

# Neutrino Masterclass



# ¿QUÉ SON LOS NEUTRINOS?


- **Partículas fundamentales**

# ¿QUÉ SON LOS NEUTRINOS?

- **Partículas fundamentales**
- **Partículas sin carga electromagnética y que interaccionan muy débilmente**

# ¿QUÉ SON LOS NEUTRINOS?


- **Partículas fundamentales**
- **Partículas sin carga electromagnética y que interaccionan muy débilmente**



$10^{12}$   
por sec

# ¿QUÉ SON LOS NEUTRINOS?

- Partículas fundamentales
- Partículas sin carga electromagnética y que interaccionan muy débilmente
- Tienen masa, pero es muy pequeña



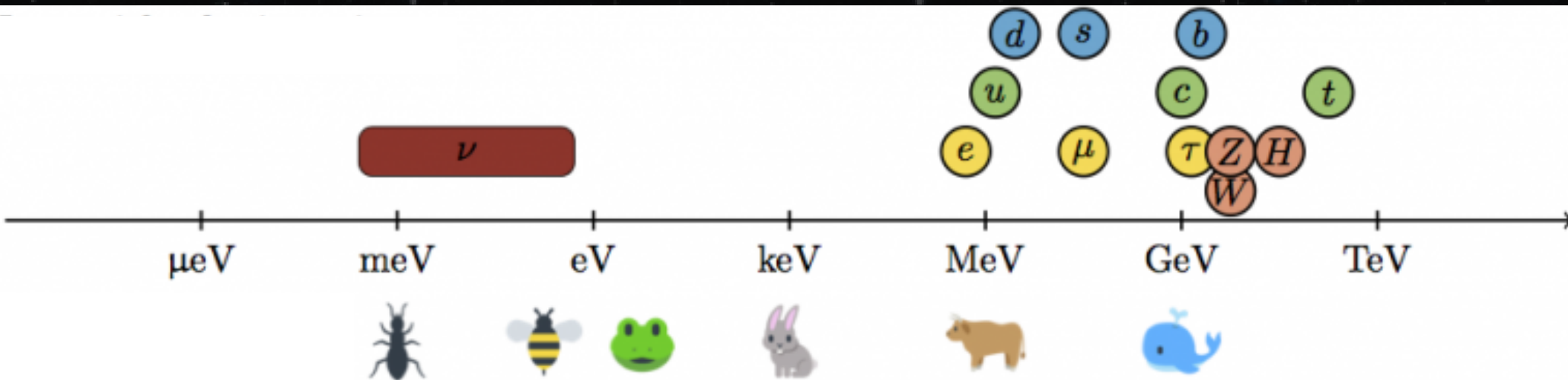
$10^{12}$   
por sec



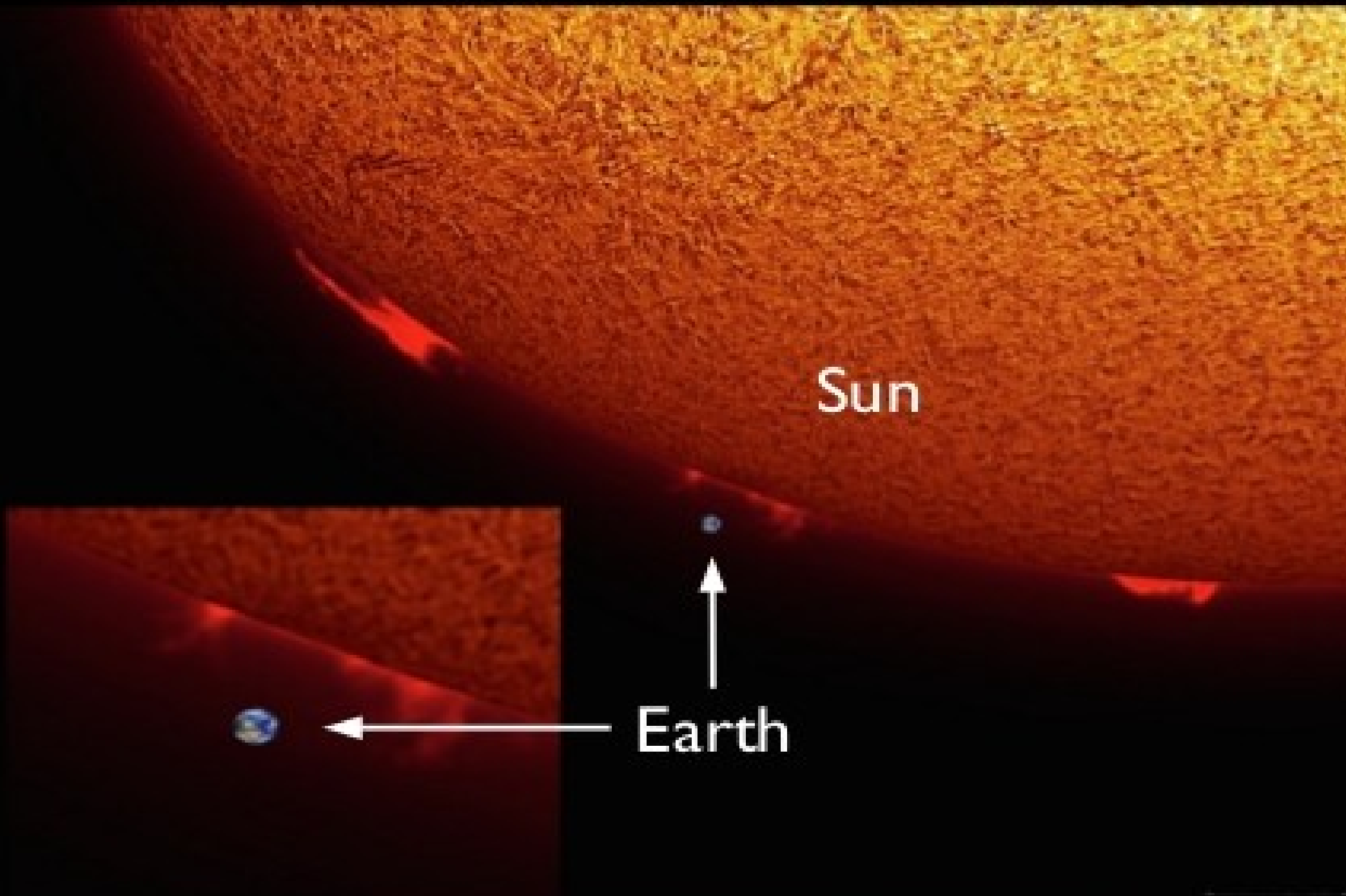
# ¿QUÉ SON LOS NEUTRINOS?

- Partículas fundamentales
- Partículas sin carga electromagnética y que interaccionan muy débilmente
- Tienen masa, pero es muy pequeña

