

Las misteriosas propiedades de los neutrinos

Enrique Fernández Martínez



vProbes



Gracias a Belén Gavela por sus sugerencias

¿De qué estamos hechos?

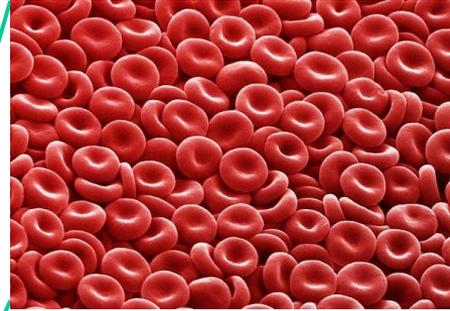


Paula

¿De qué estamos hechos?

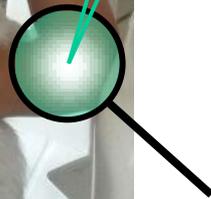


Paula



Células

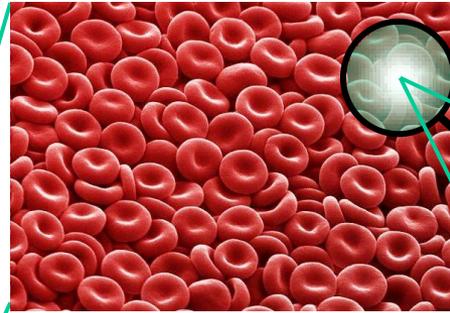
x 100000



¿De qué estamos hechos?



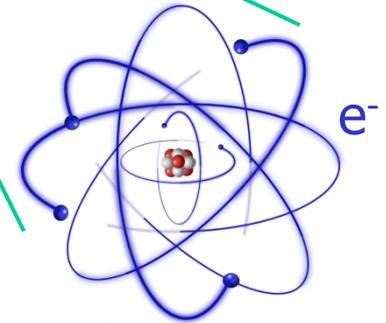
Paula



Células

x 100000

x 100000

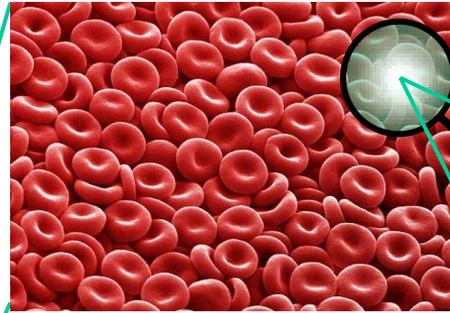


Átomos

¿De qué estamos hechos?



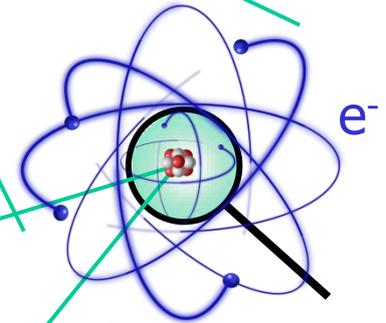
Paula



Células

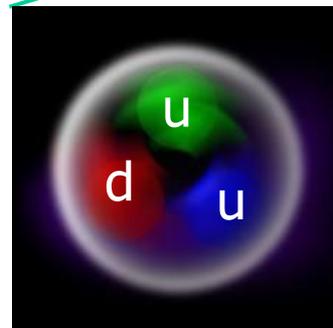
x 100000

x 100000



Átomos

x 100000

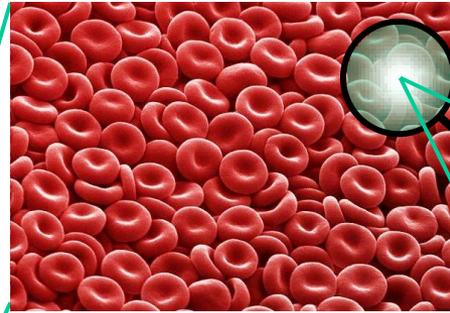


Protón

¿De qué estamos hechos?



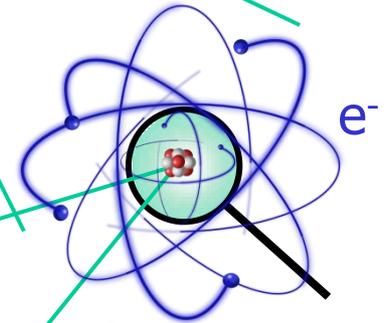
Paula



Células

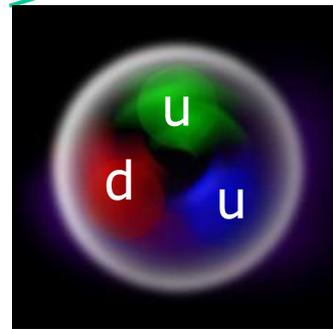
x 100000

x 100000



Átomos

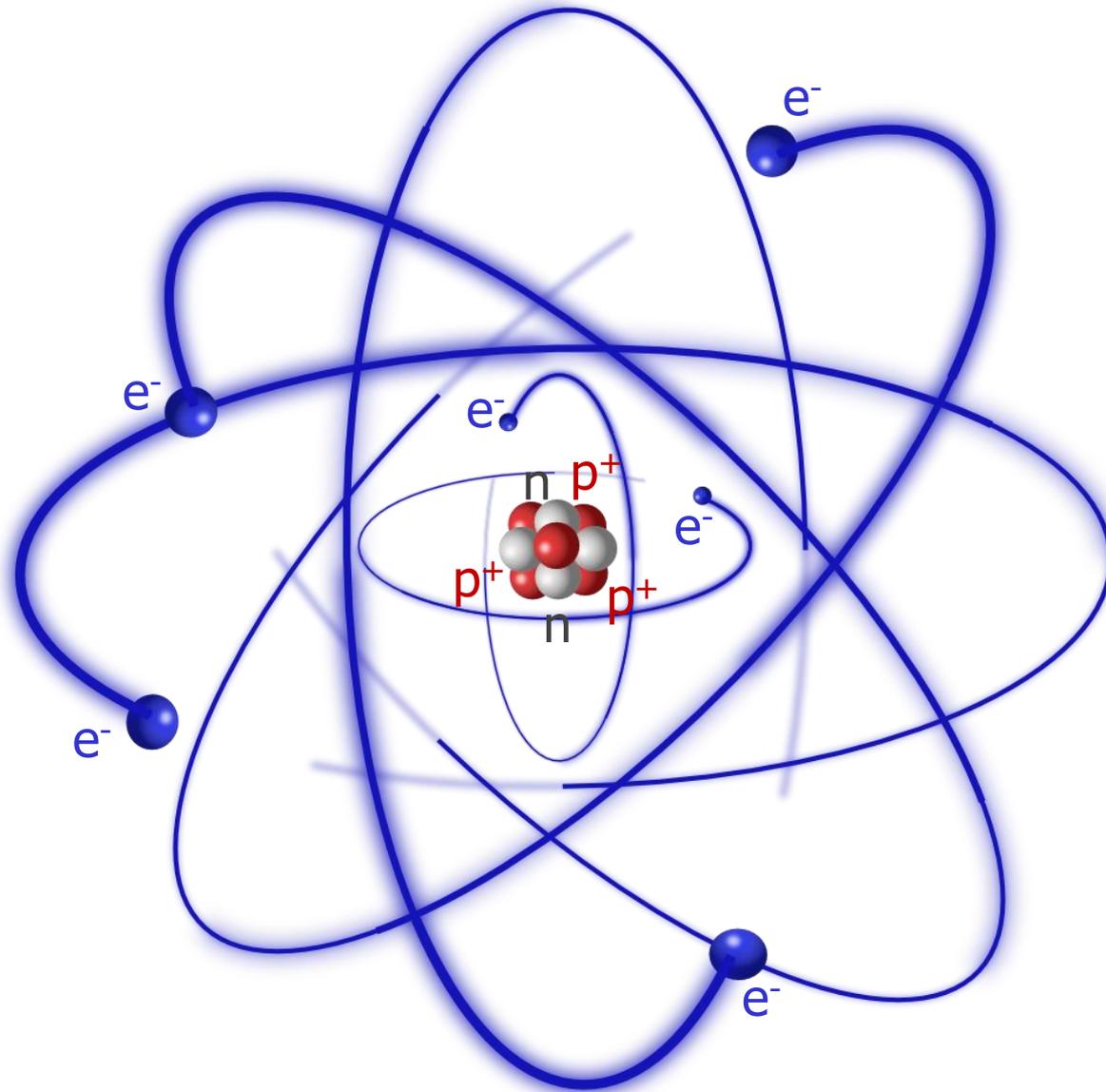
x 100000



Protón

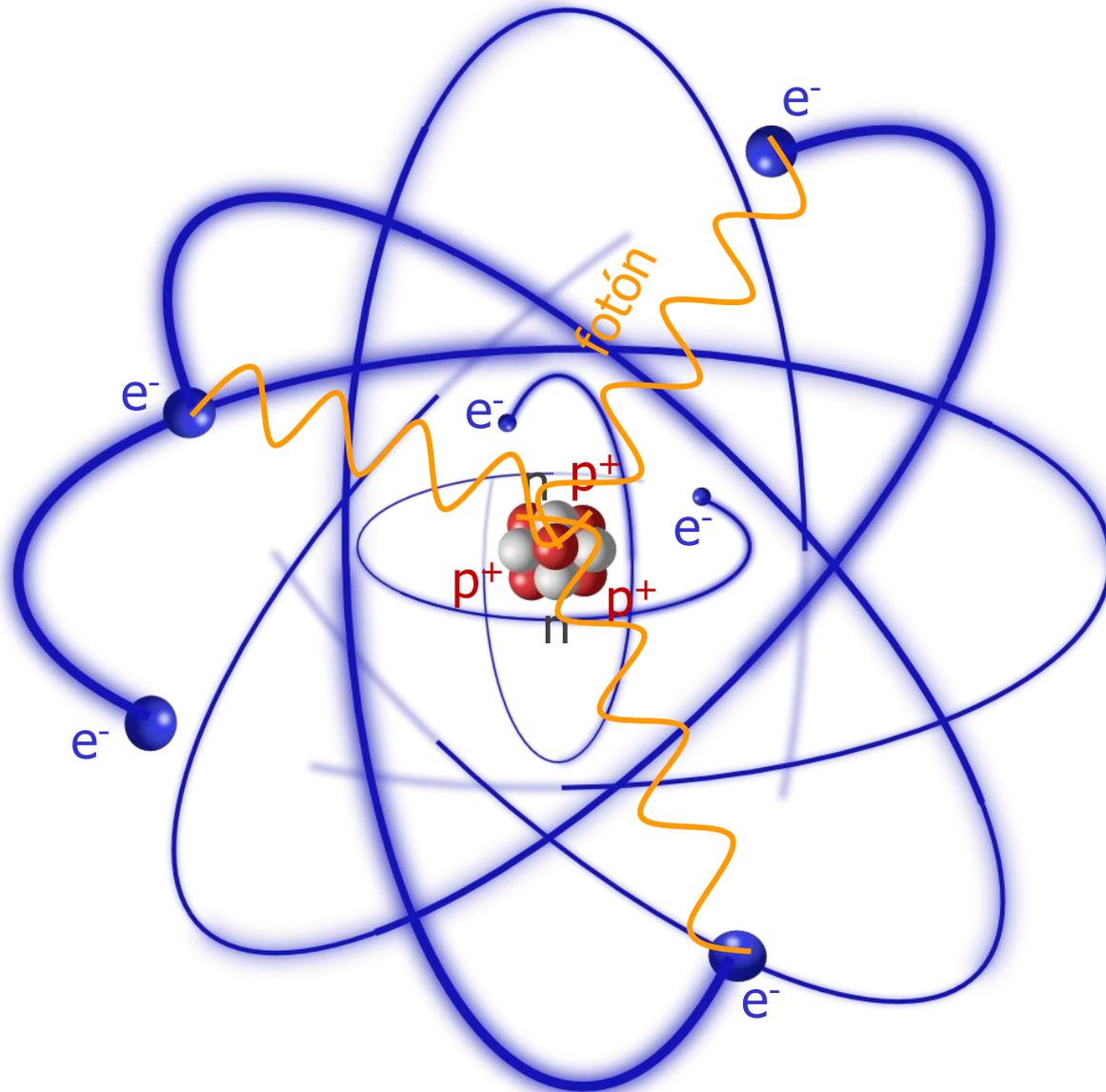
Con los *quarks* **u** y **d**
y *electrones* **e⁻** se
construye todo!

¿Qué mantiene unidos los átomos?



Los **electrones** e^- se mantienen orbitando porque los **protones** p^+ en el núcleo les atraen

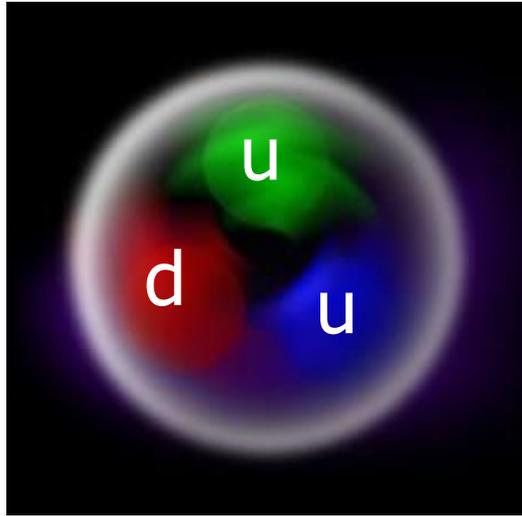
¿Qué mantiene unidos los átomos?



Los **electrones** e^- se mantienen orbitando porque los **protones** p^+ en el núcleo les atraen

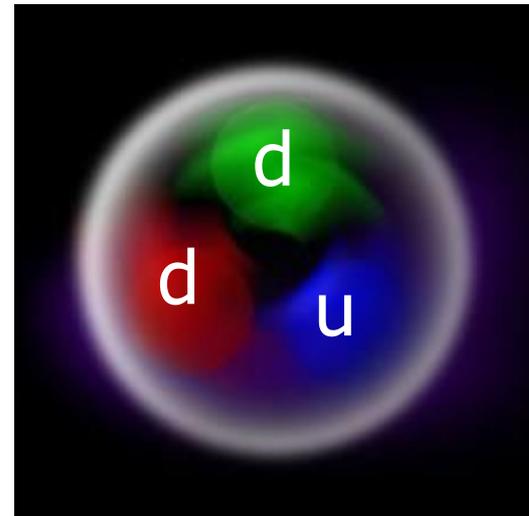
La atracción **eléctrica** entre **electrones** e^- y **protones** p^+ se transmite intercambiando **fotones**, las mismas partículas que forman la luz

¿Qué mantiene unidos los núcleos?



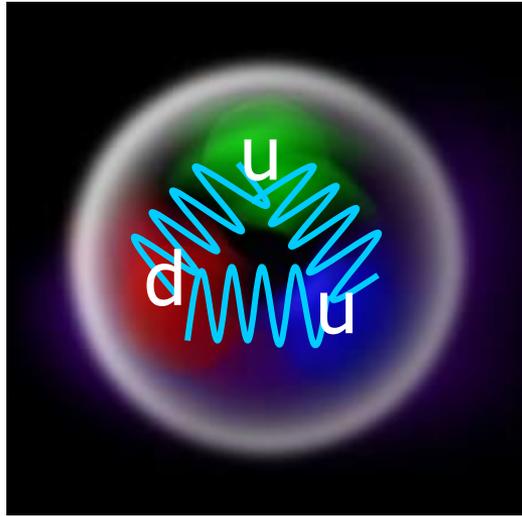
protón

Los **protones** p^+ y los neutrones n están formados por 3 *quarks* u y d



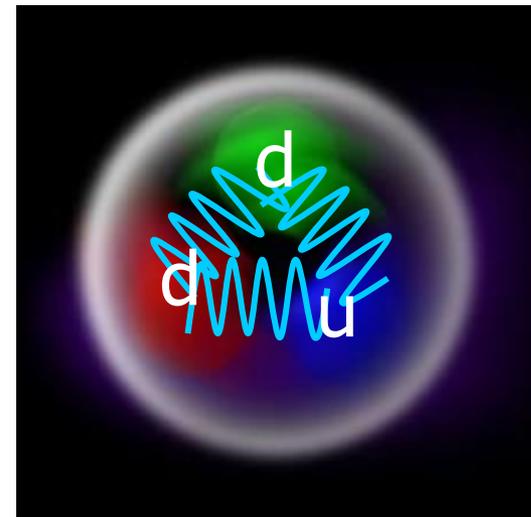
neutrón

¿Qué mantiene unidos los núcleos?



protón

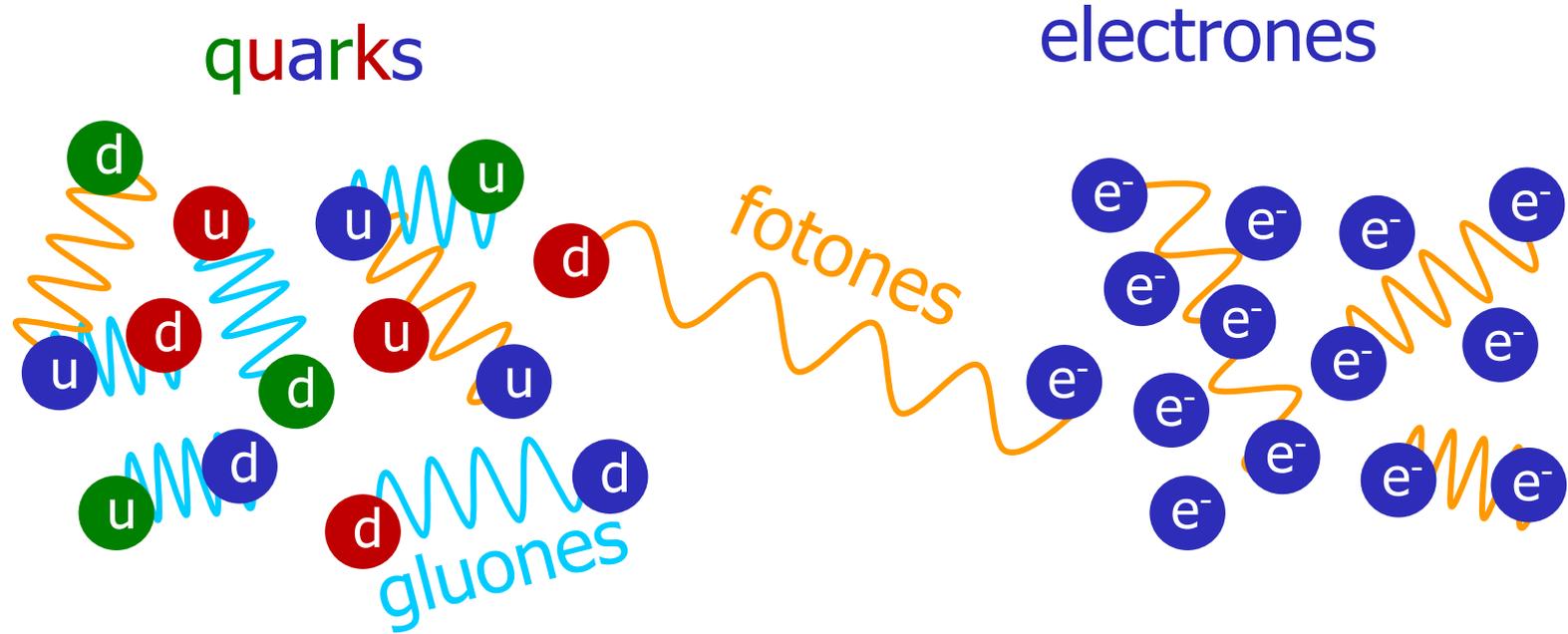
Los **protones** p^+ y los neutrones n están formados por 3 *quarks* u y d



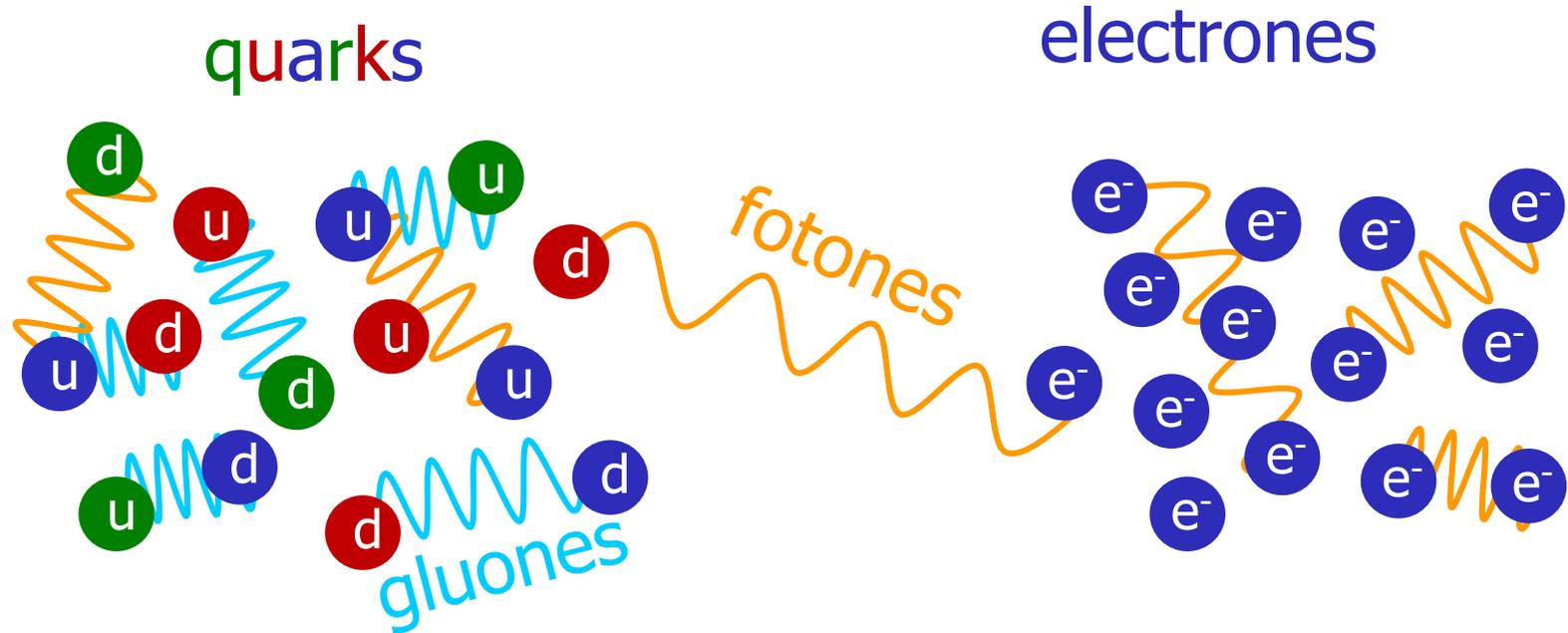
neutrón

La **fuerte** atracción entre *quarks* se transmite intercambiando **gluones**, que también mantienen unidos en el núcleo a los **protones** p^+ y los neutrones n

El zoo de partículas

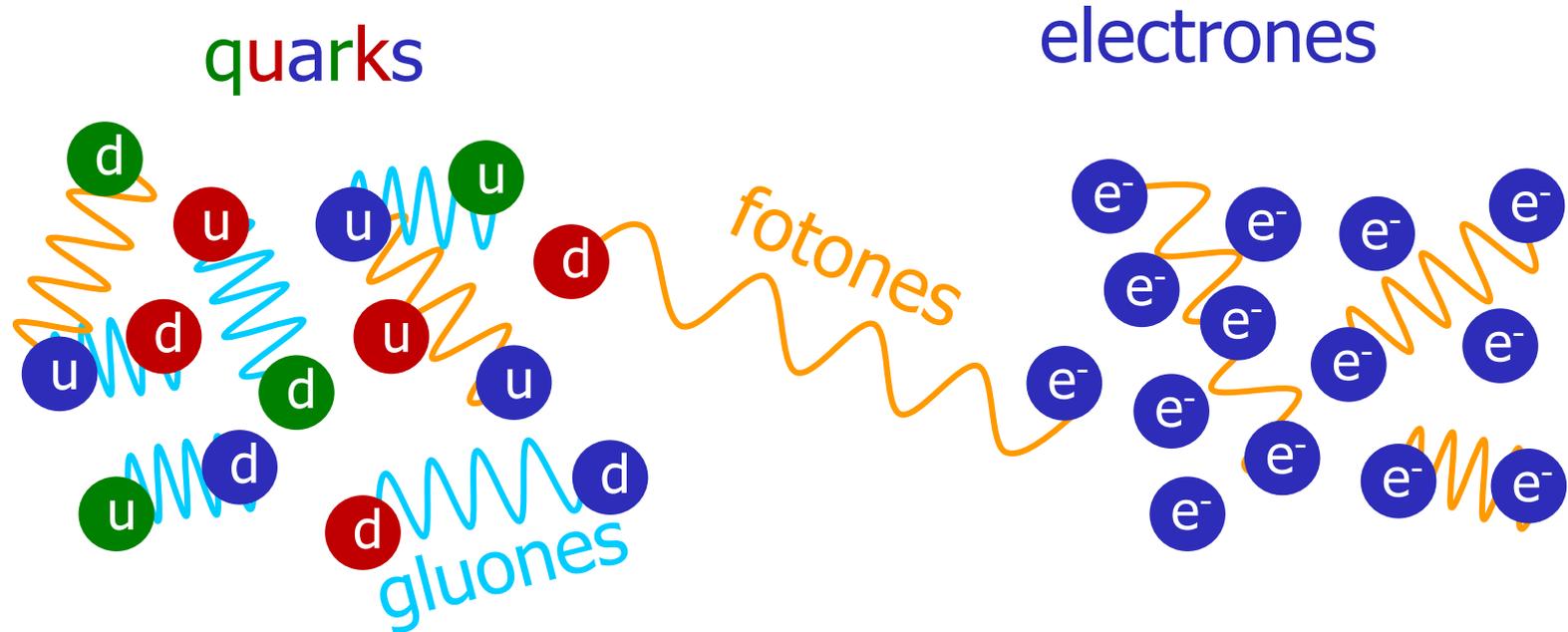


El zoo de partículas



¿No hay nada más?

El zoo de partículas



¿No hay nada más?

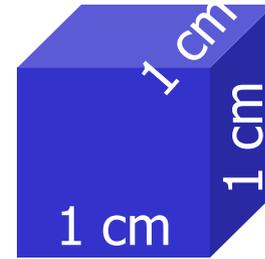
Por cada electrón e^- y *quark* en el Universo hay

10 000 000 000 neutrinos ν !!!

Para entender el Universo hay que entender los **neutrinos ν**

El Universo está lleno de ν !!!

En cada cm^3 del Universo hay unos 300 ν reliquias del Big Bang

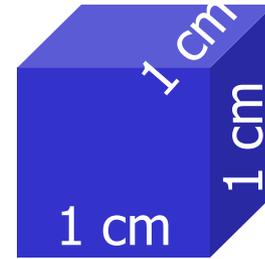


Nuestros cuerpos producen cientos de millones de ν al día!

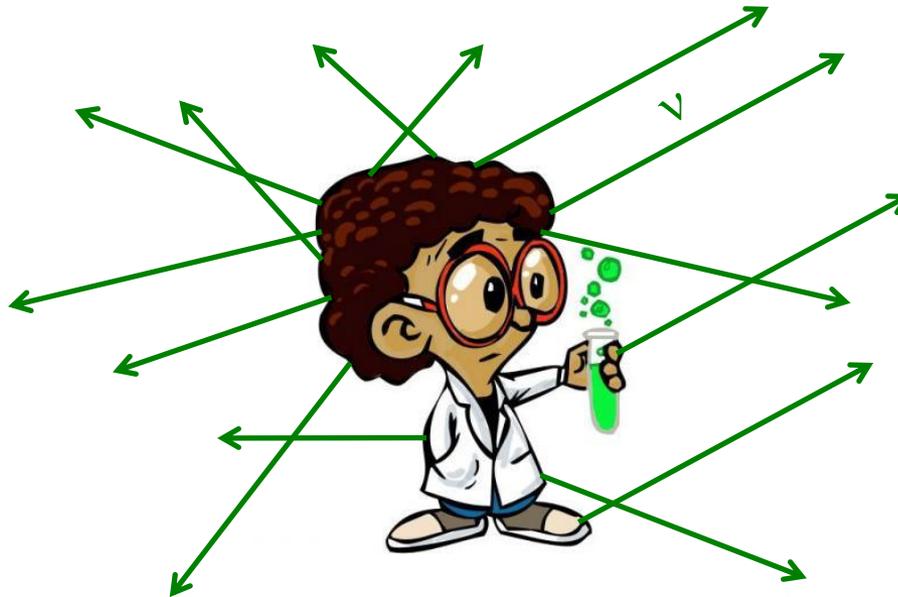


El Universo está lleno de ν !!!

En cada cm^3 del Universo hay unos 300 ν reliquias del Big Bang



Nuestros cuerpos producen cientos de millones de ν al día!



