Fermilab

Managed by Fermi Research Alliance, LLC for the U.S. Department of Energy Office of Science

La Fábrica de Neutrinos Más Poderosa del Mundo

Minerba Betancourt, Fermilab

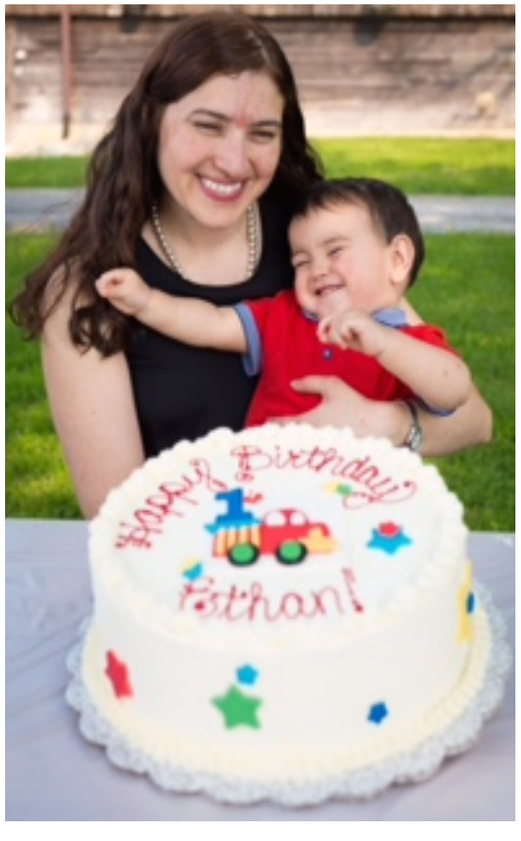
12 Marzo de 2017

Un poquito acerca de mi

- Nací y crecí en Venezuela, obtuve la licenciatura y posterior maestría en la Universidad de los Andes (Merida-Venezuela)
- Vine a USA en donde realice un doctorado en física y recibí el título de doctora en la Universidad de Minnesota en el 2013
- Actualmente soy post-doc en Fermilab desde Julio del 2013 y trabajo en el área de neutrinos en el experimento MINERvA

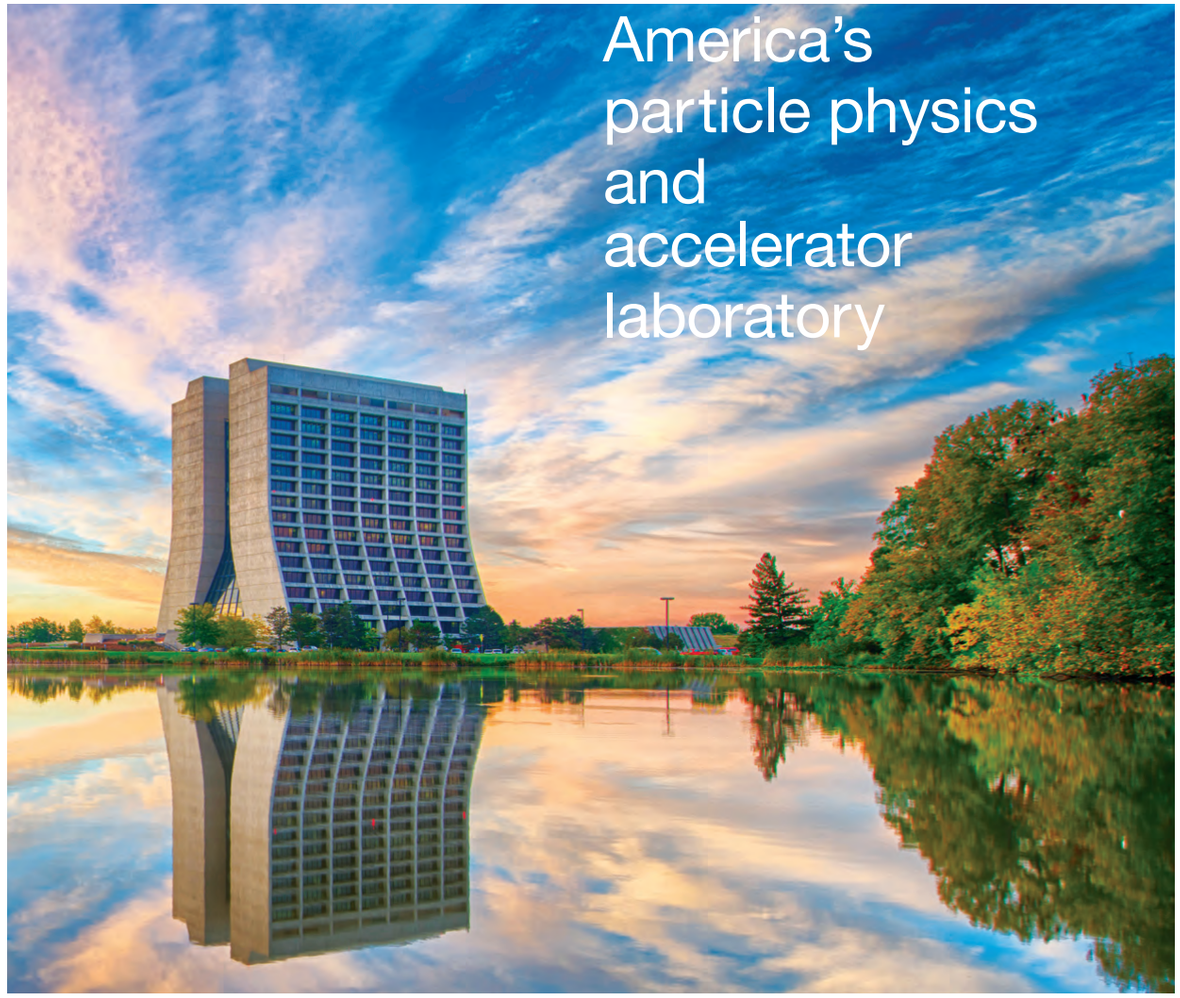
June 2013

July 2015



Fermilab

- Fermilab tiene la fábrica de neutrinos más poderosa del mundo!
- Líderes en aceleradores y tecnología de detectores
- Centro internacional para la investigación de la física de partículas!



¿Qué son los neutrinos?

¿De donde se originan los neutrinos?

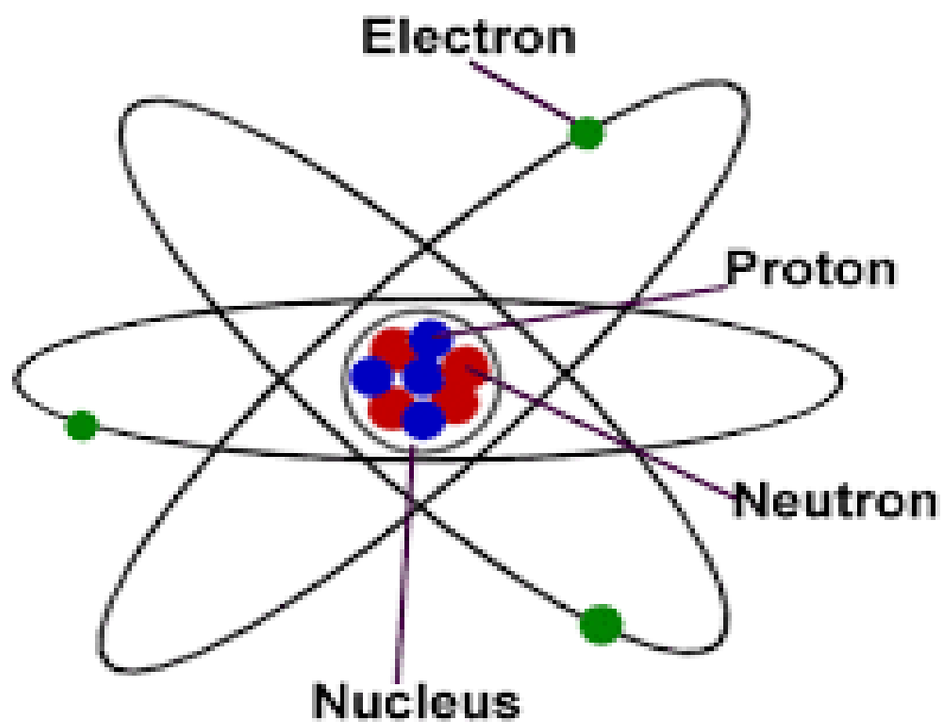
¿Porqué son importantes?

¿Qué conocimiento nos proporciona el estudio de neutrinos?

¿Qué nos rodea?

- Todo lo que vemos a nuestro alrededor esta hecho de:

Protones Neutrones y electrones



¿De qué esta hecho el Universo?

Principalmente de protones, neutrones y electrones

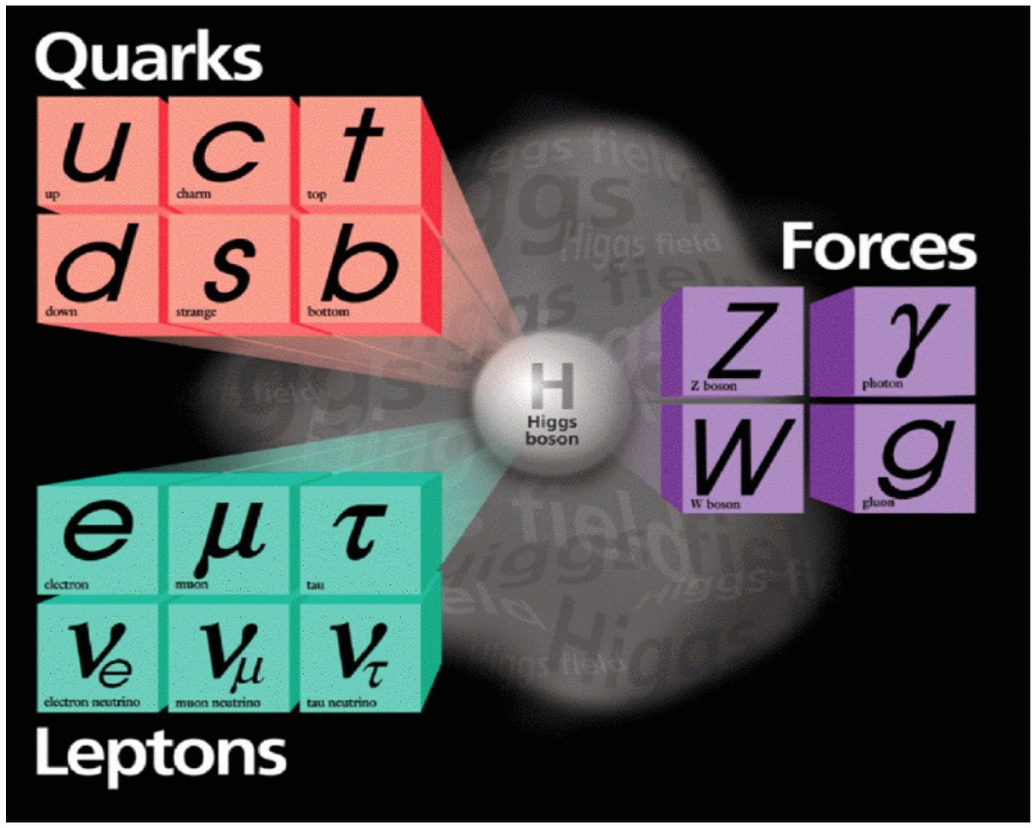
hydrogen 1 **H** 1.0079																	helium 2 **He** 4.0026
lithium 3 **Li** 6.941	beryllium 4 **Be** 9.0122											boron 5 **B** 10.811	carbon 6 **C** 12.011	nitrogen 7 **N** 14.007	oxygen 8 **O** 15.999	fluorine 9 **F** 18.998	neon 10 **Ne** 20.180
sodium 11 **Na** 22.990	magnesium 12 **Mg** 24.305											aluminium 13 **Al** 26.982	silicon 14 **Si** 28.086	phosphorus 15 **P** 30.974	sulfur 16 **S** 32.065	chlorine 17 **Cl** 35.453	argon 18 **Ar** 39.948
potassium 19 **K** 39.098	calcium 20 **Ca** 40.078		scandium 21 **Sc** 44.956	titanium 22 **Ti** 47.867	vanadium 23 **V** 50.942	chromium 24 **Cr** 51.996	manganese 25 **Mn** 54.938	iron 26 **Fe** 55.845	cobalt 27 **Co** 58.933	nickel 28 **Ni** 58.693	copper 29 **Cu** 63.546	zinc 30 **Zn** 65.38	gallium 31 **Ga** 69.723	germanium 32 **Ge** 72.61	arsenic 33 **As** 74.922	selenium 34 **Se** 78.96	bromine 35 **Br** 79.904	krypton 36 **Kr** 83.80
rubidium 37 **Rb** 85.468	strontium 38 **Sr** 87.62		yttrium 39 **Y** 88.906	zirconium 40 **Zr** 91.224	niobium 41 **Nb** 92.906	molybdenum 42 **Mo** 95.96	technetium 43 **Tc** [98]	ruthenium 44 **Ru** 101.07	rhodium 45 **Rh** 102.91	palladium 46 **Pd** 106.42	silver 47 **Ag** 107.87	cadmium 48 **Cd** 112.41	indium 49 **In** 114.82	tin 50 **Sn** 118.71	antimony 51 **Sb** 121.76	tellurium 52 **Te** 127.60	iodine 53 **I** 126.90	xenon 54 **Xe** 131.29
caesium 55 **Cs** 132.91	barium 56 **Ba** 137.33	57-70 *	lutetium 71 **Lu** 174.97	hafnium 72 **Hf** 178.49	tantalum 73 **Ta** 180.95	tungsten 74 **W** 183.84	rhenium 75 **Re** 186.21	osmium 76 **Os** 190.23	iridium 77 **Ir** 192.22	platinum 78 **Pt** 195.08	gold 79 **Au** 196.97	mercury 80 **Hg** 200.59	thallium 81 **Tl** 204.38	lead 82 **Pb** 207.2	bismuth 83 **Bi** 208.98	polonium 84 **Po** [209]	astatine 85 **At** [210]	radon 86 **Rn** [222]
francium 87 **Fr** [223]	radium 88 **Ra** [226]	89-102 **	lawrencium 103 **Lr** [262]	rutherfordium 104 **Rf** [267]	dubnium 105 **Db** [268]	seaborgium 106 **Sg** [271]	bohrium 107 **Bh** [272]	hassium 108 **Hs** [270]	meitnerium 109 **Mt** [276]	darmstadtium 110 **Ds** [281]	roentgenium 111 **Rg** [280]	ununbium 112 **Uub** [285]	ununtrium 113 **Uut** [284]	ununquadium 114 **Uuq** [289]	ununpentium 115 **Uup** [288]	ununhexium 116 **Uuh** [293]	ununseptium 117 **Uus** —	ununoctium 118 **Uuo** [294]

*lanthanoids	lanthanum 57 **La** 138.91	cerium 58 **Ce** 140.12	praseodymium 59 **Pr** 140.91	neodymium 60 **Nd** 144.24	promethium 61 **Pm** [145]	samarium 62 **Sm** 150.36	europium 63 **Eu** 151.96	gadolinium 64 **Gd** 157.25	terbium 65 **Tb** 158.93	dysprosium 66 **Dy** 162.50	holmium 67 **Ho** 164.93	erbium 68 **Er** 167.26	thulium 69 **Tm** 168.93	ytterbium 70 **Yb** 173.06
**actinoids	actinium 89 **Ac** [227]	thorium 90 **Th** 232.04	protactinium 91 **Pa** 231.04	uranium 92 **U** 238.03	neptunium 93 **Np** [237]	plutonium 94 **Pu** [244]	americium 95 **Am** [243]	curium 96 **Cm** [247]	berkelium 97 **Bk** [247]	californium 98 **Cf** [251]	einsteinium 99 **Es** [252]	fermium 100 **Fm** [257]	mendelevium 101 **Md** [258]	nobelium 102 **No** [259]

¿Que otras partículas?

Modelo Estándar de la física de partículas

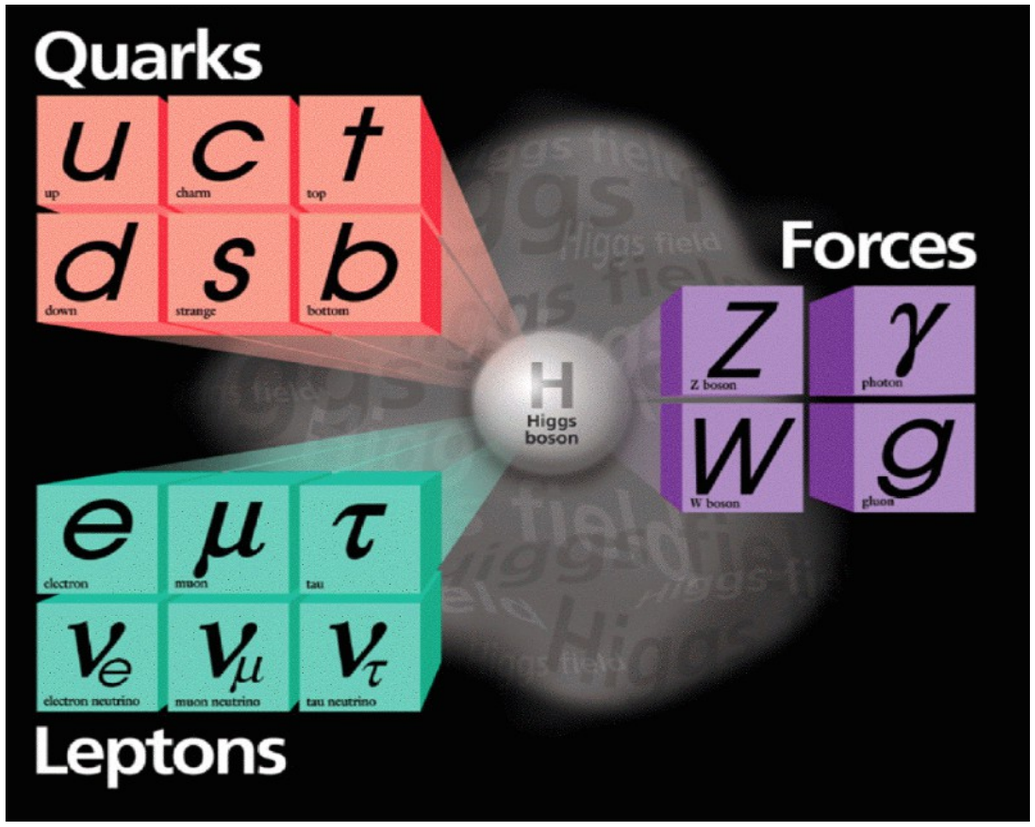
- 6 quarks, 6 leptones, el bosón de Higgs y diferentes interacciones fundamentales



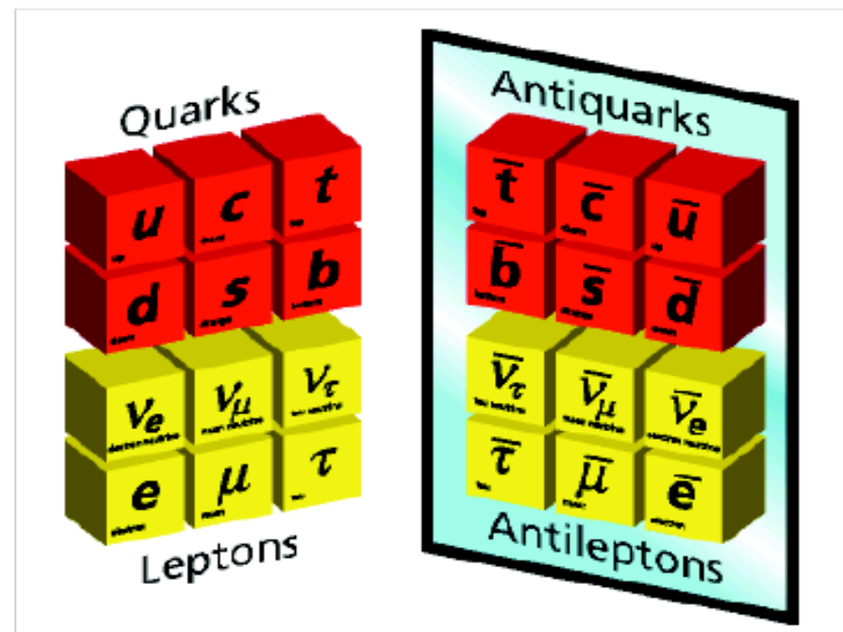
- Leptones: electrón, muón, tau y neutrinos
  - Neutrinos: Conocemos 3 tipos ν_e, ν_μ y ν_τ
  - No tienen carga eléctrica
- Las partículas pueden interactuar de diferentes maneras: Fuerte, electromagnética, débil y gravitacional
  - Neutrinos ==> interacción débil