$10^{12}$   
por sec

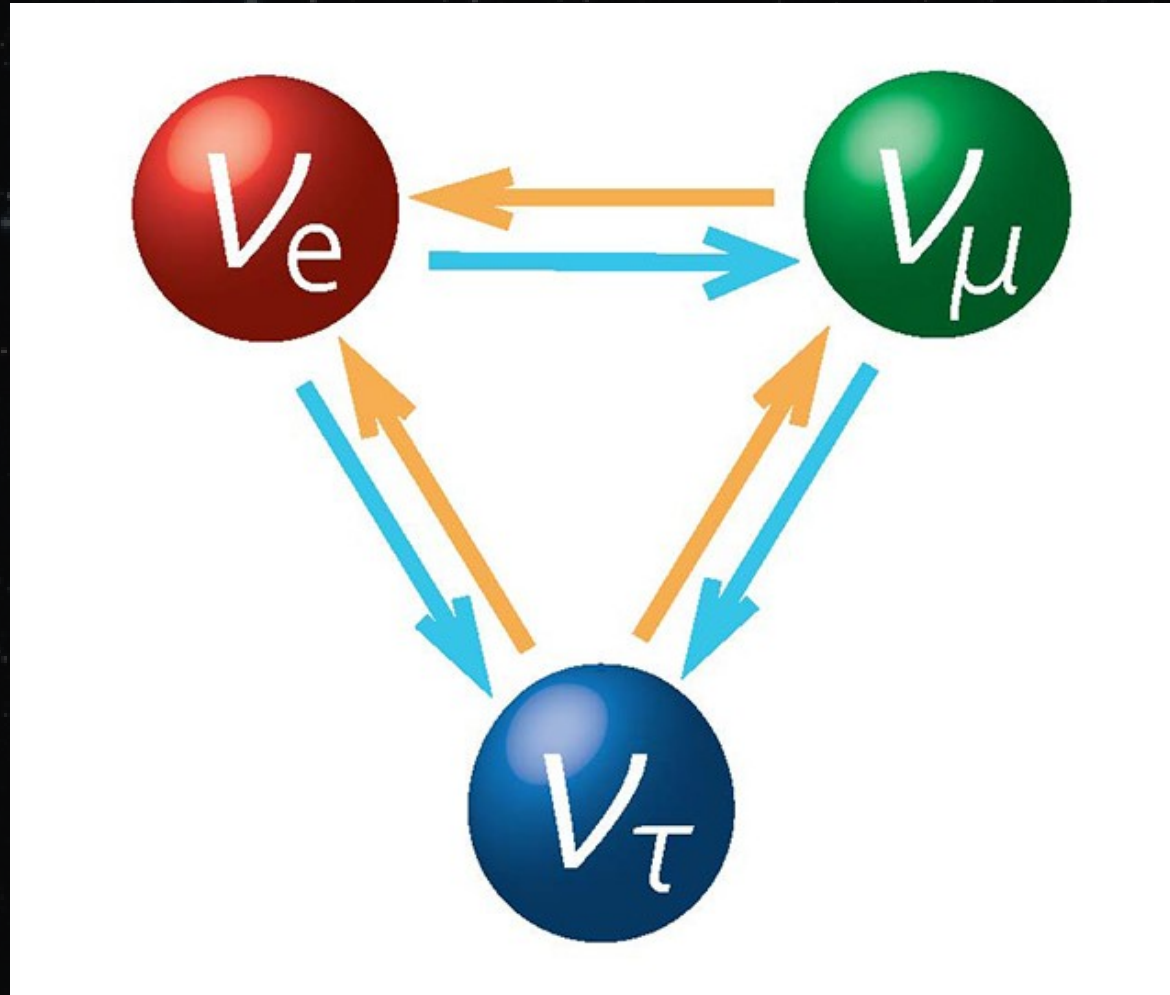


# ¿QUÉ SON LOS NEUTRINOS?



# LOS NEUTRINOS