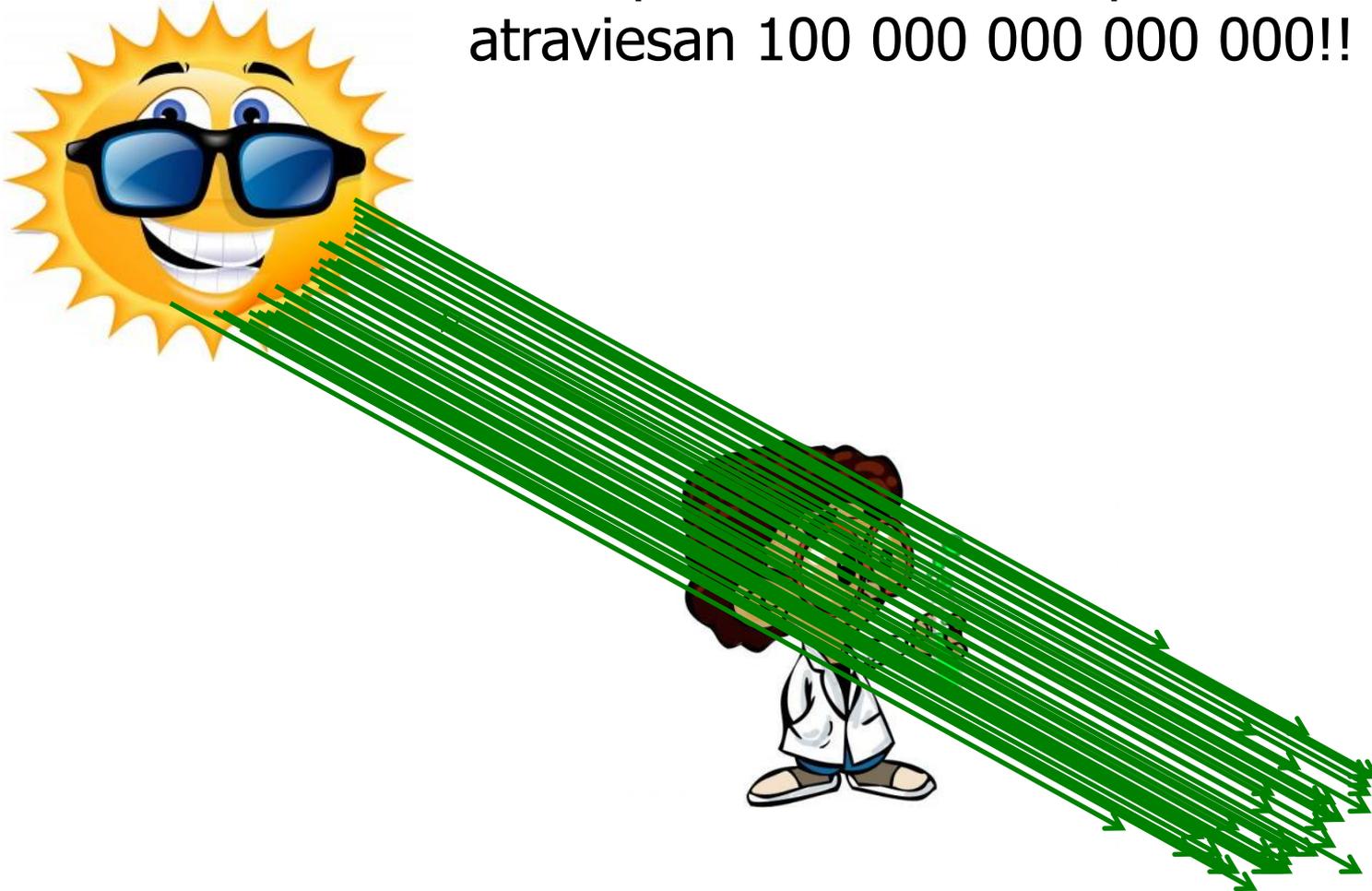
El Universo está lleno de ν !!!

El Sol produce tantos ν que cada segundo nos atraviesan 100 000 000 000 000!!



El Universo está lleno de ν !!!

El Sol produce tantos ν que cada segundo nos atraviesan 100 000 000 000 000!!



Los neutrinos, partículas fantasmas

Si hay tantos neutrinos

¿por qué no los vemos??

¿por qué no los sentimos???

Los neutrinos, partículas fantasmas

Si hay tantos neutrinos

¿por qué no los vemos??

¿por qué no los sentimos???

Los neutrinos son como fantasmas! De todos los que nos llegan del Sol sólo 1 de cada 100 000 000 000 000 000 000 interactúa con nuestro cuerpo y son tan ligeros que no lo sentimos

Los neutrinos, partículas fantasmas

Si hay tantos neutrinos

¿por qué no los vemos??

¿por qué no los sentimos???

Los neutrinos son como fantasmas! De todos los que nos llegan del Sol sólo 1 de cada 100 000 000 000 000 000 000 interactúa con nuestro cuerpo y son tan ligeros que no lo sentimos

A parte de los neutrinos, los electrones son las partículas con menos masa y los neutrinos son más de un millón de veces mas ligeros

Los neutrinos, partículas fantasmas

Si hay tantos neutrinos

¿por qué no los vemos??

¿por qué no los sentimos???

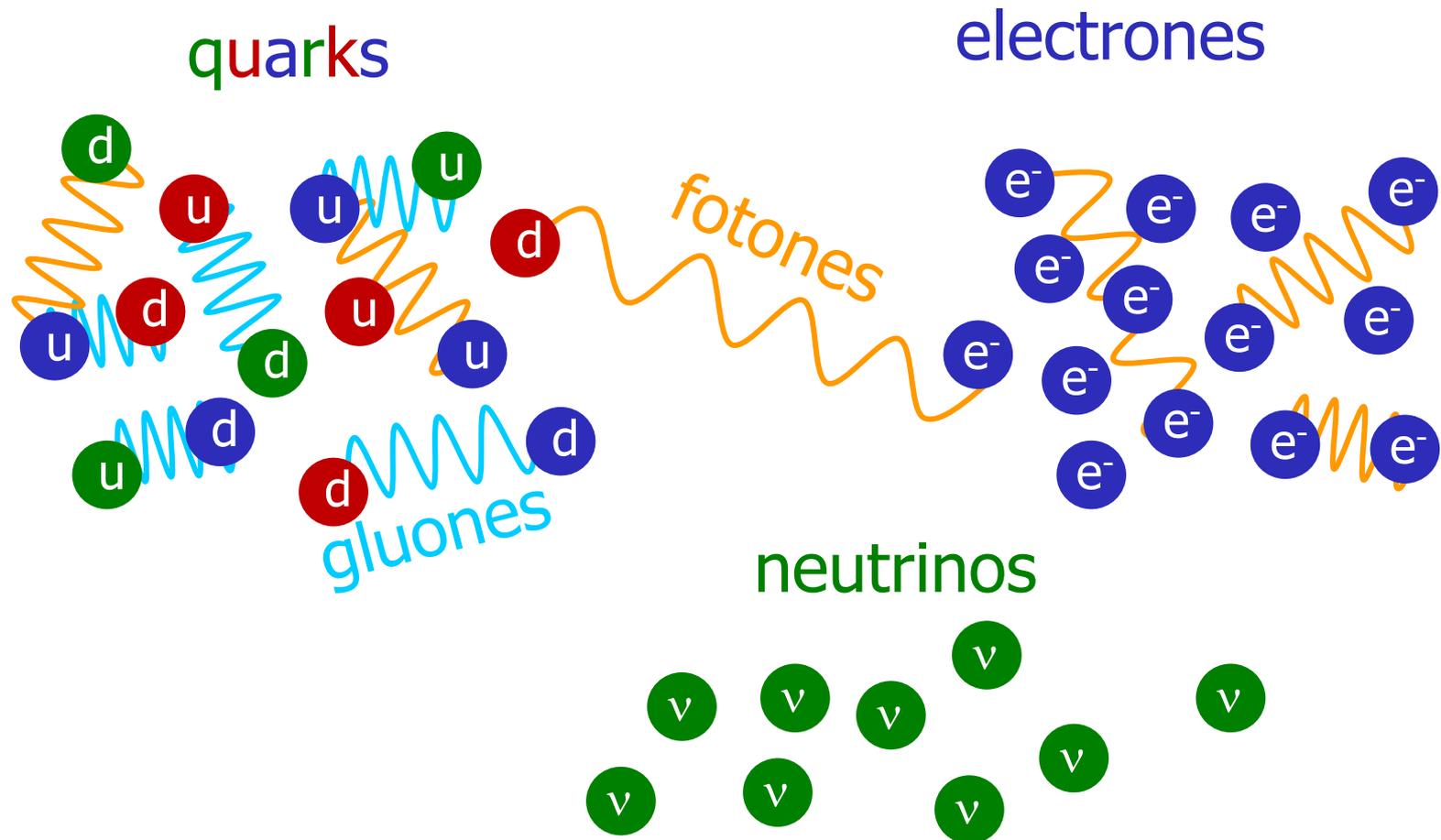


Los neutrinos son como fantasmas! De todos los que nos llegan del Sol sólo 1 de cada 100 000 000 000 000 000 000 interactúa con nuestro cuerpo y son tan ligeros que no lo sentimos

A parte de los neutrinos, los electrones son las partículas con menos masa y los neutrinos son más de un millón de veces mas ligeros

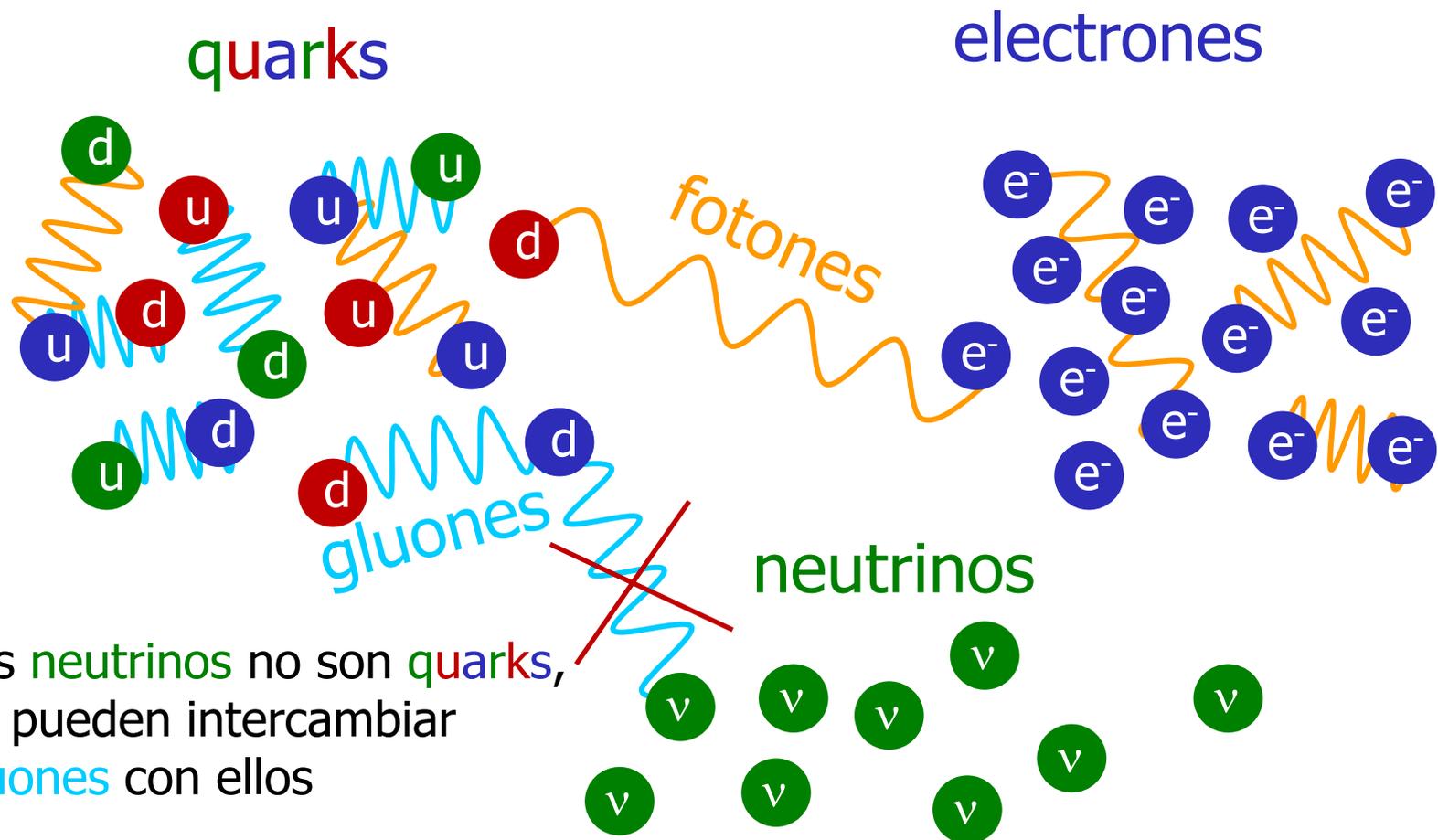
Los neutrinos, partículas fantasmas

¿Por qué es tan **débil** la interacción de los **neutrinos** con la materia?



Los neutrinos, partículas fantasmas

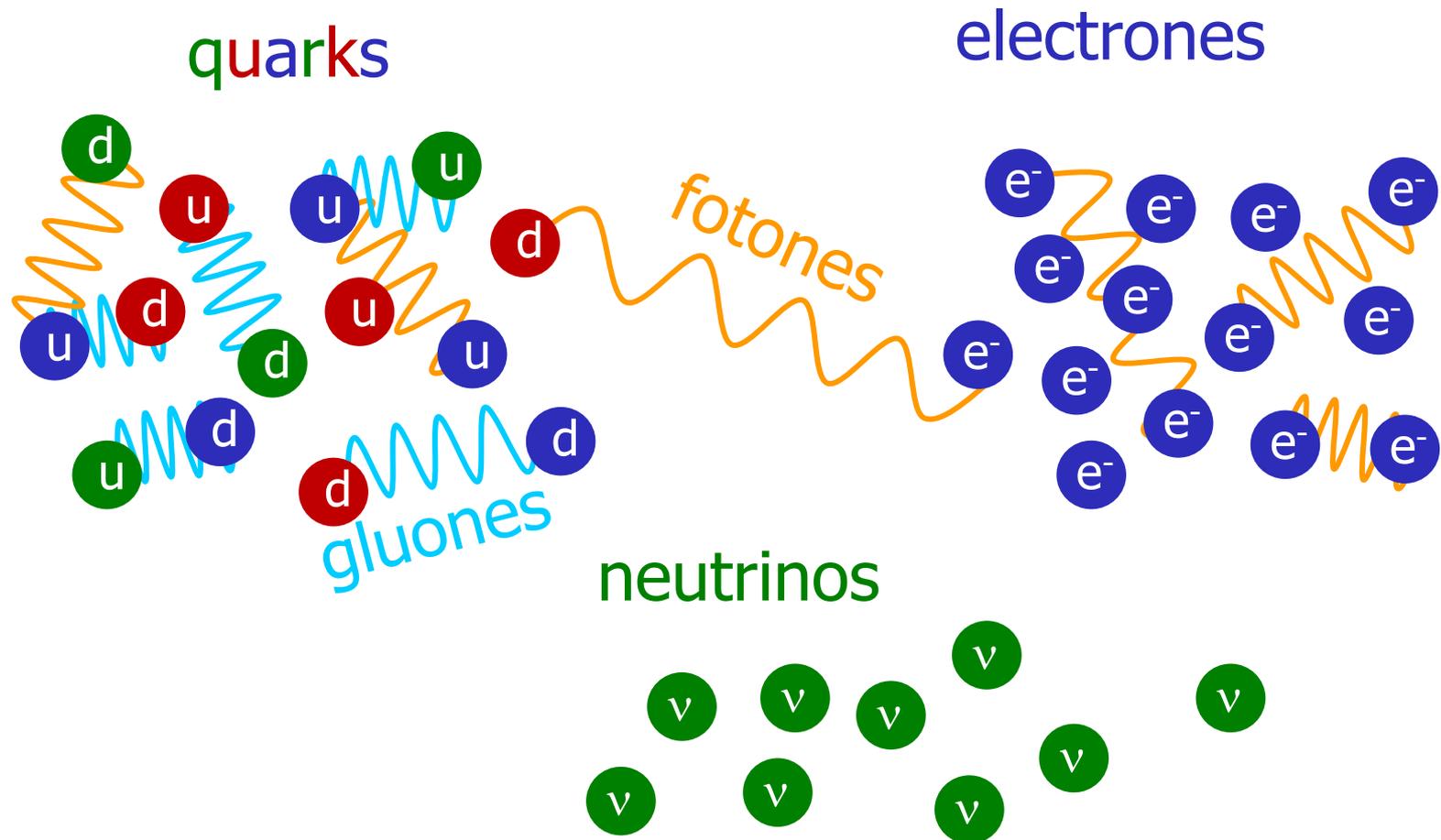
¿Por qué es tan **débil** la interacción de los **neutrinos** con la materia?



Los **neutrinos** no son **quarks**,
no pueden intercambiar
gluones con ellos

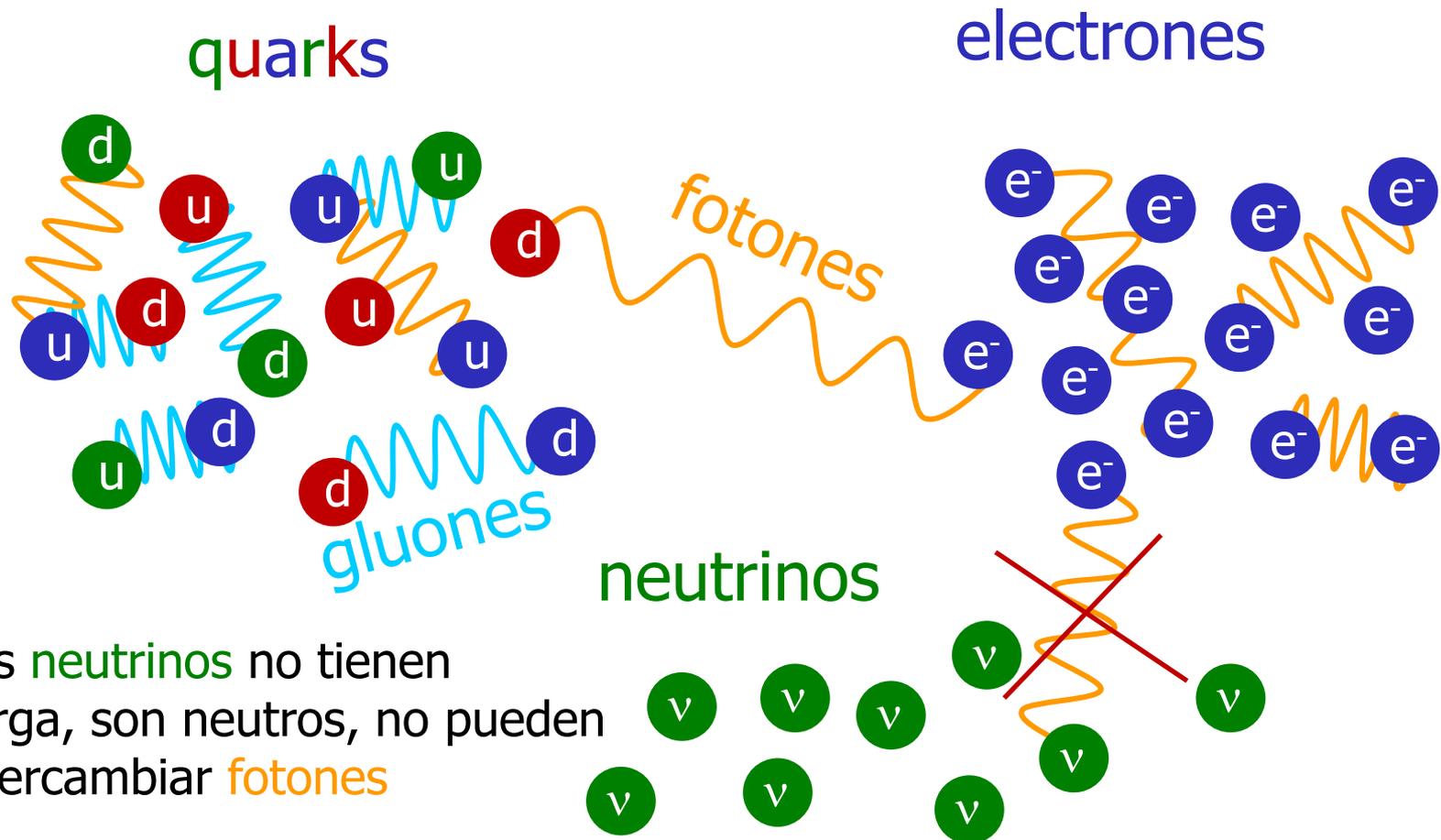
Los neutrinos, partículas fantasmas

¿Por qué es tan **débil** la interacción de los **neutrinos** con la materia?



Los neutrinos, partículas fantasmas

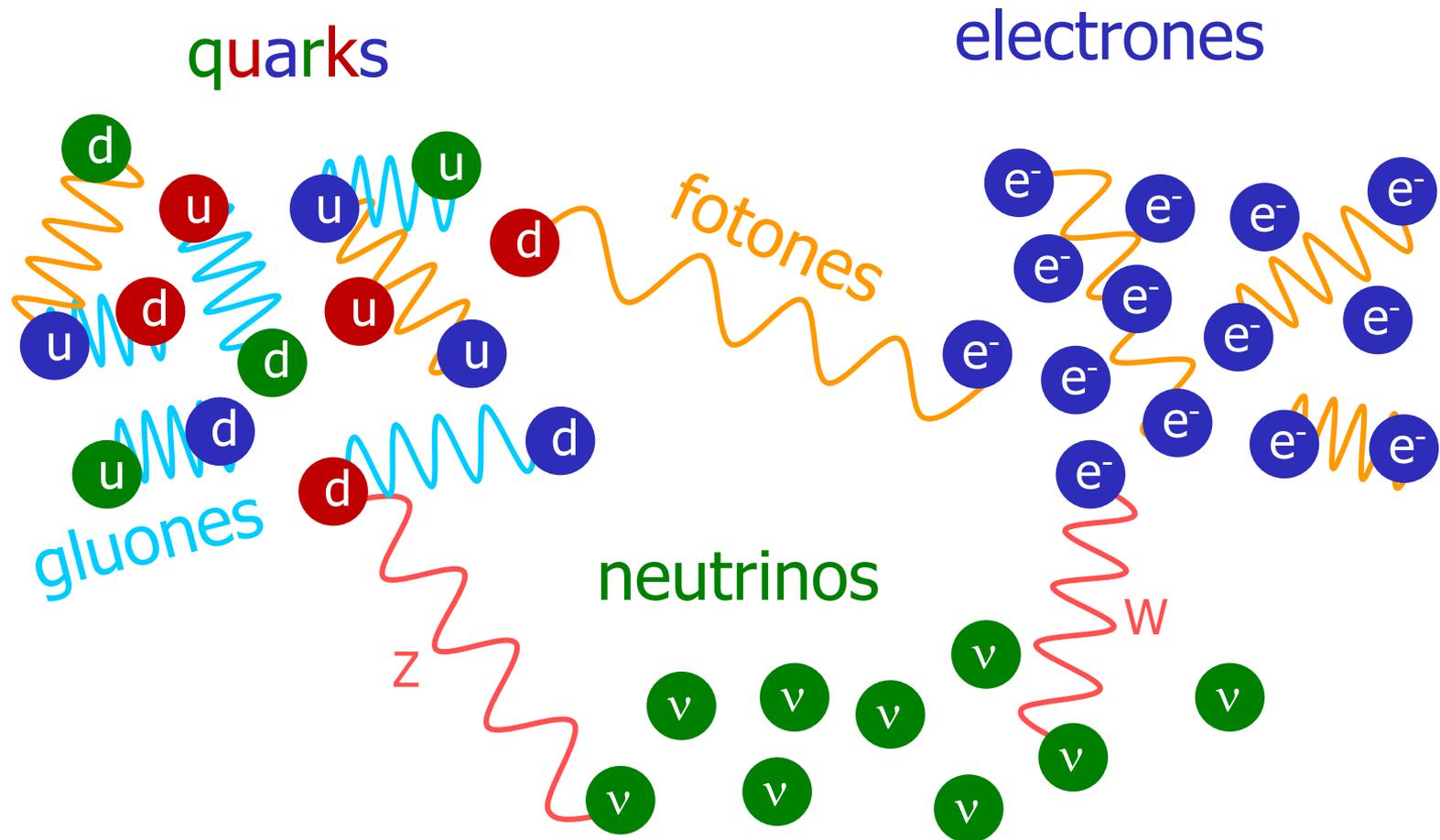
¿Por qué es tan **débil** la interacción de los **neutrinos** con la materia?



Los **neutrinos** no tienen carga, son neutros, no pueden intercambiar **fotones**

Los neutrinos, partículas fantasmas

Los neutrinos solo interactúan muy muy débilmente mediante partículas llamadas W y Z



La interacción débil

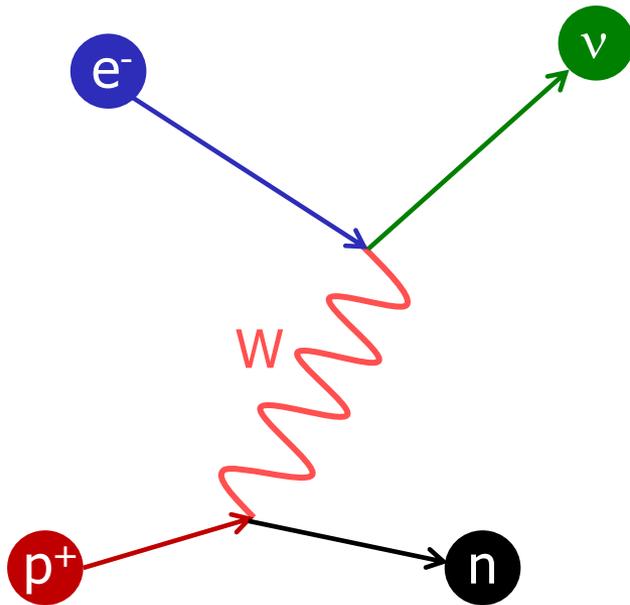
A pesar de ser tan débil, la interacción de los W es muy importante porque puede transformar unas partículas en otras

e^-

p^+

La interacción débil

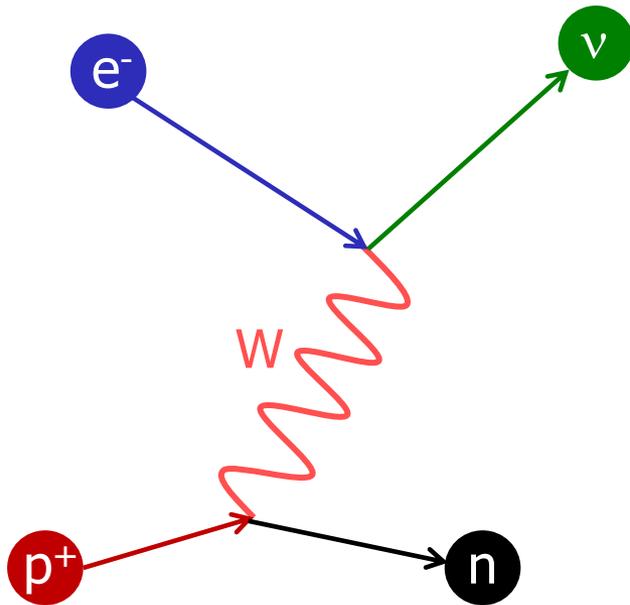
A pesar de ser tan **débil**, la interacción de los **W** es muy importante porque puede transformar unas partículas en otras



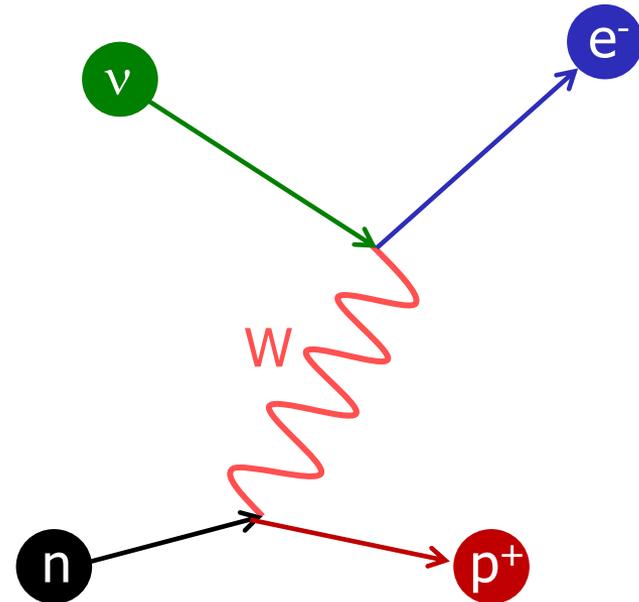
Un **protón** se convierte en un neutrón y un **electrón** en un **neutrino**

La interacción débil

A pesar de ser tan **débil**, la interacción de los **W** es muy importante porque puede transformar unas partículas en otras