Protón: p(uud)
Neutrón: n(ddu)

Modelo Estándar de la física de partículas

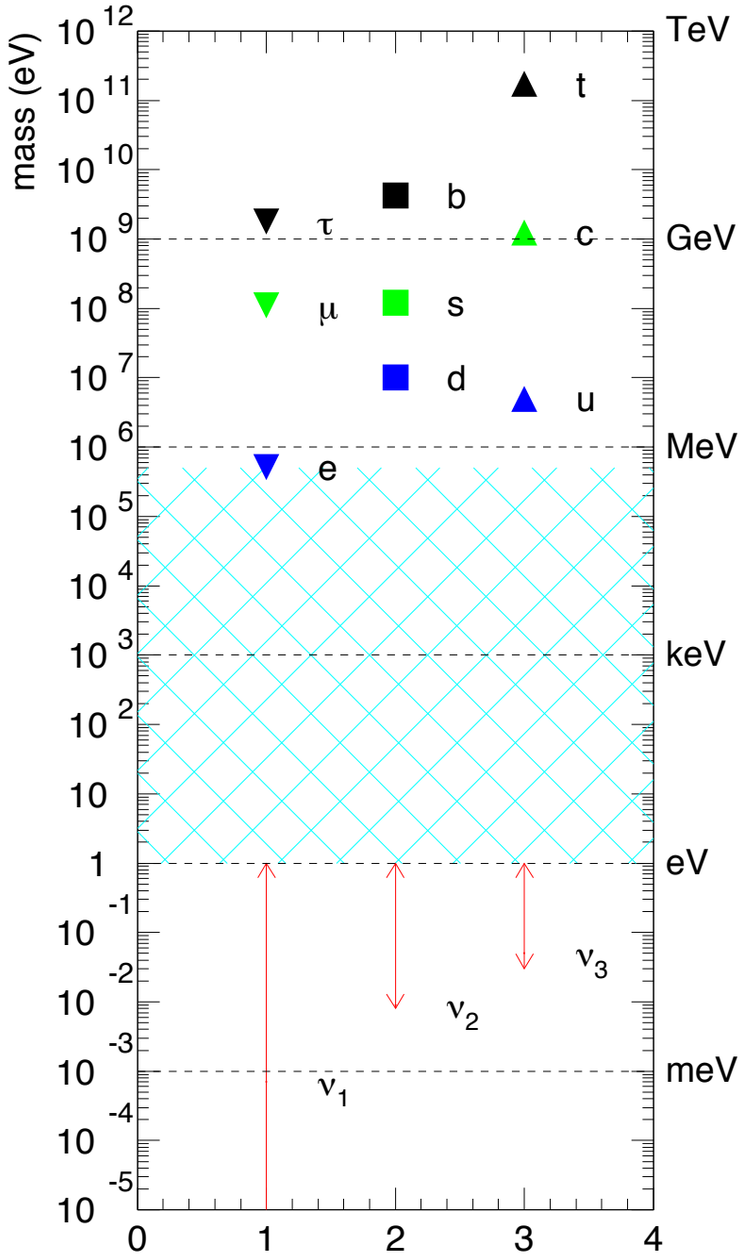


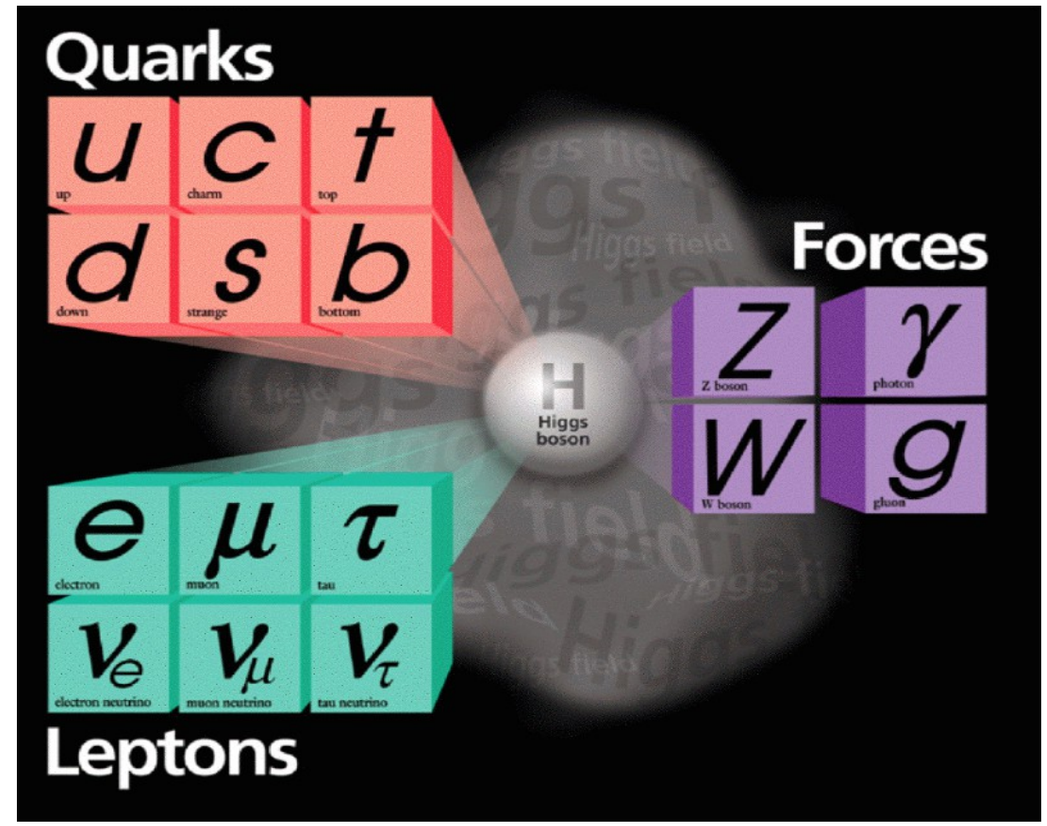
- Teoría que describe la estructura fundamental de la materia y las interacciones fundamentales
- Todo lo que conocemos esta hecho de materia



- ¿Está completo el Modelo Estándar?
  - Los neutrinos en el Modelo Estándar no tienen masa
  - Sin embargo la diferencia entre las masas de los neutrinos ha sido medida y resulta que es mucho mas pequeña que la masa de las otras partículas

Los neutrinos tienen masa

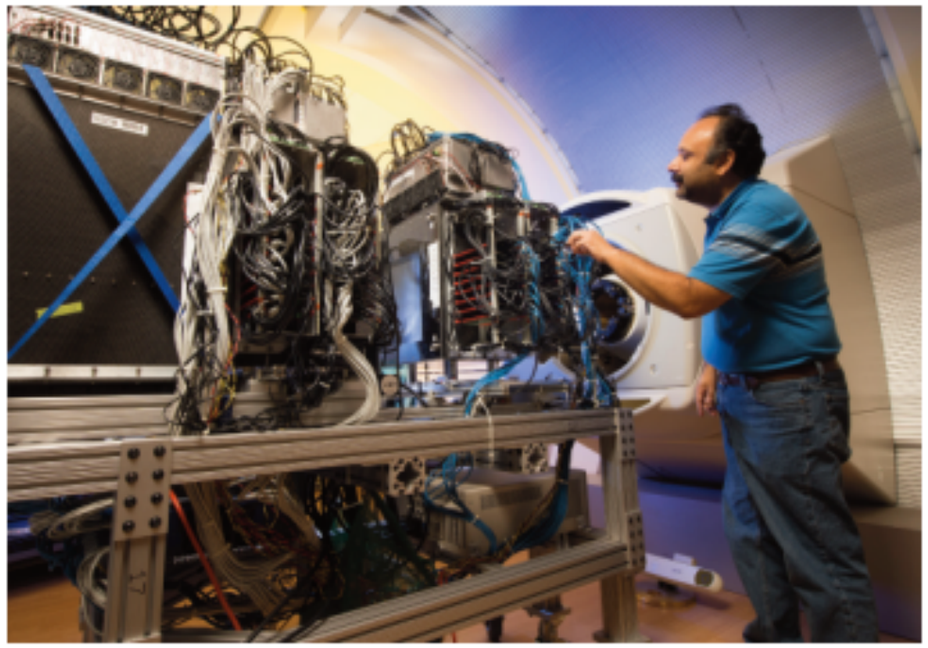




- ¿Porqué hay tanta diferencia entre la masa de los neutrinos y la masa de los quarks?
- ¿Cuál es la masa absoluta del neutrino?

¿Que Aplicaciones tienen las partículas?

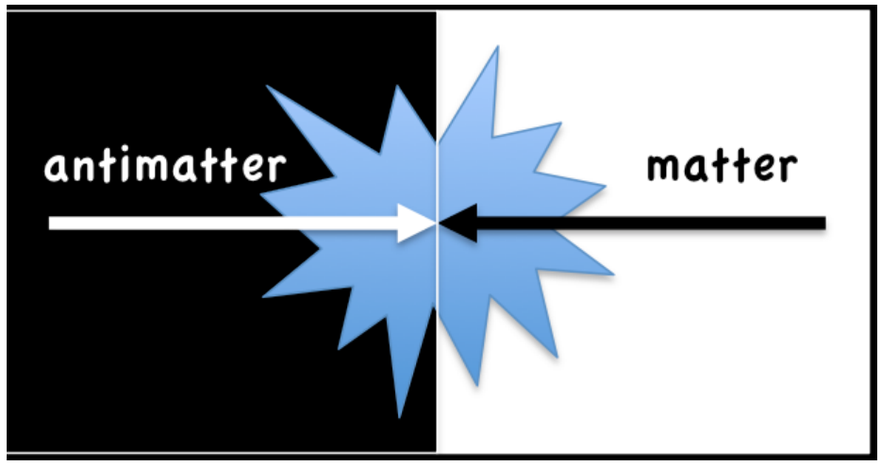
- La industria farmacéutica usa rayos X creados por acelerador de partículas para desarrollar medicinas y curar enfermedades
- Tratamientos del cancer con protones
- Tomografías…
- Implantes médicos con haz de electrones
- Microondas!

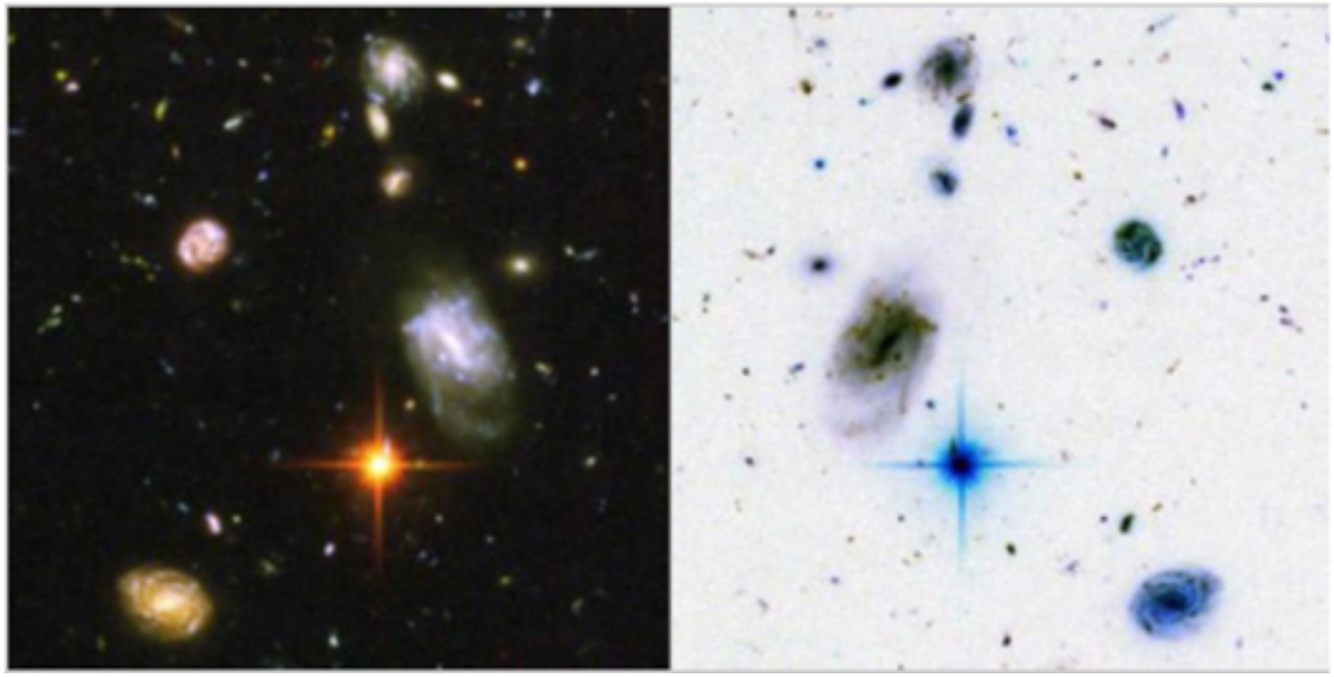


- Sensores y sistemas de seguridad

¿Cuál es la simetría entre materia and antimateria?

- Los Físicos crearon la teoría de la gran explosión que dice que se crearon cantidades iguales de materia y antimateria
- Cuando se encuentran materia y antimateria se aniquilan

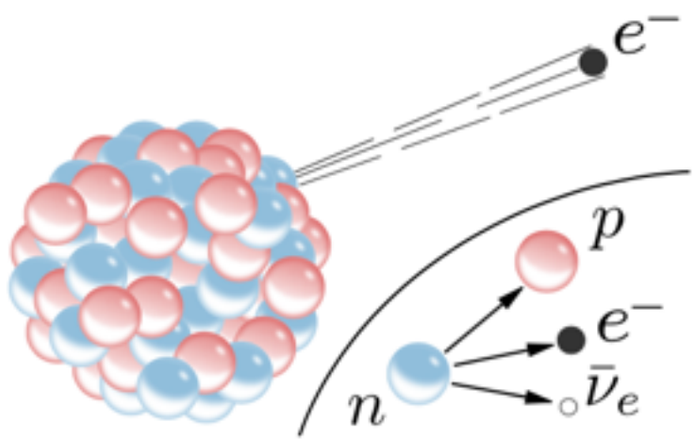




- Pero de alguna manera estamos todavía aquí hechos de materia
- y la antimateria?
- ¿Cómo es que existimos?
- Neutrinos podrían ayudar a explicar por qué el universo tiene más materia que antimateria.

¿Cómo se descubrieron los neutrinos?

- Radiactividad: Núcleo emite partículas debido a la inestabilidad nuclear
- Cuando se estaba estudiando el decaimiento beta, la energía no parecía conservarse?
  - Sabemos que la energía siempre se conserva
  - Energía ni se crea ni se destruye sólo puede transformarse en una forma diferente



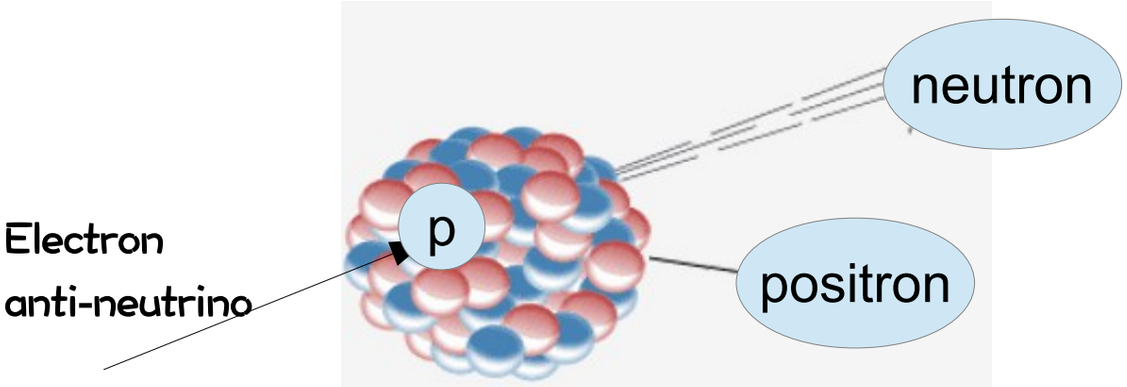
  - En 1930, Pauli postuló la existencia del neutrino

Descubrimiento del Anti-Neutrino (1956)

- Estudiando neutrinos producidos con reactores nucleares
  - Emiten alrededor 10 trillones anti-neutrinos por cm^2/s
- Decaimiento beta inverso

2002 Nobel Prize

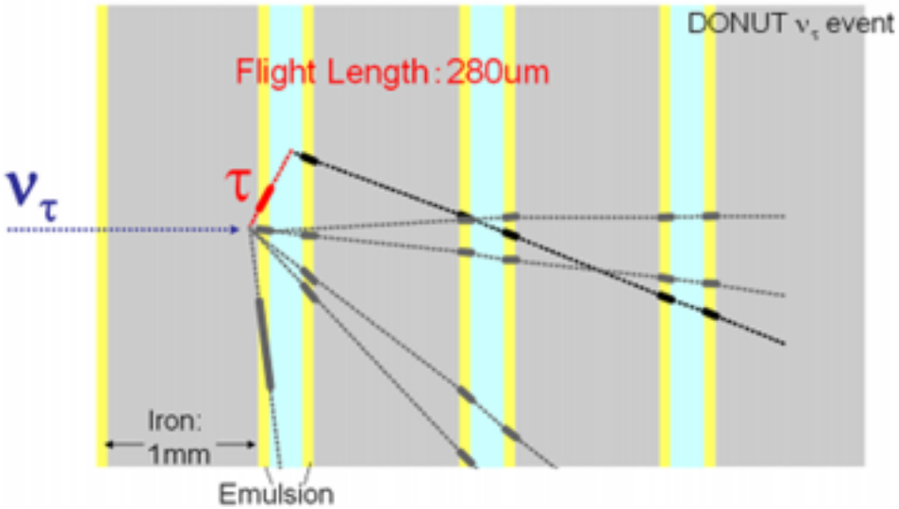
$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$$

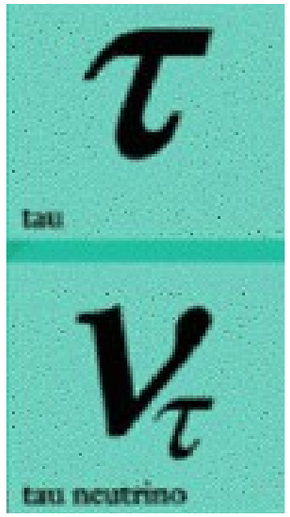


Neutrinos Muón y Tau

- En 1988 el muón neutrino fue descubierto en Laboratorio Nacional de Berkeley

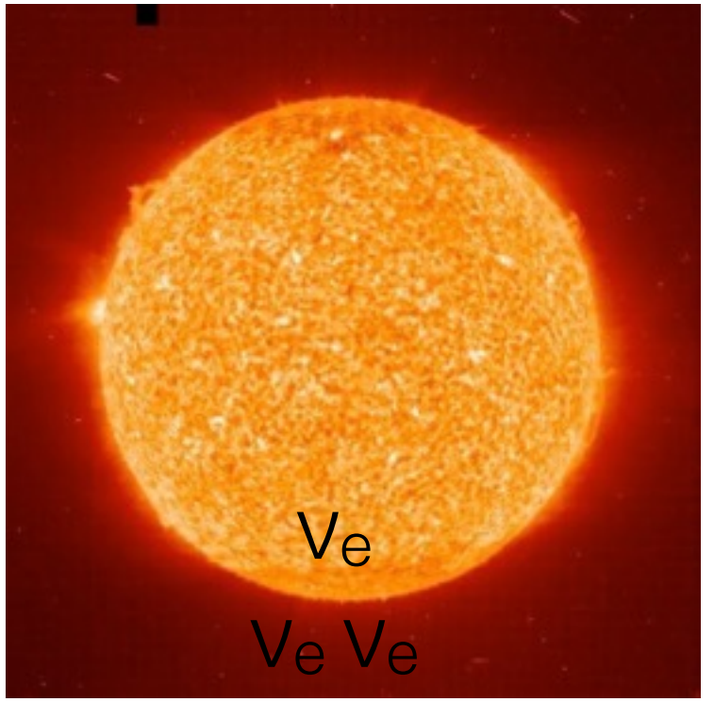
- En 2000, el tercer neutrino (neutrino tau) fue descubierto en un experimento llamado DONUT (¡Aquí en Fermilab!).





¿Donde se producen los neutrinos?