OSCILAN

Existen tres tipos de neutrinos

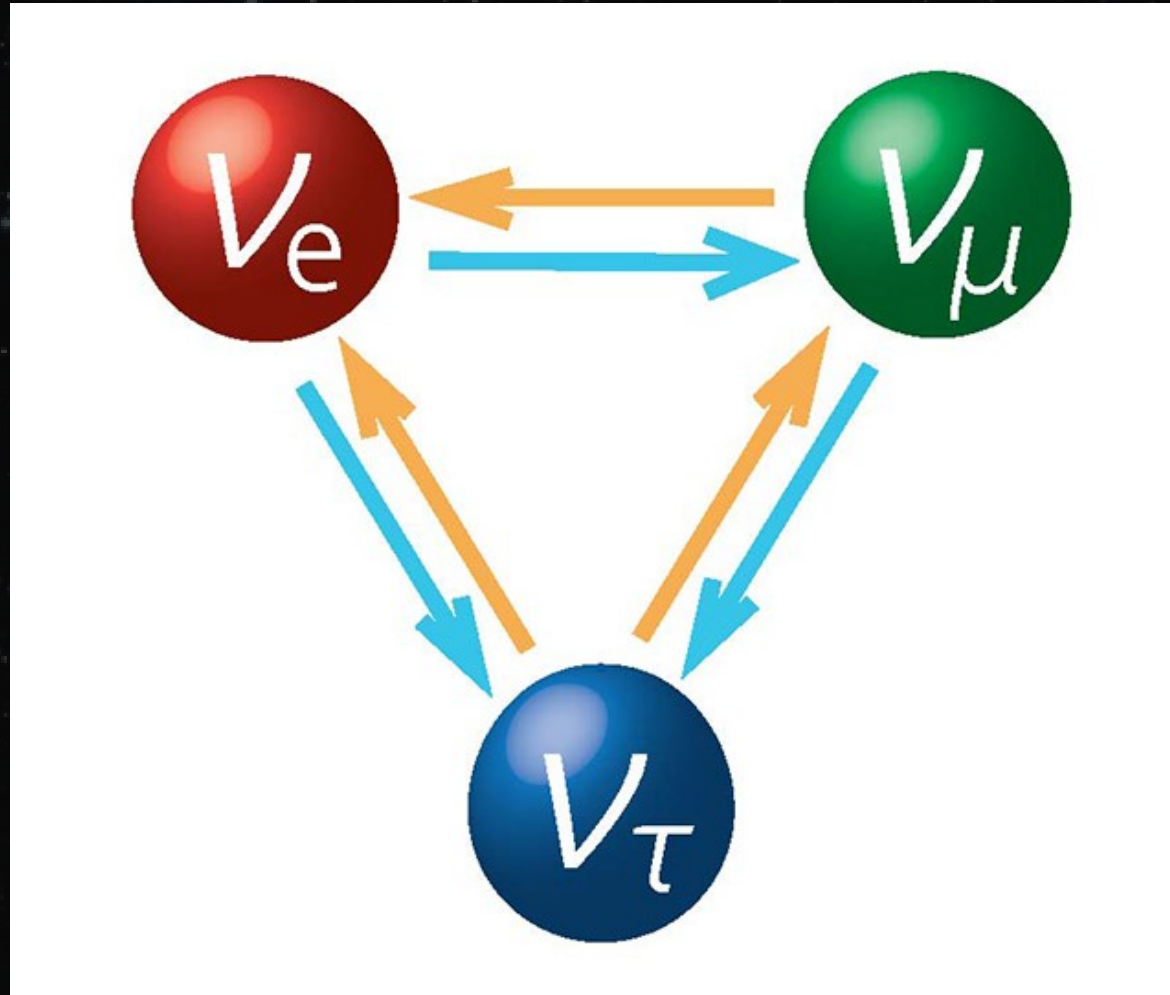


$10^{12}$   
por sec