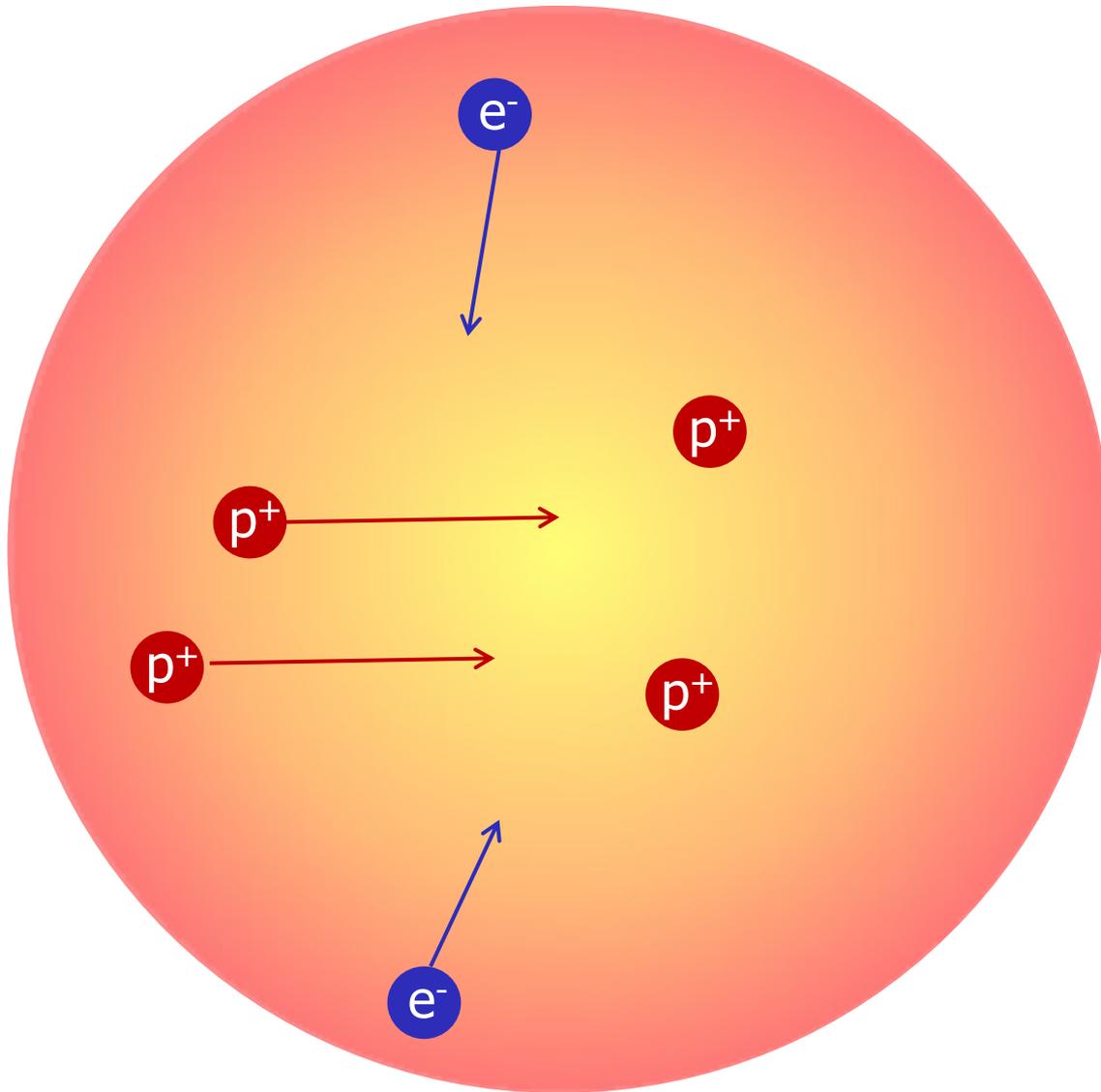


Un **protón** se convierte en un neutrón y un **electrón** en un **neutrino**



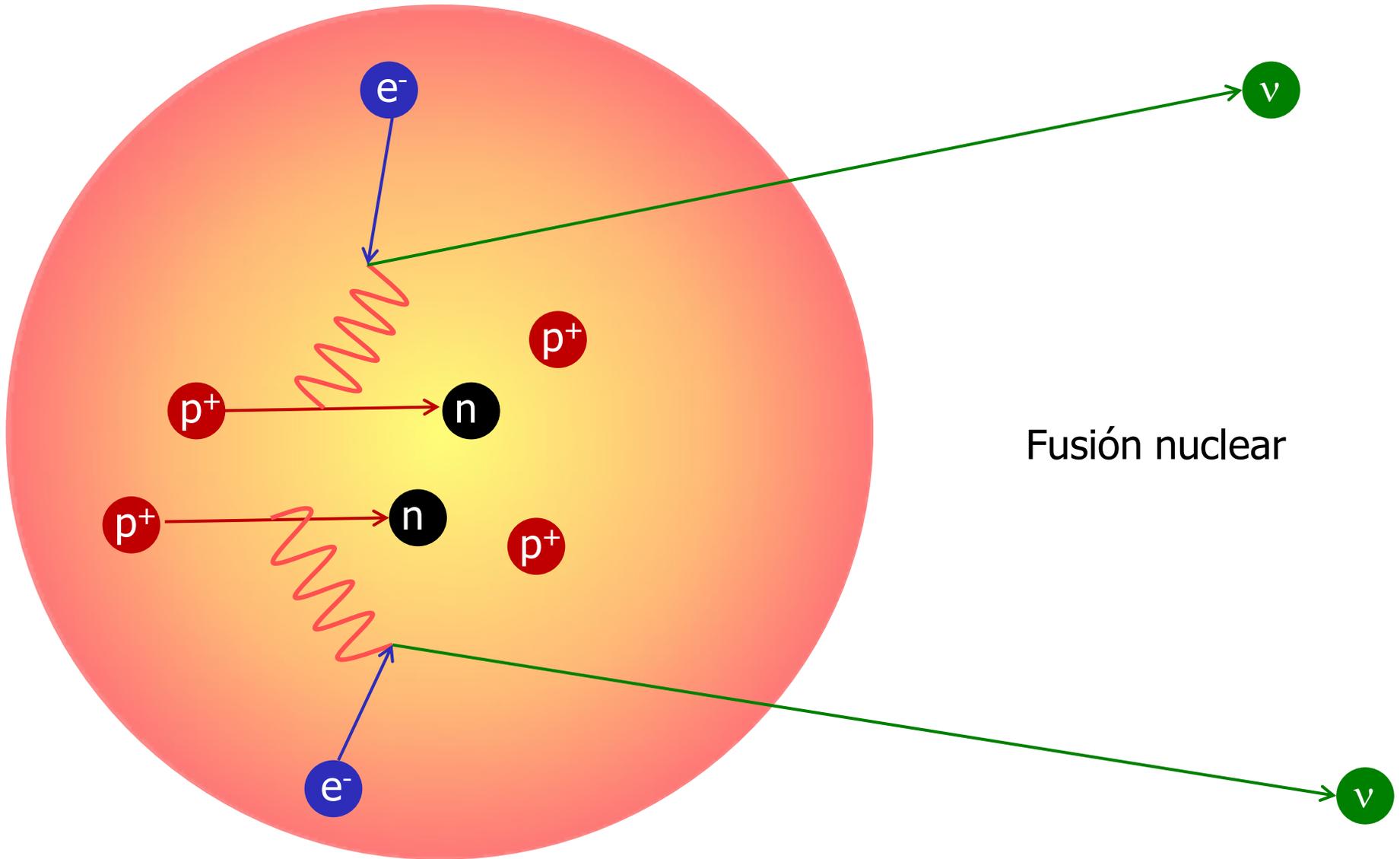
Un **neutrino** se convierte en un **electrón** y un neutrón en un **protón**

Así es como brillan el Sol y las estrellas

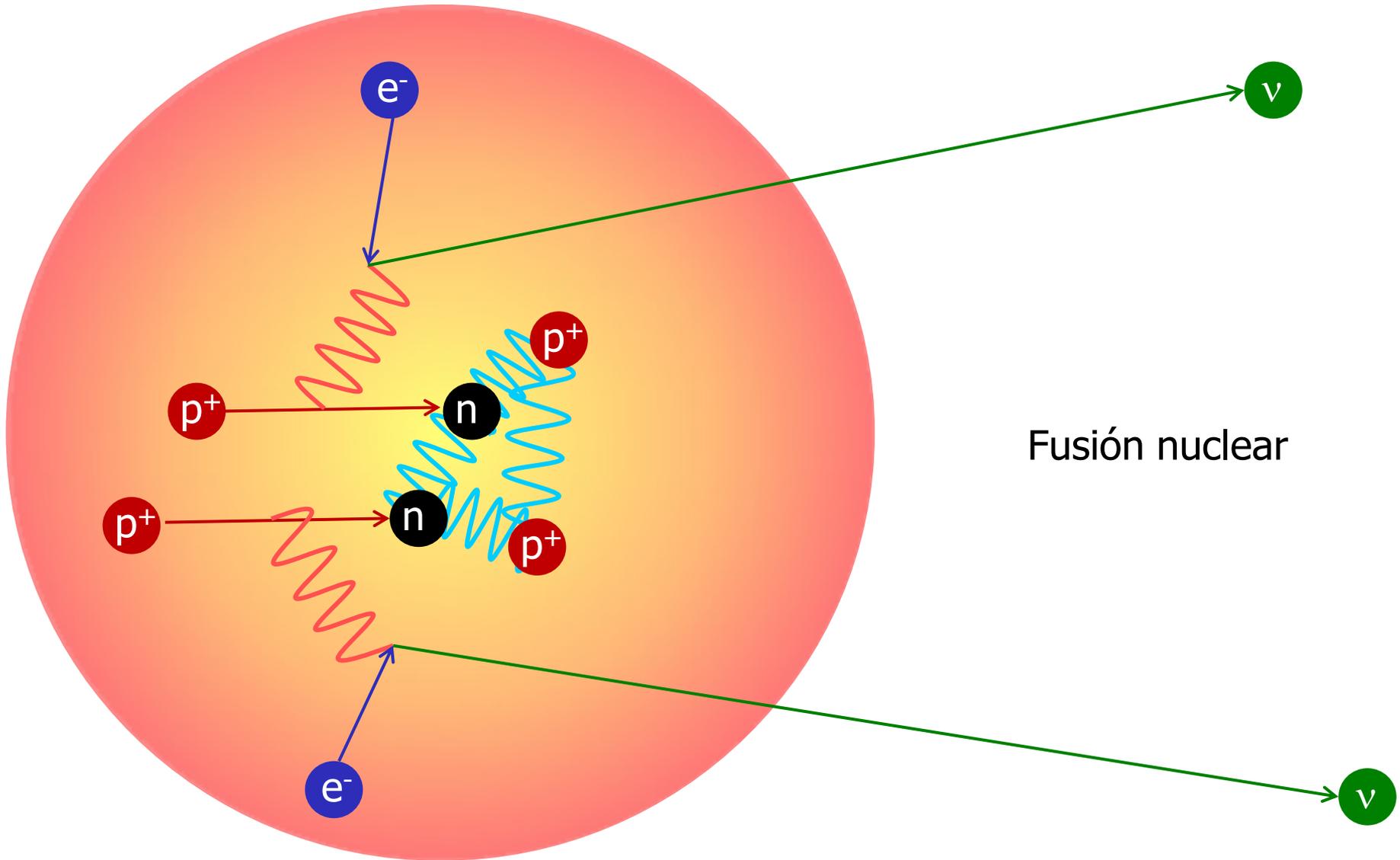


Fusión nuclear

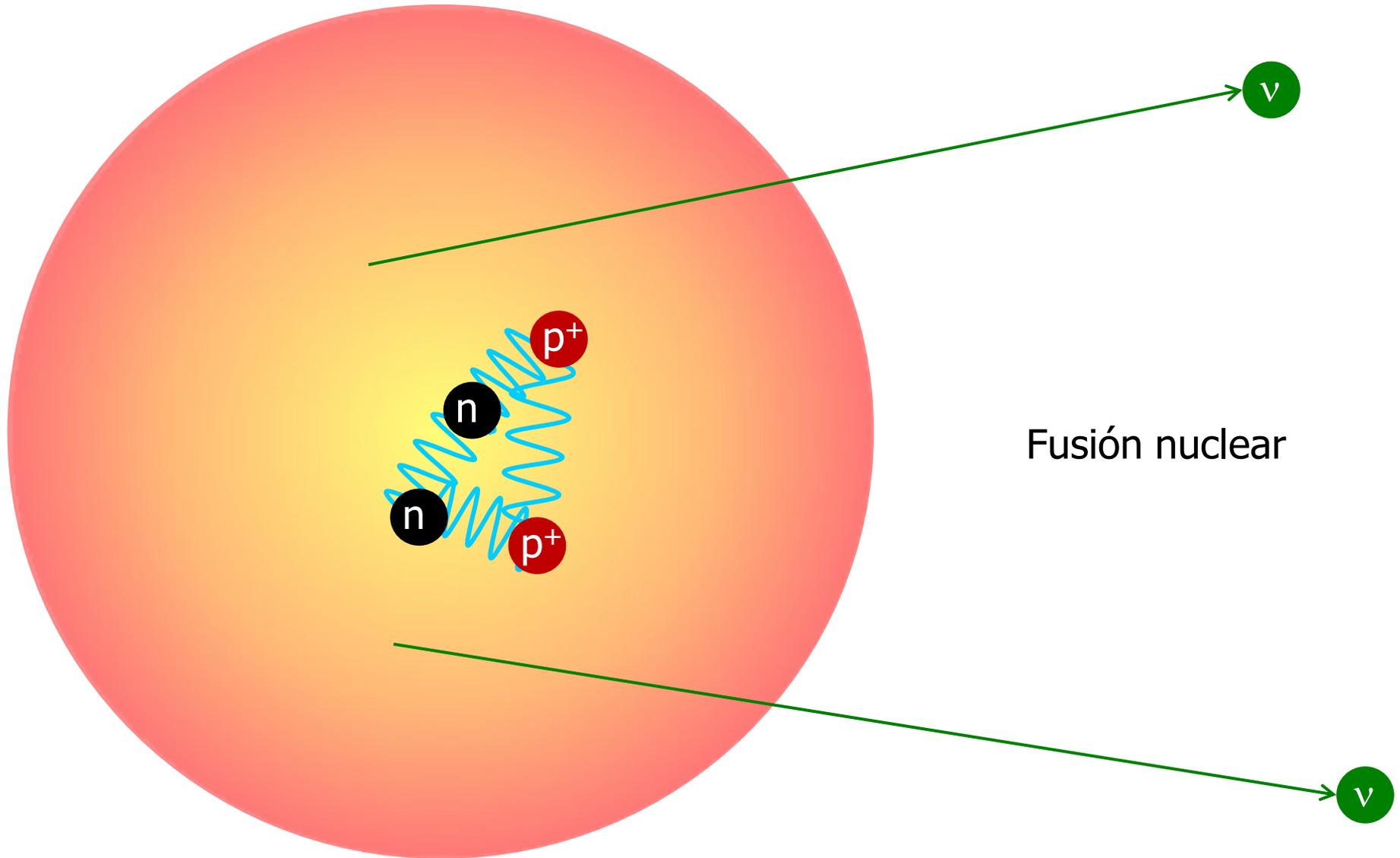
Así es como brillan el Sol y las estrellas



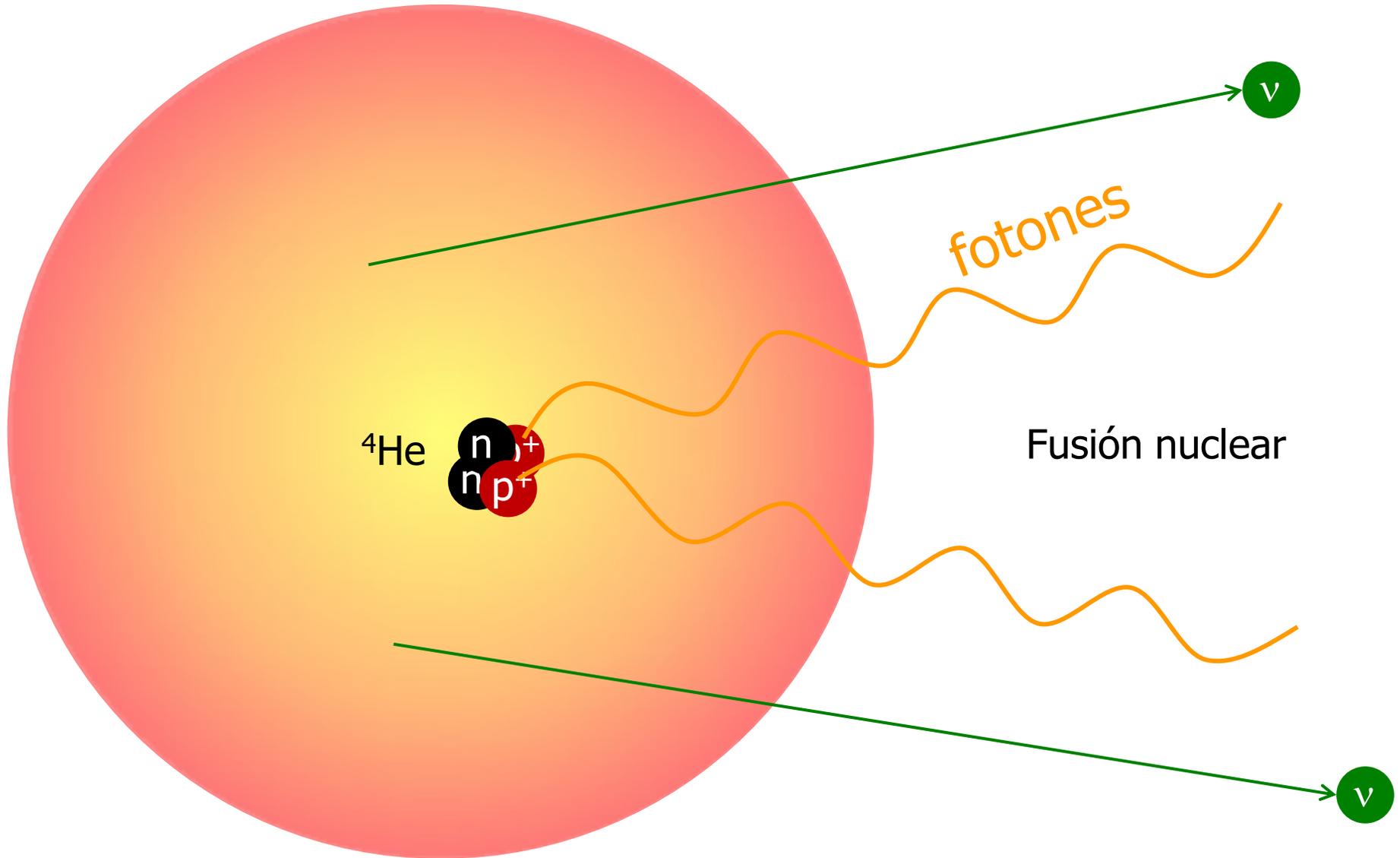
Así es como brillan el Sol y las estrellas



Así es como brillan el Sol y las estrellas



Así es como brillan el Sol y las estrellas



Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía

Núcleos complejos

Neutrinos

Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía



Núcleos complejos

Neutrinos

Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía



Núcleos complejos



${}^4\text{He}$

Neutrinos

Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía



Núcleos complejos



Neutrinos



Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía



Núcleos complejos



Neutrinos



Sin **neutrinos** y sin interacciones **débiles** no habría **luz** ni **calor**

Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía



Núcleos complejos



Neutrinos



Sin **neutrinos** y sin interacciones **débiles** no habría **luz** ni **calor**
No habría núcleos de **oxígeno**, ni **agua**

Fusión

La fusión en el interior de las estrellas produce

Luz y energía



Núcleos complejos



Neutrinos



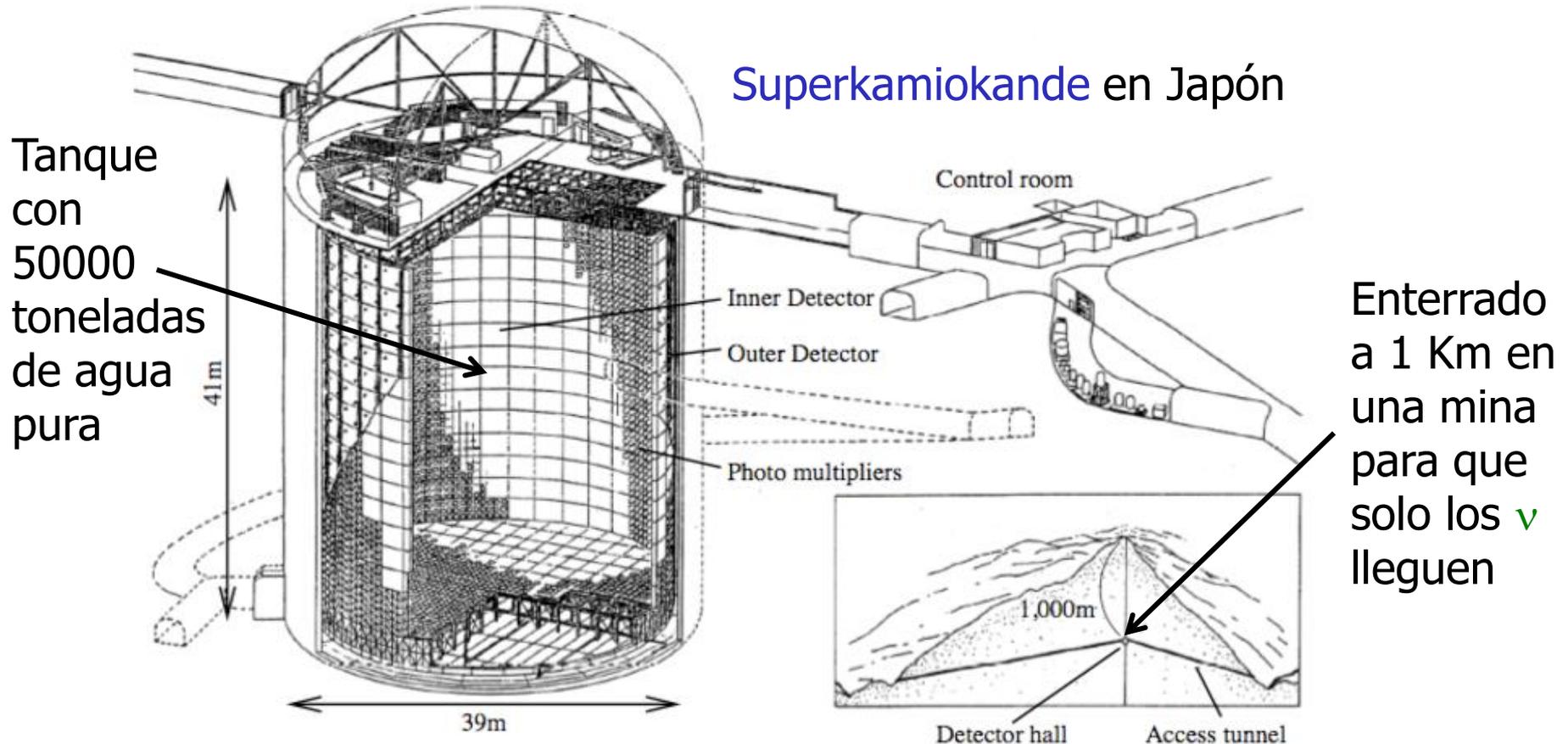
Sin **neutrinos** y sin interacciones **débiles** no habría **luz** ni **calor**

No habría núcleos de **oxígeno**, ni **agua**

No existiría la Tierra, ni la vida...

Detectando neutrinos

Debido a su interacción tan tan **débil** se necesitan detectores enormes para ver unos cuantos **neutrinos**



Superkamiokande

Las paredes de Superkamiokande están cubiertas de tubos fotomultiplicadores para detectar luz

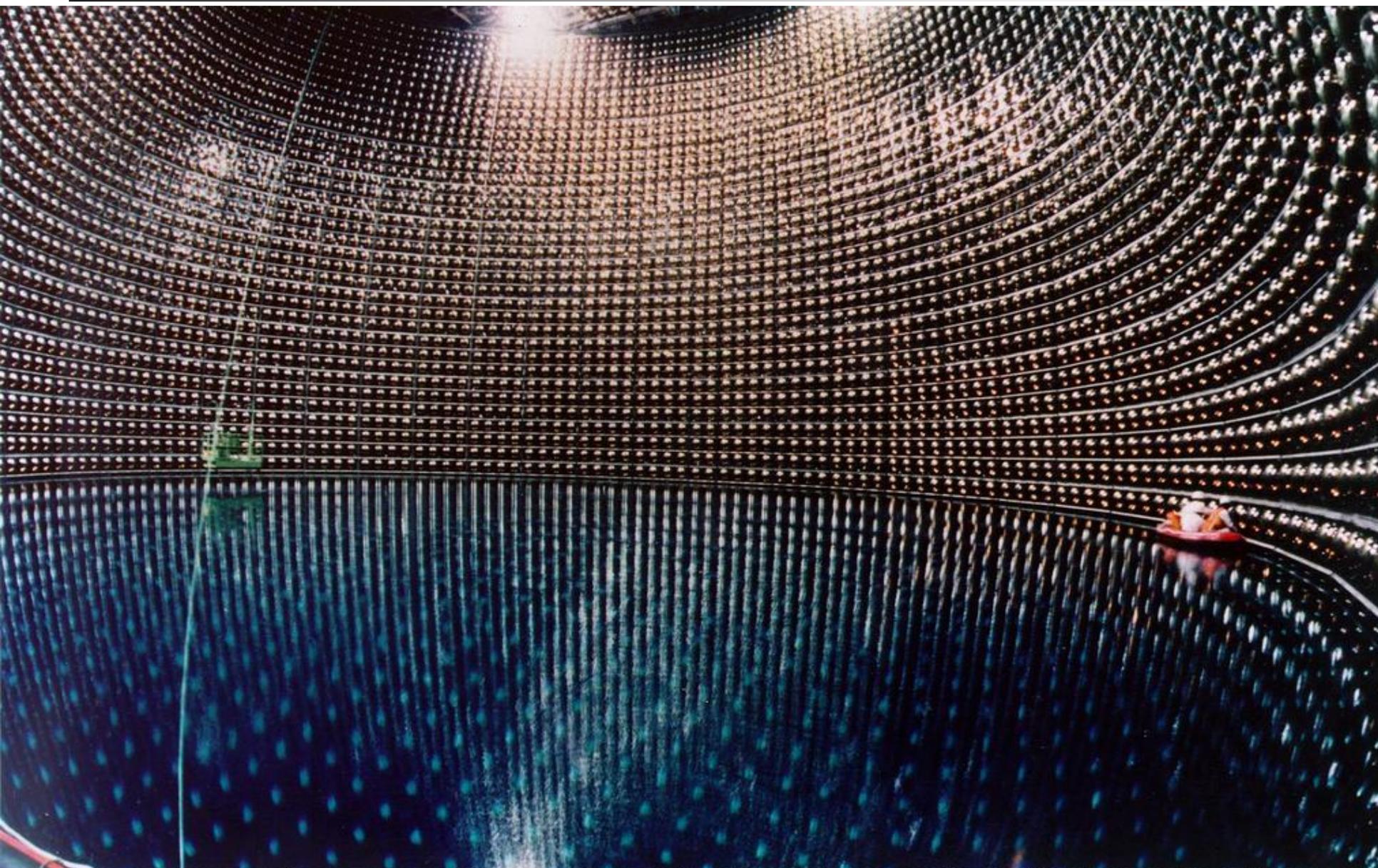


Fotomultiplicador

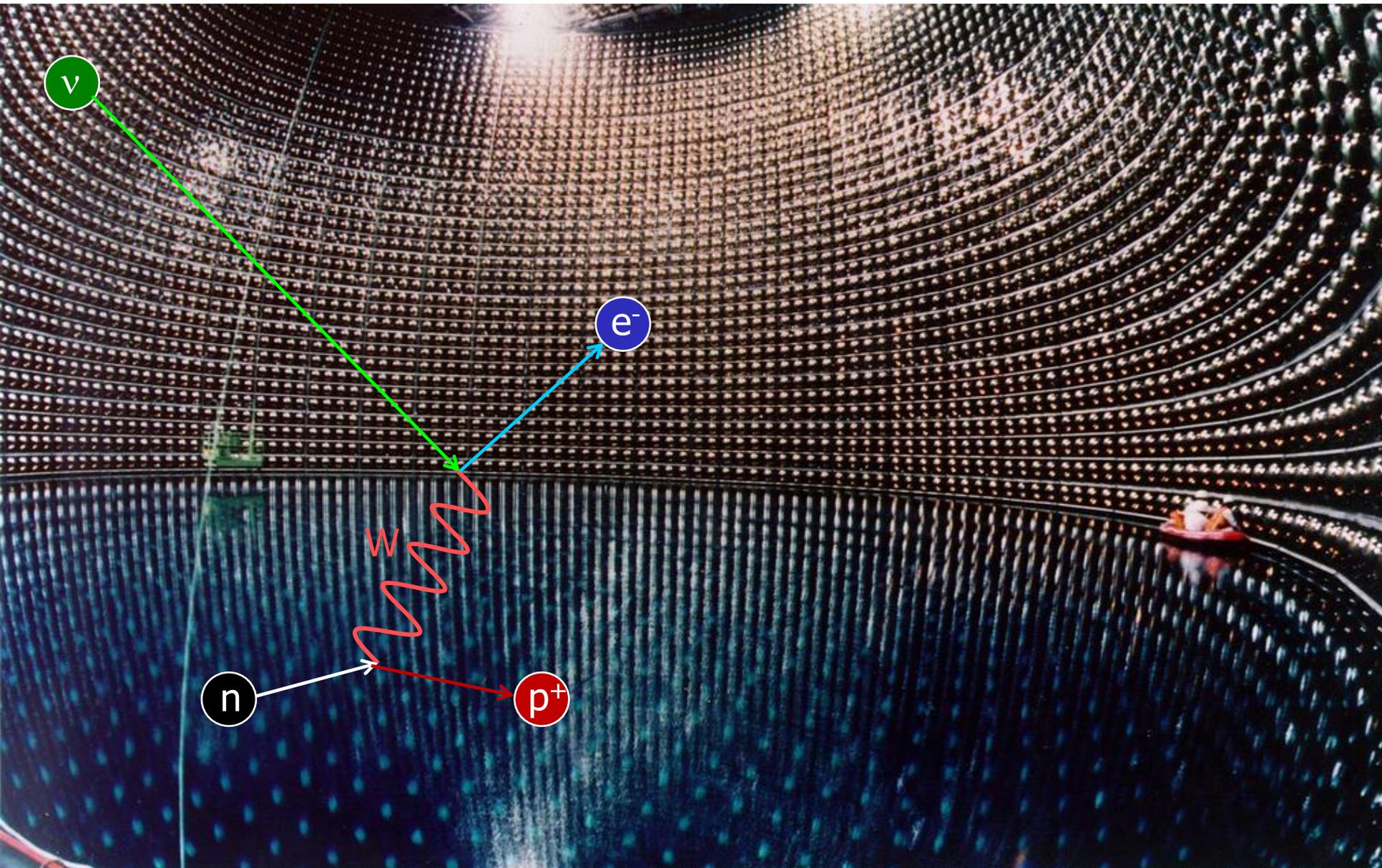
0.5 m.