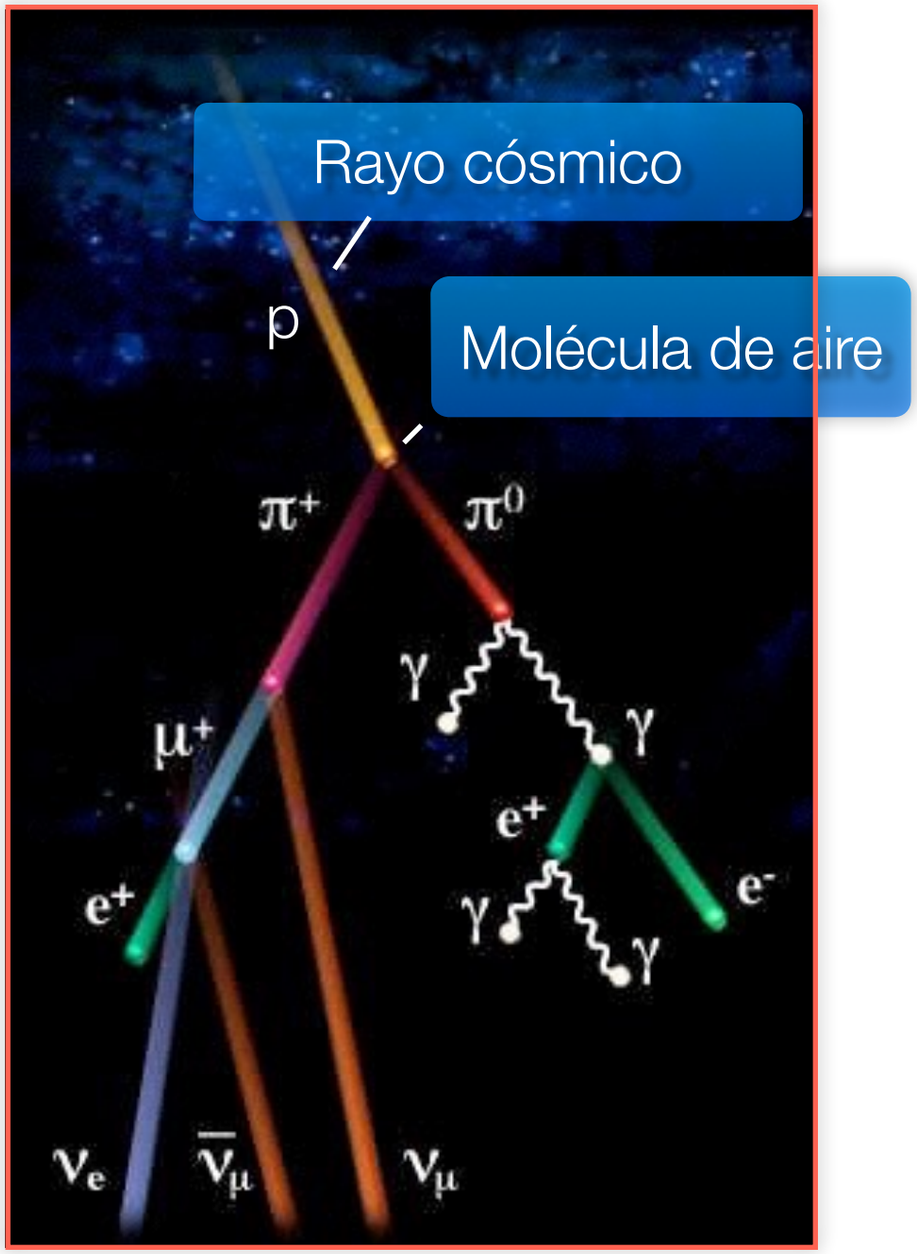
Algunos son producidos en el Sol



ν_e ν_e ν_e

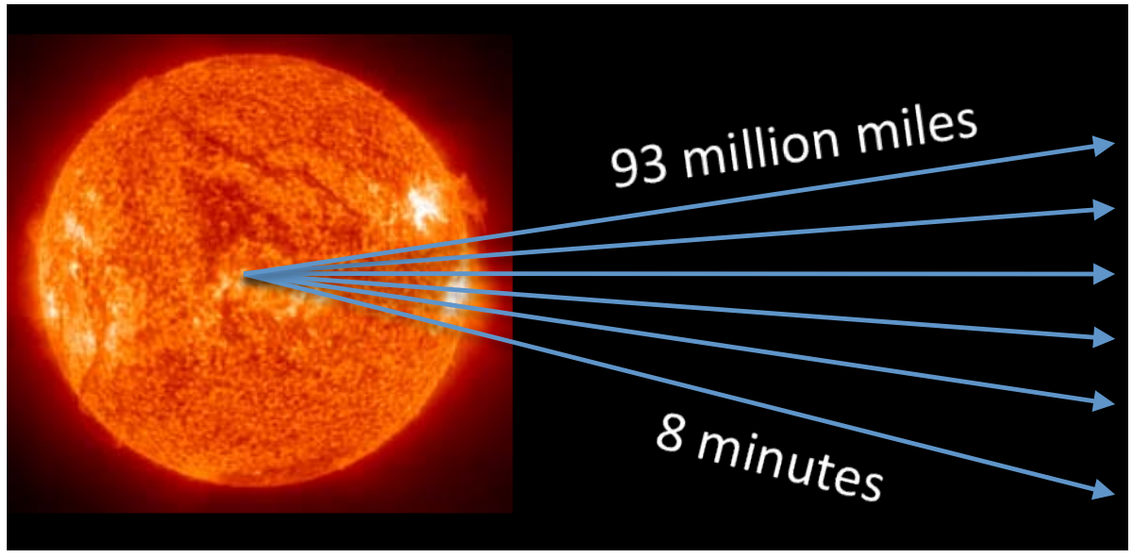
ν_e ν_e ν_e ν_e

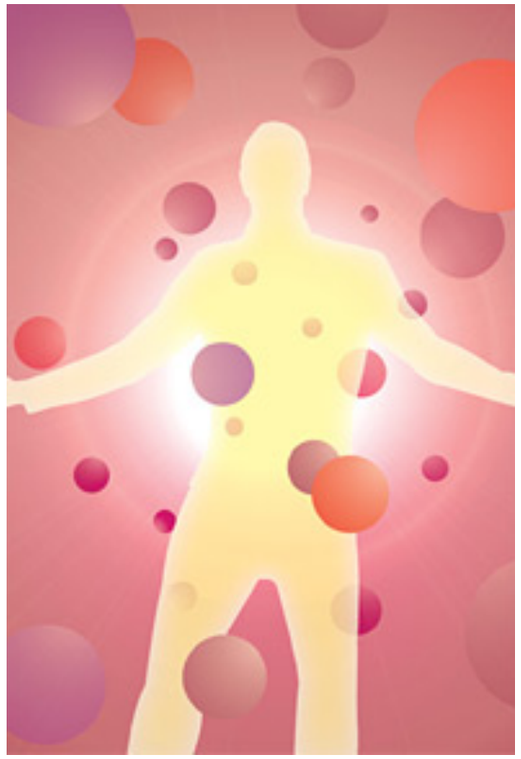
Otros se producen en la atmósfera



Datos Interesantes sobre los neutrinos

- Alrededor de 100 trillones de neutrinos pasan a través de nuestro cuerpo cada segundo sin interactuar con las otras partículas en el cuerpo

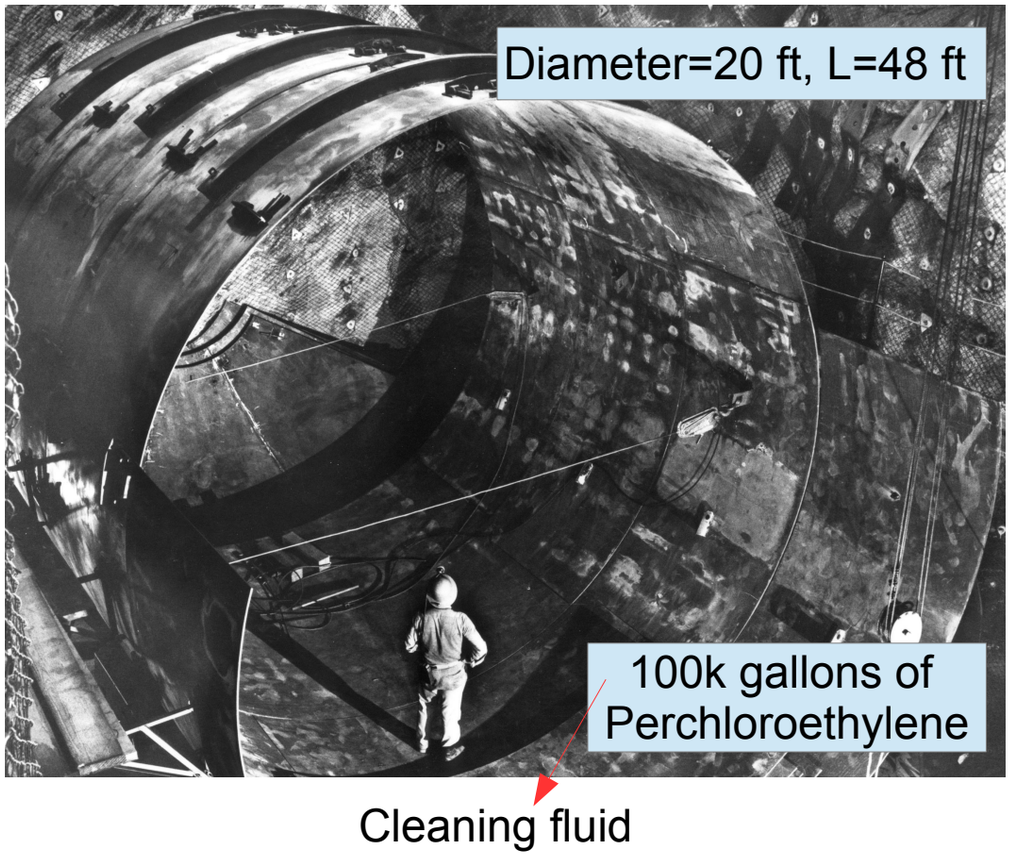


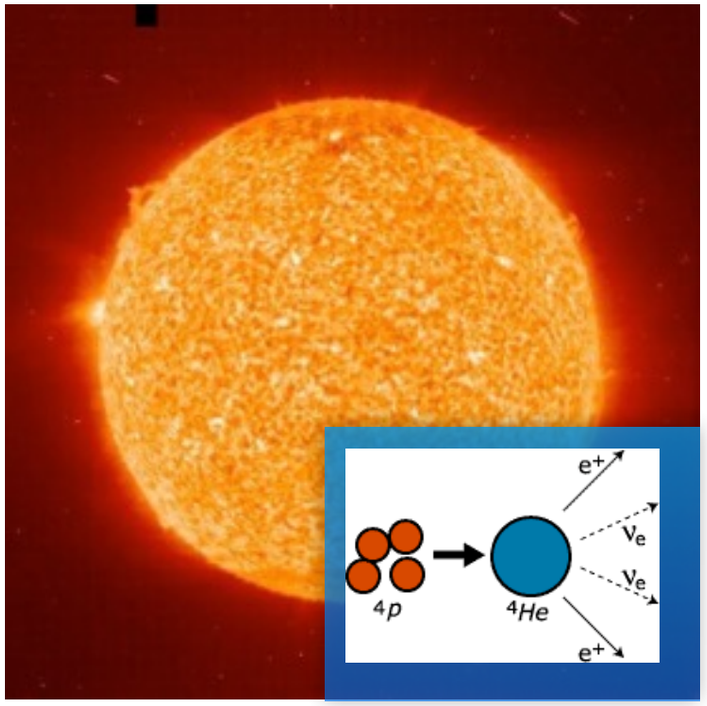


- Neutrinos interactúan muy, muy, muy débilmente
  - Un neutrino puede pasar a través de un año luz de plomo sin interactuar
- Neutrinos podrían dar respuestas a algunas de las preguntas más importantes en el universo

El problema con los Neutrinos Solares (1968)

- Reacciones nucleares en el núcleo del sol producen νe
- En 1968, el experimento de HomeStake de Ray Davis midio νe que llega a tierra con un enorme depósito de líquido limpiador





2002 Nobel Prize

- Davis publicó los primeros resultados que indican que sólo 1/3 de los neutrinos fueron observados, es decir, el problema solar del neutrino

La Anomalia de los neutrinos que se producen en la atmósfera

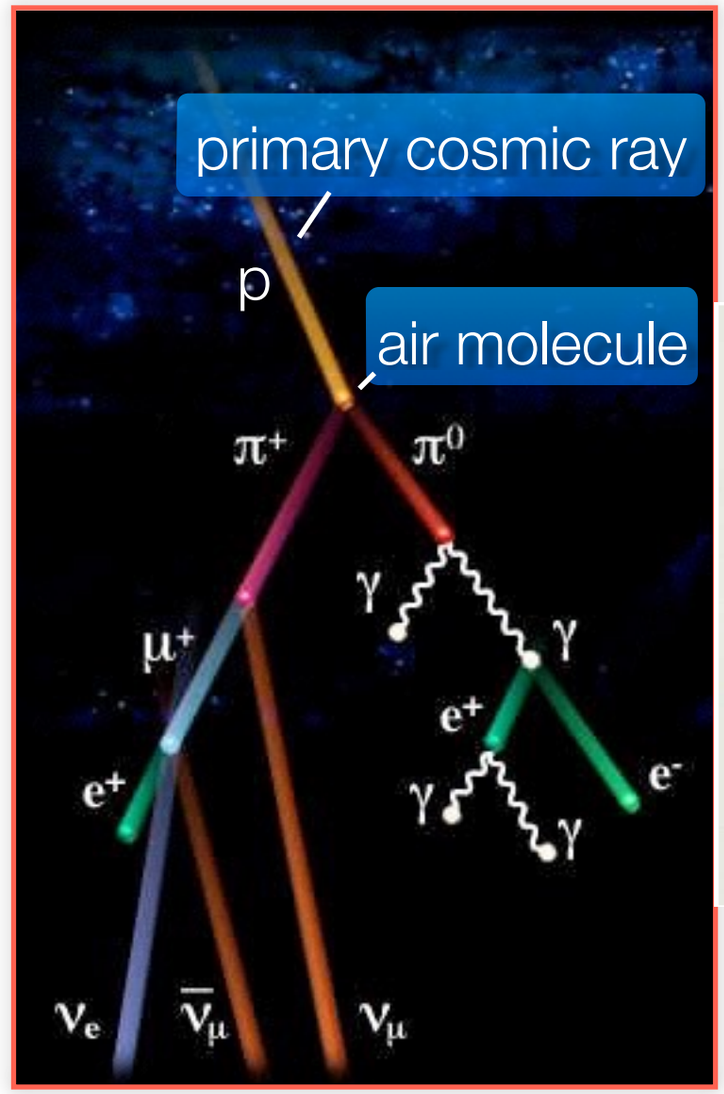
- Los rayos cósmicos isotrópicamente golpean a la tierra
- Científicos esperaban:

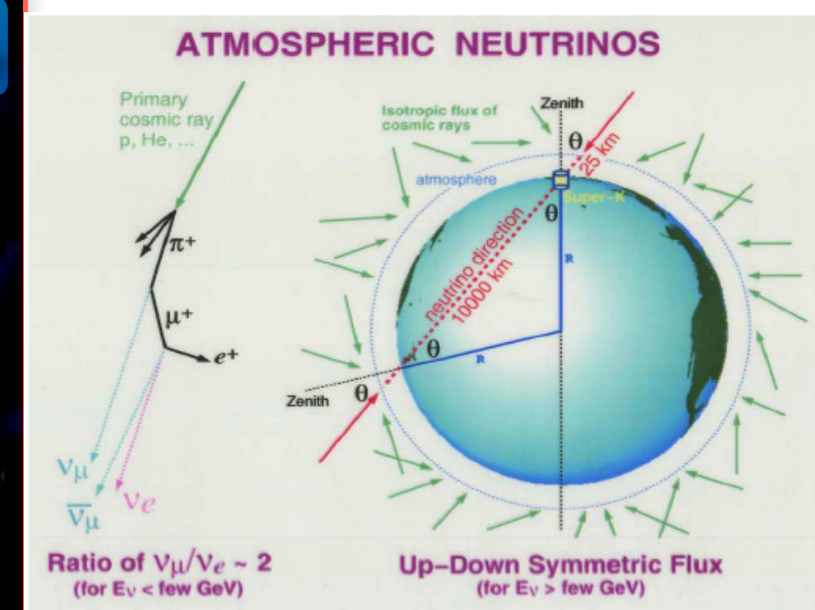
$$\frac{\Phi_{\nu_\mu}(Up)}{\Phi_{\nu_\mu}(Down)} = 1$$

- Sin embargo, Super-Kamiokande encontró

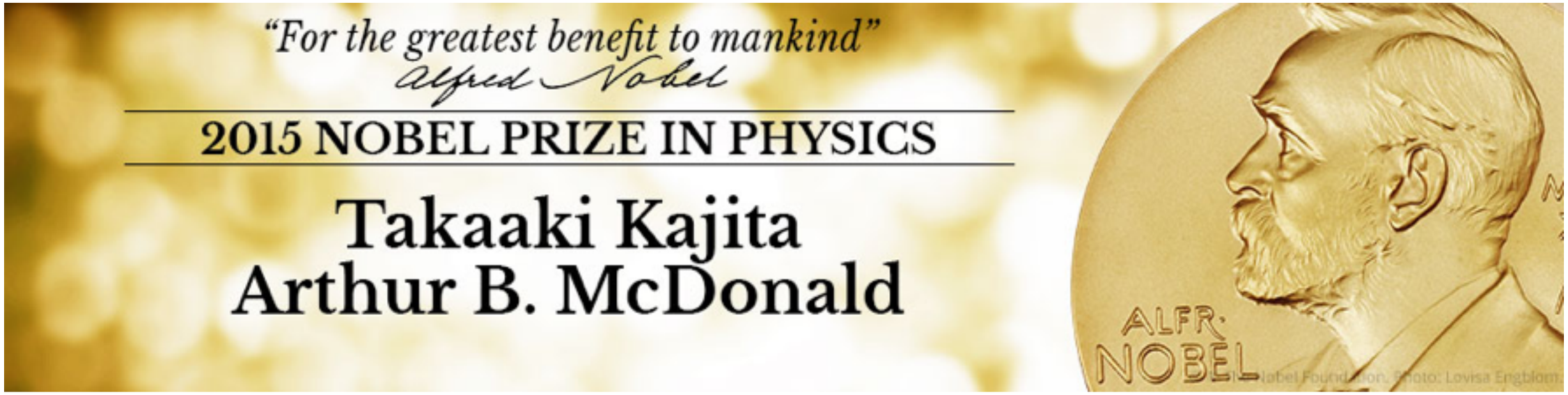
$$\frac{\Phi_{\nu_\mu}(Up)}{\Phi_{\nu_\mu}(Down)} = 0.54 \pm 0.04$$

- En 1998 Super-Kamionkande anunció el descubriendo de oscilación de neutrinos

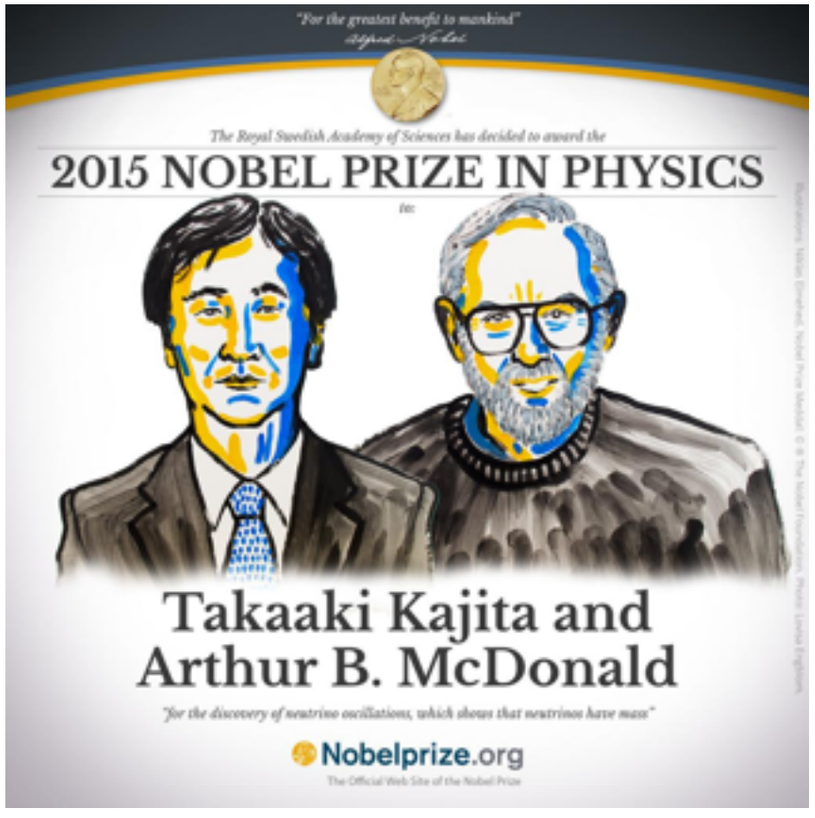




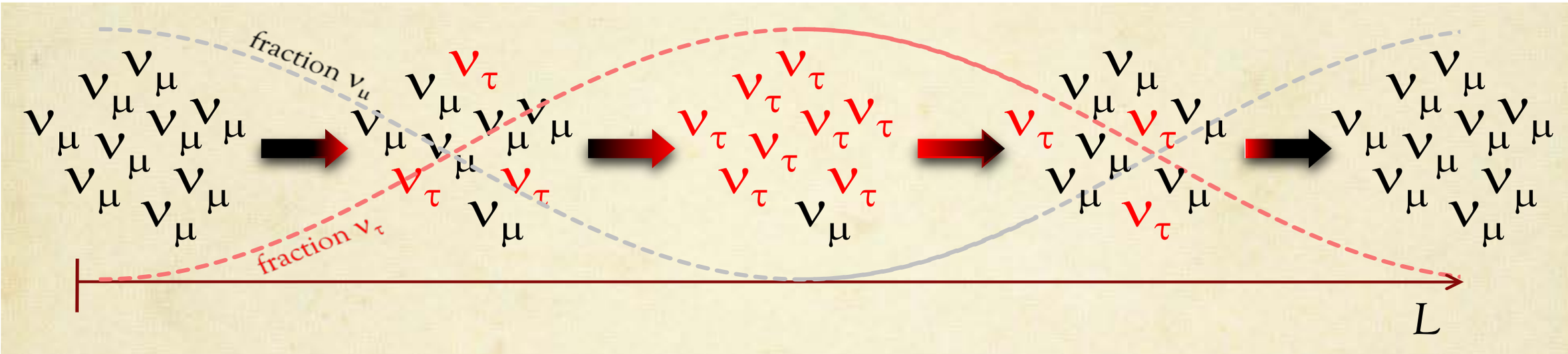
Premio Nobel en Física 2015



"por el descubrimiento de las oscilaciones del neutrino, que demuestran que los neutrinos tienen masa"



¡Los Neutrinos se transforman de un tipo a otro cuando viajan!