# LOS NEUTRINOS OSCILAN

Existen tres tipos de neutrinos

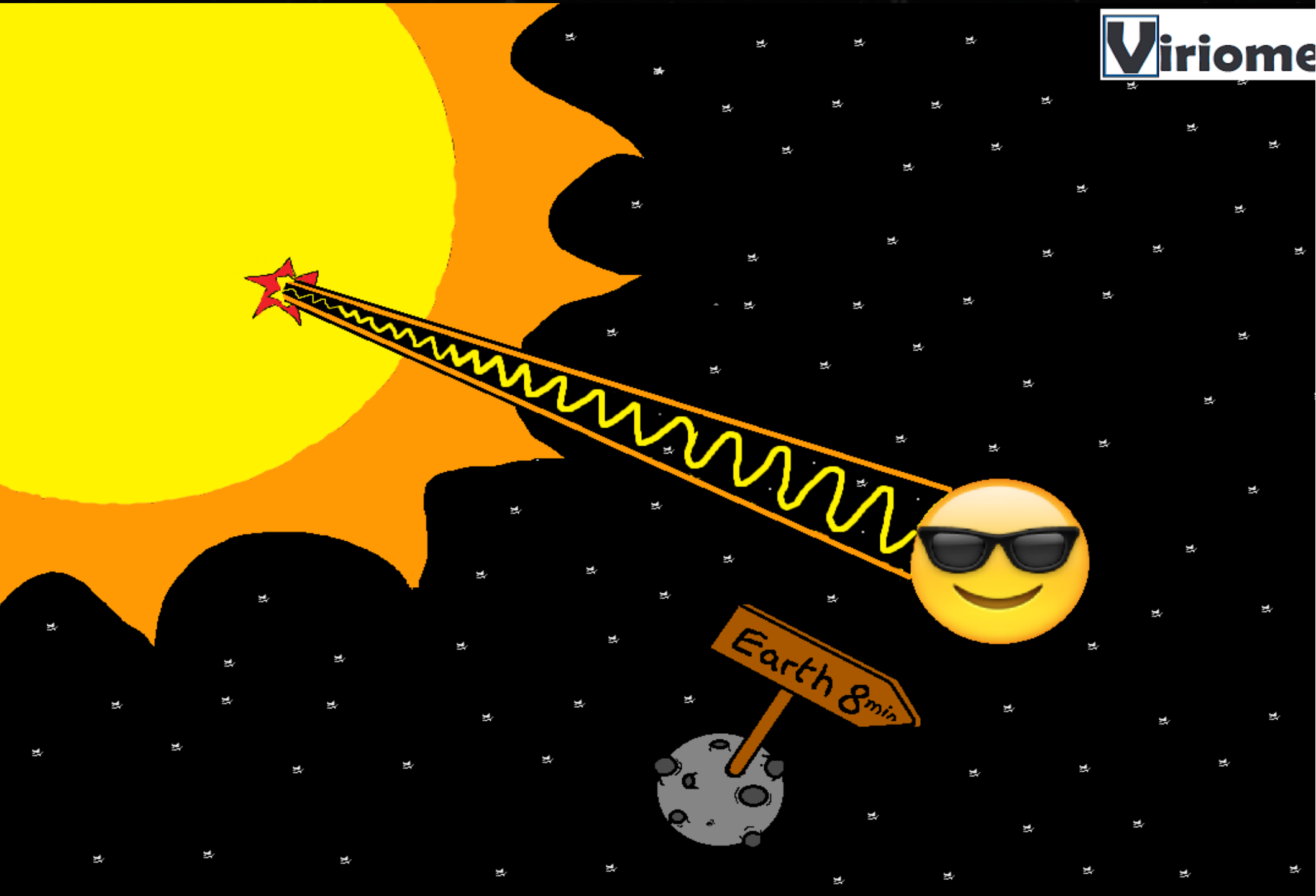


$10^{12}$   