Superkamiokande



Superkamiokande



ν

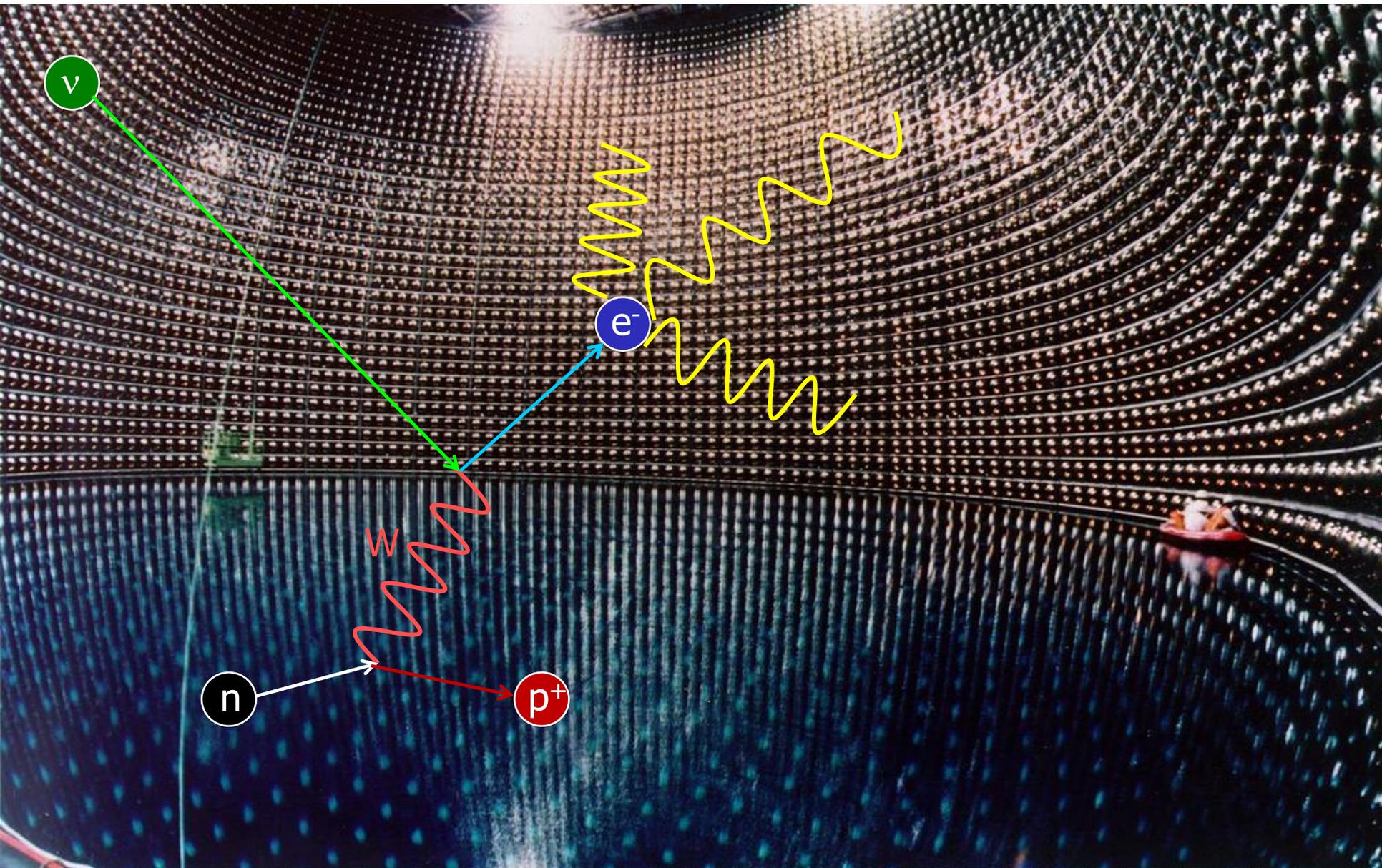
e^-

n

p^+

W

Superkamiokande



ν

e^-

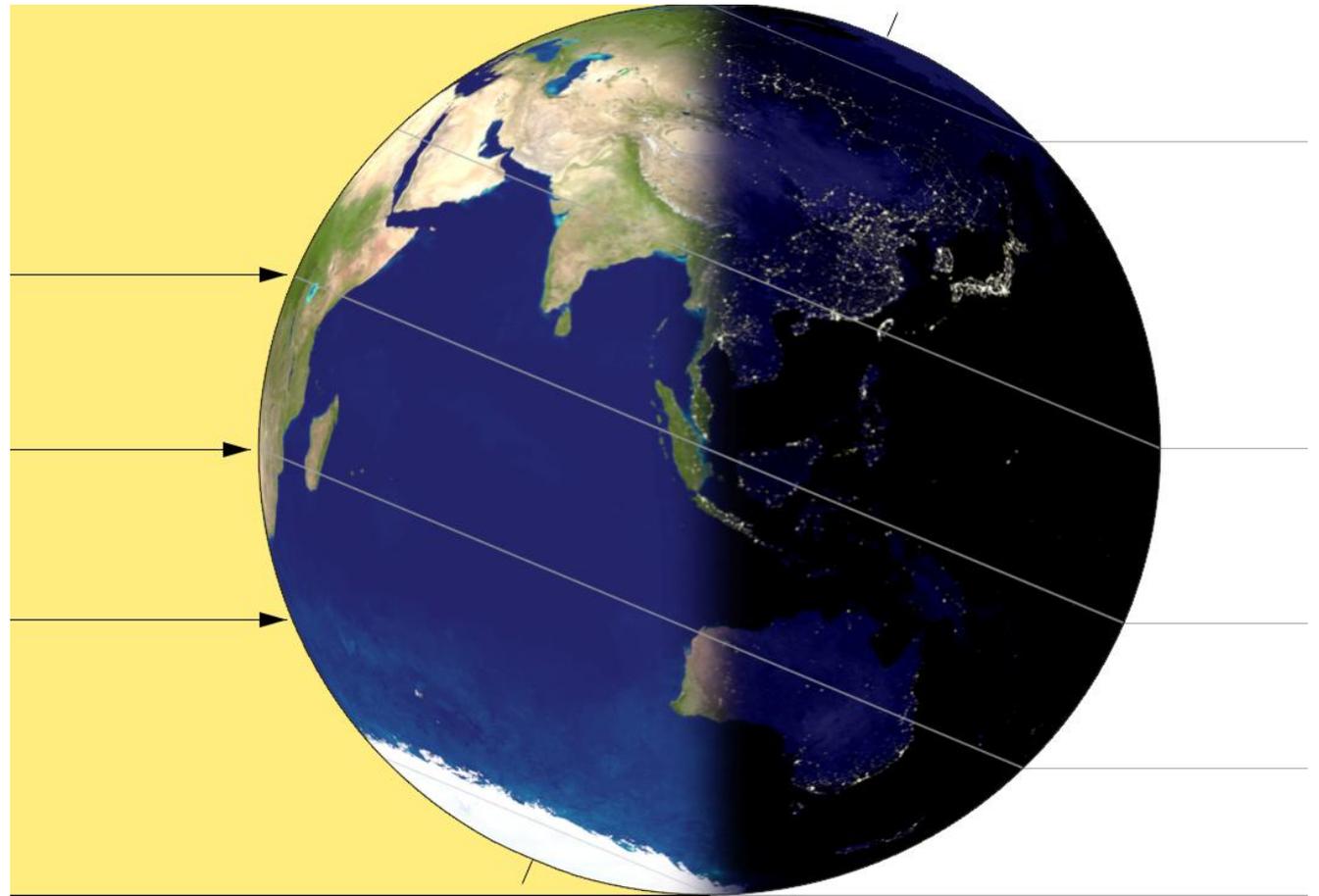
n

p^+

W^-

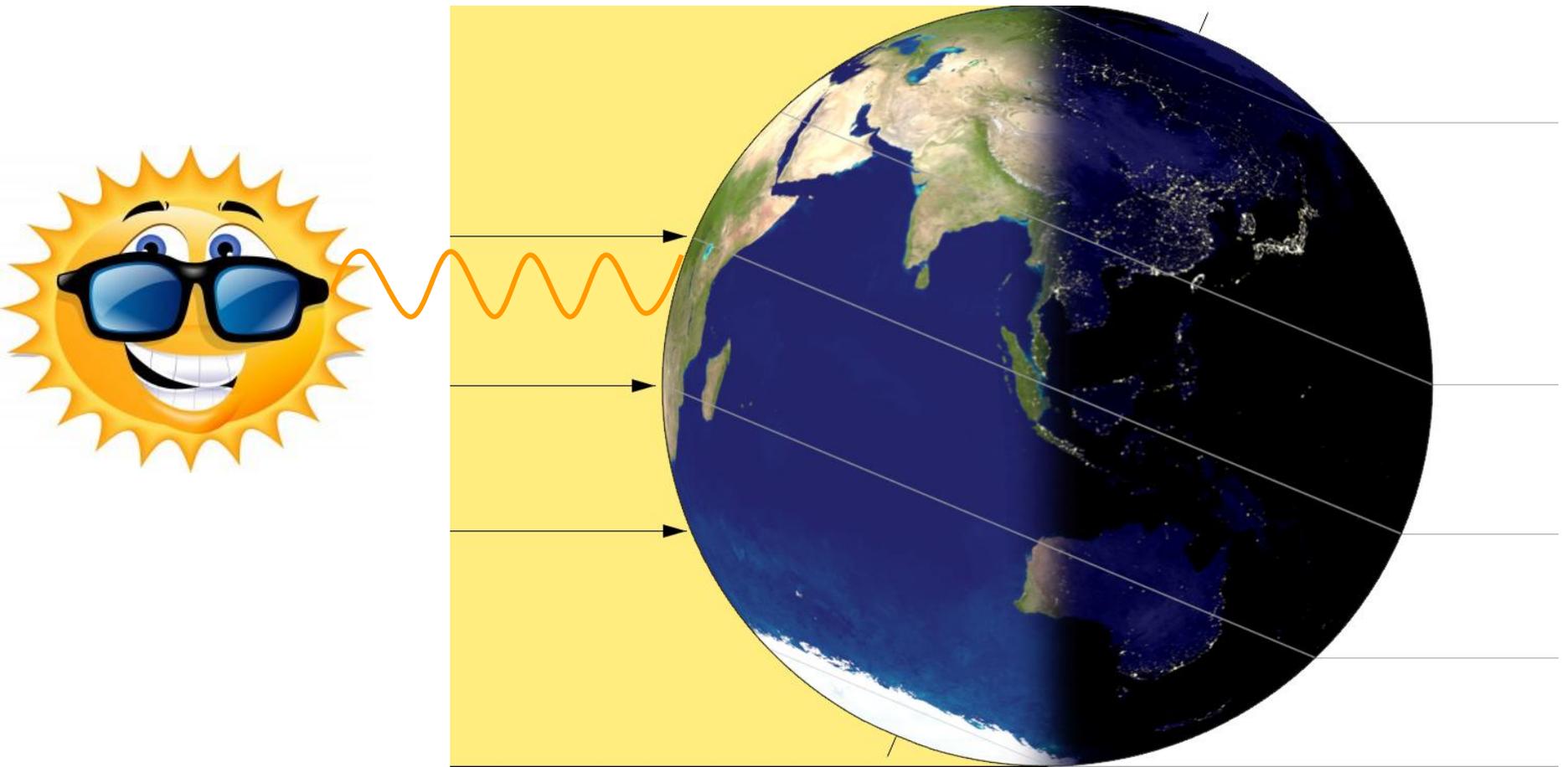
El Sol en Superkamiokande

Como casi todos los **neutrinos** atraviesan la Tierra sin inmutarse **Superkamiokande** ha podido ver el **Sol** a través de sus **neutrinos**, por la noche!!



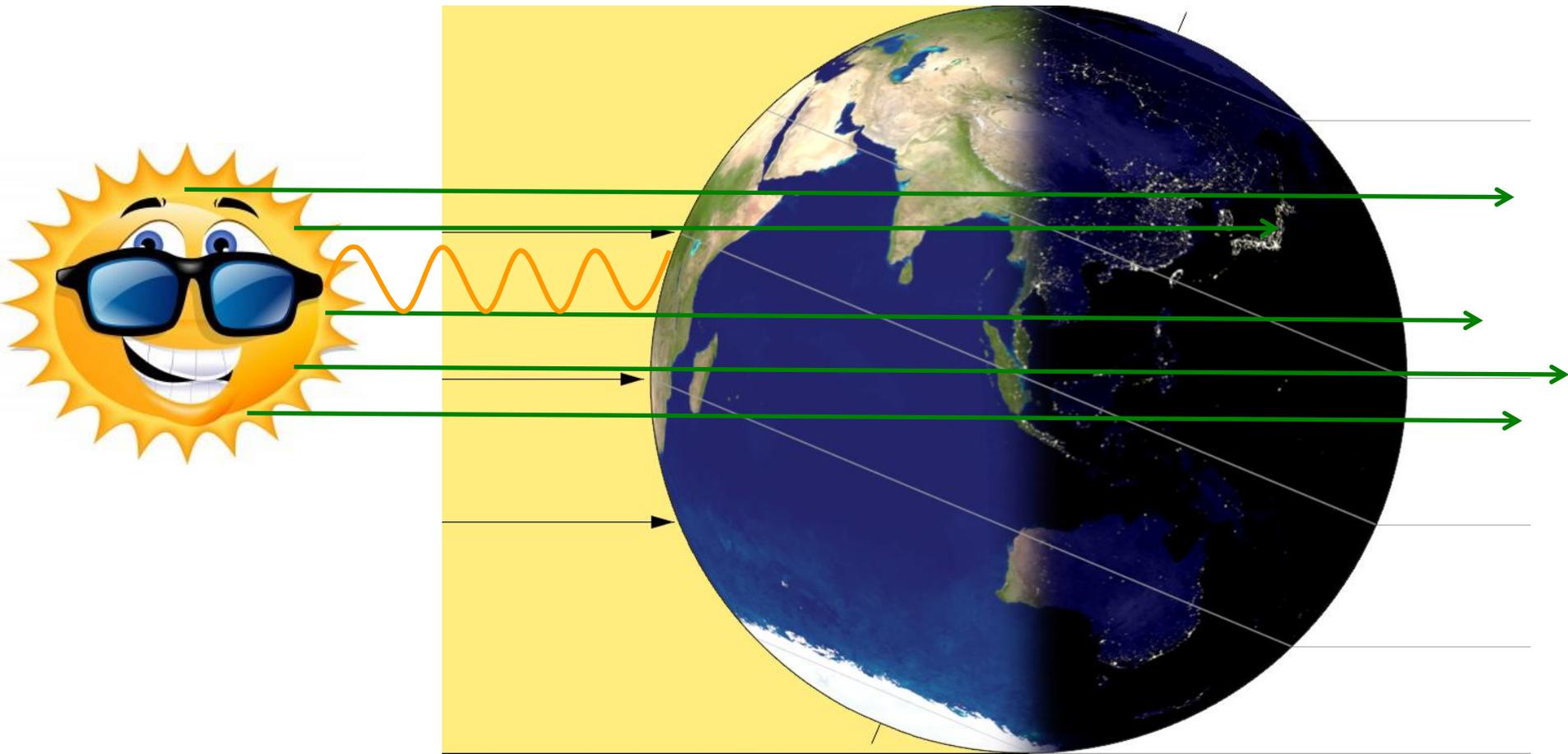
El Sol en Superkamiokande

Como casi todos los **neutrinos** atraviesan la Tierra sin inmutarse **Superkamiokande** ha podido ver el **Sol** a través de sus **neutrinos**, por la noche!!



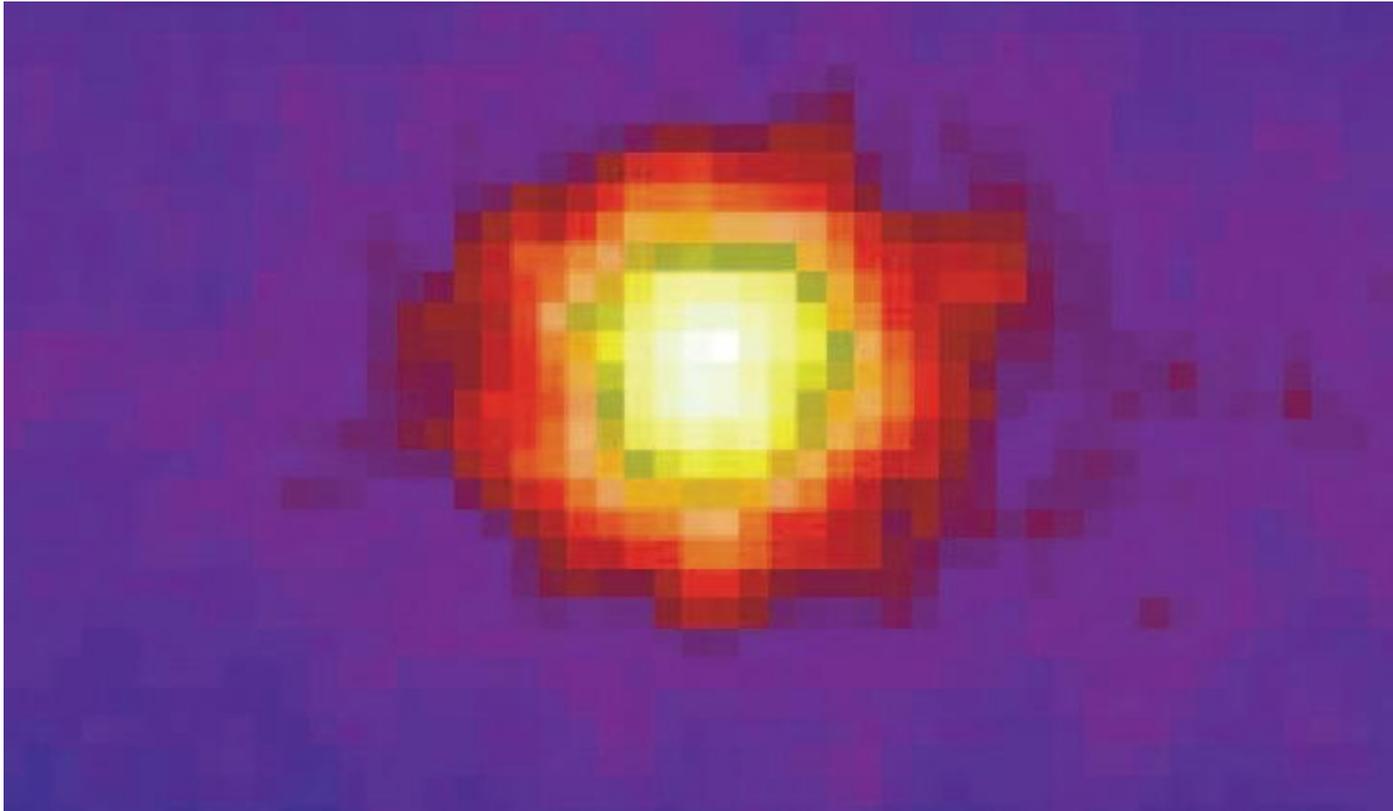
El Sol en Superkamiokande

Como casi todos los **neutrinos** atraviesan la Tierra sin inmutarse **Superkamiokande** ha podido ver el **Sol** a través de sus **neutrinos**, por la noche!!



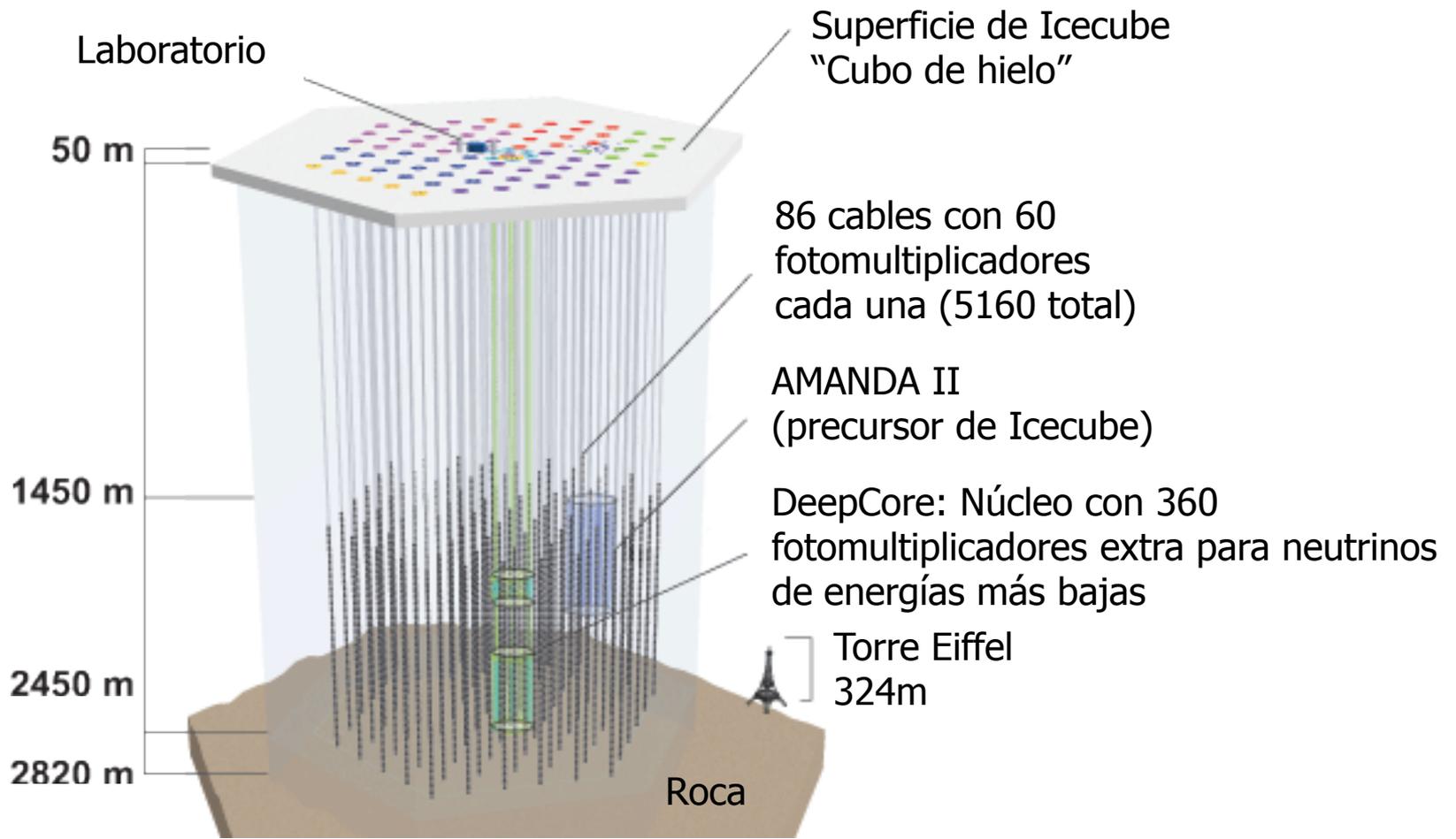
El Sol en Superkamiokande

Como casi todos los **neutrinos** atraviesan la Tierra sin inmutarse **Superkamiokande** ha podido ver el **Sol** a través de sus **neutrinos**, por la noche!!



Icecube

Como los **neutrinos** atraviesan enormes distancias sin desviarse ni atenuarse, con detectores aún mayores podemos usarlos para nuestra Galaxia e incluso más allá



Construcción de Icecube

Perforando hielo con agua caliente



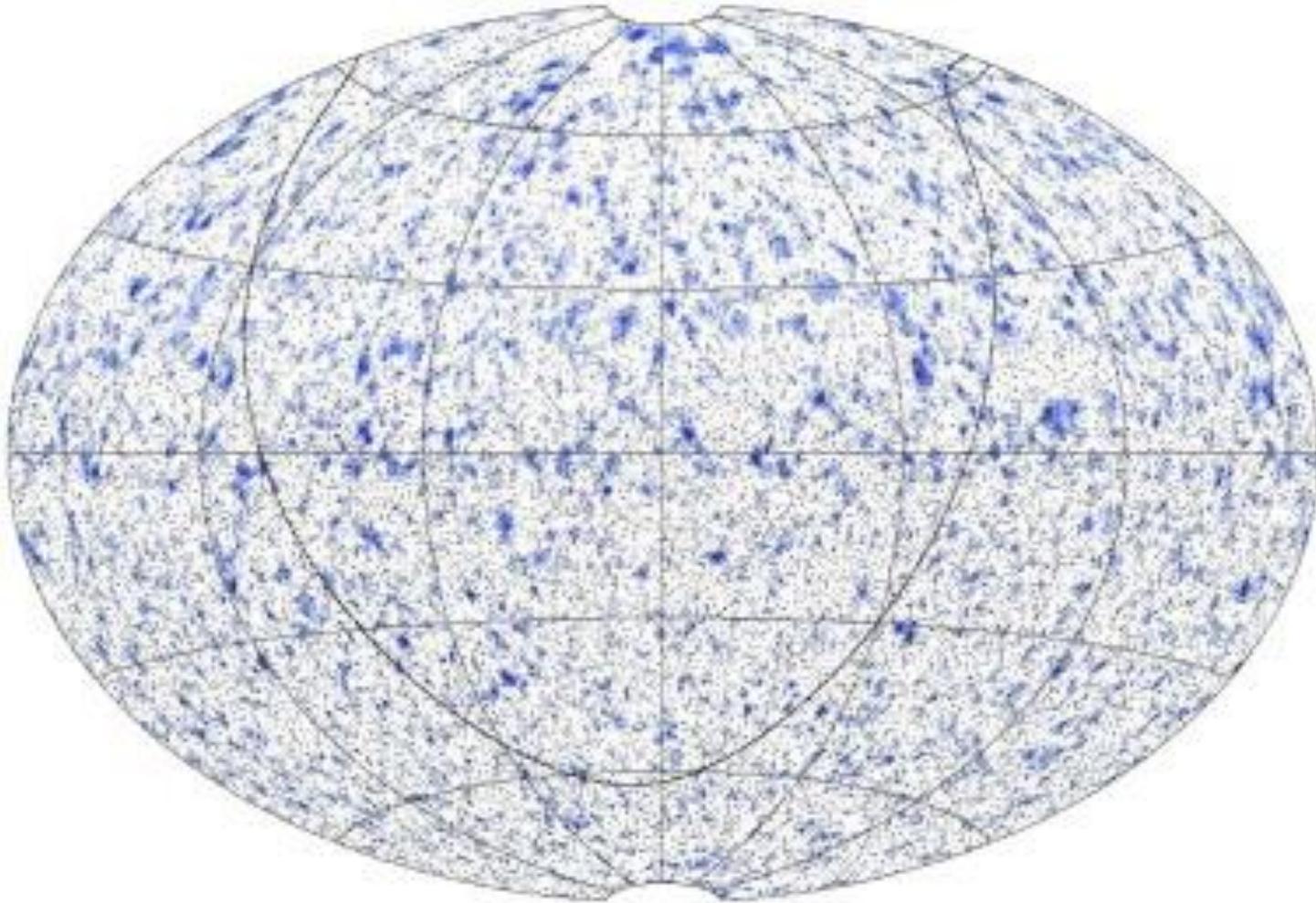
Fotomultiplicador



Construcción de Icecube

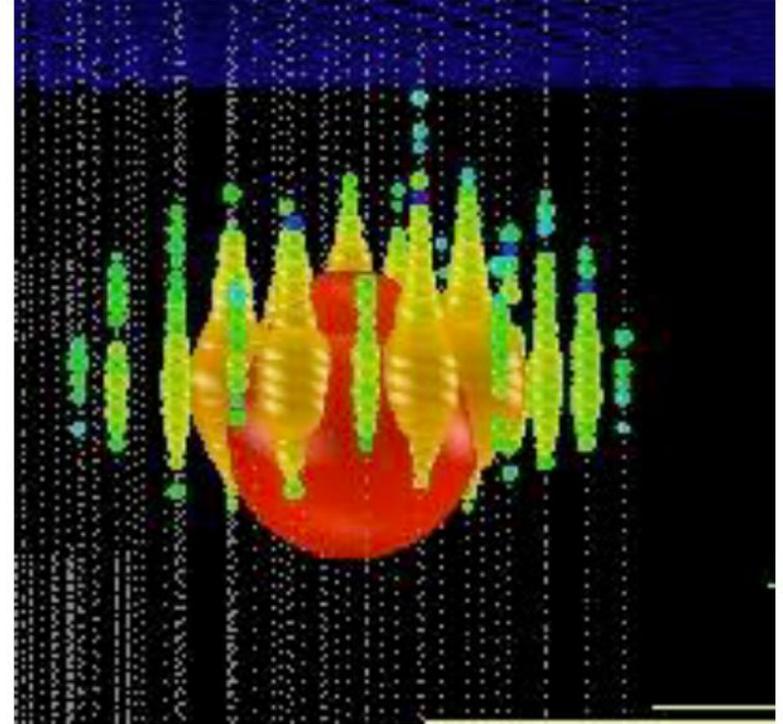
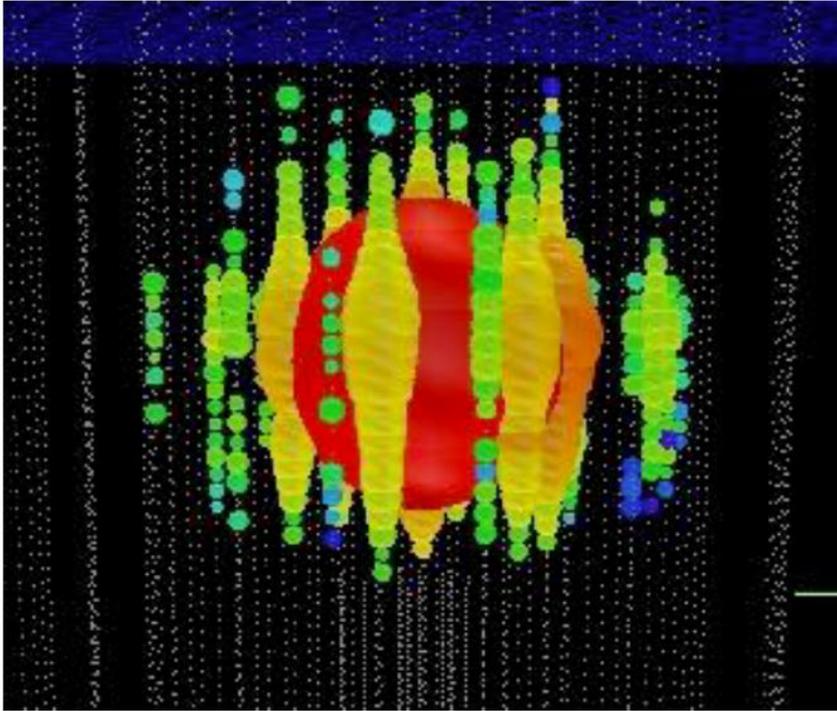