- Existe una probabilidad diferente de cero en detectar un neutrino diferente al que sé produjo en la fuente de neutrino

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2(2\theta)\sin^2\left(\frac{1.27\Delta m_{23}{}^2 L}{E_\nu}\right)$$

- Los parámetros físicos que me medimos son el ángulo y la diferencia de masa

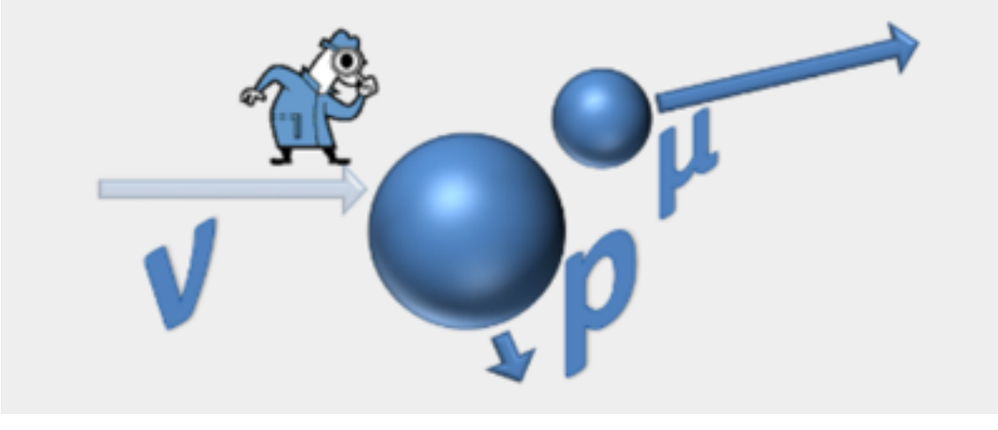
¿Que queremos medir?

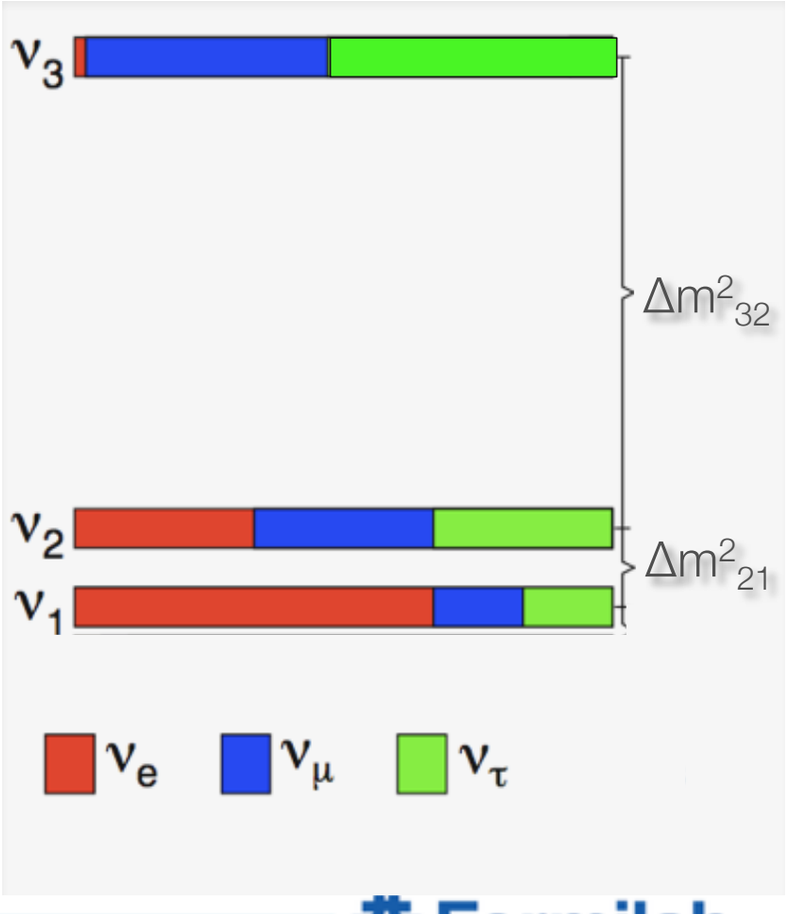
Queremos saber sí el neutrino es igual al antineutrino?

También investigamos cuál neutrino es el mas pesado

Realizamos medidas muy precisas de los parámetros de la teoría

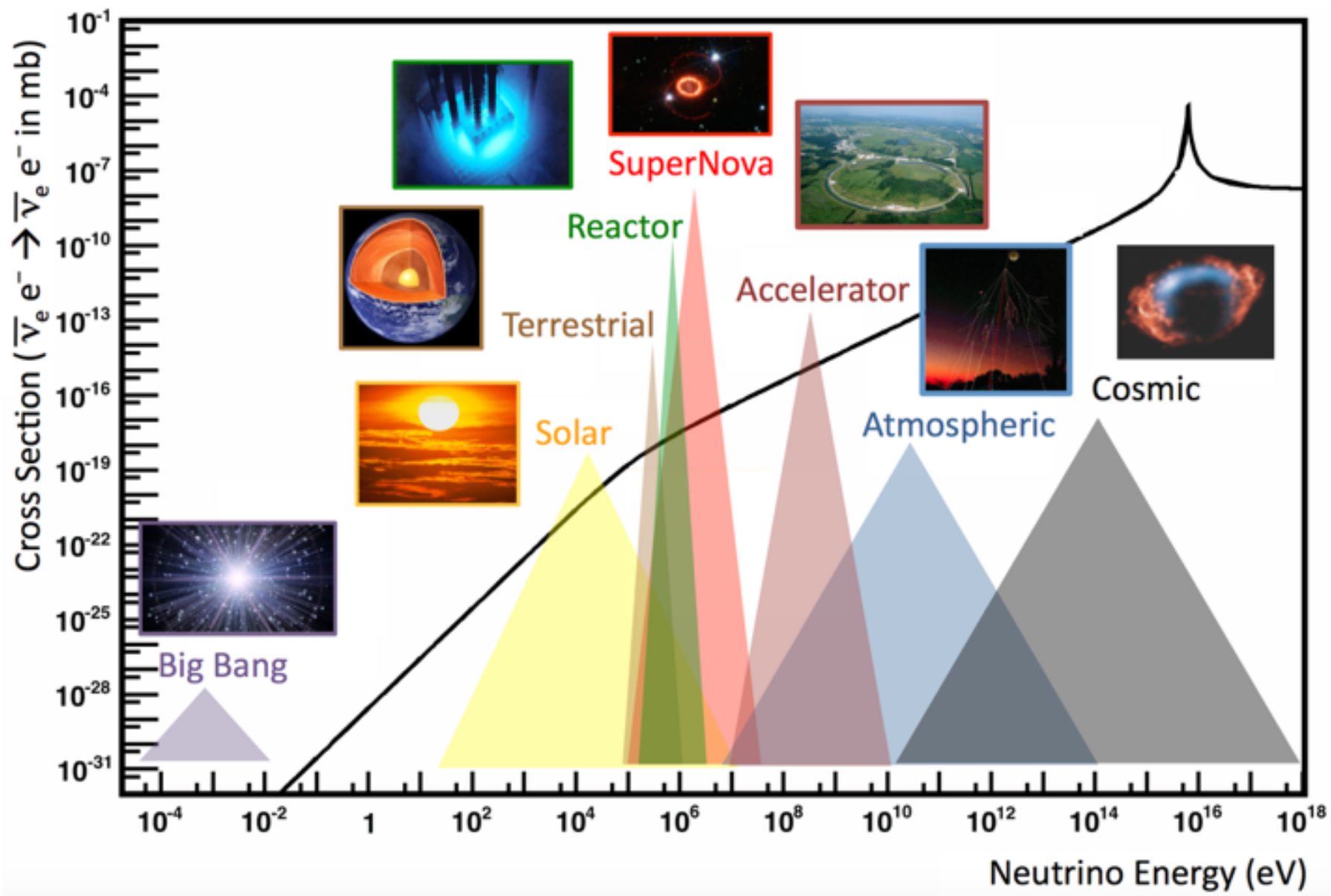
Hay sólo tres neutrinos? sospechamos la existencia de un cuarto neutrino que llamamos neutrino esterile



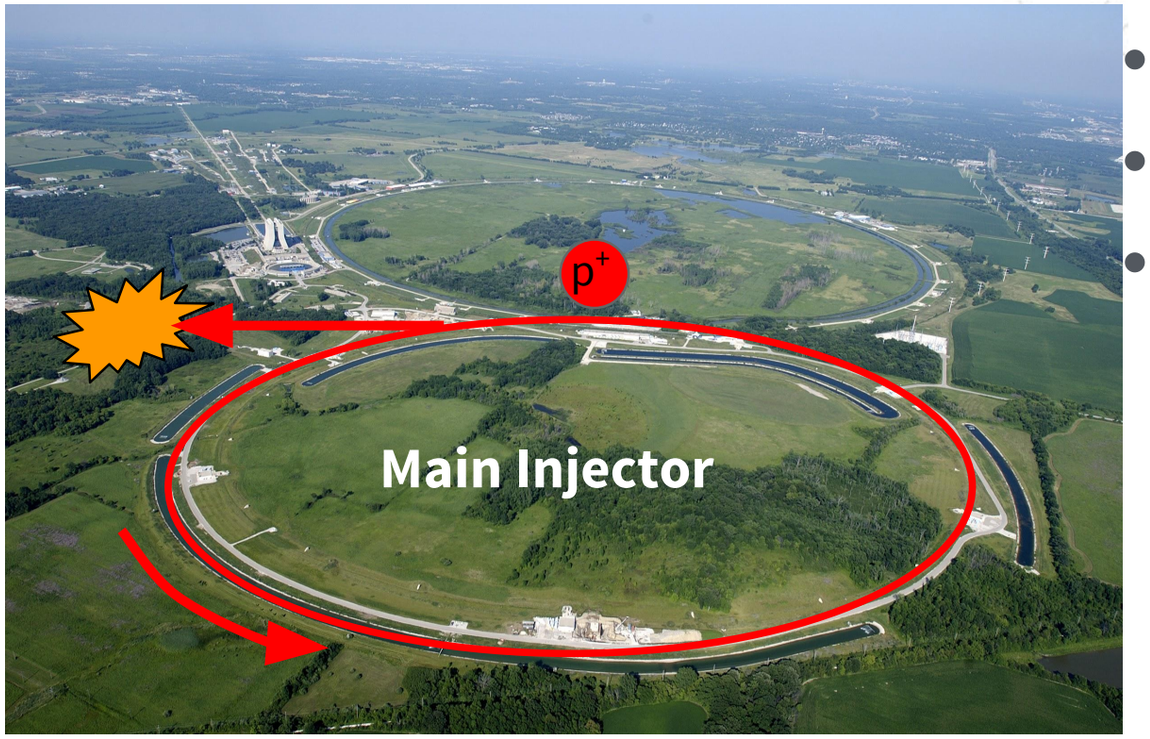


¿De donde se originan los Neutrinos?

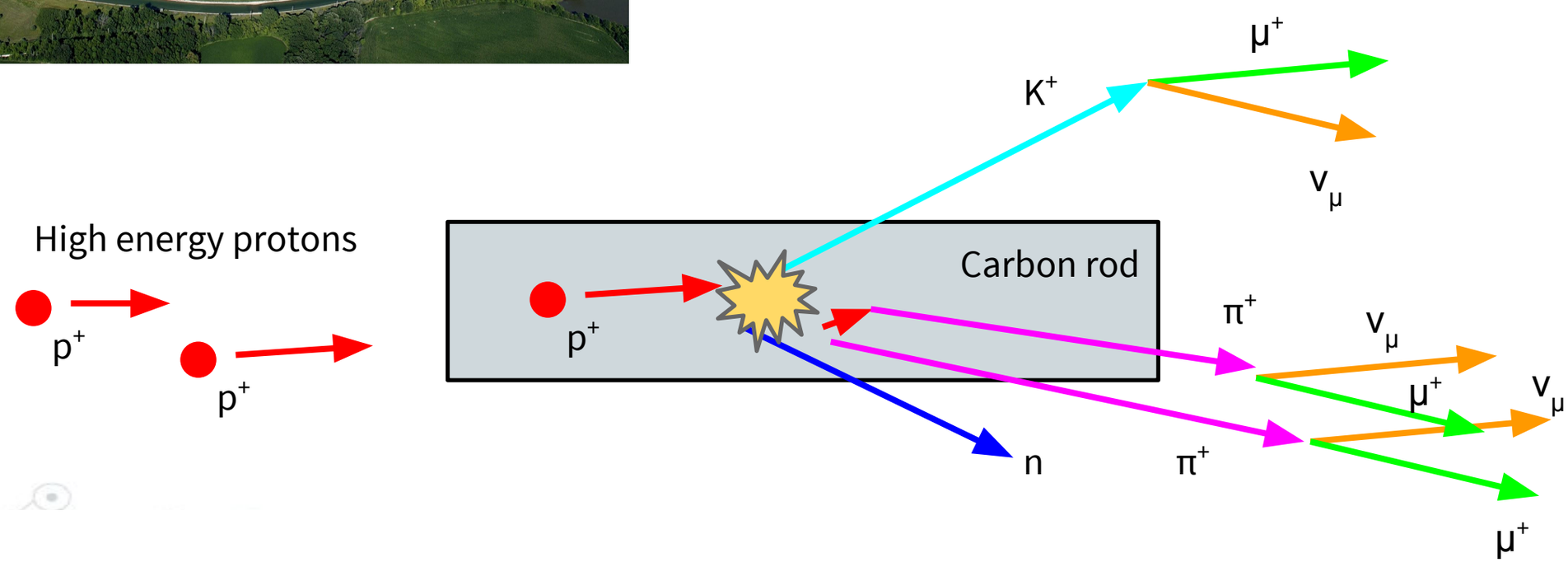
- Neutrinos son las partículas de materia más común en el universo



¿Como se producen los neutrinos usando aceleradores?



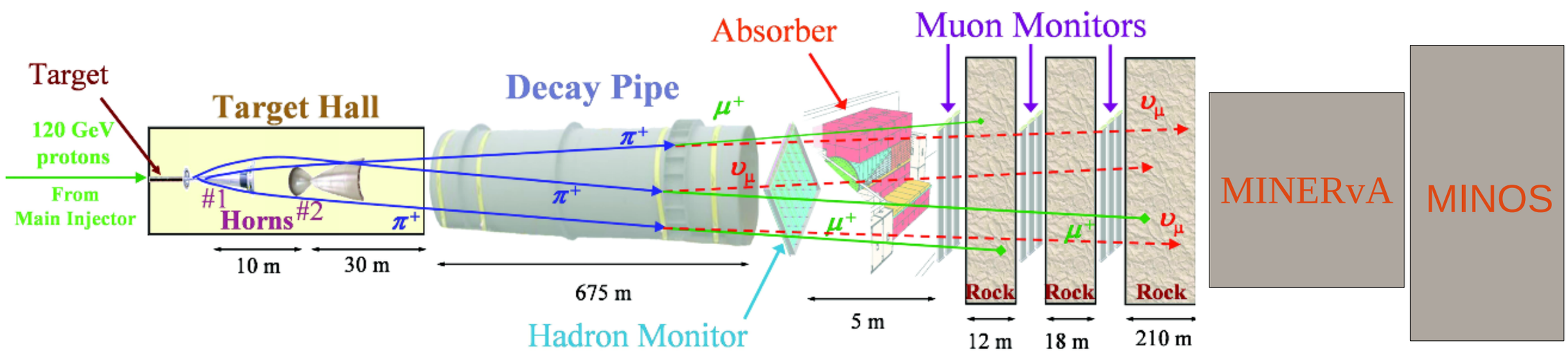
- Protones interactuan con carbón
- Se producen pions y kaons cargados
- Los piones y kaones decaen en neutrinos



¿Como se producen los neutrinos usando aceleradores?