por sec

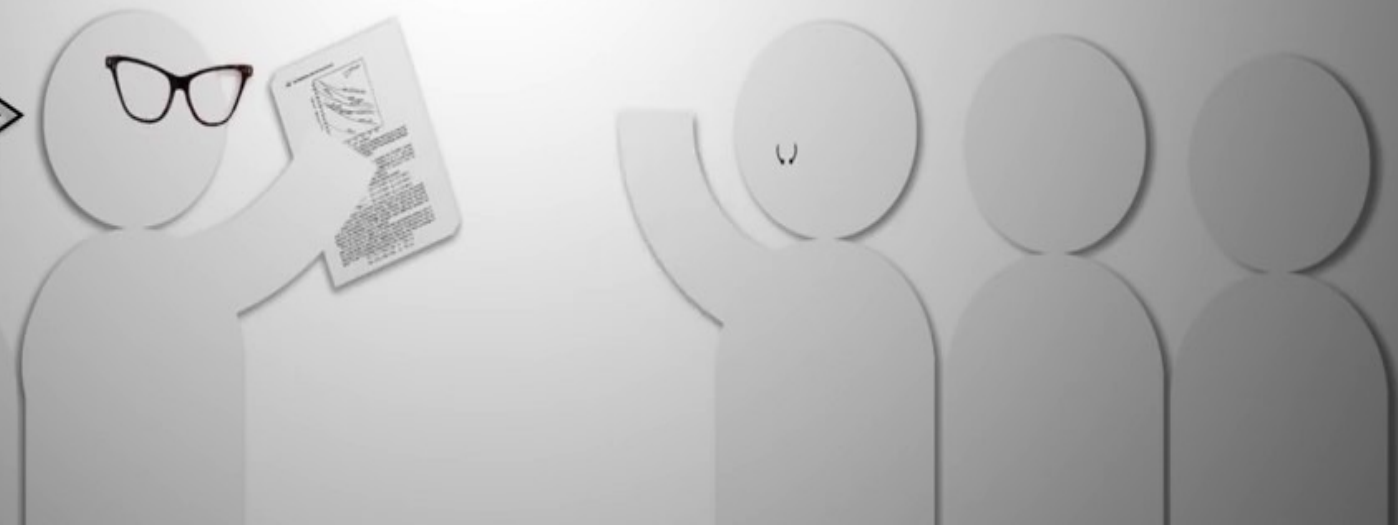
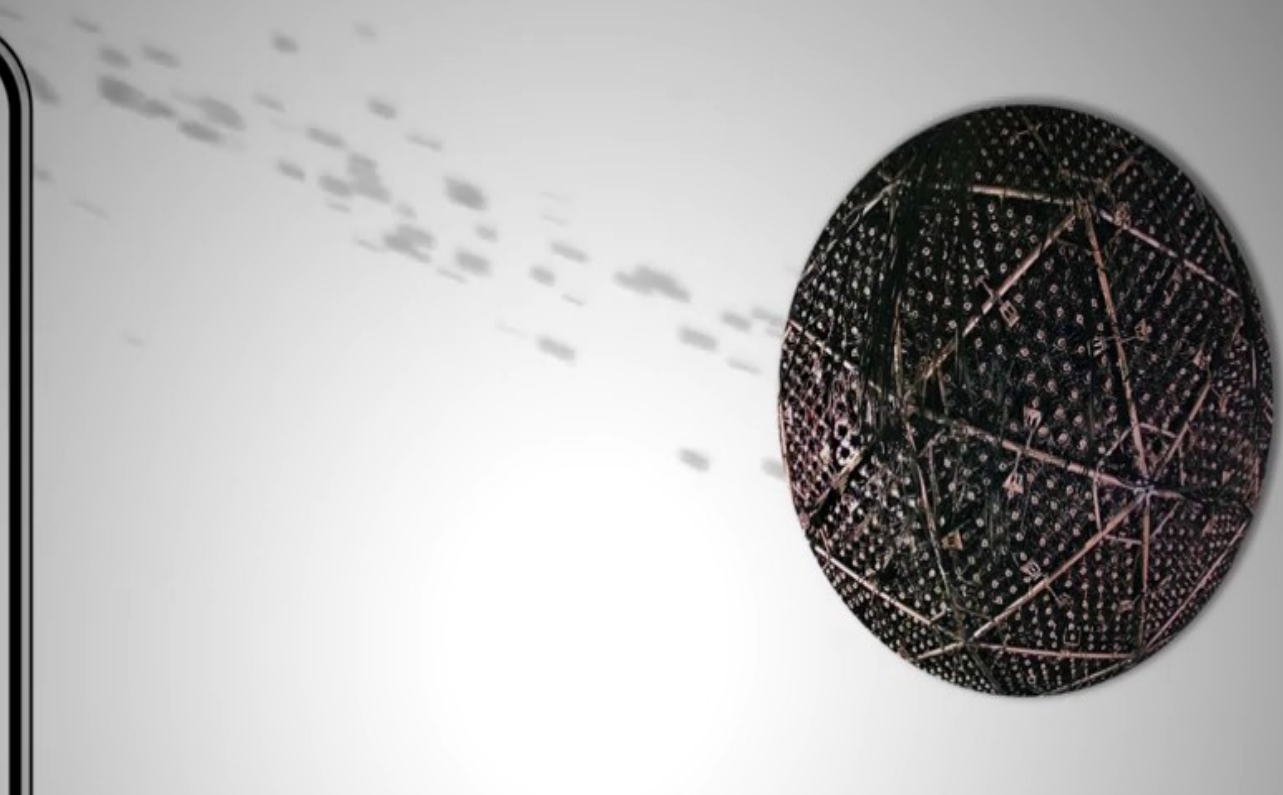
Se llaman sabores