El cielo en neutrinos por Icecube



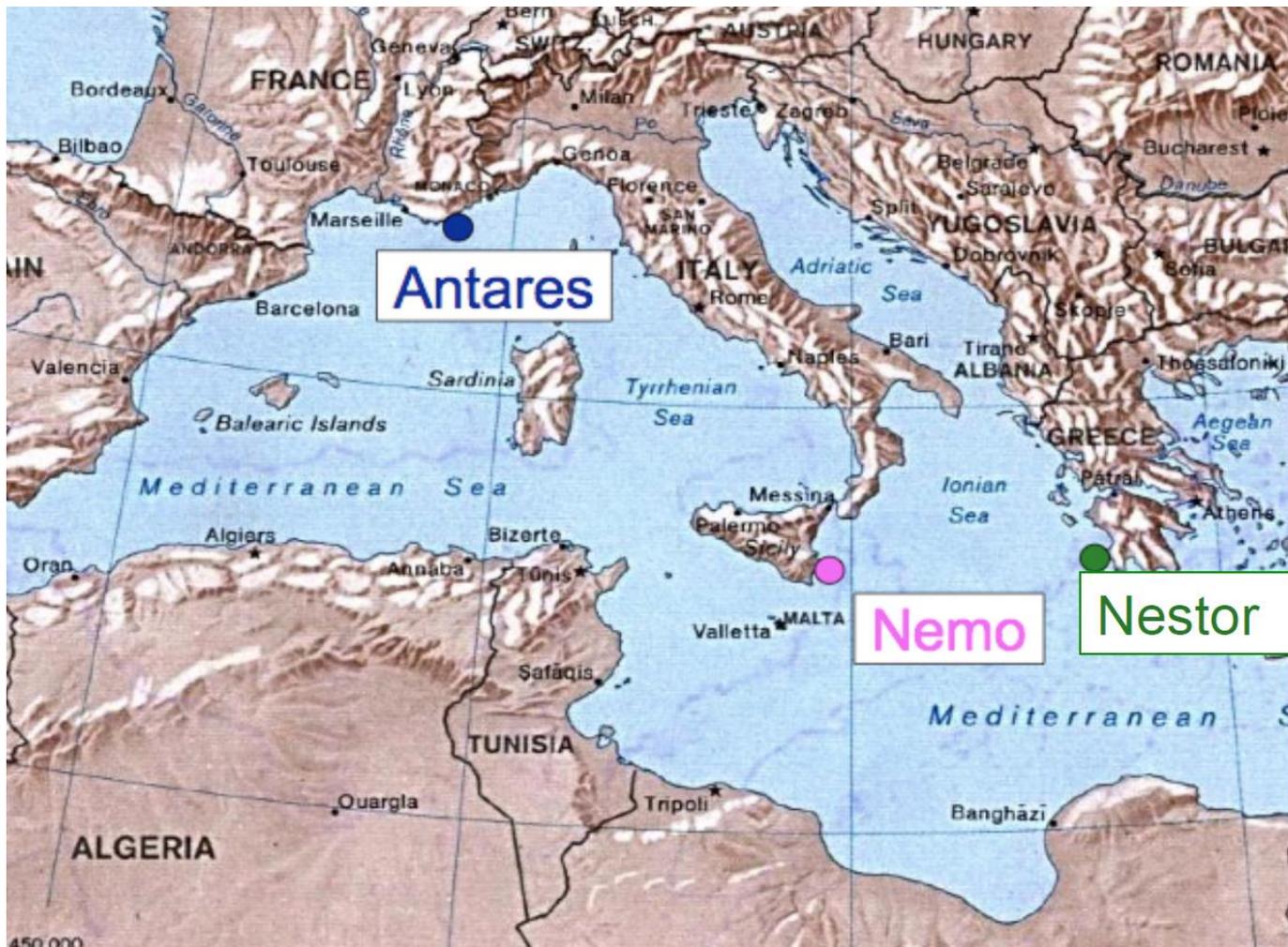
Así se ve el cielo en neutrinos desde el Polo Sur

Dos neutrinos de energías altísimas en Icecube



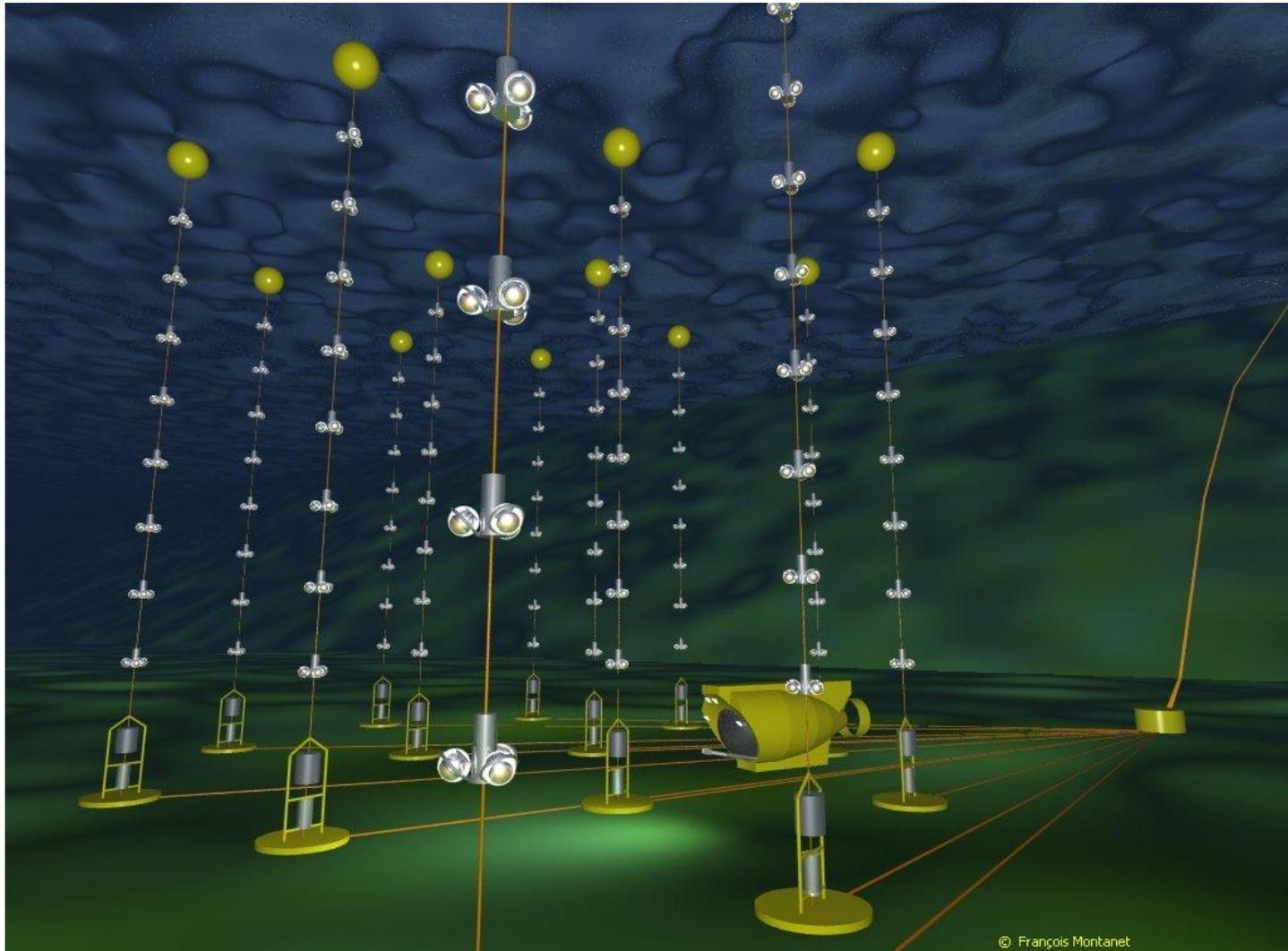
Son las partículas de mayor energía encontradas hasta ahora. Su origen se está investigando.

Experimentos similares en el Mediterráneo



“Bateas” de fotomultiplicadores en el mar

Experimentos similares en el Mediterráneo



“Bateas” de fotomultiplicadores en el mar

Los neutrinos como mensajeros del pasado

Si detectamos una partícula después de atravesar grandes distancias obtenemos información de la época en la que fue creada

Satélite Planck



Los neutrinos como mensajeros del pasado

Si detectamos una partícula después de atravesar grandes distancias obtenemos información de la época en la que fue creada

Satélite Planck



fotón emitido hace miles de millones de años después de recorrer miles de millones de años luz

Es como tomar una foto del pasado...

Los neutrinos como mensajeros del pasado

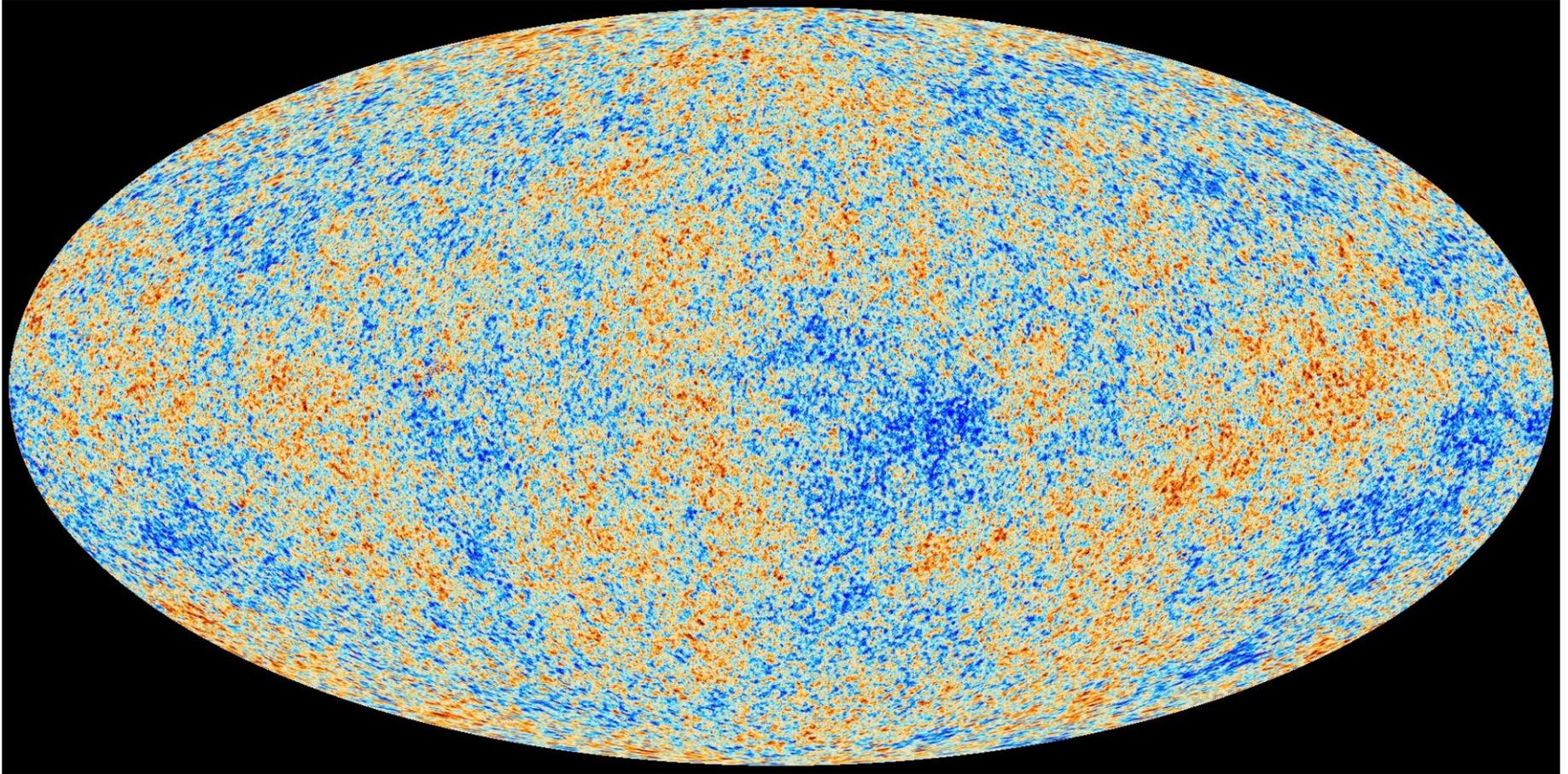


Imagen del satélite **Planck** de los primeros **fotones** liberados 280 000 años después del Big-Bang (Edad del Universo $\sim 13\,800\,000\,000$ años)

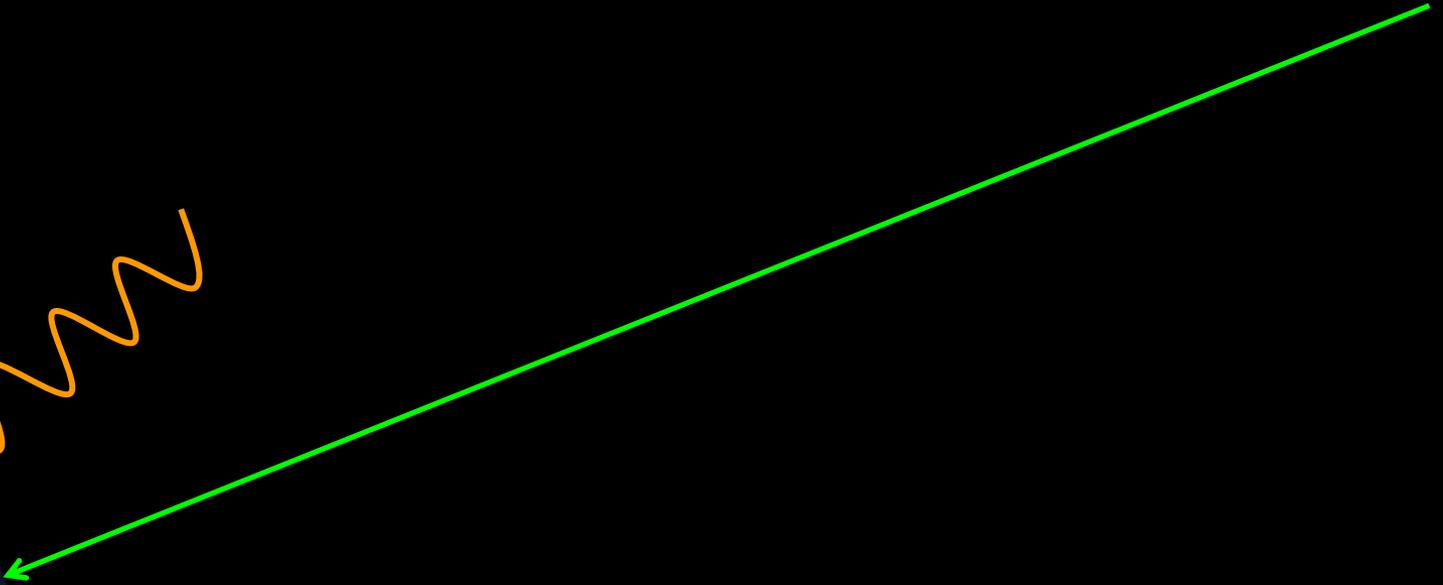
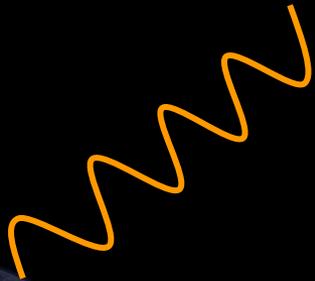
Los neutrinos como mensajeros del pasado

Como los **neutrinos** interactúan mucho más **débilmente**,
se liberan mucho antes que los **fotones**



Los neutrinos como mensajeros del pasado

Como los **neutrinos** interactúan mucho más **débilmente**,
se liberan mucho antes que los **fotones**



Los neutrinos como mensajeros del pasado

Como los **neutrinos** interactúan mucho más **débilmente**, se liberan mucho antes que los **fotones**



Si consiguiéramos detectar estos **neutrinos** tendríamos información del Universo 1 segundo después del **Big-Bang** hace 13 800 000 000 años!!

Generaciones o "sabores"

Todas las partículas que forman la materia vienen repetidas en tres generaciones o "sabores"

Quarks



"arriba" y "abajo"



electrón y neutrino e

Las tres generaciones son idénticas en todo pero con masas cada vez mayores

Generaciones o "sabores"

Todas las partículas que forman la materia vienen repetidas en tres generaciones o "sabores"

Quarks

u

d

"arriba" y "abajo"

c

s

"encanto" y "extraño"

e^-

ν_e

electrón y neutrino e

μ^-

ν_μ

muón y neutrino μ

Las tres generaciones son idénticas en todo pero con masas cada vez mayores

Generaciones o "sabores"

Todas las partículas que forman la materia vienen repetidas en tres generaciones o "sabores"

Quarks

u

d

"arriba" y "abajo"

c

s

"encanto" y "extraño"

t

b

"encima" y "debajo"

e^-

ν_e

electrón y neutrino e

μ^-

ν_μ

muón y neutrino μ

τ^-

ν_τ

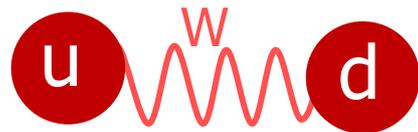
tau y neutrino τ

Las tres generaciones son idénticas en todo pero con masas cada vez mayores

Generaciones o "sabores"

Todas las partículas que forman la materia vienen repetidas en tres generaciones o "sabores"

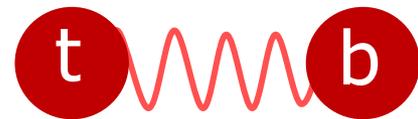
Quarks



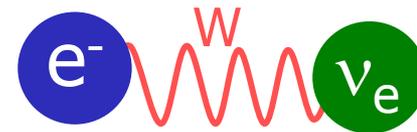
"arriba" y "abajo"



"encanto" y "extraño"



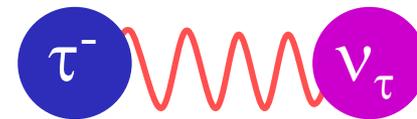
"encima" y "debajo"



electrón y neutrino e



muón y neutrino μ

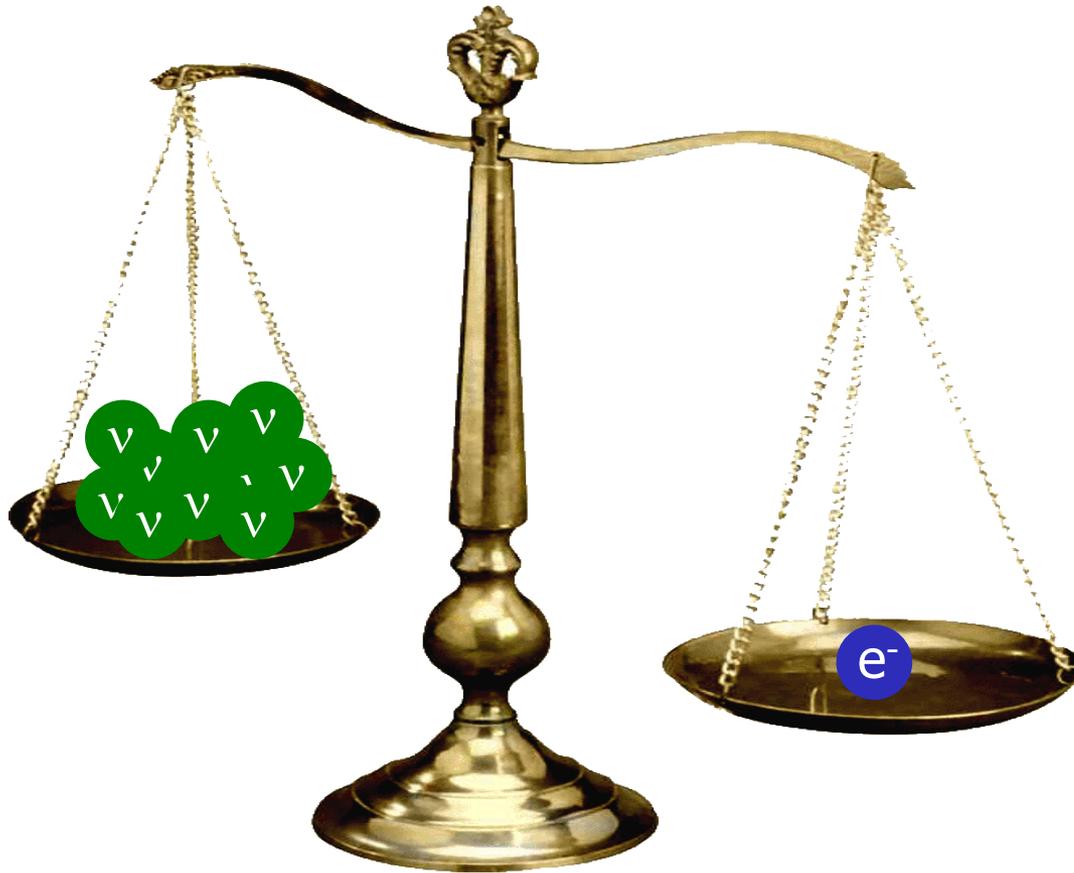


tau y neutrino τ

Las tres generaciones son idénticas en todo pero con masas cada vez mayores

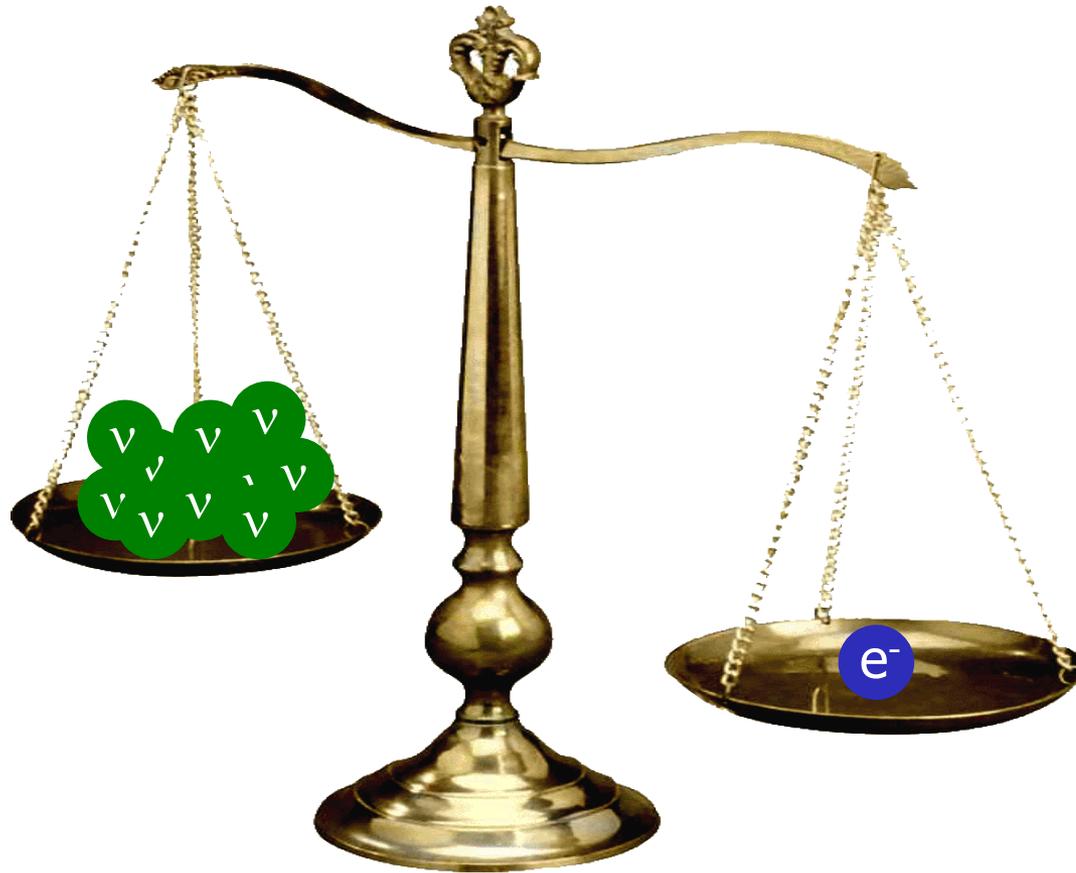
La masa de los neutrinos

Pero la propiedad que más intriga a los científicos sobre los neutrinos es su masa



La masa de los neutrinos

Pero la propiedad que más intriga a los científicos sobre los **neutrinos** es su masa



Su masa es al menos **1 000 000** veces menor que la del **electrón**
¡Ningún experimento la ha podido medir directamente aún!

Oscilación de neutrinos

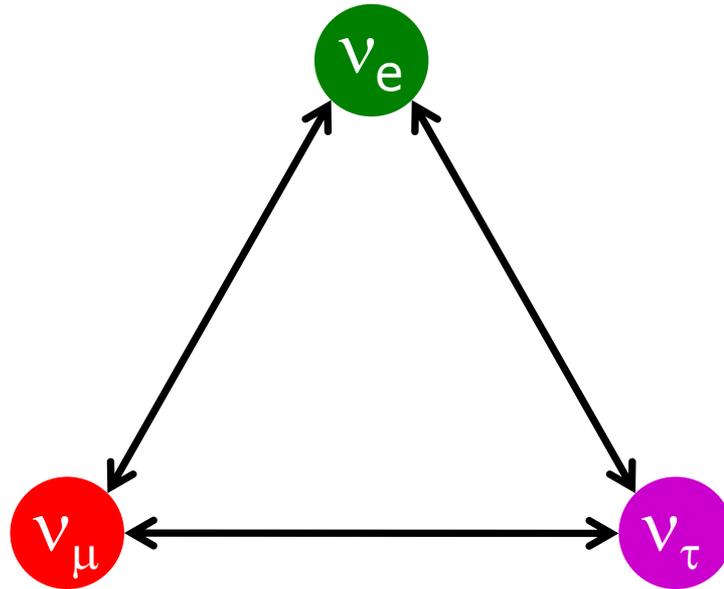
Si los neutrinos tienen masa, aunque sea pequeña, pueden cambiar de tipo mediante la “oscilación de neutrinos”



Fue propuesto en 1957 por **Bruno Pontecorvo** y ha sido observado en las dos últimas décadas en multitud de experimentos: **Homestake**, **RENO**, **SAGE**, **MINOS**, **NUSEX**, **Gallex**, **Frejus**, **GNO**, **OPERA**, **Soudan**, **IMB**, **Kamiokande**, **KamLAND**, **SK**, **Icecube**, **SNO**, **K2K**, **Daya Bay**, **T2K**, **Double CHOOZ**,...

Oscilación de neutrinos

Si los neutrinos tienen masa, aunque sea pequeña, pueden cambiar de tipo mediante la “oscilación de neutrinos”



Fue propuesto en 1957 por **Bruno Pontecorvo** y ha sido observado en las dos últimas décadas

en multitud de experimentos: **Homestake**, **RENO**, **SAGE**, **MINOS**, **NUSEX**, **Gallex**, **Frejus**, **GNO**, **OPERA**, **Soudan**, **IMB**, **Kamiokande**, **KamLAND**, **SK**, **Icecube**, **SNO**, **K2K**, **Daya Bay**, **T2K**, **Double CHOOZ**,...