- Un haz de protones interactuan con un blanco y produce piones y kaones

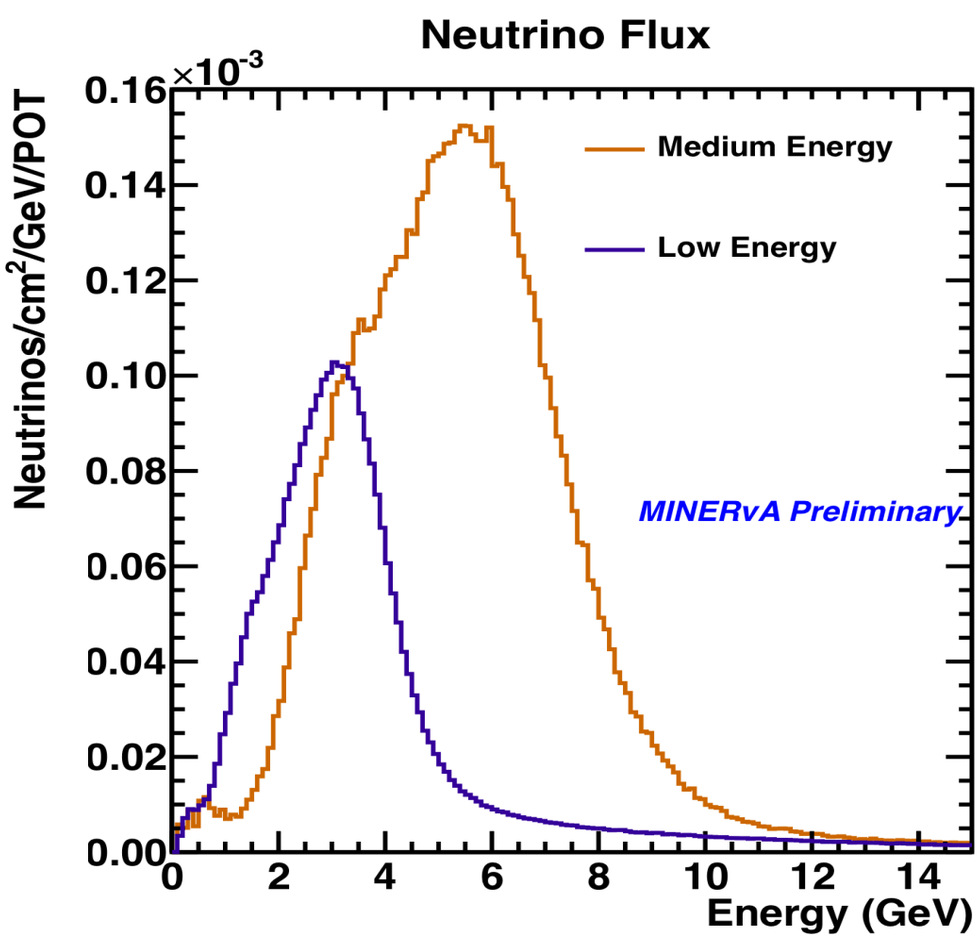
NuMI



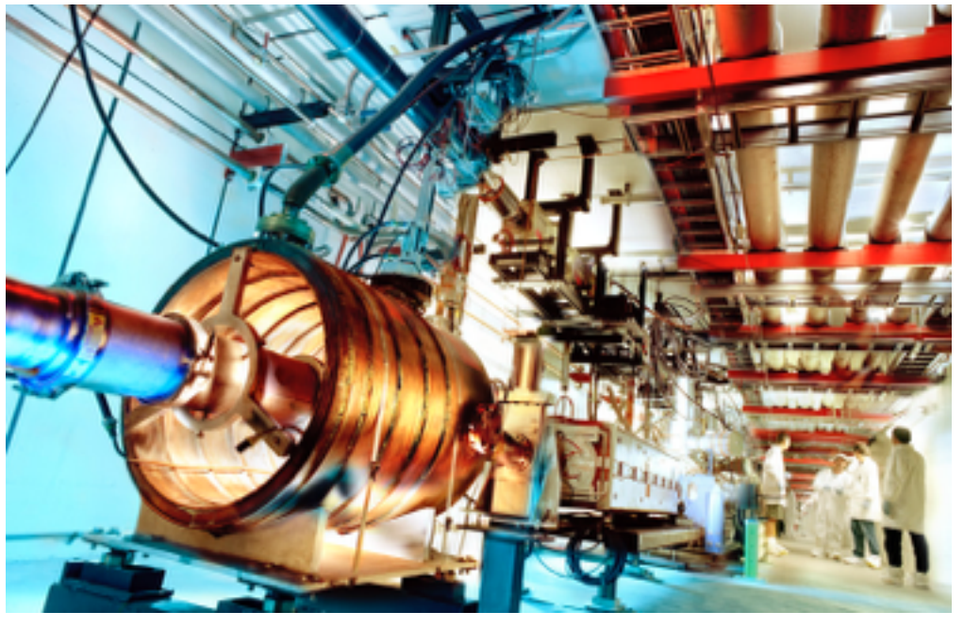
- Se usan dos cavidades magnéticas con corriente que emiten un campo electromagnético para enfocar los piones y kaones
- Un tubo largo lleno de helio donde decaen las partículas (kaones and piones)
- El haz de neutrinos contiene ν_μ y un 2% de ν_e

Energía de los neutrinos

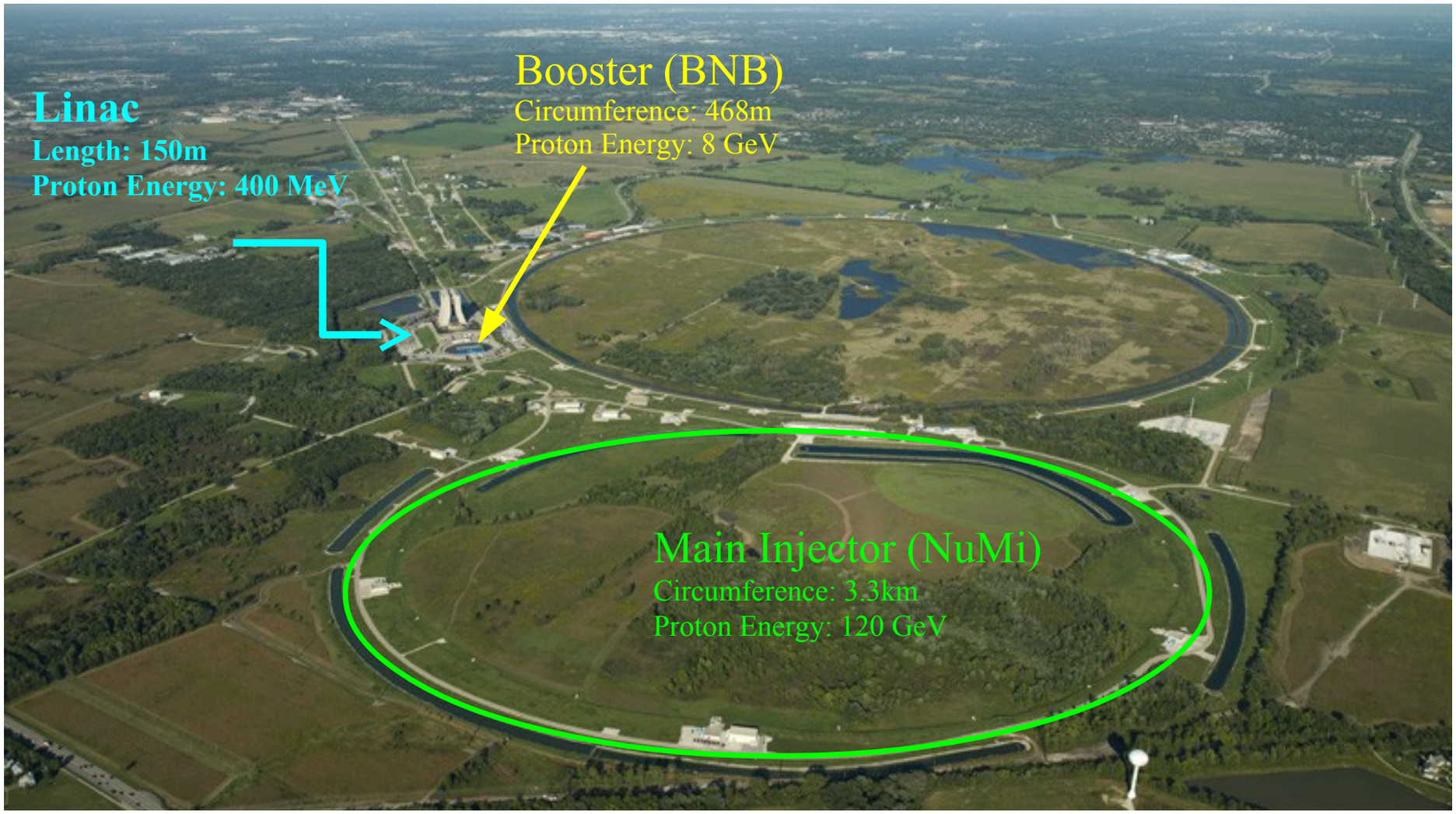
- La posición de blanco y la cavidad se puede mover para producir diferente haz de neutrinos

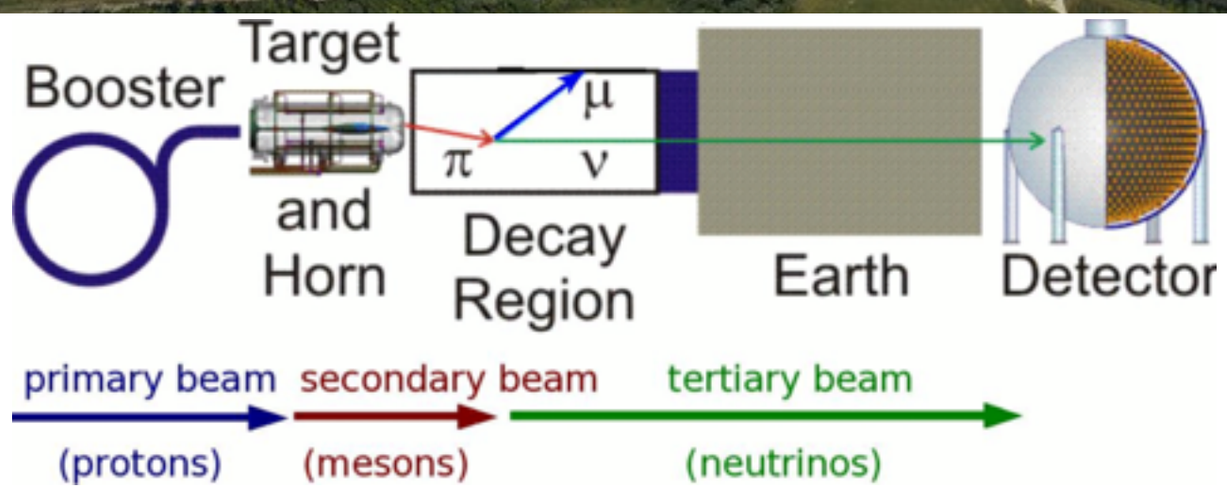


Un logro nuevo para el acelerador de Fermilab
El 24 de Enero el acelerador alcanzó un haz de protones de 700-kilowatt



Otro haz de neutrinos!



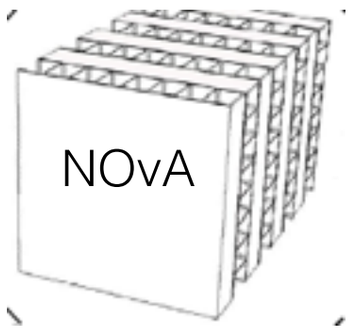


Experimentos de Neutrinos en el Fermilab

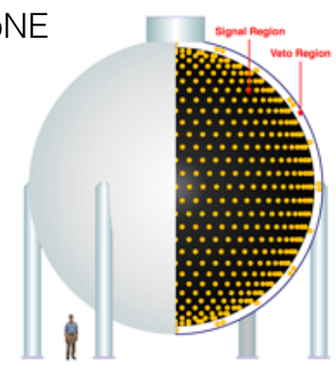
- Usamos detectores hechos de carbón, hierro y argón

Carbón

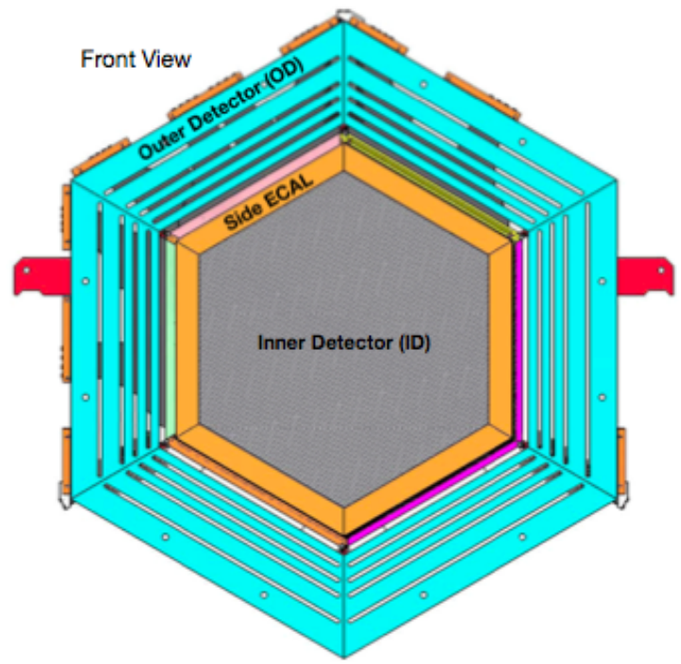
NOvA



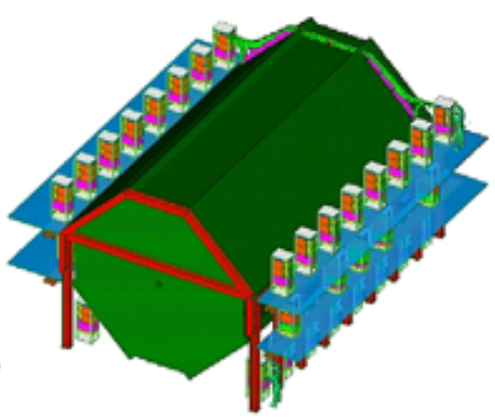
MiniBooNE



MINERvA



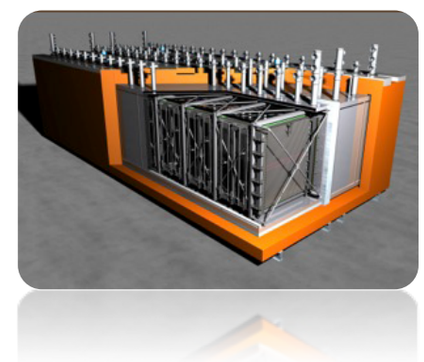
Carbon, iron, lead, helium, water



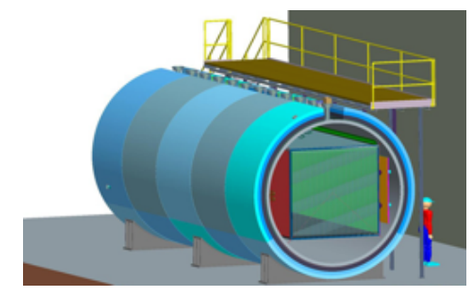
MINOS

Argon liquido

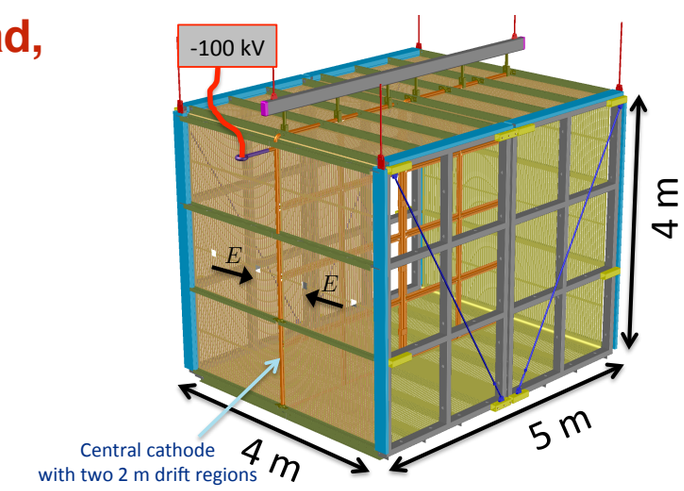
ICARUS



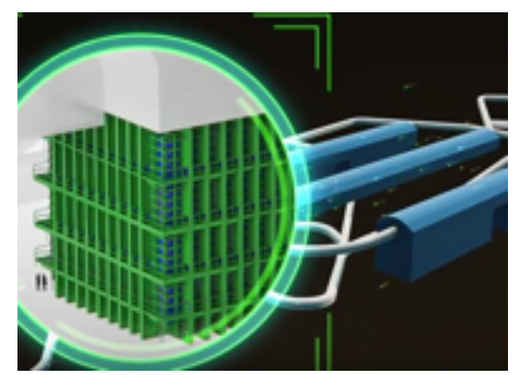
MicroBooNE



SBND



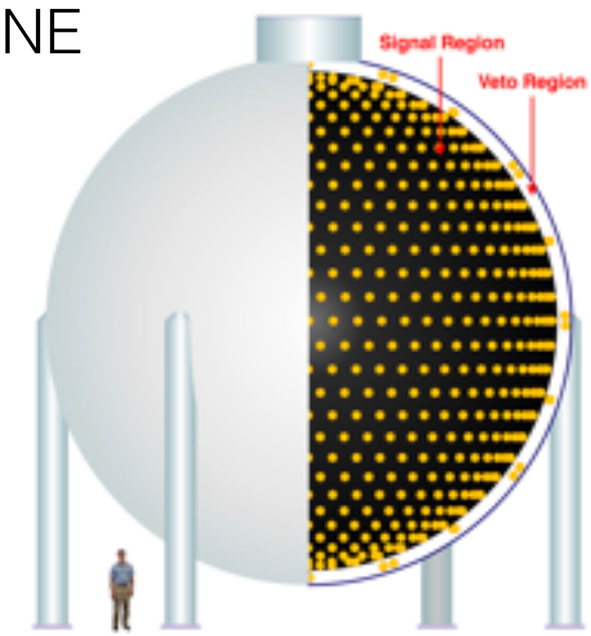
DUNE



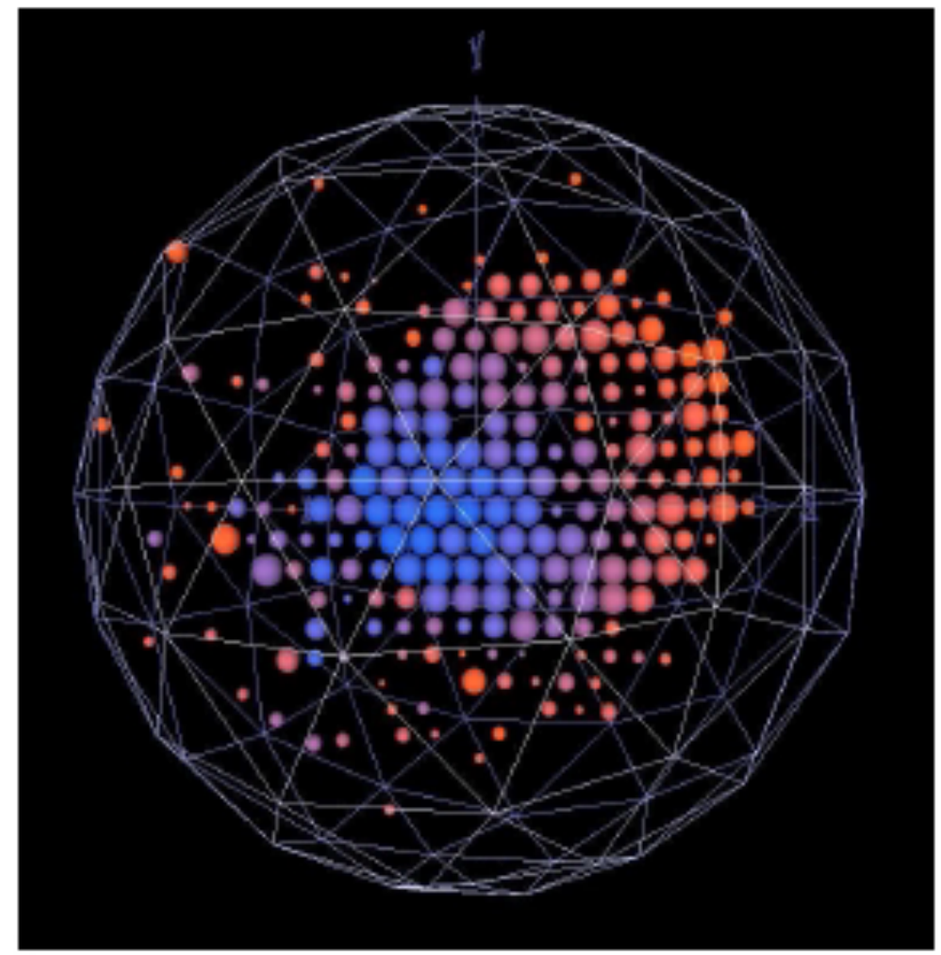
Experimento MiniBooNE

- Este experimento está hecho de aceite mineral
- Empezó a colectar datos desde 2002