# LOS NEUTRINOS OSCILAN

Viriome



# LOS NEUTRINOS OSCILAN



# LOS NEUTRINOS OSCILAN

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu, L) = 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \cos(\theta_{13})^2 \cos(\theta_{12})^2 + J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) \\ + 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \sin(\theta_{12})^2 \cos(\theta_{13})^2 - J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) \\ - 2J \sin \delta \left[ \sin \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) - \sin \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) - \frac{\Delta m_{21}^2 L}{2E} \right]$$

# LOS NEUTRINOS OSCILAN

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu, L) = 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \cos(\theta_{13})^2 \cos(\theta_{12})^2 + J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) \\ + 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \sin(\theta_{12})^2 \cos(\theta_{13})^2 - J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) \\ - 2J \sin \delta \left[ \sin \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) - \sin \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) - \frac{\Delta m_{21}^2 L}{2E} \right]$$

# LOS NEUTRINOS OSCILAN

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu, L) = 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \cos(\theta_{13})^2 \cos(\theta_{12})^2 + J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) \\ + 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \sin(\theta_{12})^2 \cos(\theta_{13})^2 - J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) \\ - 2J \sin \delta \left[ \sin \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) - \sin \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) - \frac{\Delta m_{21}^2 L}{2E} \right]$$

**¡Los neutrinos tienen  
masa!**



# LOS NEUTRINOS OSCILAN

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu, L) = 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \cos(\theta_{13})^2 \cos(\theta_{12})^2 + J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) \\ + 4[\sin(\theta_{13})^2 \sin(\theta_{23})^2 \sin(\theta_{12})^2 \cos(\theta_{13})^2 - J \cos \delta] \sin^2 \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) \\ - 2J \sin \delta \left[ \sin \left( \frac{\Delta m_{31}^2 L}{2E} \right) - \sin \left( \frac{\Delta m_{32}^2 L}{2E} \right) - \frac{\Delta m_{21}^2 L}{2E} \right]$$

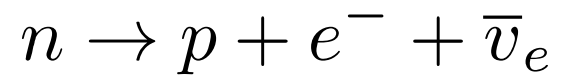


**¡Los neutrinos tienen  
masa!**

**2015**

# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

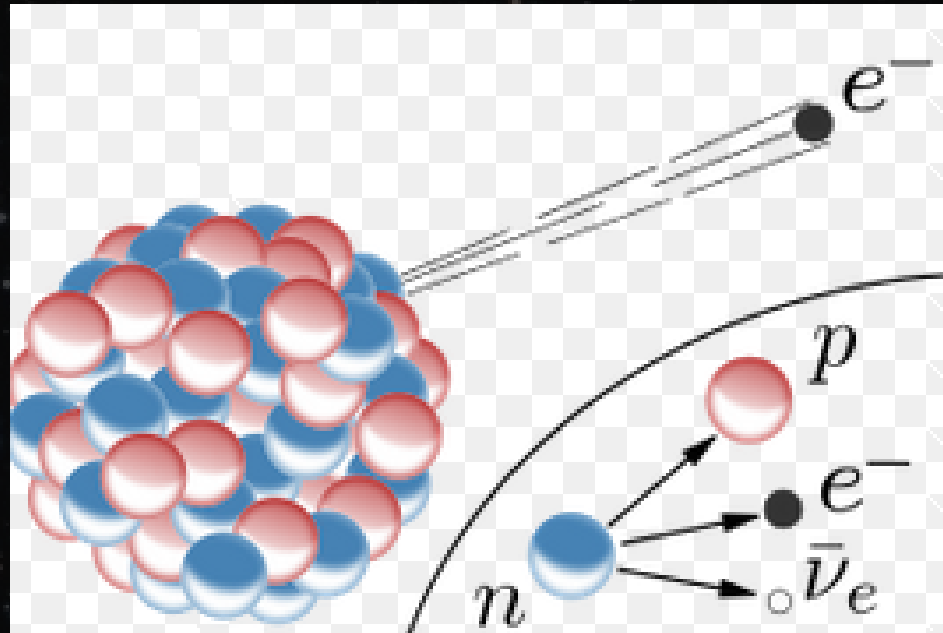
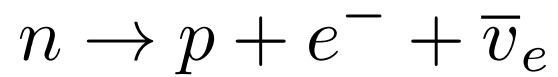
## Desintegración beta