Oscilación de neutrinos

Si los neutrinos tienen masa habrá 3 neutrinos con masas distintas



neutrino 1



neutrino 2



neutrino 3

Oscilación de neutrinos

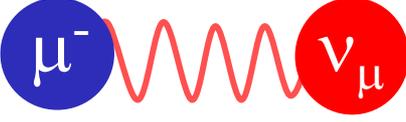
Si los neutrinos tienen masa habrá 3 neutrinos con masas distintas

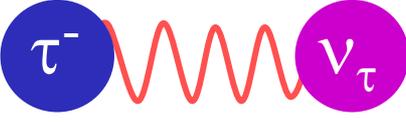

neutrino 1


neutrino 2


neutrino 3


electrón y neutrino e


muón y neutrino μ


tau y neutrino τ

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e, μ y τ

Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

Oscilación de neutrinos

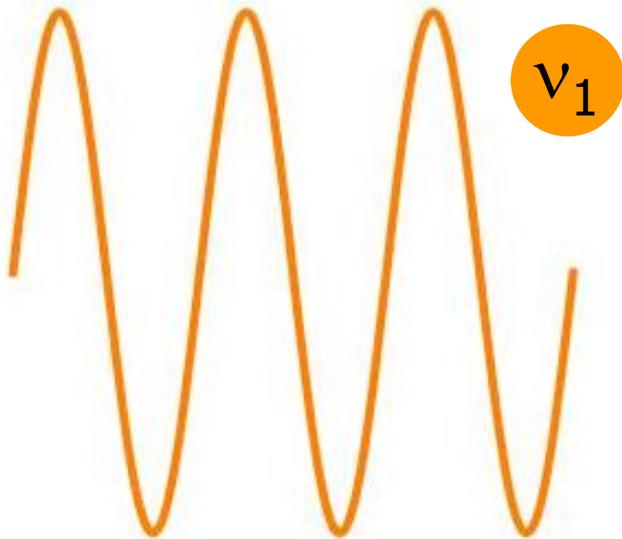
En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

En física cuántica las partículas son también ondas y las ondas pueden mezclarse, superponerse o cancelarse...
igual que las olas

Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

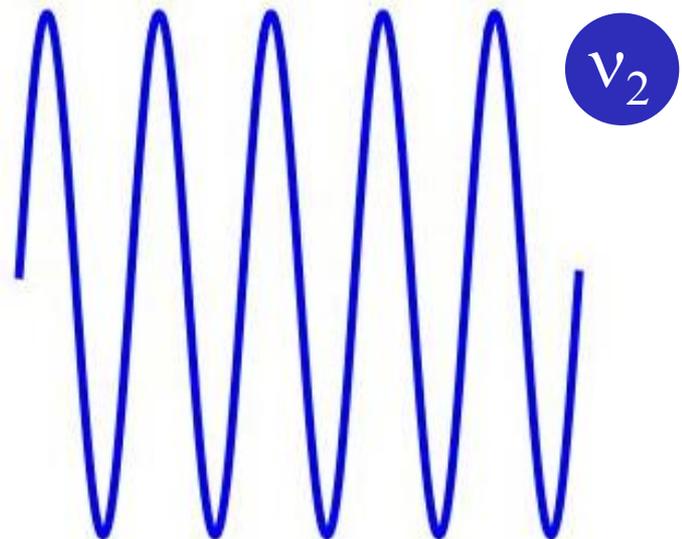
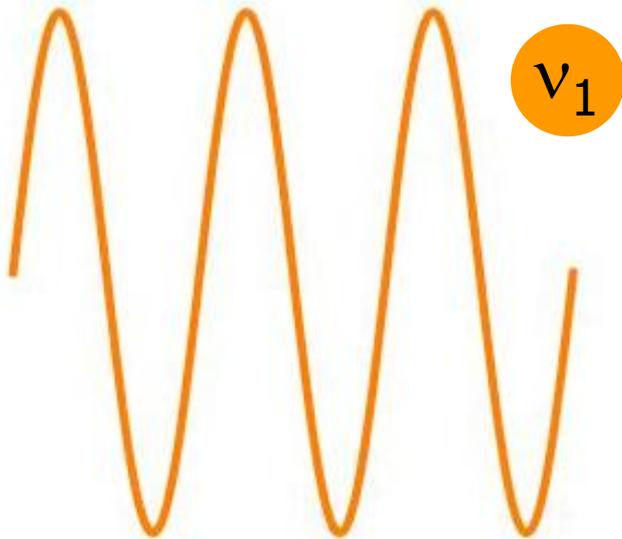
En física cuántica las partículas son también ondas y las ondas pueden mezclarse, superponerse o cancelarse...
igual que las olas



Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

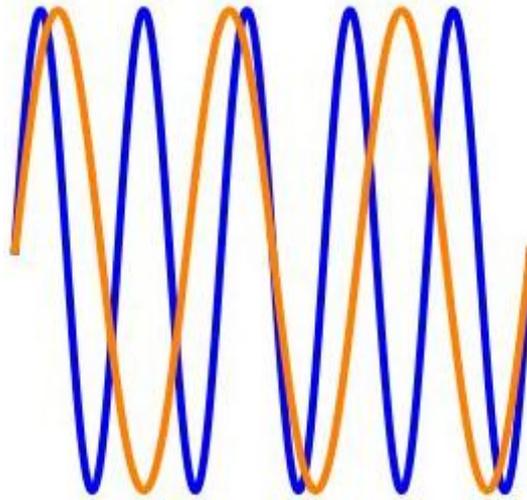
En física cuántica las partículas son también ondas y las ondas pueden mezclarse, superponerse o cancelarse... igual que las olas



Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

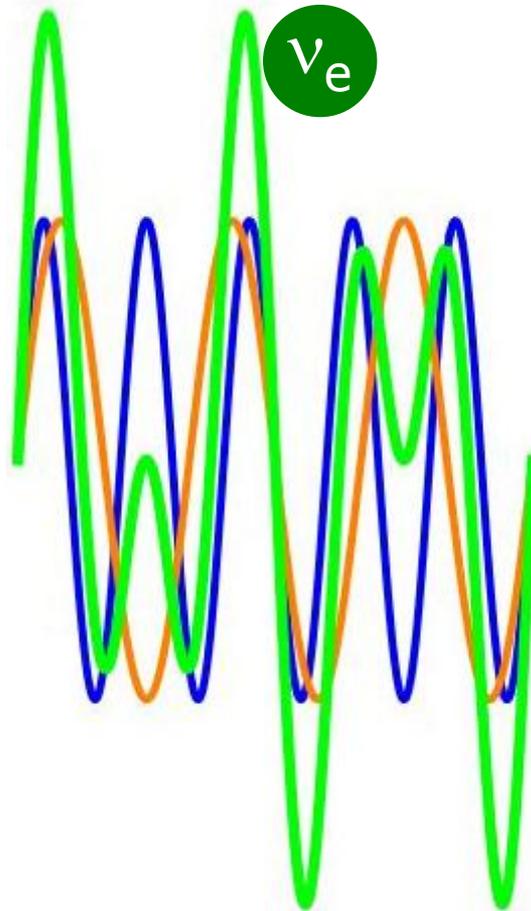
El neutrino e podría ser una superposición del 1 y el 2



Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

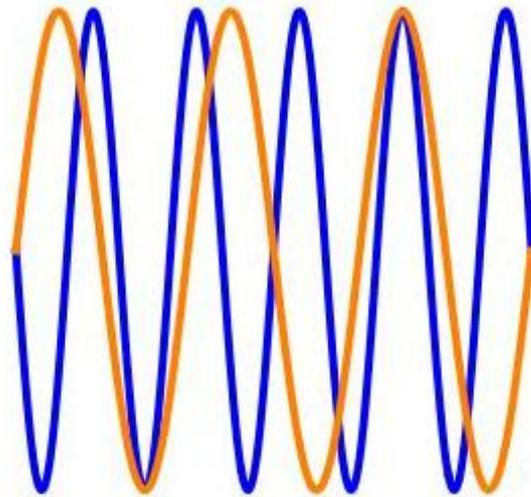
El neutrino e podría ser una superposición del 1 y el 2



Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

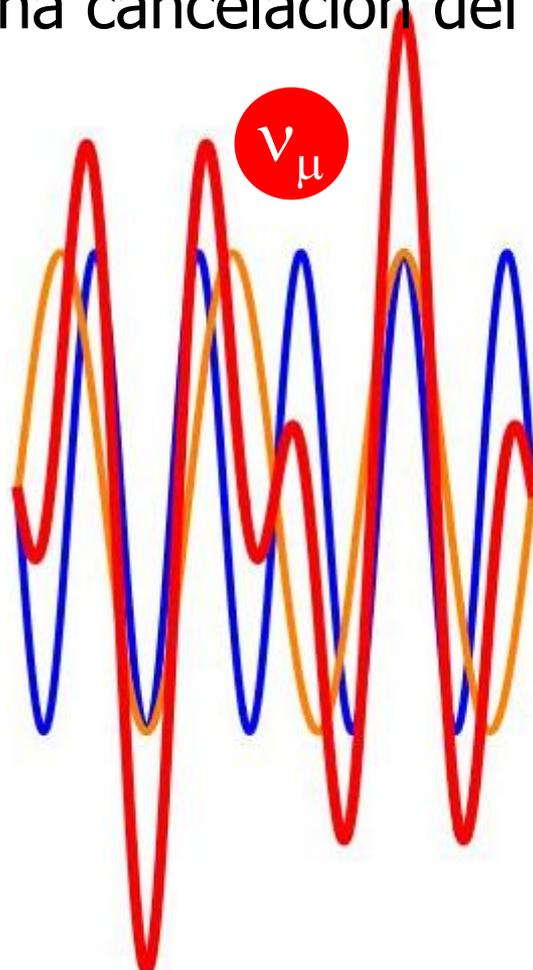
El neutrino μ sería una cancelación del 1 y el 2 (desfasados)



Oscilación de neutrinos

En física cuántica los neutrinos 1, 2 y 3 no tienen que coincidir con los neutrinos e , μ y τ

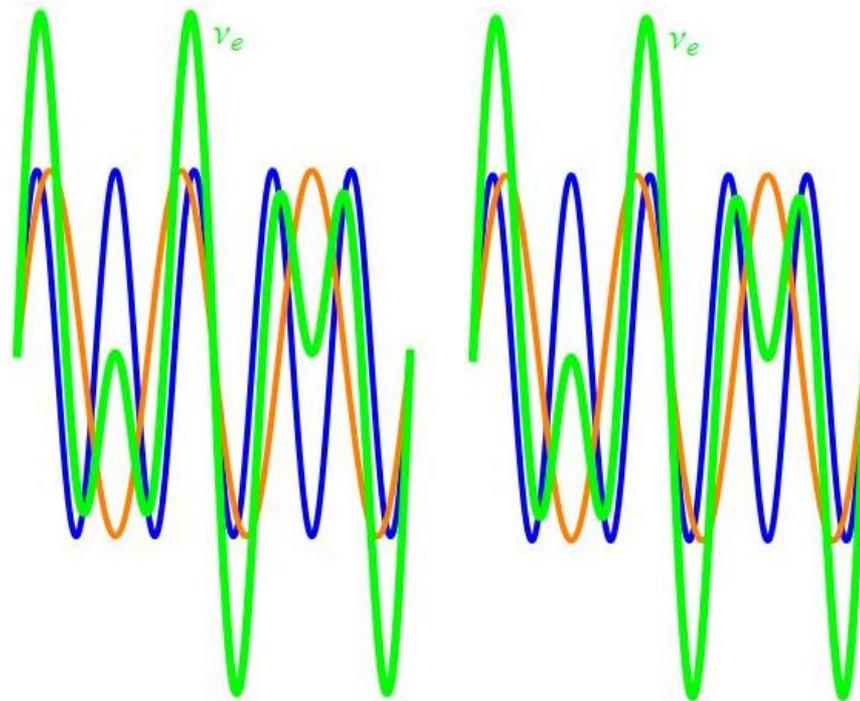
El neutrino μ sería una cancelación del 1 y el 2 (desfasados)



Oscilación de neutrinos

Si los neutrinos no tuvieran masa el neutrino 1 y el 2 irían a la misma velocidad (la de la luz)

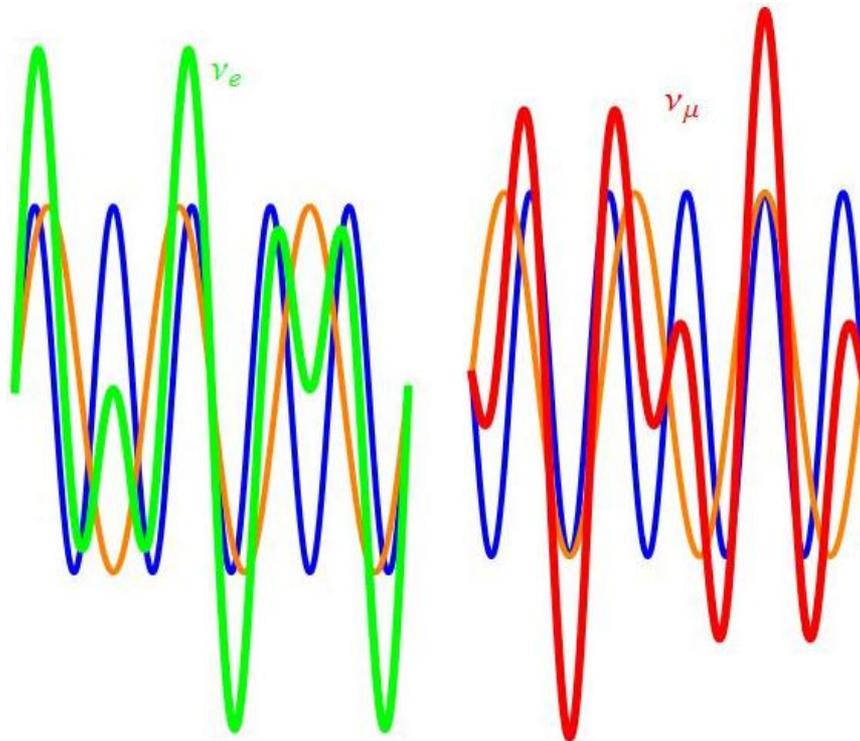
Si empezamos con un neutrino e (la suma de 1 y 2) siempre tendremos un neutrino e



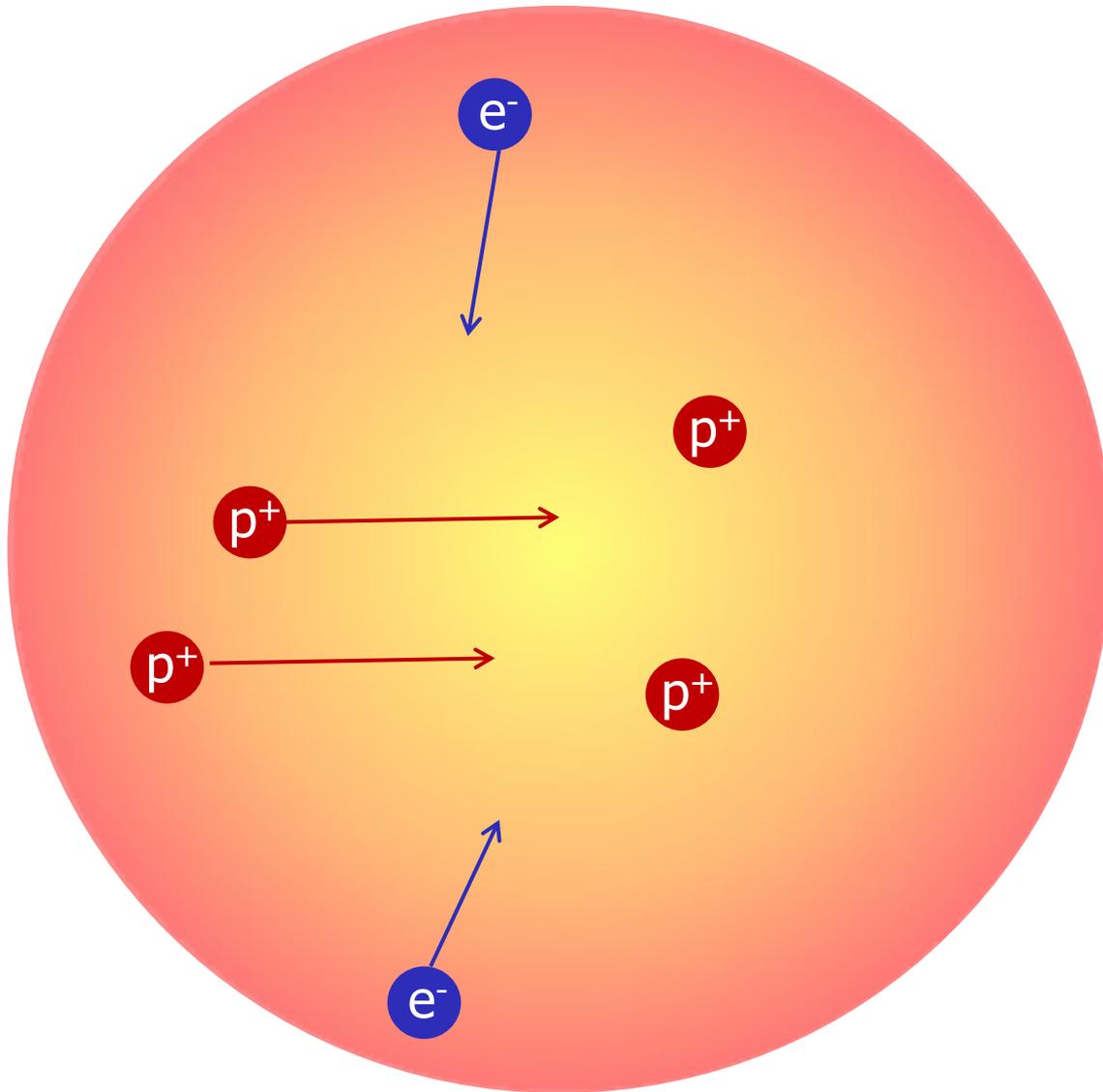
Oscilación de neutrinos

Si el neutrino **1** y el **2** tienen masas distintas avanzan a velocidades distintas y pueden desfasarse

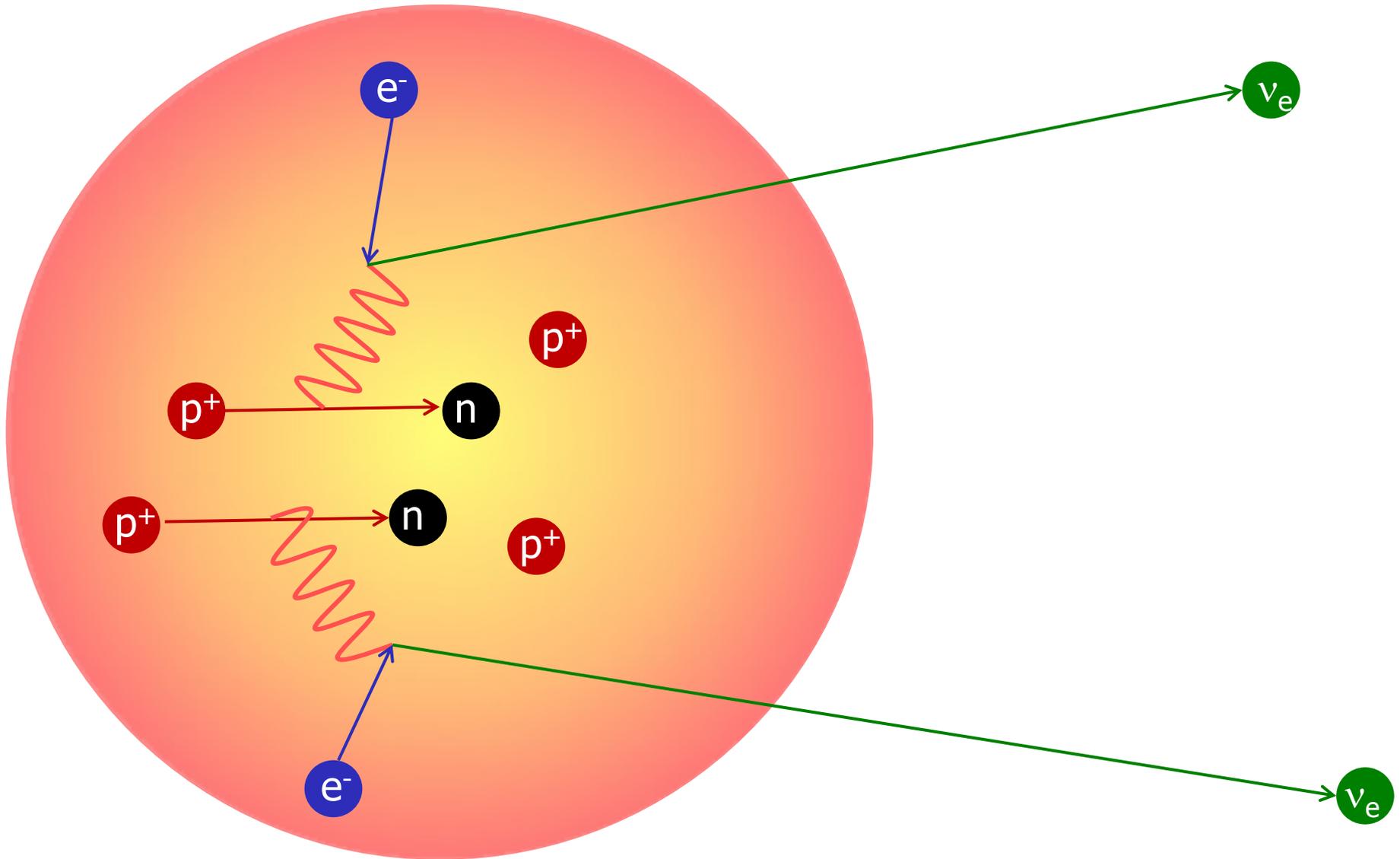
Si empezamos con un neutrino e (la suma de **1** y **2**) podemos acabar con un neutrino μ (la resta de **1** y **2**)



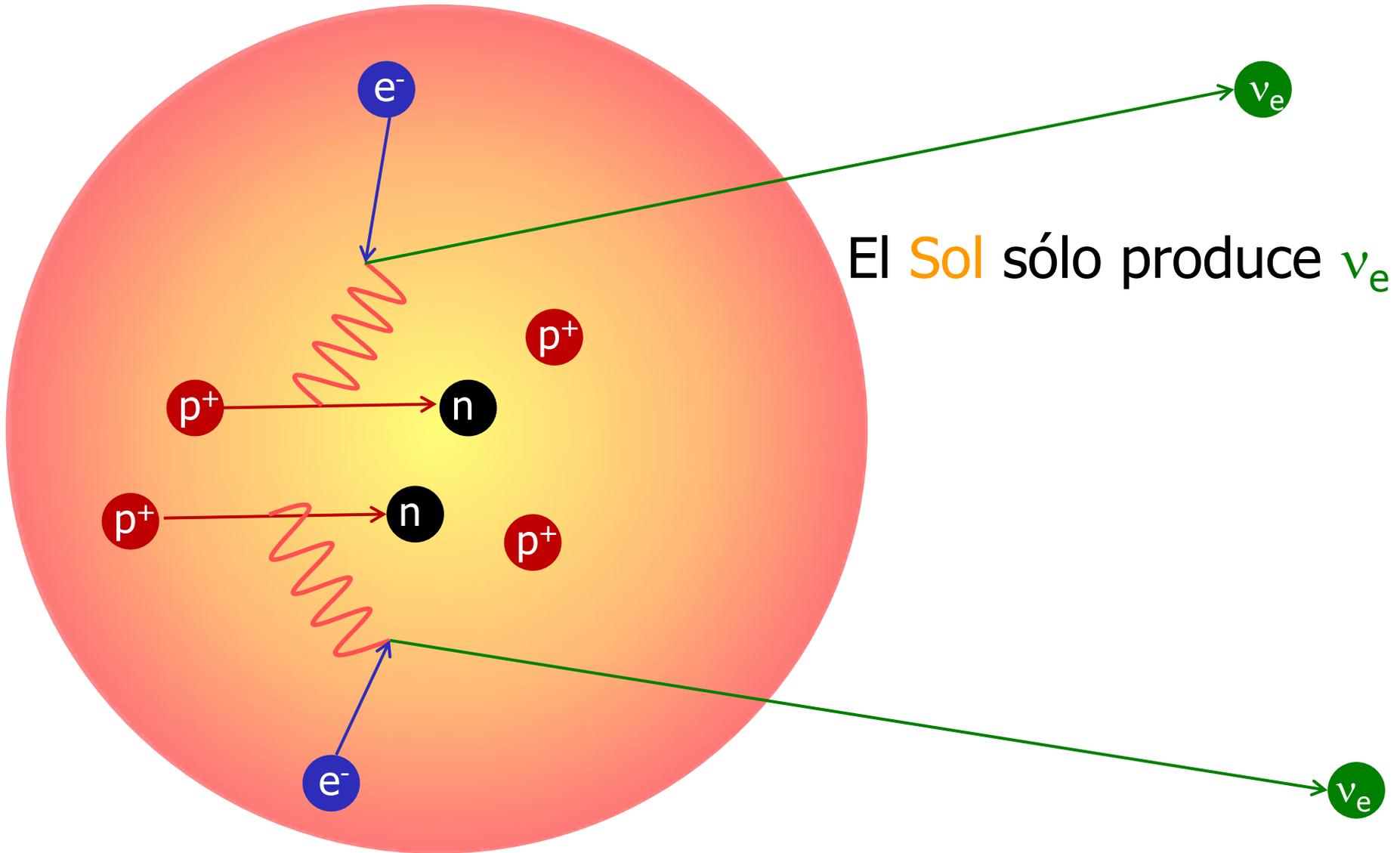
El Sol sólo produce ν_e



El Sol sólo produce ν_e

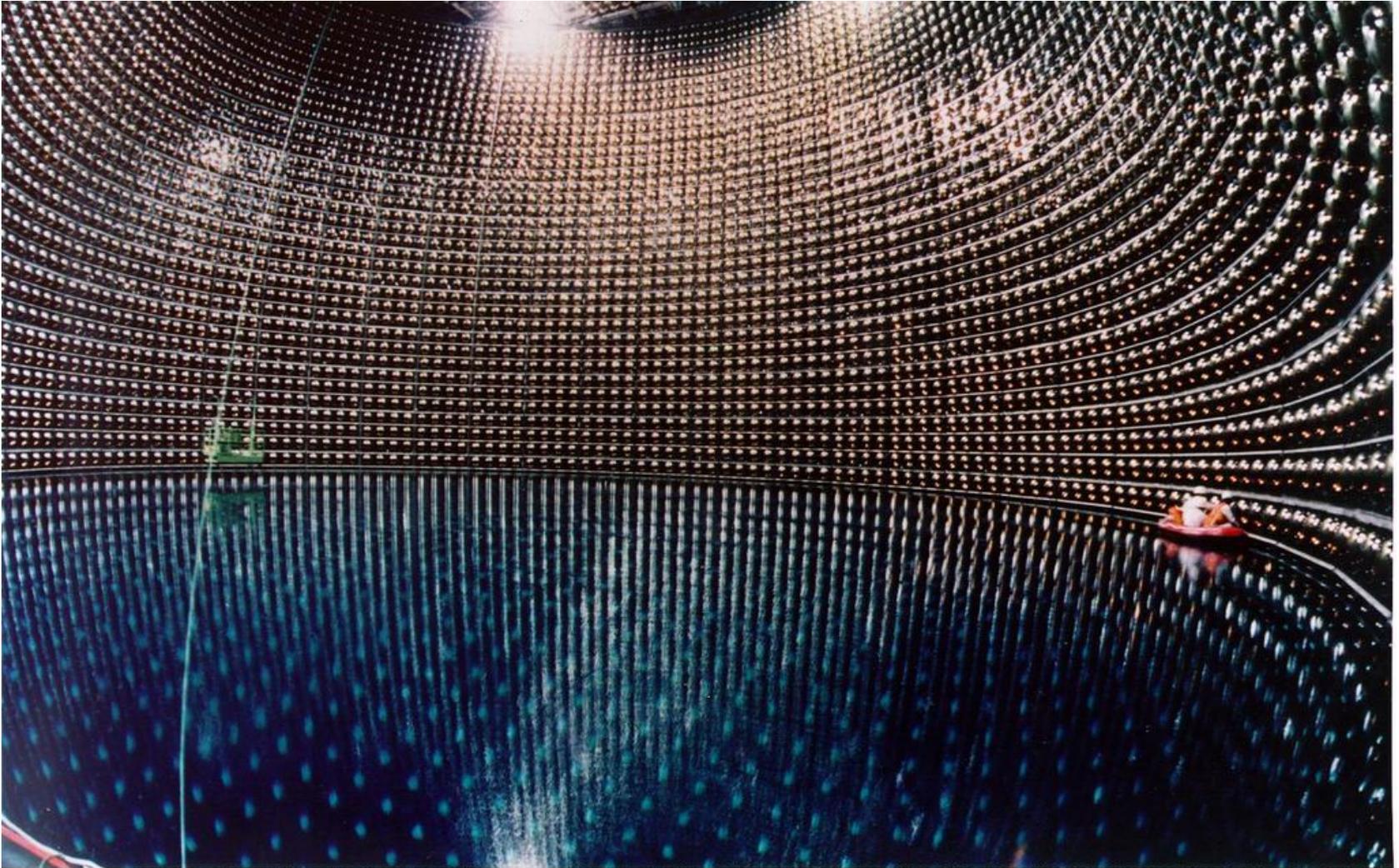


El Sol sólo produce ν_e



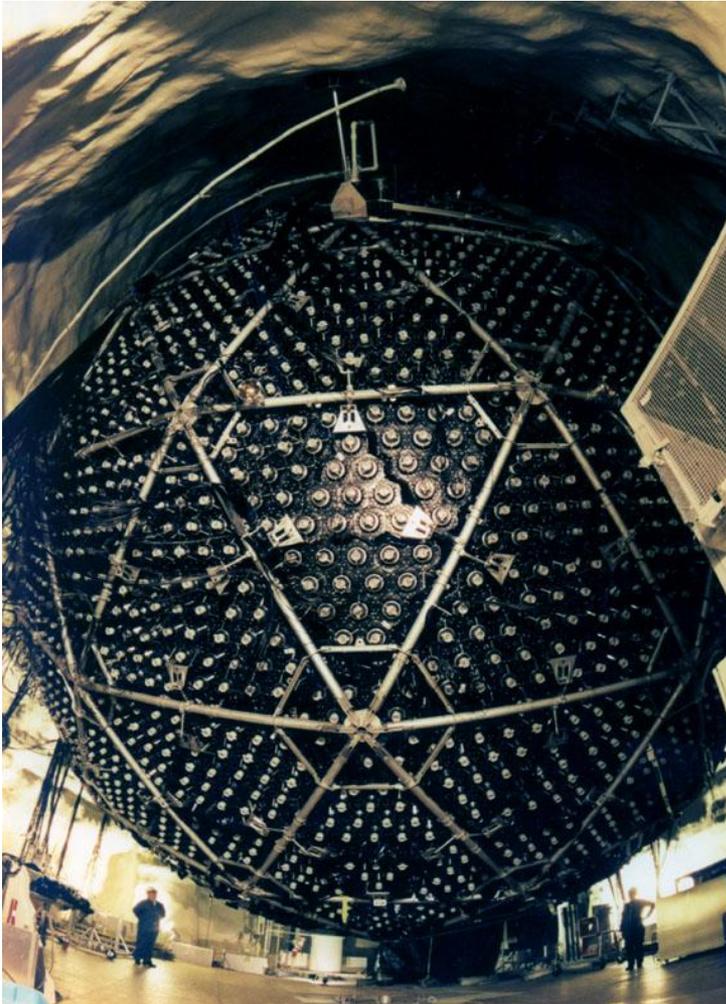
El Sol sólo produce ν_e

Los neutrinos del **Sol** se han detectado en Superkamiokande...