MiniBooNE

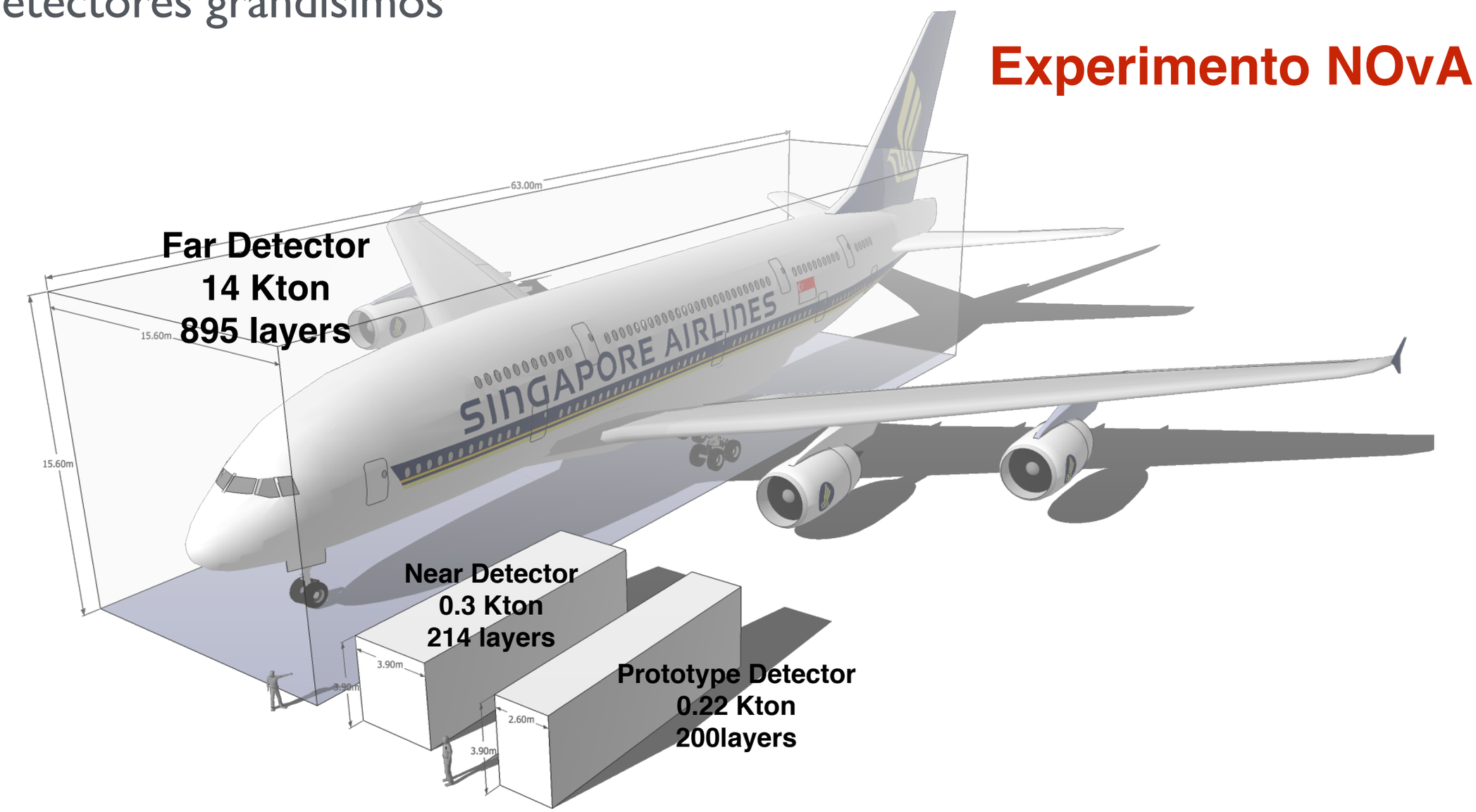


Ejemplo de una interacción de neutrino

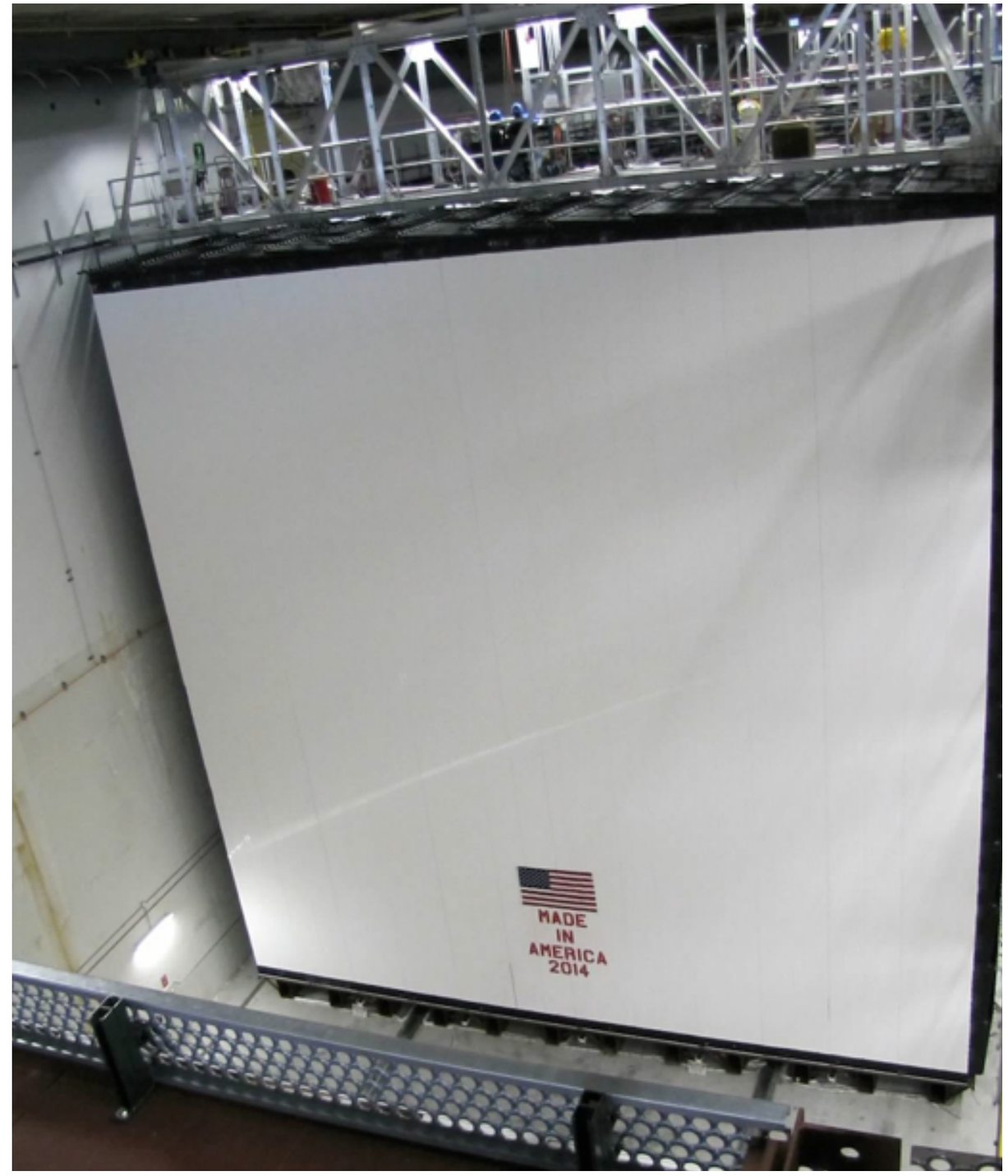


¿Como detectamos los neutrinos?

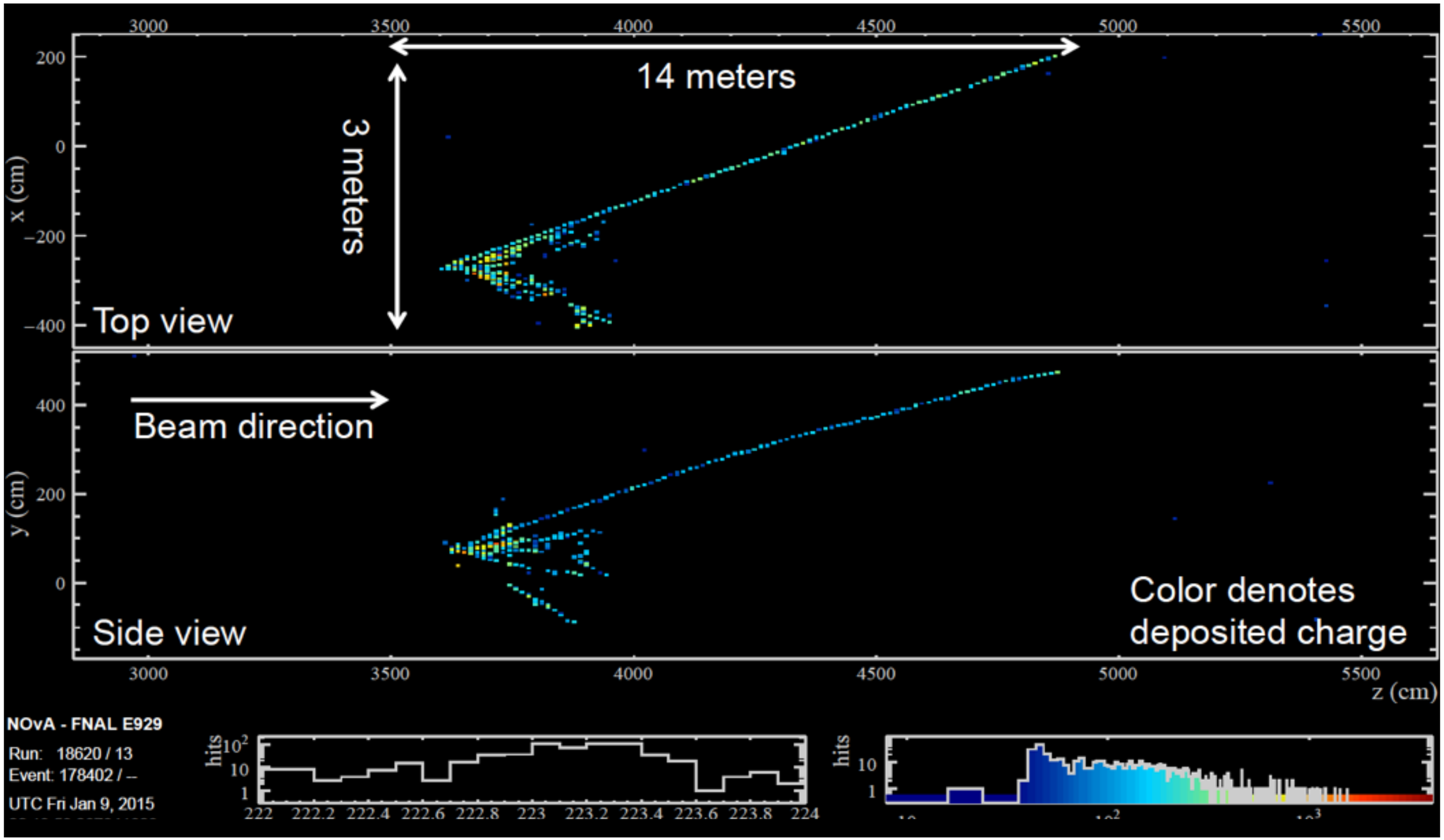
- Neutrinos interactúan muy, muy, muy débilmente
- Como podemos detectarlos?
  - Producimos muchos neutrinos en una área definida
  - Usamos detectores grandísimos



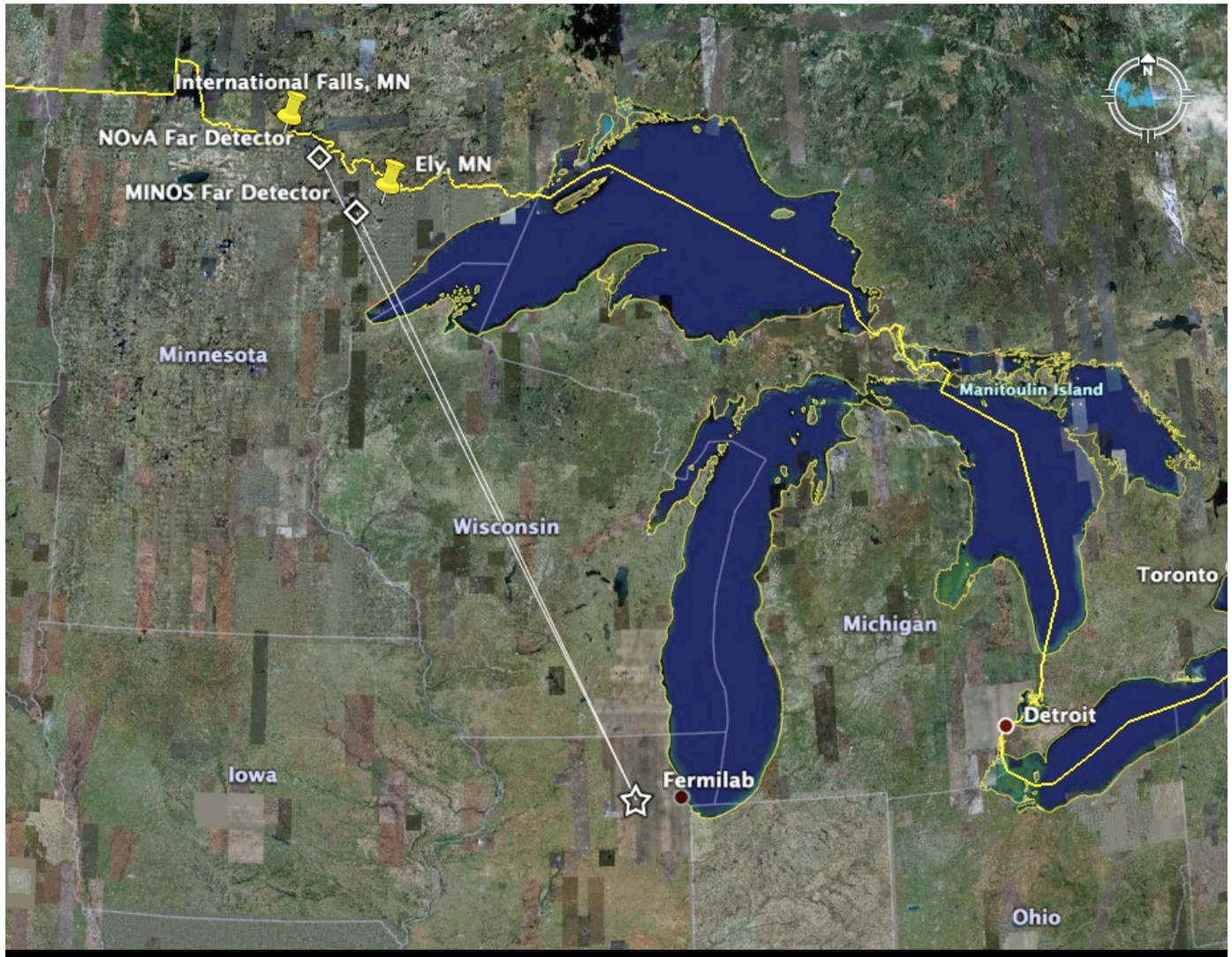
Experimento NOvA

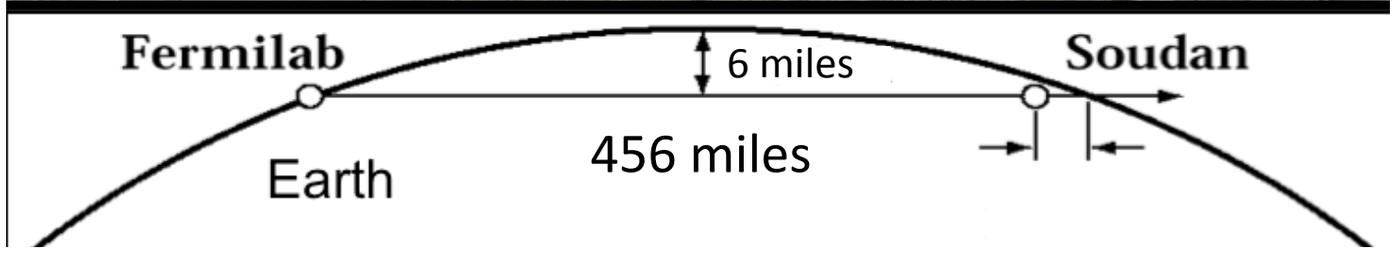


Ejemplo de una interacción de neutrino en el detector de NovA



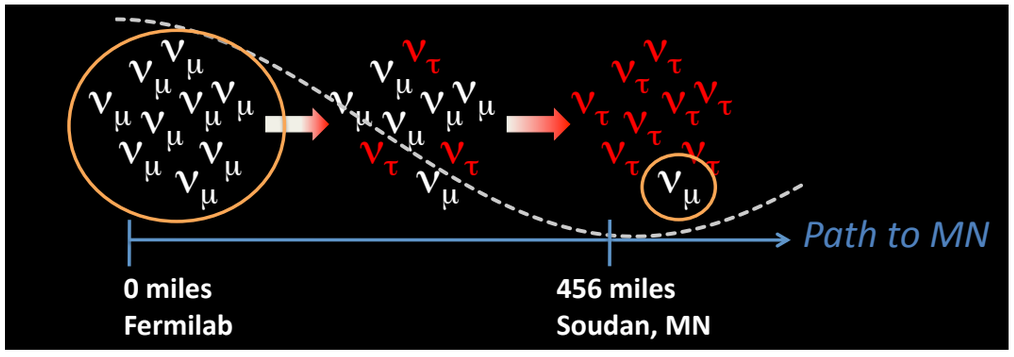
¿Donde están los detectores?





Neutrinos viajan del Fermilab a Minnesota

Illinois
Wisconsin
Minnesota

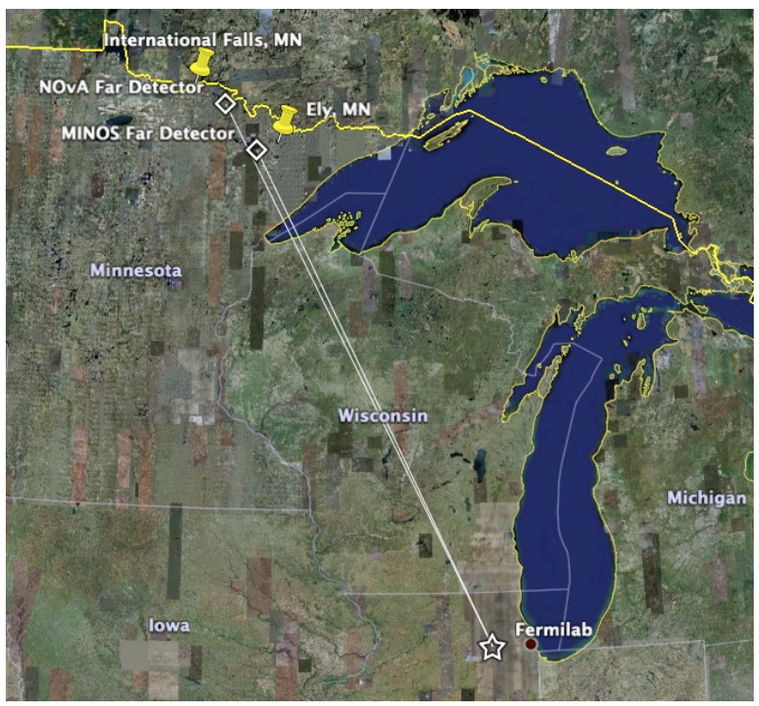


Experimentos que estudian oscilaciones de neutrinos

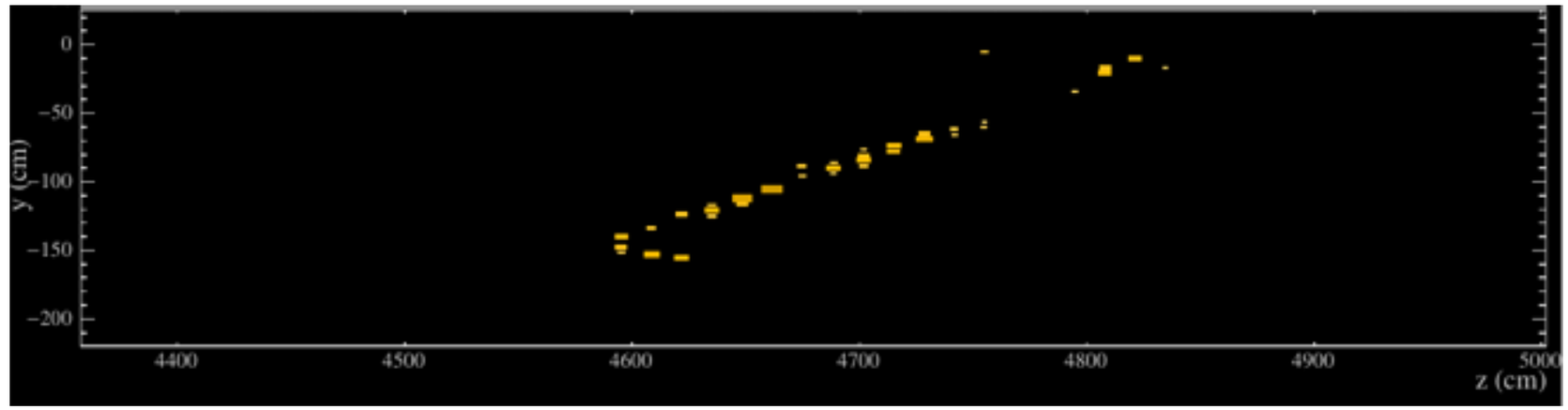
$$P[\nu_\mu \to \nu_e] \neq P[\overline{\nu}_\mu \to \overline{\nu}_e] \ ?$$

also, T2K in Asia

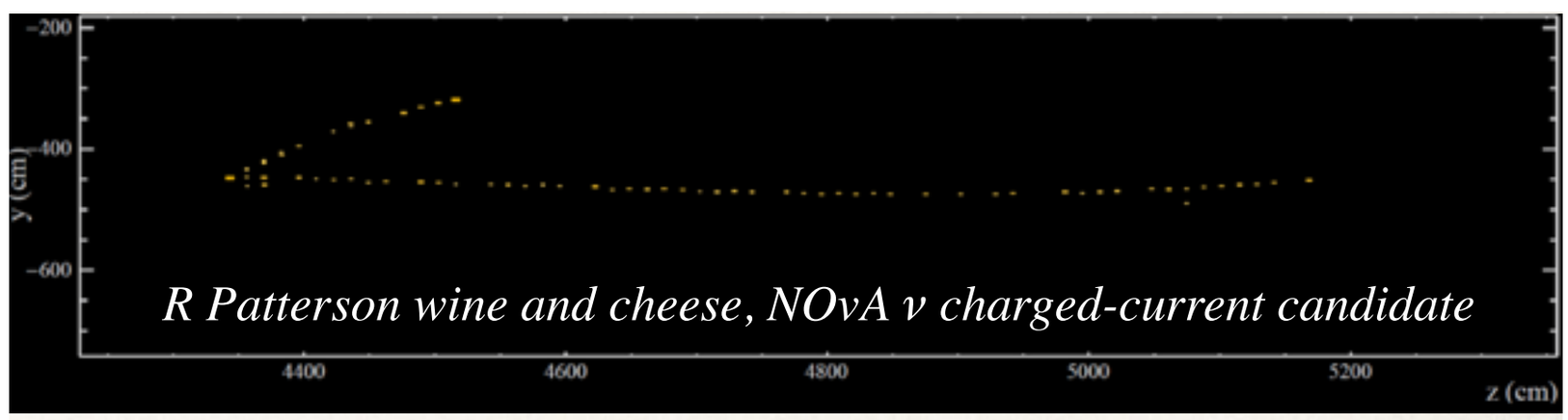
Ejemplo de una interacción de neutrino muón y electrón en NovA