$10^{12}$   
por sec

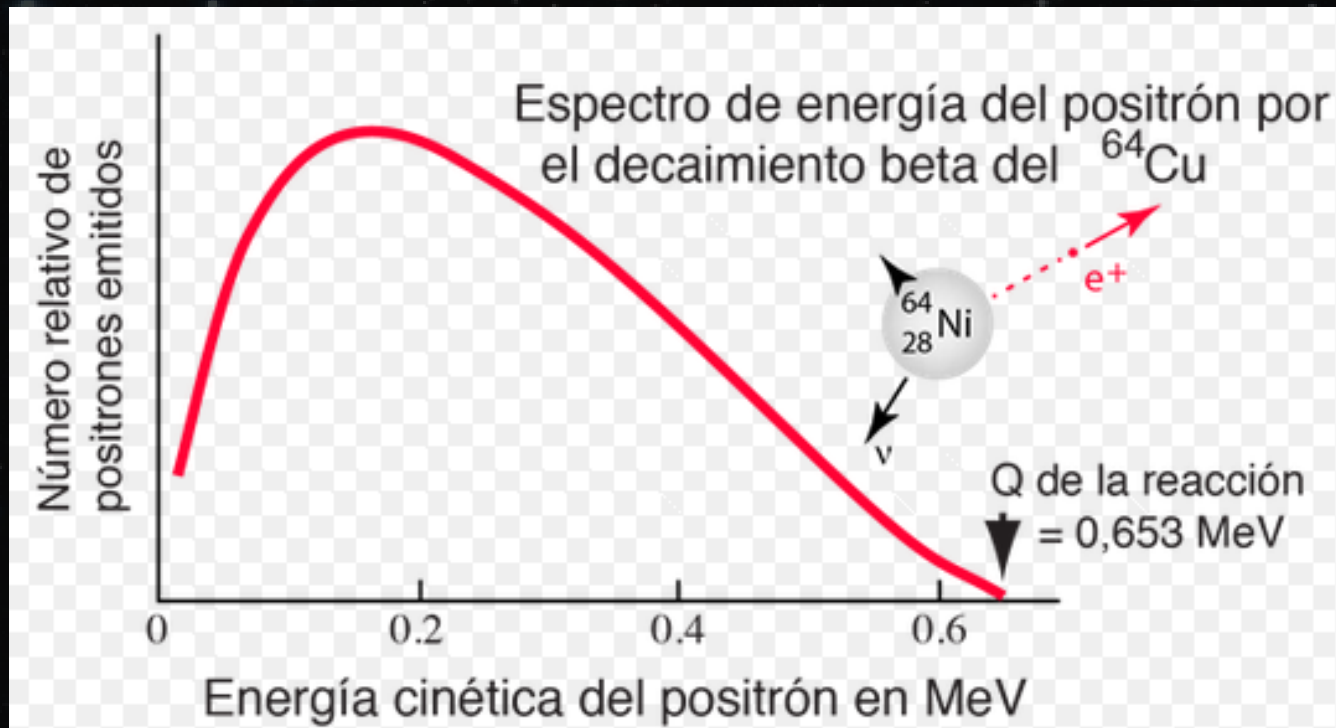
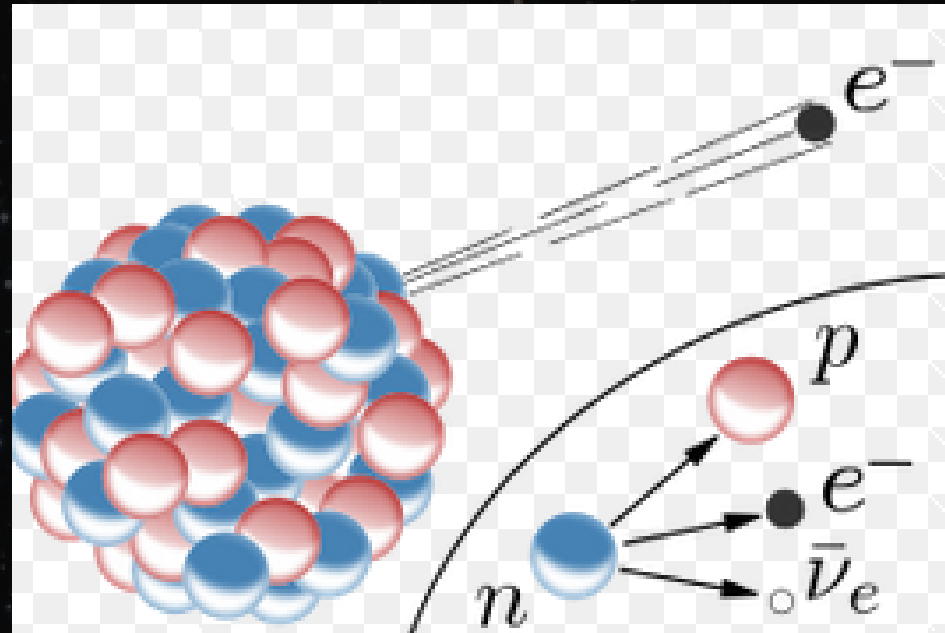
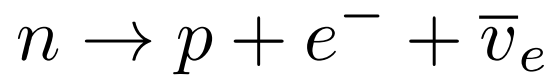
# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