El Sol sólo produce ν_e

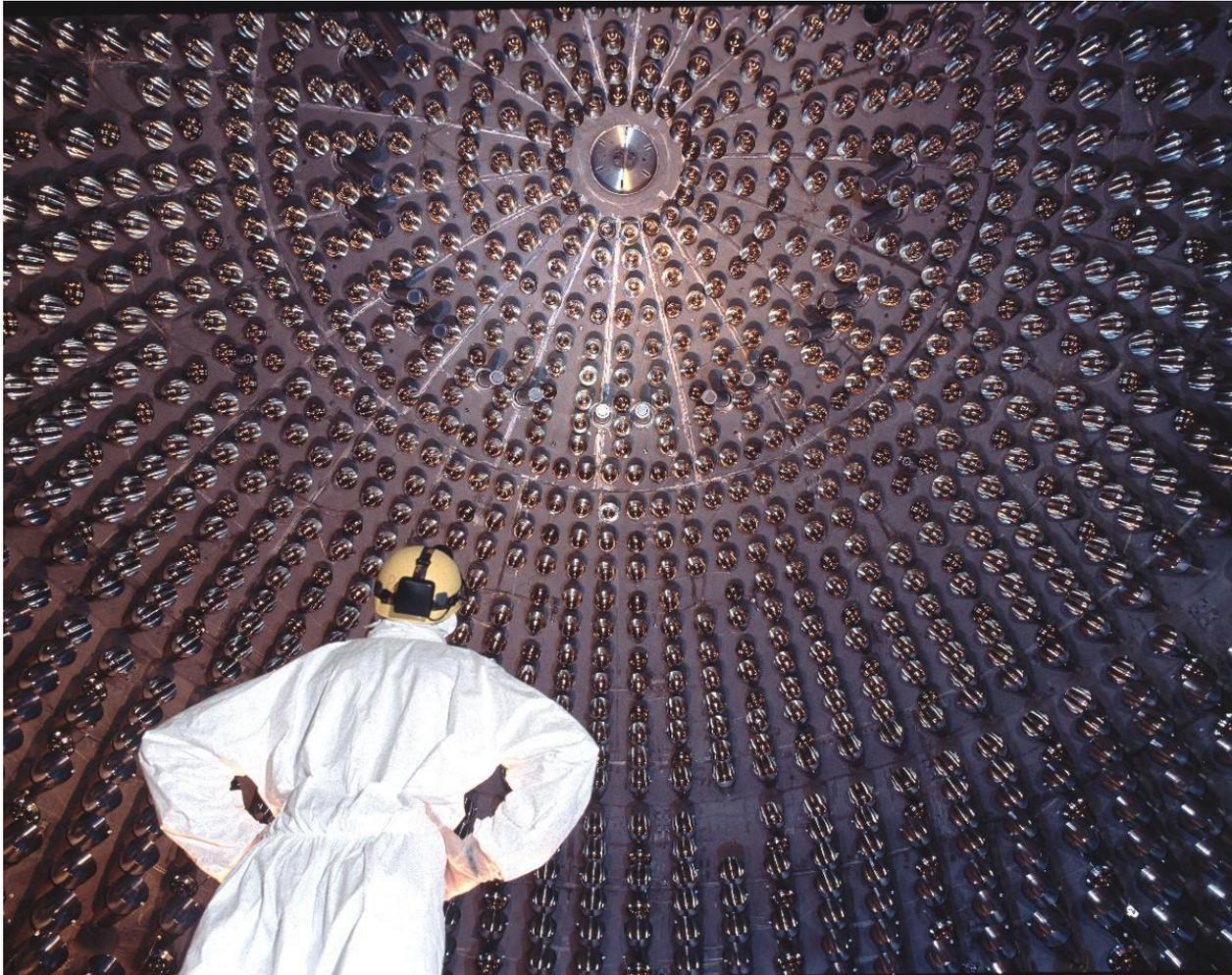
Los neutrinos del Sol se han detectado en SNO, en Canada,...



Tanque esférico
a 2 km de profundidad
con 1000 toneladas de
agua pesada

El Sol sólo produce ν_e

Los neutrinos del Sol se han detectado en Borexino, en Italia,...



Tanque esférico
a 1,4 km de profundidad

El Sol sólo produce ν_e

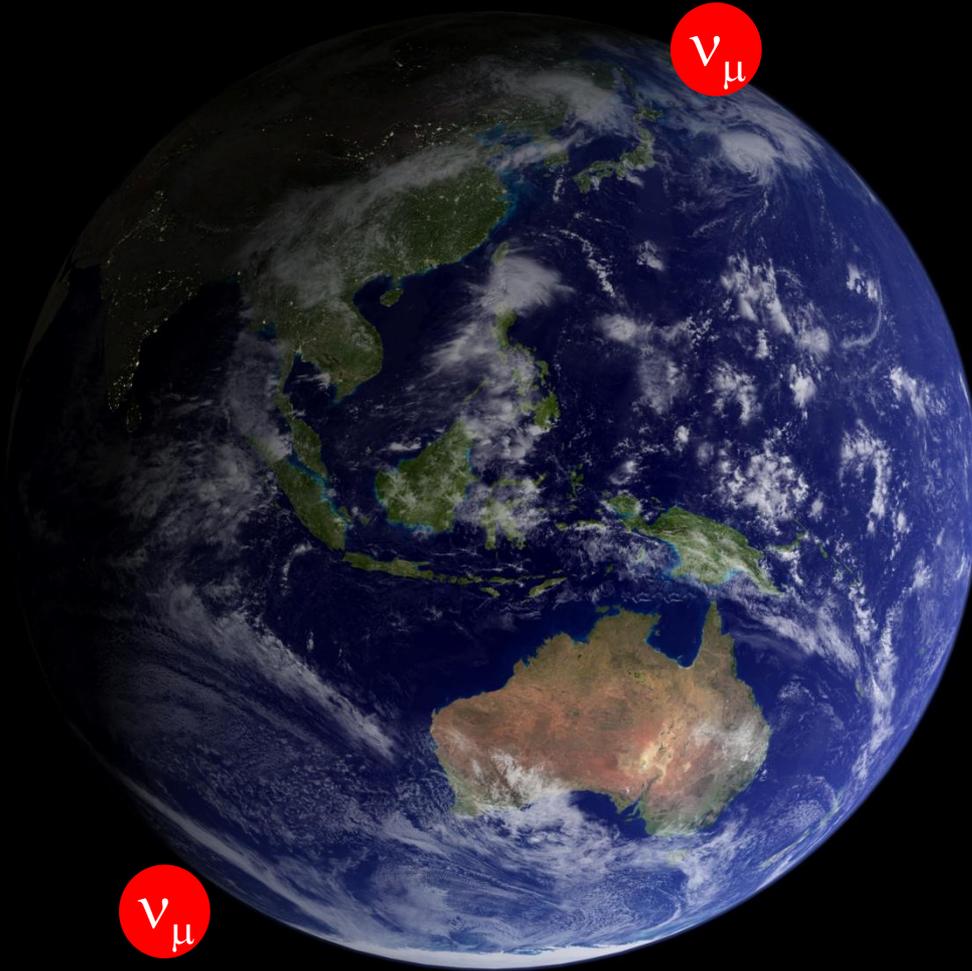
Todos estos experimentos sólo detectan como ν_e aproximadamente uno de cada tres neutrinos que produce el Sol

El resto nos llegan como ν_μ o ν_τ

Indica que los ν_e del Sol oscilan a ν_μ o ν_τ

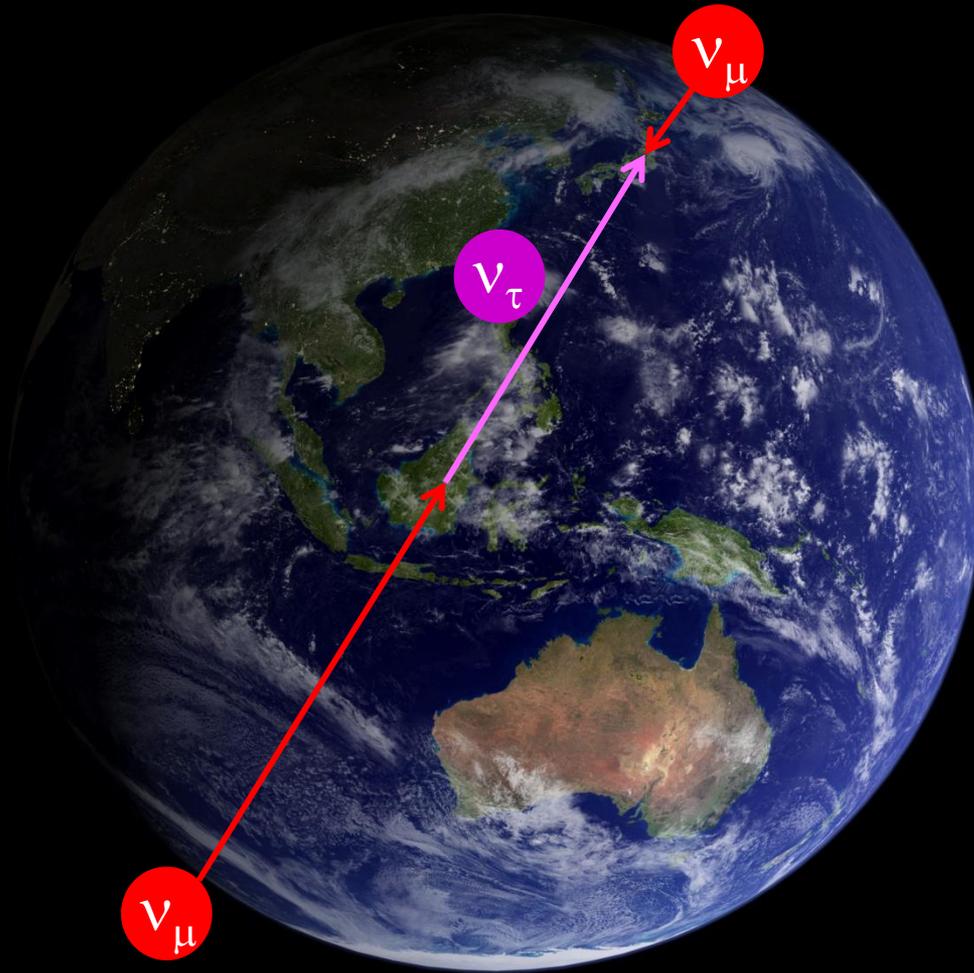
Neutrinos atmosféricos

En la atmósfera también se producen neutrinos ν_e y ν_μ



Neutrinos atmosféricos

En la atmósfera también se producen neutrinos ν_e y ν_μ



Cuando vienen de abajo la mitad de los ν_μ llegan como ν_τ a Superkamiokande

Neutrinos producidos por nosotros

También hemos creado neutrinos en laboratorios para observar su oscilación, en Japón

Tokai-to-Kamioka (T2K)



Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)



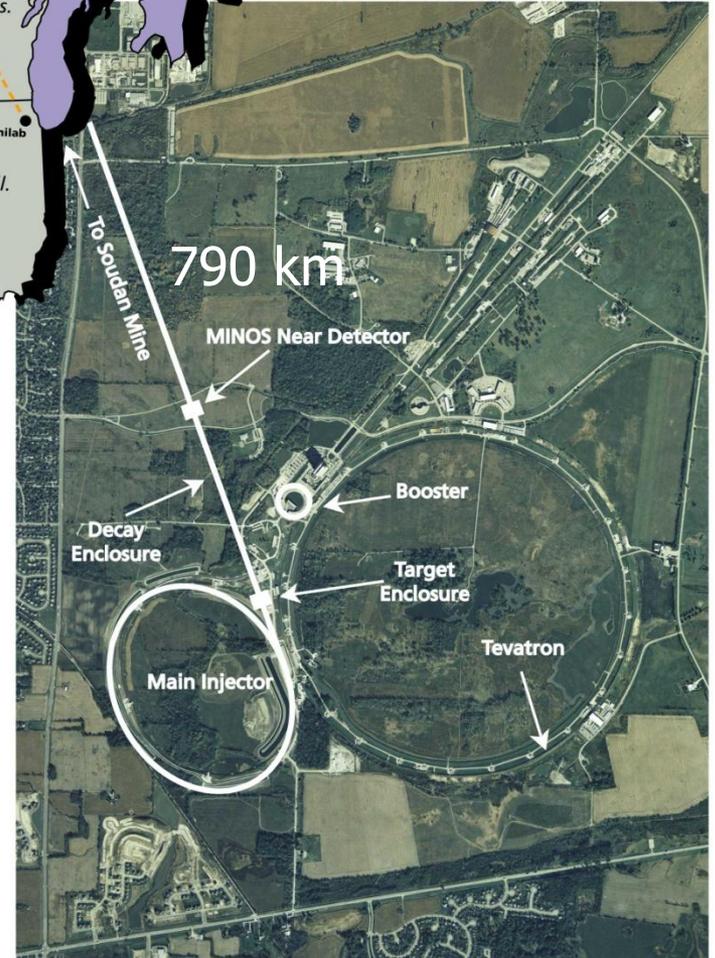
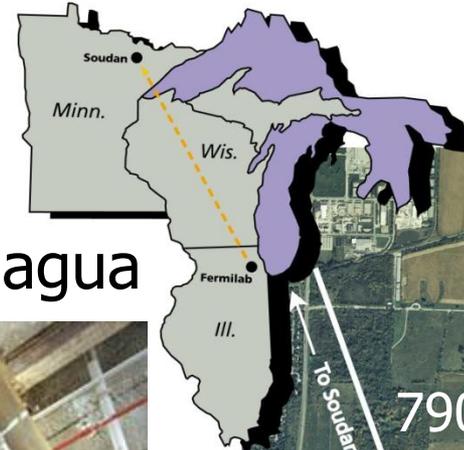
ν_{μ} que oscilan a ν_{τ} y ν_e
después de recorrer 295
km hasta
Superkamiokande



Tomando datos actualmente

Neutrinos producidos por nosotros

MINOS en EEUU
detector de hierro en lugar de agua



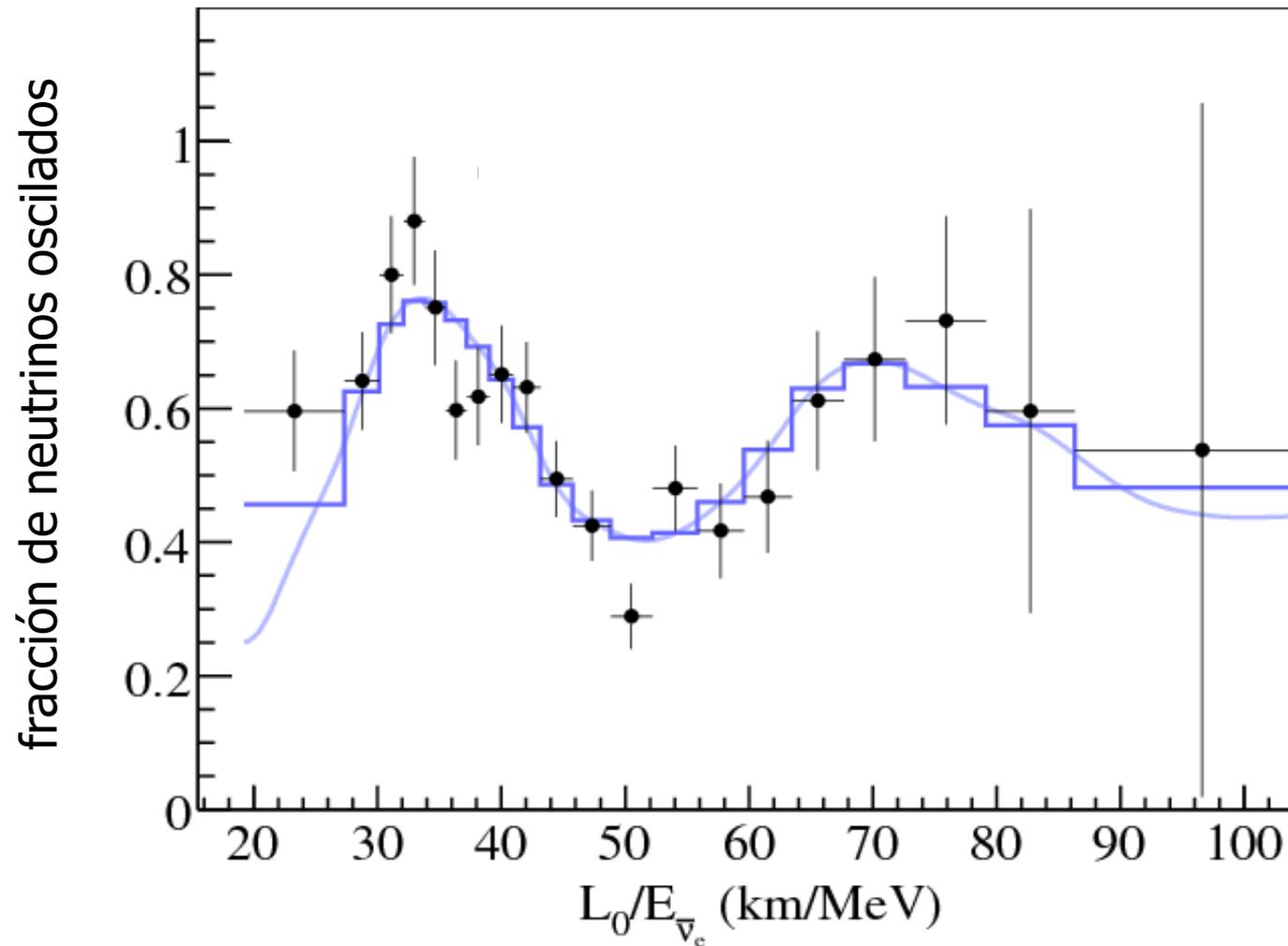
Neutrinos producidos por nosotros

CNGS en Europa, neutrinos producidos en el CERN (Ginebra) se detectan en Italia



Neutrinos producidos por nosotros

Ejemplo de oscilación de neutrinos



Oscilación de neutrinos

Juntando toda la información de los experimentos sabemos que ν_e , ν_μ y ν_τ son la siguiente combinación de ν_1 , ν_2 y ν_3

$$\nu_e = 0.8 \nu_1 + 0.5 \nu_2 \pm 0.2 \nu_3$$

$$\nu_\mu = 0.4 \nu_1 - 0.5 \nu_2 + 0.7 \nu_3$$

$$\nu_\tau = -0.4 \nu_1 + 0.6 \nu_2 + 0.7 \nu_3$$

Oscilación de neutrinos

Juntando toda la información de los experimentos sabemos que ν_e , ν_μ y ν_τ son la siguiente combinación de ν_1 , ν_2 y ν_3

$$\begin{aligned}\nu_e &= 0.8 \nu_1 + 0.5 \nu_2 \pm 0.2 \nu_3 \\ \nu_\mu &= 0.4 \nu_1 - 0.5 \nu_2 + 0.7 \nu_3 \\ \nu_\tau &= -0.4 \nu_1 + 0.6 \nu_2 + 0.7 \nu_3\end{aligned}$$

Aún no se ha podido medir

Antimateria

Además por cada tipo de partícula hay una antipartícula

Materia



"arriba" y "abajo"



electrón y neutrino e

Las antipartículas son idénticas en todo a sus partículas correspondientes excepto en su carga, que es la opuesta

Antimateria

Además por cada tipo de partícula hay una antipartícula

Materia



"arriba" y "abajo"



electrón y neutrino e

Antimateria



"anti-arriba" y "anti-abajo"



positrón y antineutrino e

Las antipartículas son idénticas en todo a sus partículas correspondientes excepto en su carga, que es la opuesta