En el detector que se encuentra en Minnesota estudiamos ν_e

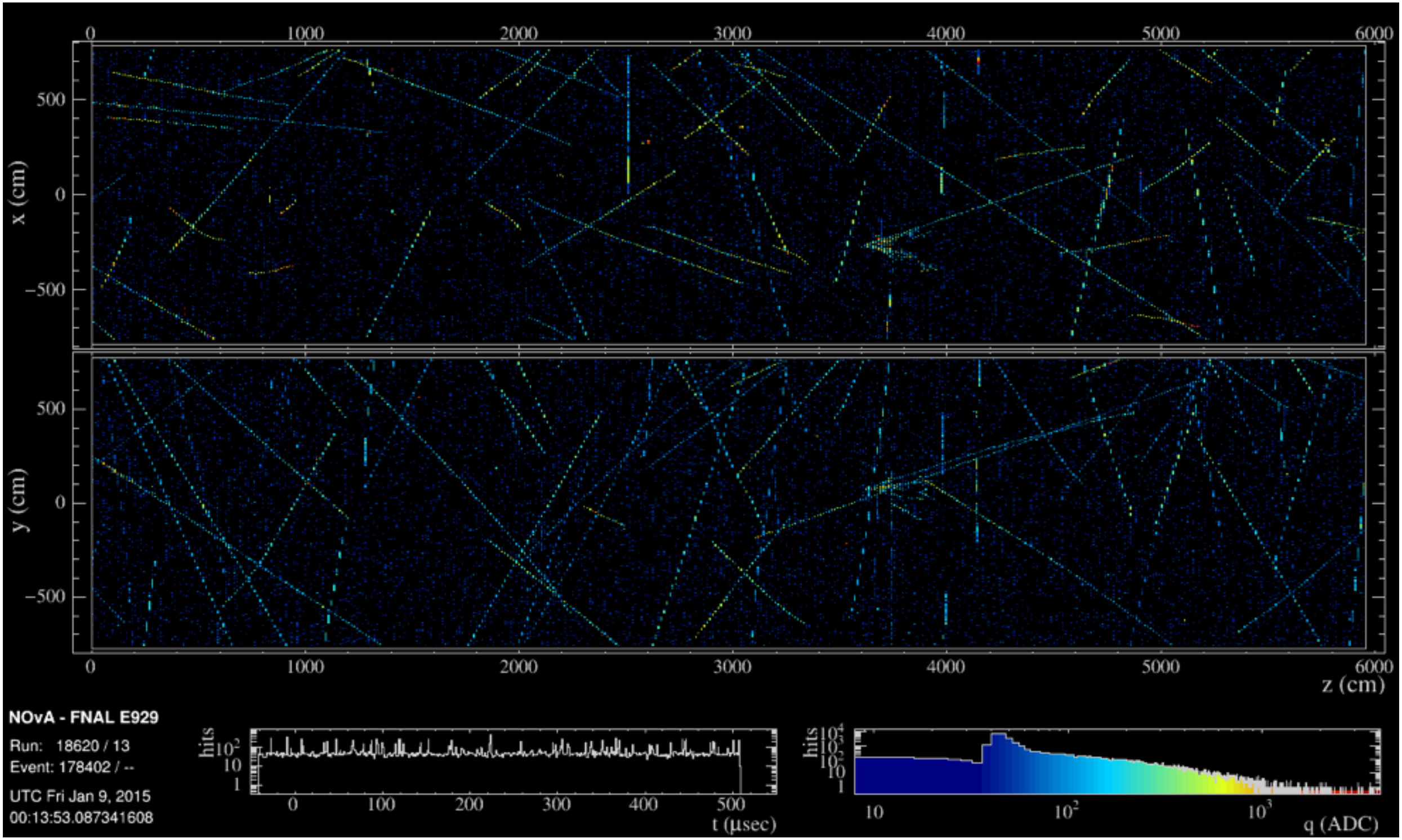


En el detector que se encuentra en Fermilab estudiamos ν_μ



R Patterson wine and cheese, NOvA ν charged-current candidate

Ejemplo de una interacción de neutrino en el detector de NovA

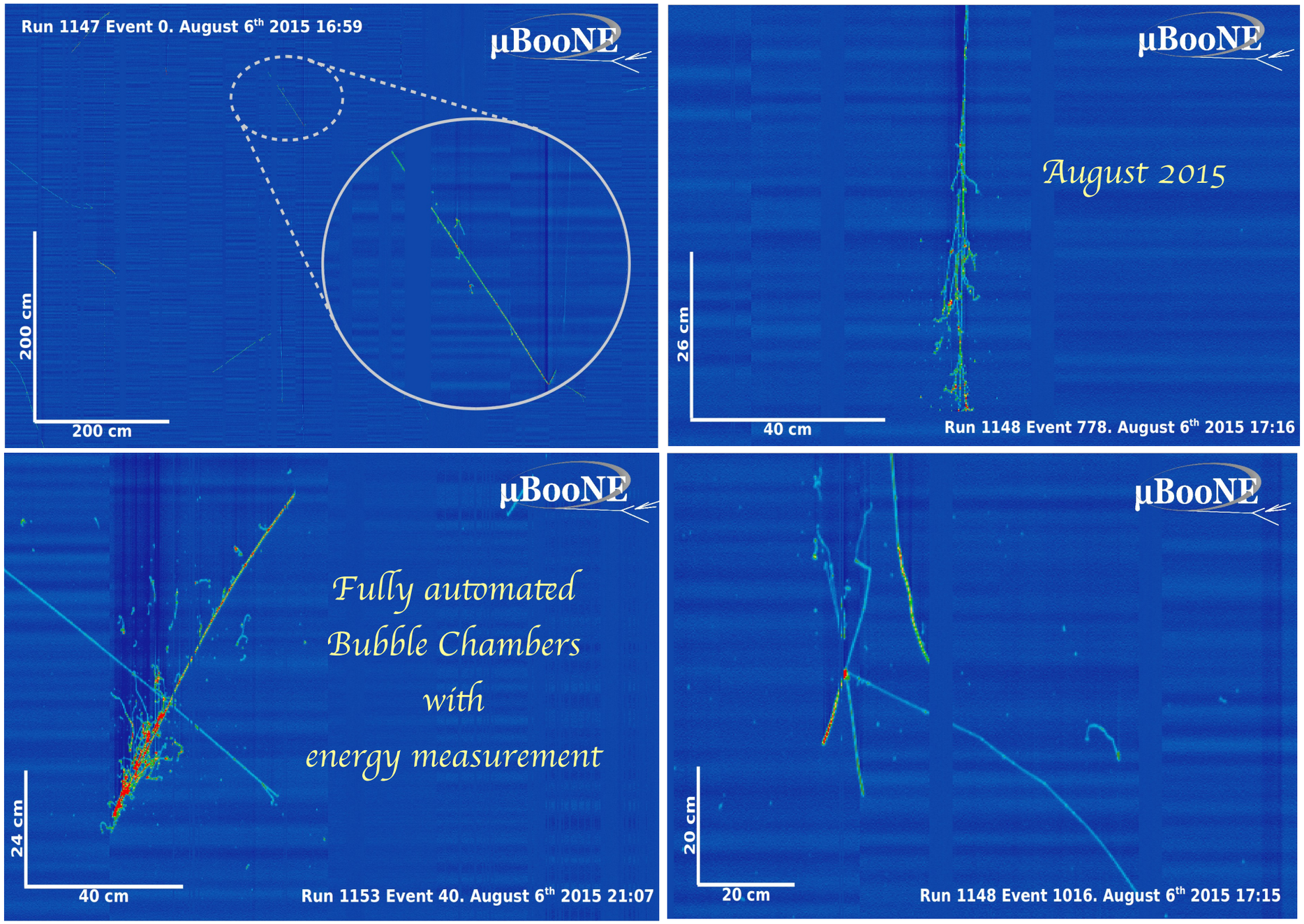


Experimento MicroBooNE

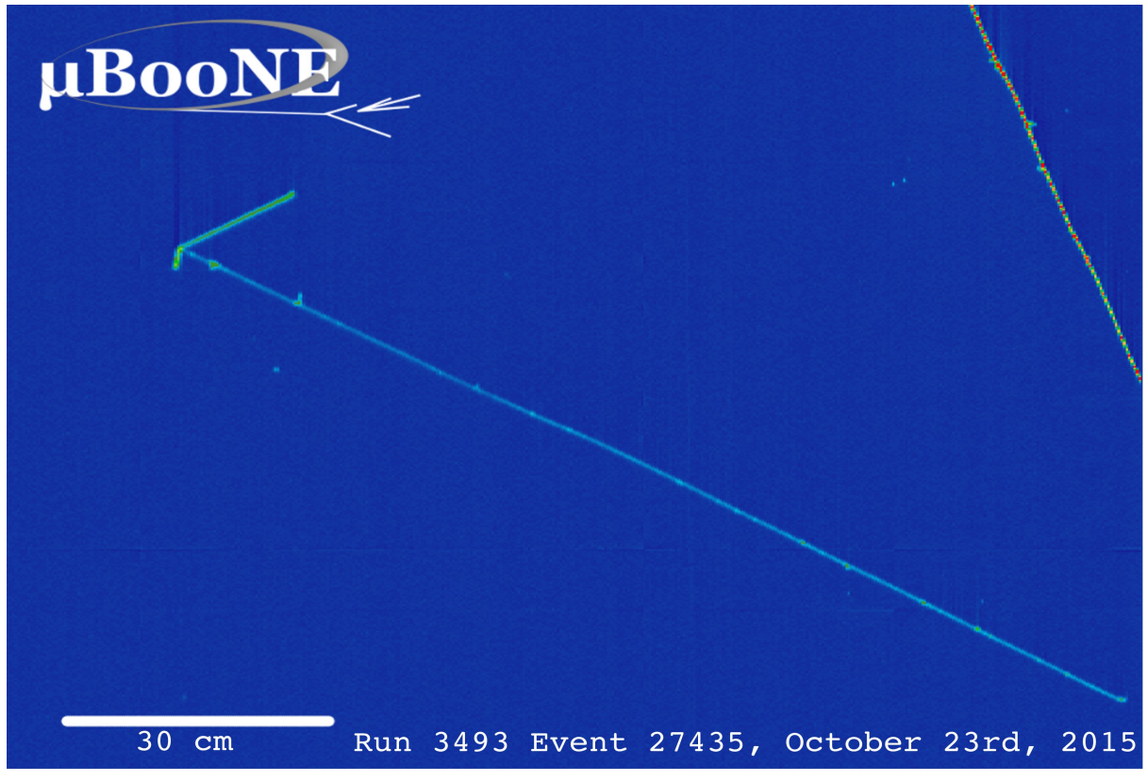
Hay sólo tres neutrinos? MicroBooNE busca neutrinos estériles!

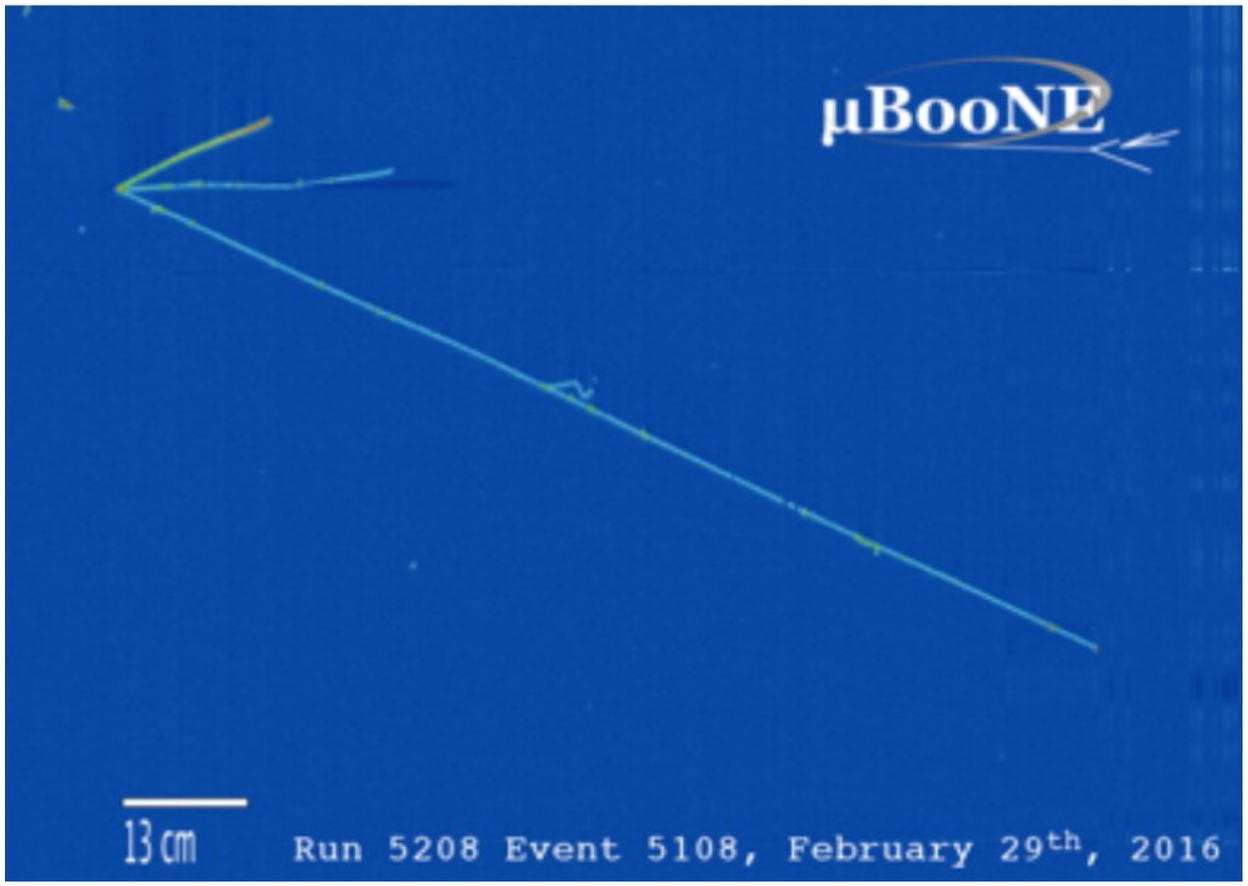
Ejemplos de MicroBooNE (Rayos Cósmicos)

El detector de MicroBooNE esta en la superficie y detecta muchos rayos cósmicos



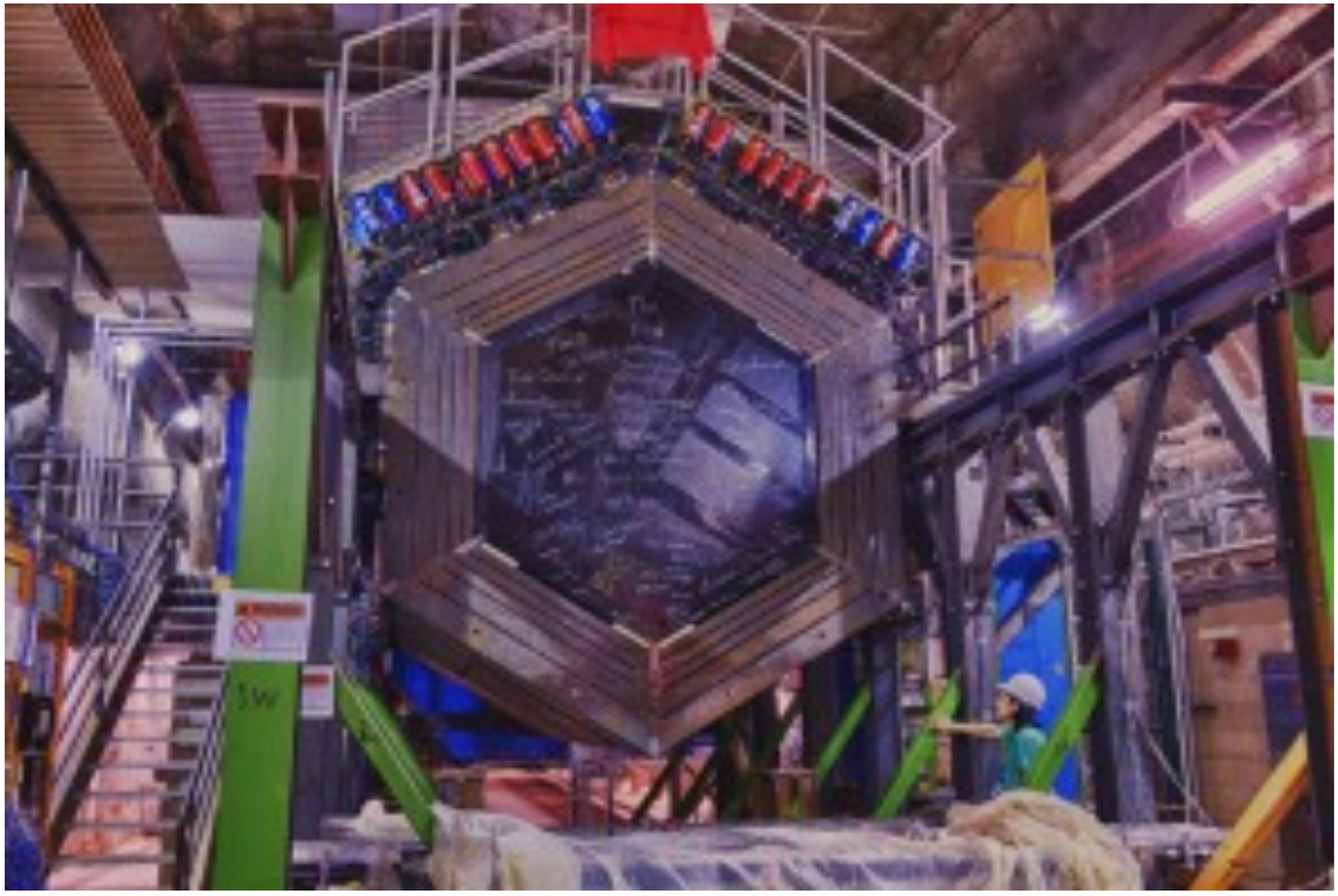
Ejemplos de MicroBooNE (Interaciones de Neutrinos)



