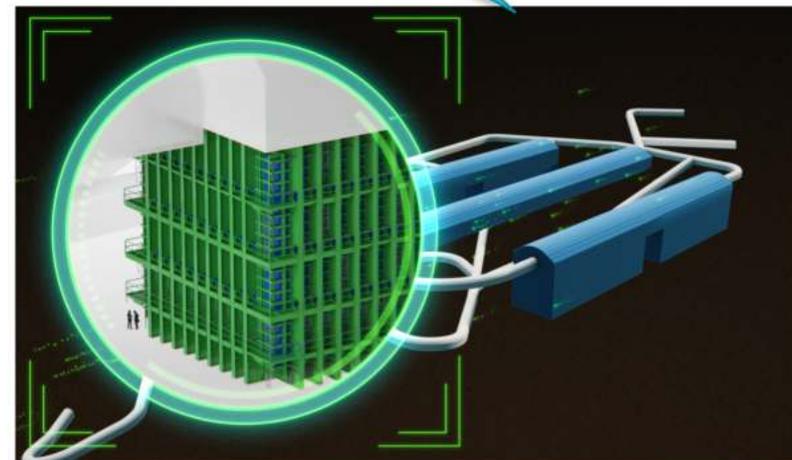
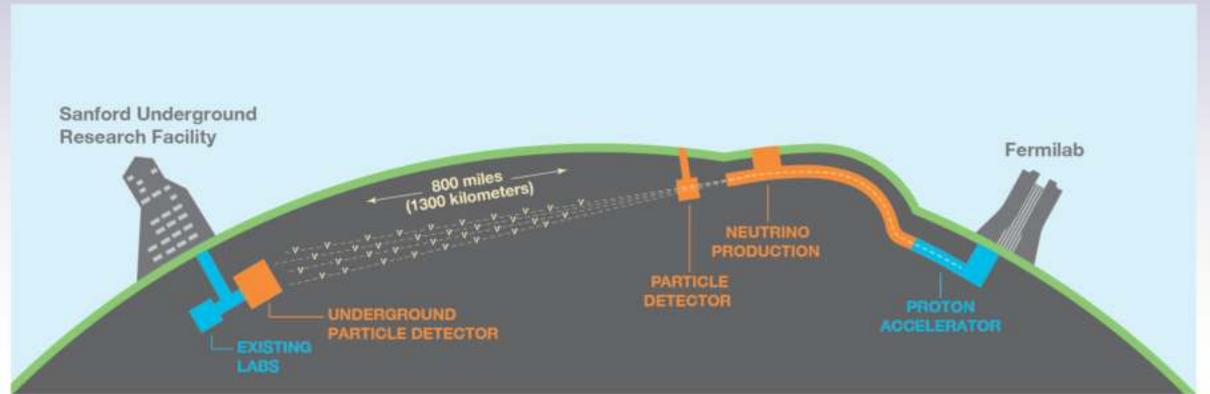
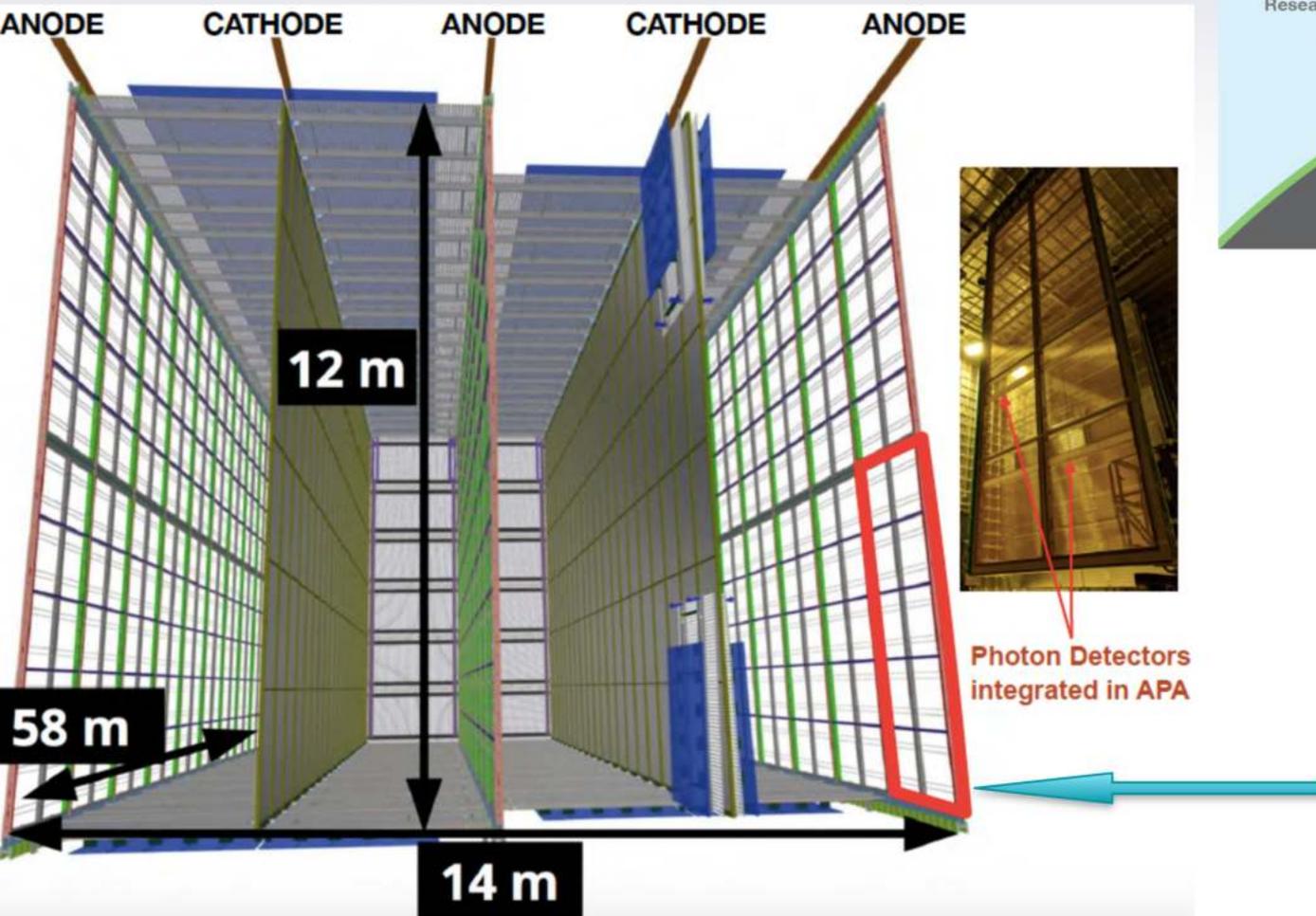
DUNE: Deep Underground Neutrino Experiment



- Detector lejano: 70000 toneladas de Argon liquido distribuidos en 4 volúmenes de detección.



DUNE: Deep Underground Neutrino Experiment





<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.