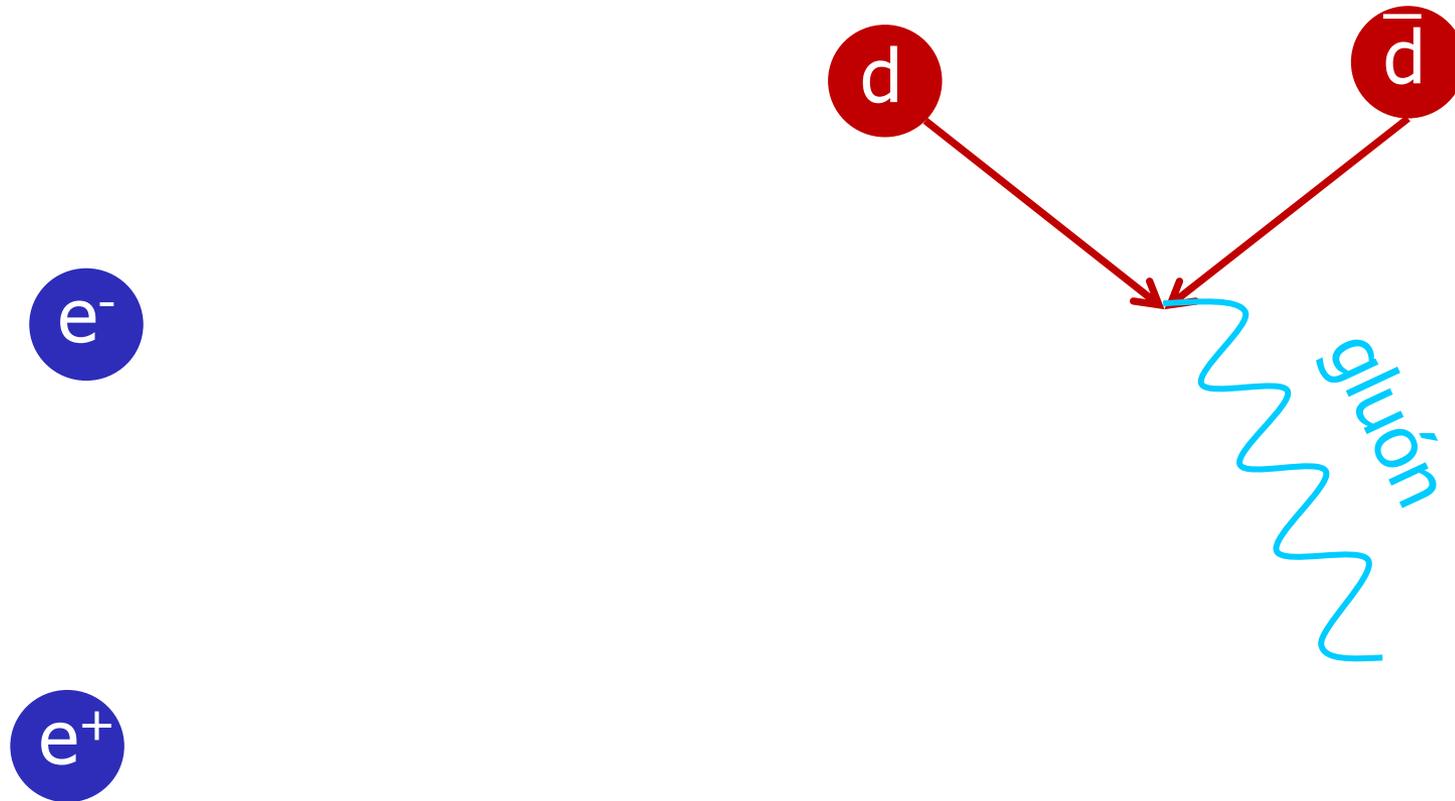
Antimateria

Las partículas y antipartículas se aniquilan cuando chocan



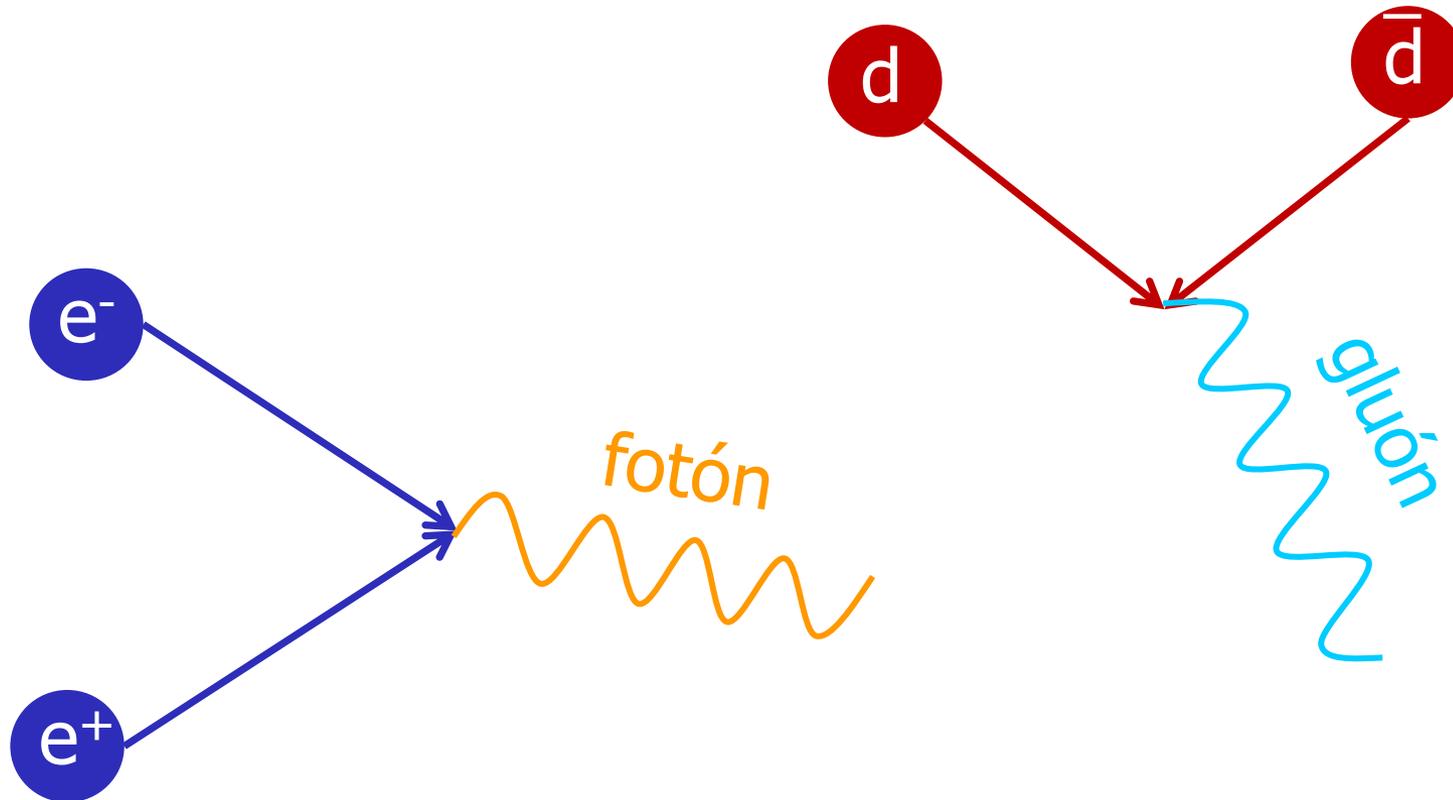
Antimateria

Las partículas y antipartículas se aniquilan cuando chocan



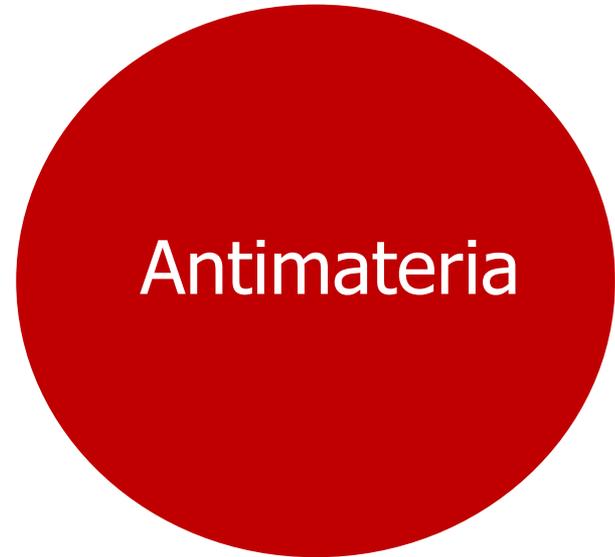
Antimateria

Las partículas y antipartículas se aniquilan cuando chocan



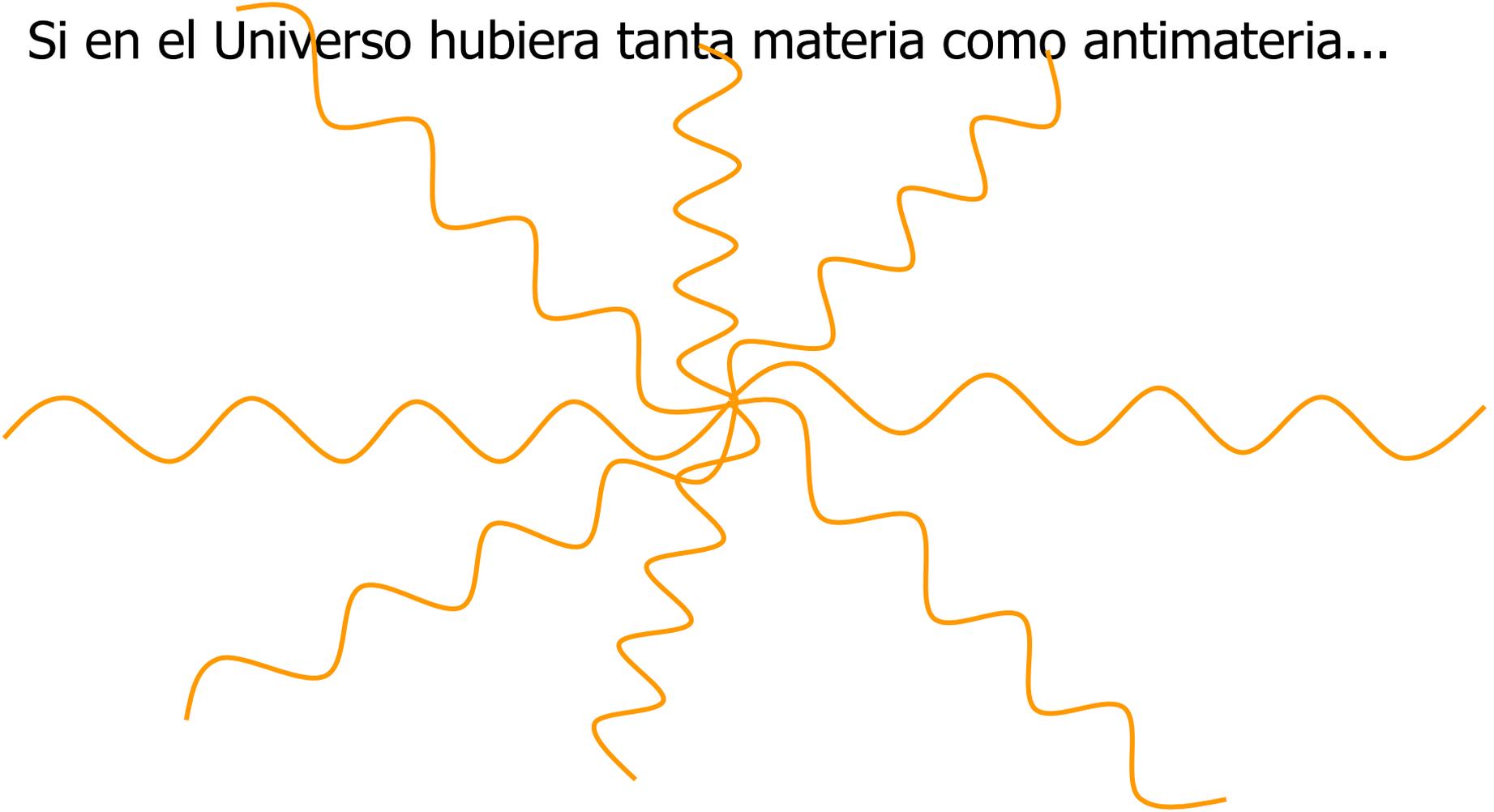
Antimateria

Si en el Universo hubiera tanta materia como antimateria...



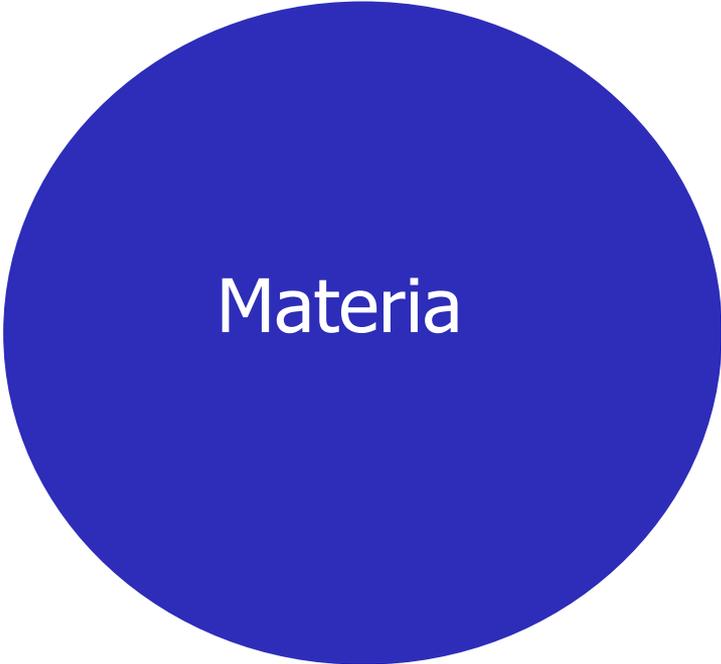
Antimateria

Si en el Universo hubiera tanta materia como antimateria...

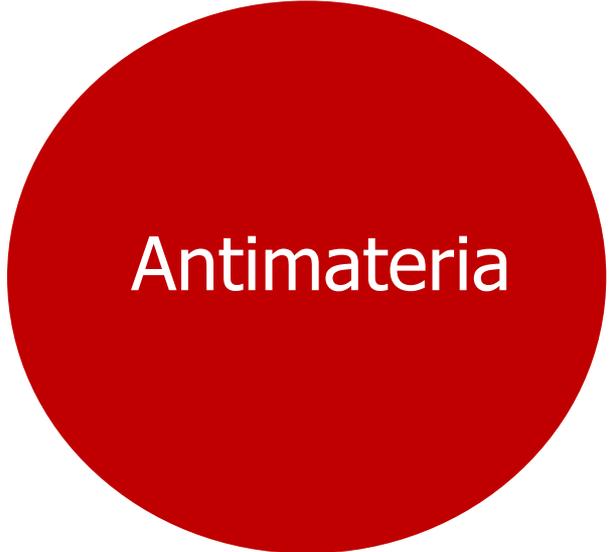


Antimateria

Sabemos que había un pequeño exceso de materia sobre antimateria en el Universo



Materia



Antimateria

Antimateria

Sabemos que había un pequeño exceso de materia sobre antimateria en el Universo



En concreto habría 10 000 000 001 partículas por cada 10 000 000 000 antipartícula en el Universo antiguo



Antimateria

Las partículas se comportan de forma esencialmente idéntica a las antipartículas, se crean y se destruyen juntas

Antimateria

Las partículas se comportan de forma esencialmente idéntica a las antipartículas, se crean y se destruyen juntas

No sabemos de dónde viene el pequeño exceso de partículas al que debemos nuestra existencia

Antimateria

Las partículas se comportan de forma esencialmente idéntica a las antipartículas, se crean y se destruyen juntas

No sabemos de dónde viene el pequeño exceso de partículas al que debemos nuestra existencia

Los **neutrinos** podrían tener la respuesta

Antimateria

Las partículas se comportan de forma esencialmente idéntica a las antipartículas, se crean y se destruyen juntas

No sabemos de dónde viene el pequeño exceso de partículas al que debemos nuestra existencia

Los **neutrinos** podrían tener la respuesta

Al ser neutros (sin carga) los **antineutrinos** podrían transformarse en **neutrinos** de forma parecida a como unos **neutrinos** se transforman en otros al oscilar

Antimateria

Las partículas se comportan de forma esencialmente idéntica a las antipartículas, se crean y se destruyen juntas

No sabemos de dónde viene el pequeño exceso de partículas al que debemos nuestra existencia

Los **neutrinos** podrían tener la respuesta

Al ser neutros (sin carga) los **antineutrinos** podrían transformarse en **neutrinos** de forma parecida a como unos **neutrinos** se transforman en otros al oscilar



se podría generar un exceso de materia

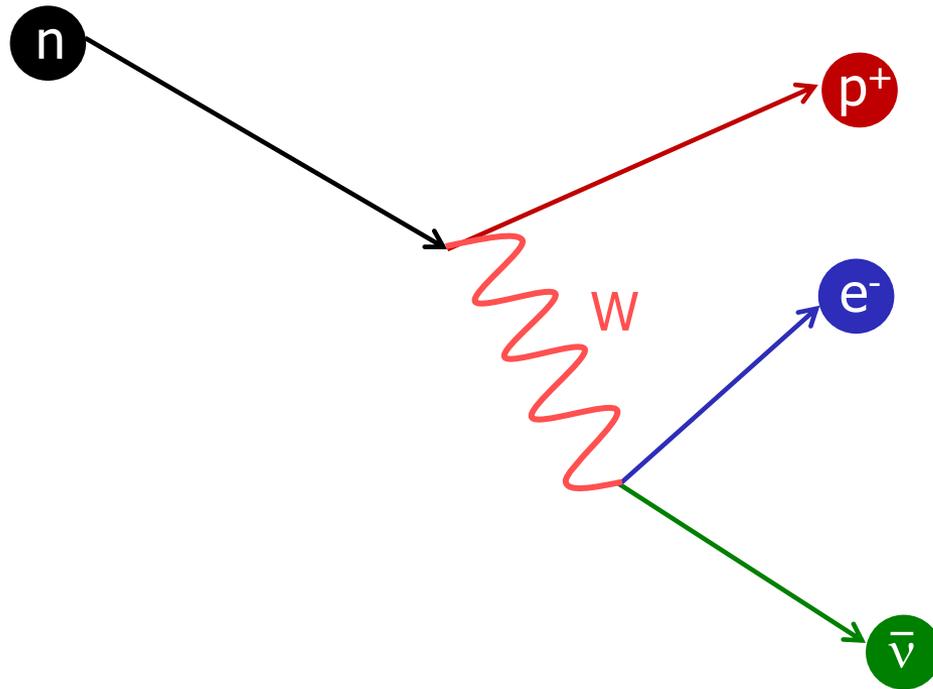
Desintegración beta sin neutrinos

Actualmente hay experimentos investigando si esta conversión entre antineutrinos y neutrinos es posible:

n

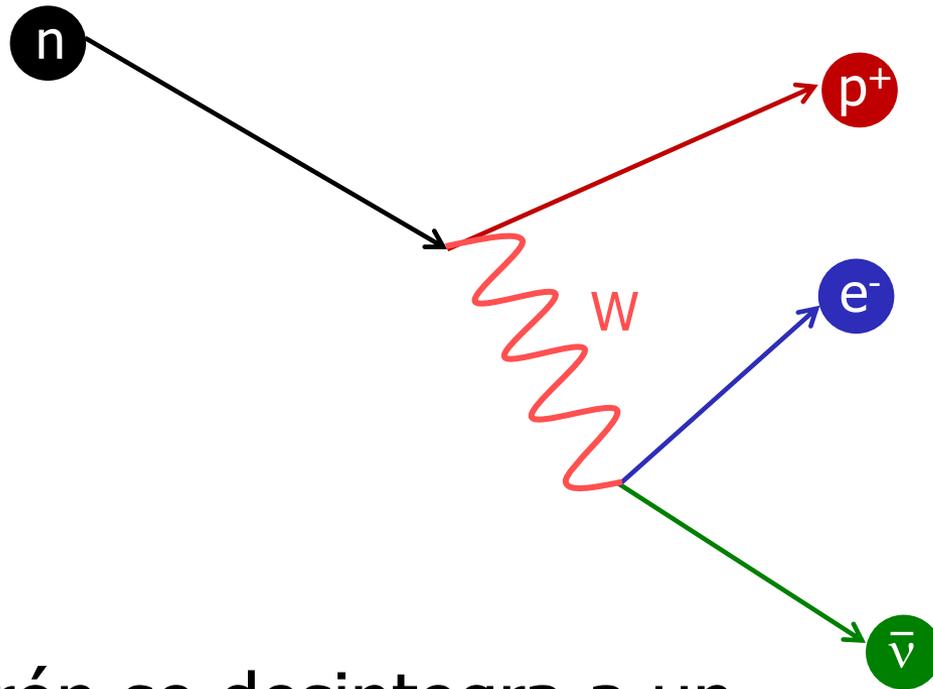
Desintegración beta sin neutrinos

Actualmente hay experimentos investigando si esta conversión entre antineutrinos y neutrinos es posible:



Desintegración beta sin neutrinos

Actualmente hay experimentos investigando si esta conversión entre antineutrinos y neutrinos es posible:



Un neutrón se desintegra a un **protón**, un **electrón** y un **antineutrino**

Desintegración beta sin neutrinos

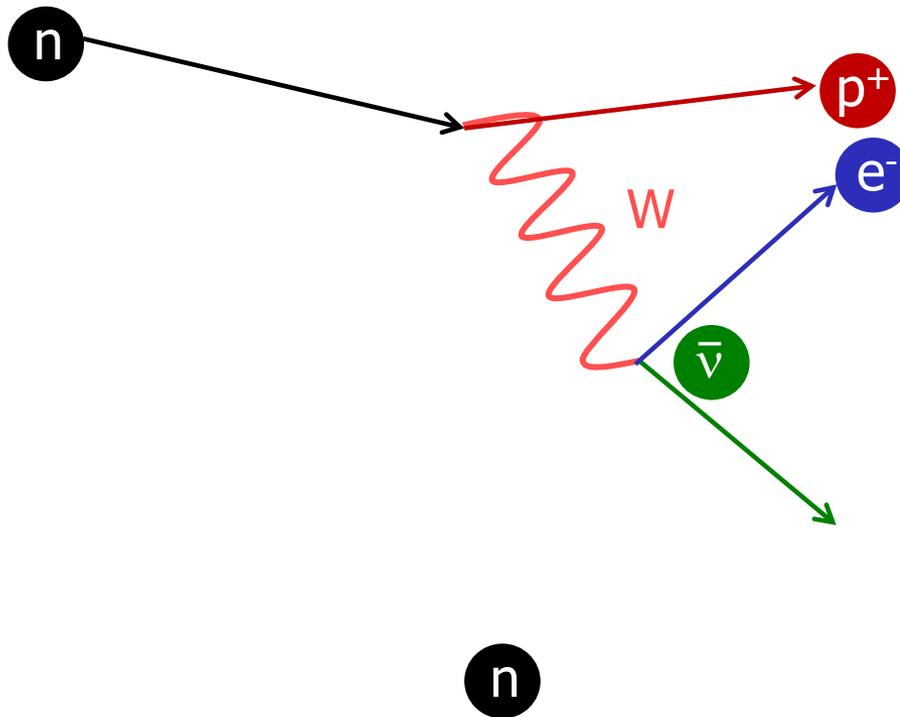
Si los **antineutrinos** pudieran pasar a **neutrinos**:

n

n

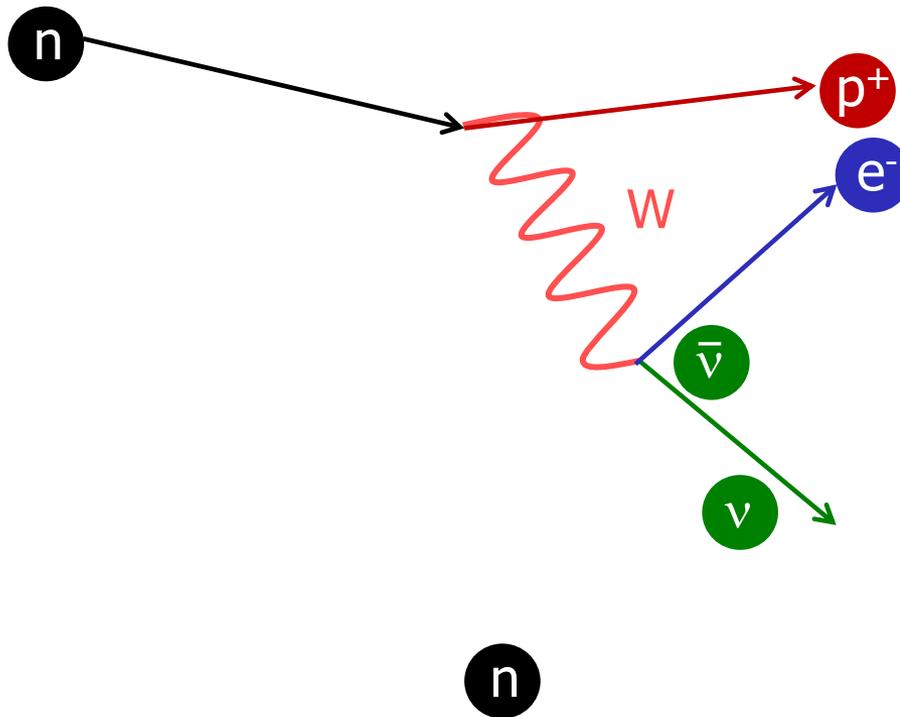
Desintegración beta sin neutrinos

Si los **antineutrinos** pudieran pasar a **neutrinos**:



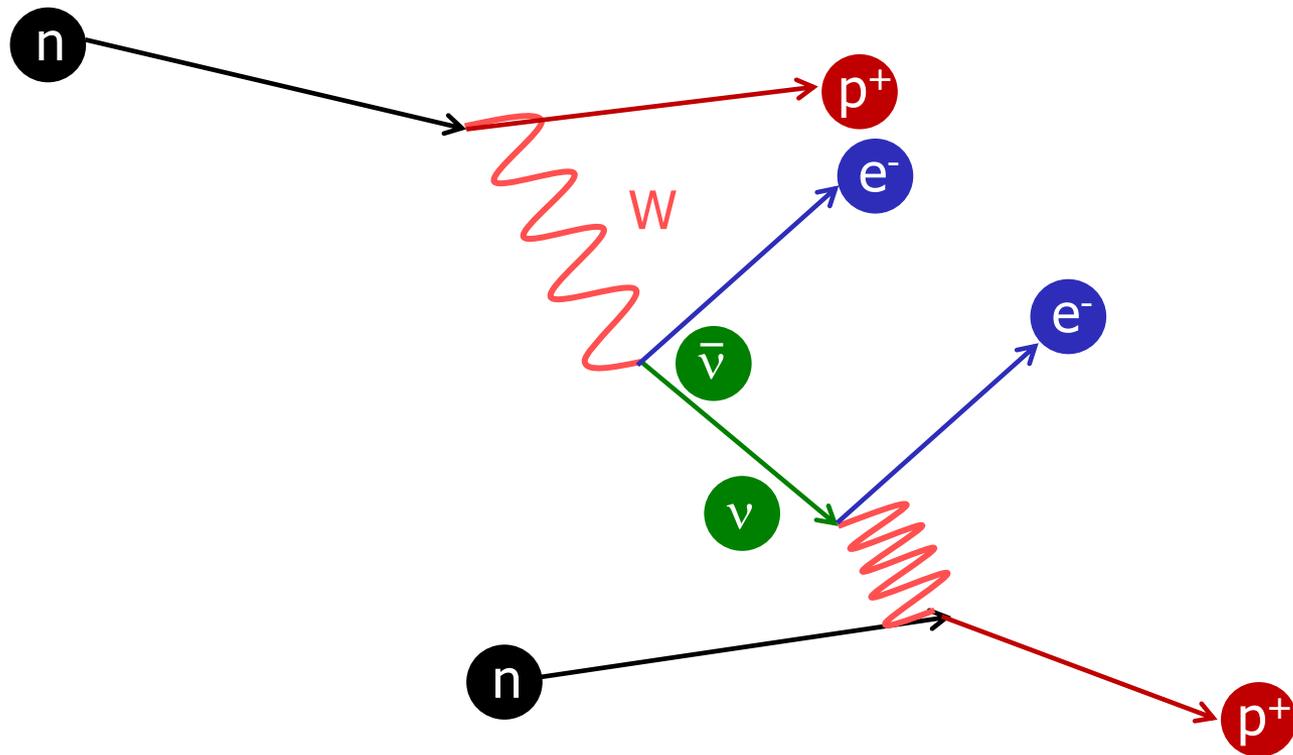
Desintegración beta sin neutrinos

Si los **antineutrinos** pudieran pasar a **neutrinos**:



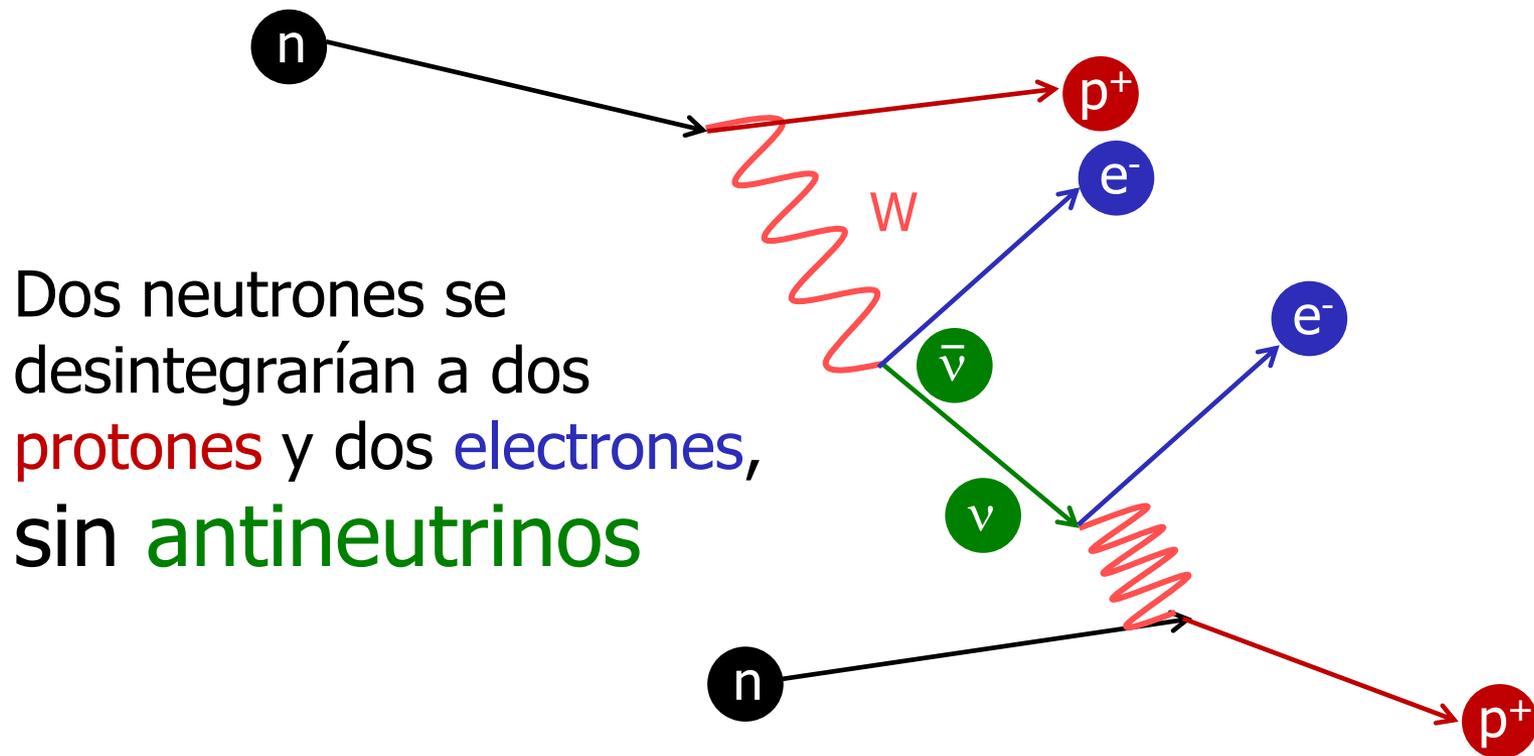
Desintegración beta sin neutrinos

Si los **antineutrinos** pudieran pasar a **neutrinos**:



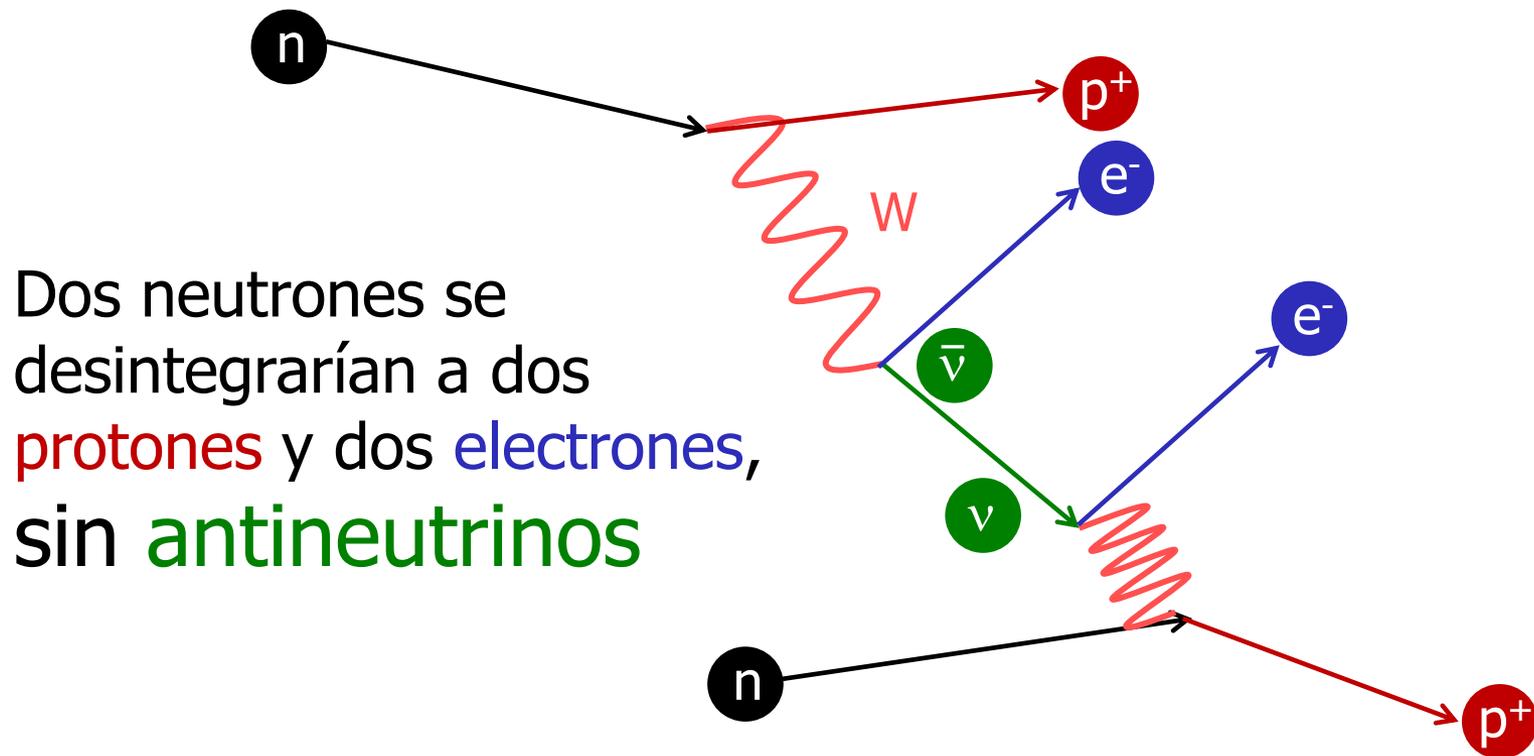
Desintegración beta sin neutrinos

Si los **antineutrinos** pudieran pasar a **neutrinos**:



Desintegración beta sin neutrinos

Si los **antineutrinos** pudieran pasar a **neutrinos**:



Si este proceso se llega a observar indicaría que los **neutrinos** pueden ser los responsables de la asimetría de materia a la que debemos nuestra existencia!!

Conclusiones

Los **neutrinos** son de las partículas más numerosas del Universo

Su interacción es **extremadamente débil**, detectarlas es todo un reto!

Pero gracias a ellas brillan el **Sol** y las **estrellas**

Pueden dar información del **pasado lejano**

Su **masa** es tan pequeña que solo sabemos que existe de forma indirecta debido a la **oscilación de neutrinos**

Los **neutrinos** podrían pasar de **antipartícula** a **partícula** y explicar el exceso de **materia** al que debemos nuestra existencia