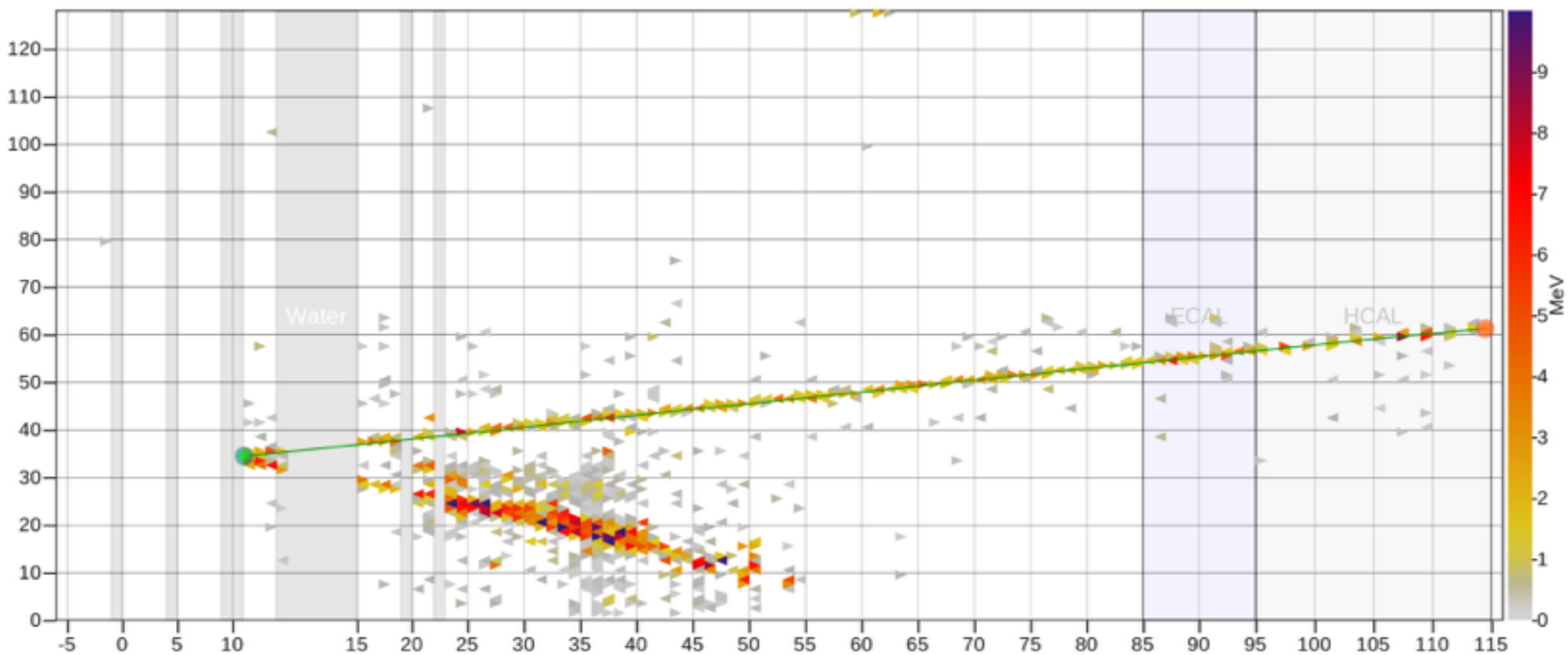


Experimento MINERvA

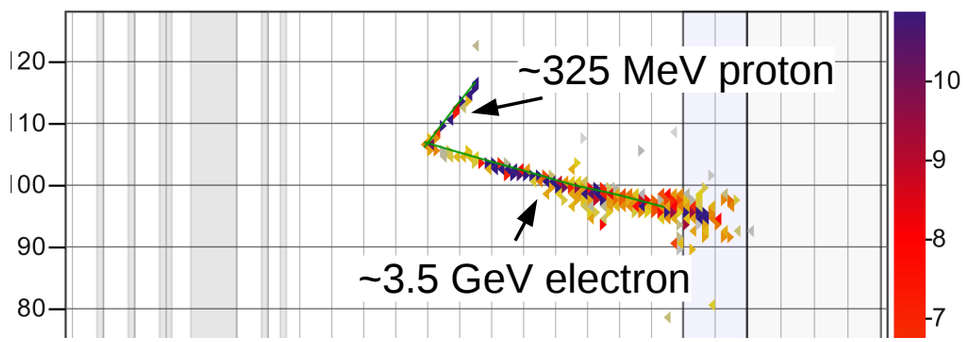
- Es un experimento diseñado para medir secciones eficaces y efectos nucleares
- MINERvA tiene varios blancos: hierro, plomo, carbono y agua

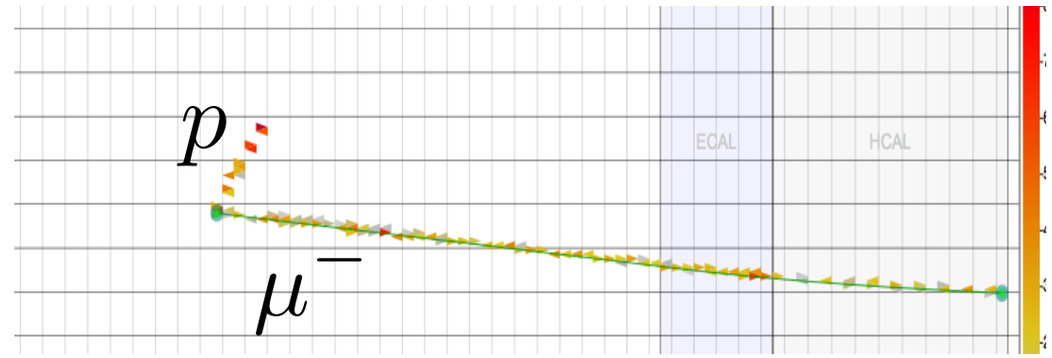


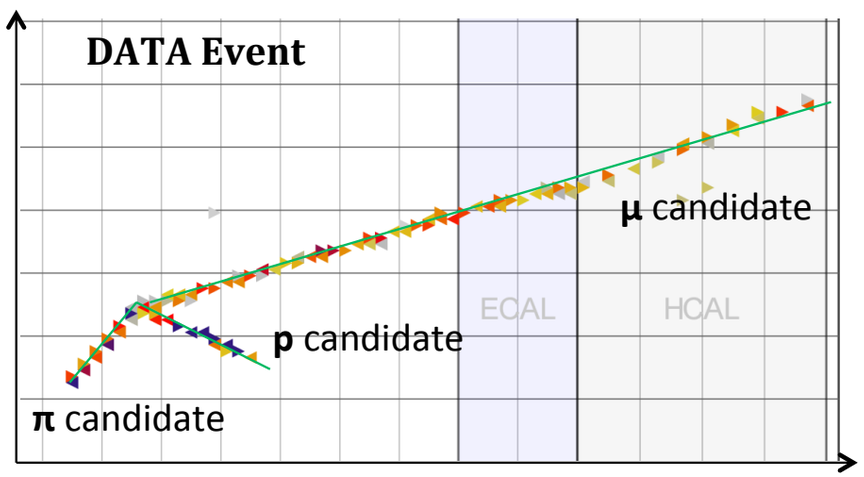
Ejemplo de MINERvA (Interacciones de Neutrinos)

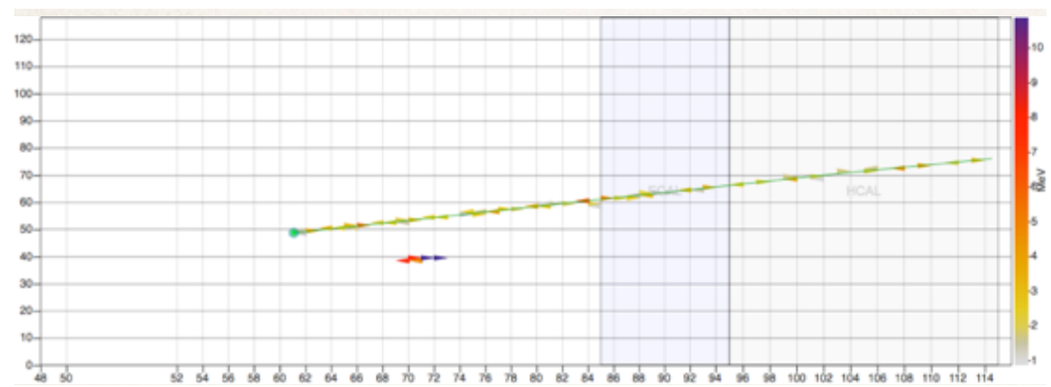


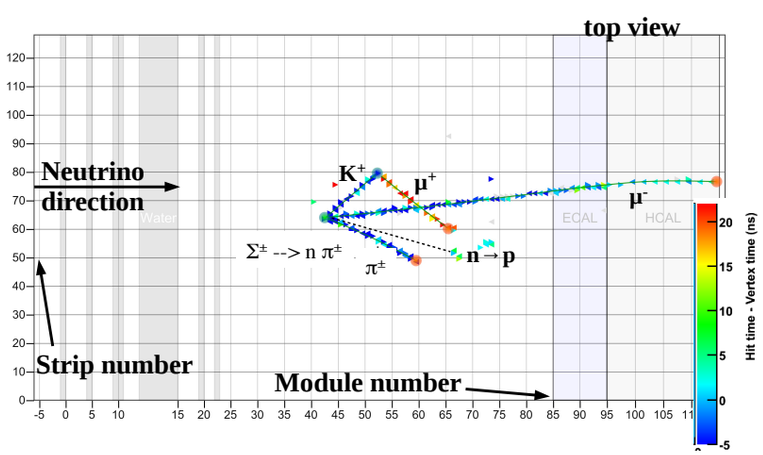
Ejemplo de MINERvA (Interacciones de Neutrinos)

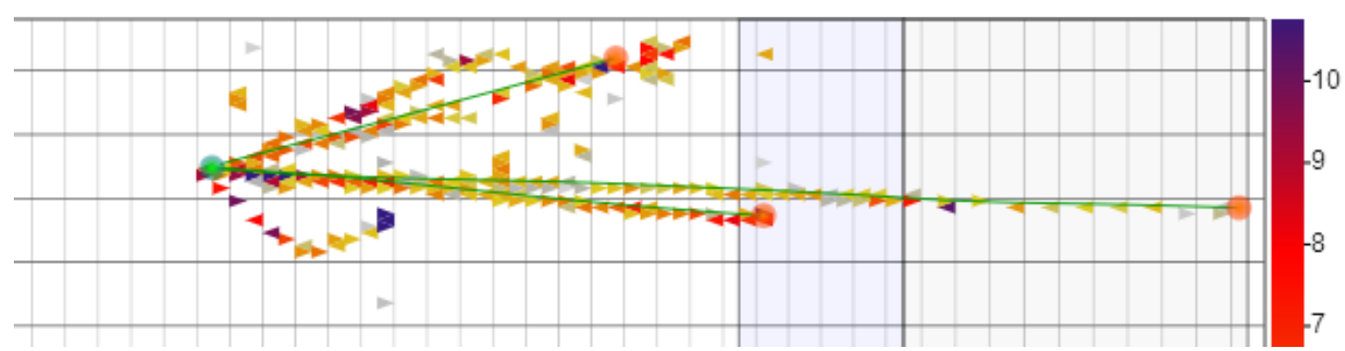






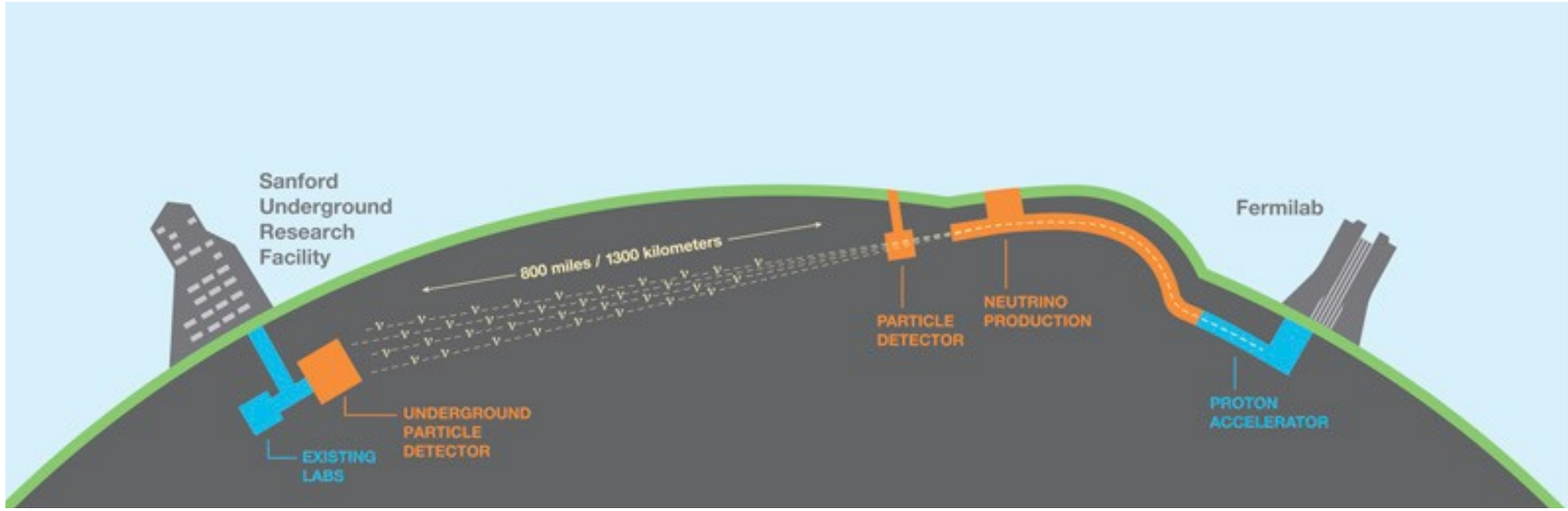




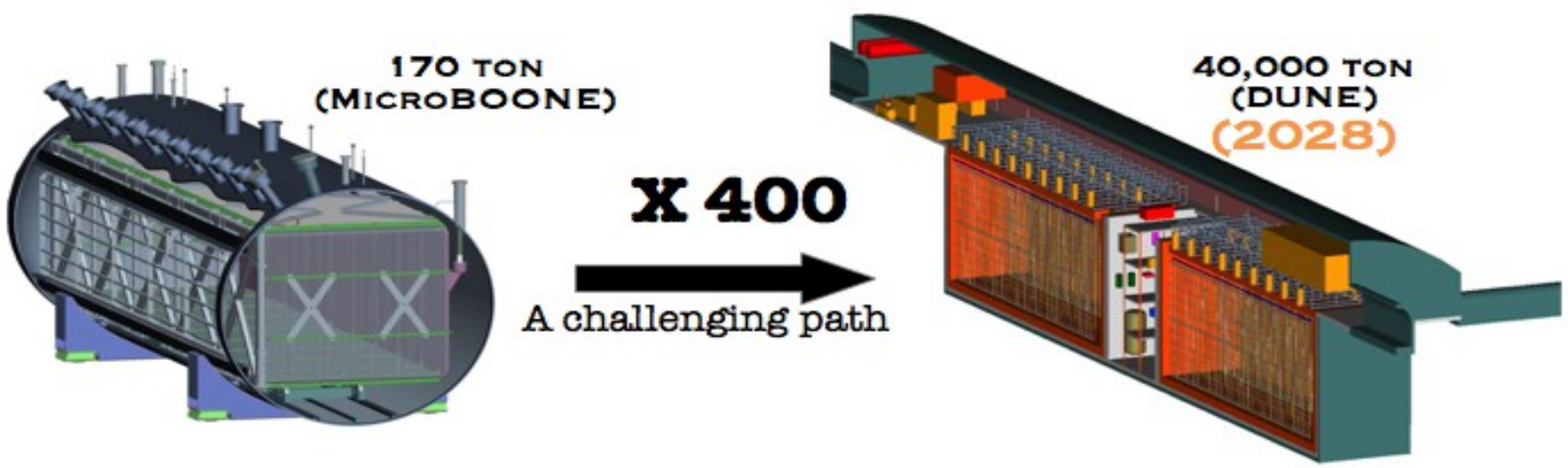


Experimento DUNE

- Para el futuro se va a construir un nuevo haz neutrinos ~2024



- Construcción de nuevos detectores

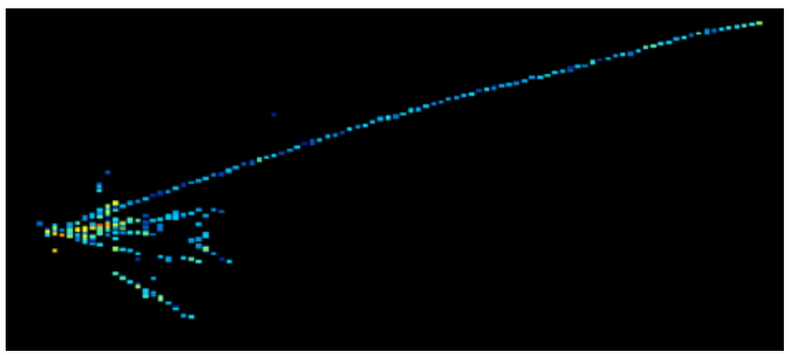


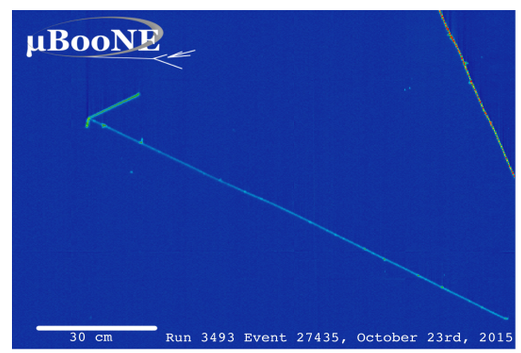
Resumen

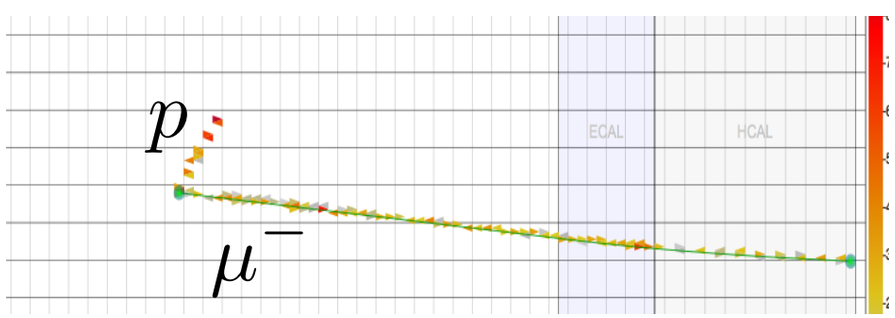
El haz de neutrino mas poderoso del mundo esta en el Fermilab

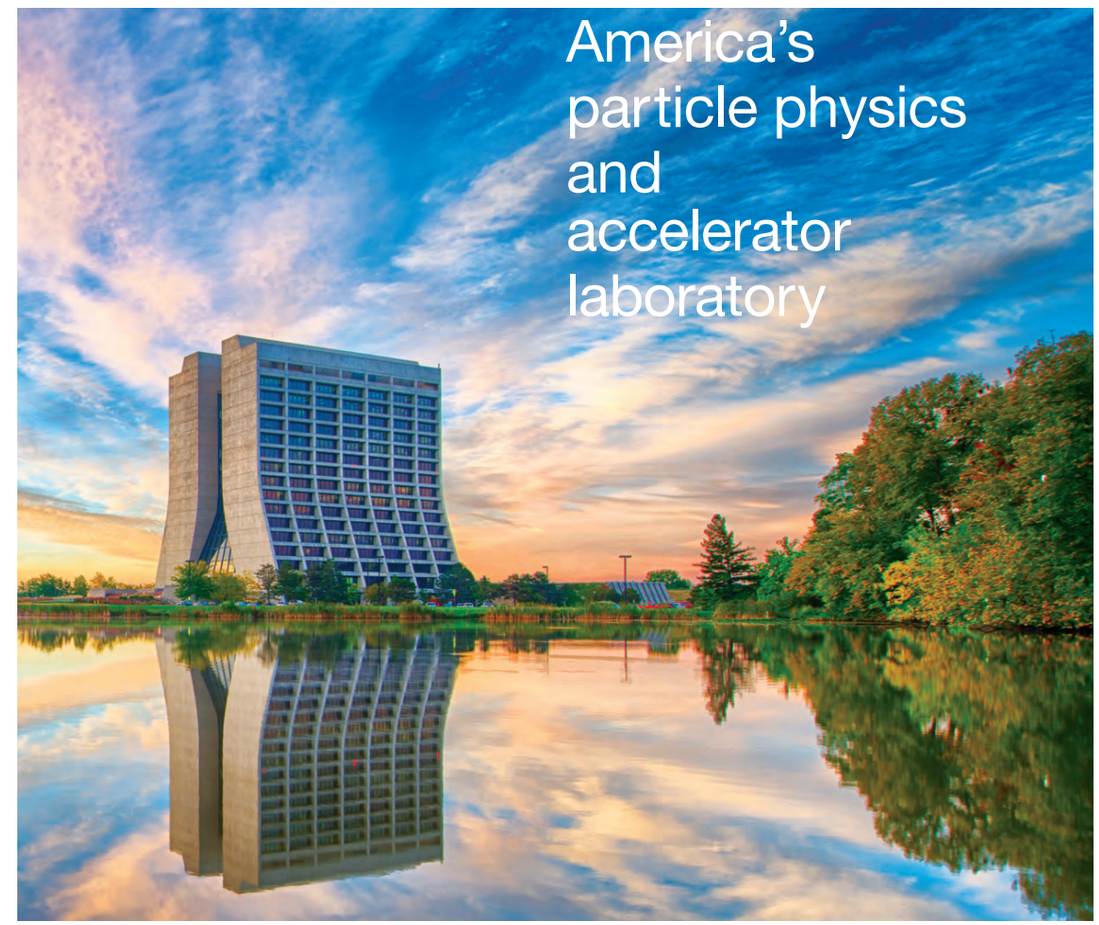
Si quieres estudiar neutrinos ven al Fermilab!

Neutrinos podrían ayudarnos a entender el origen del universo









Gracias por venir!

Preguntas?