## Desintegración beta



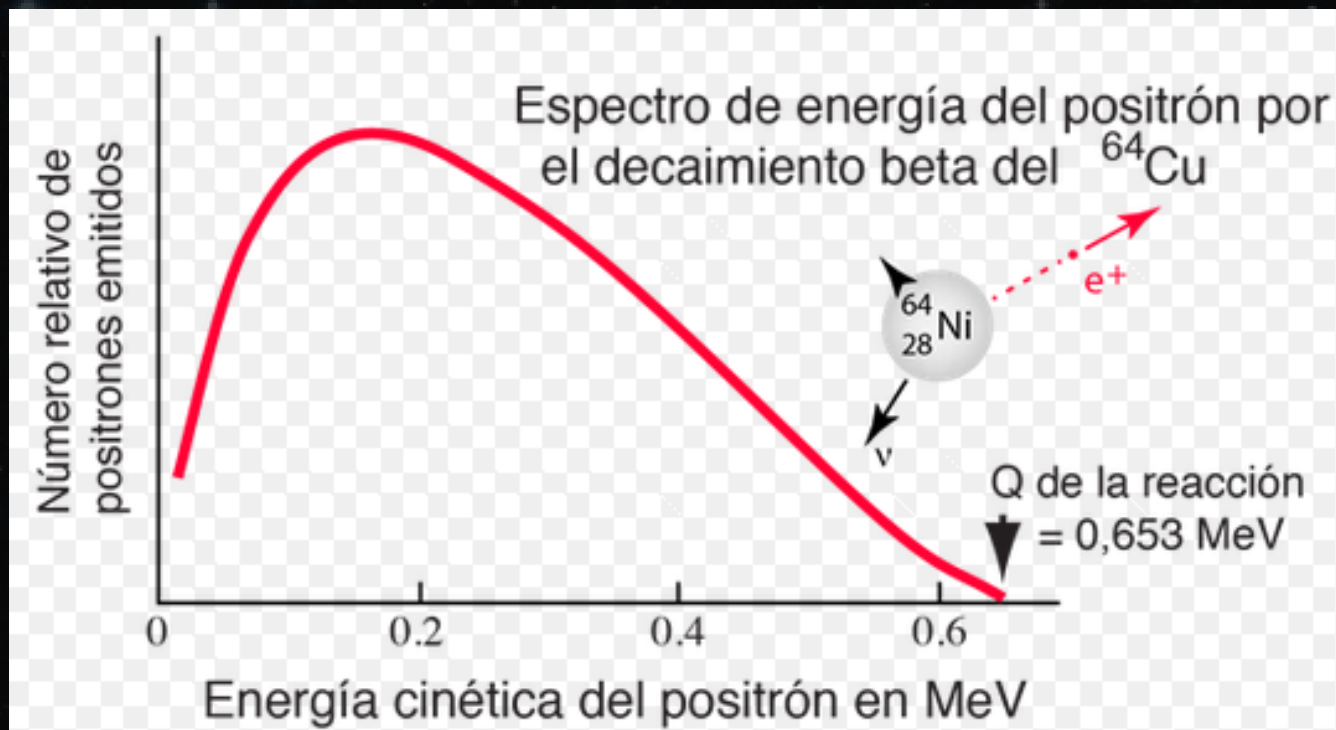
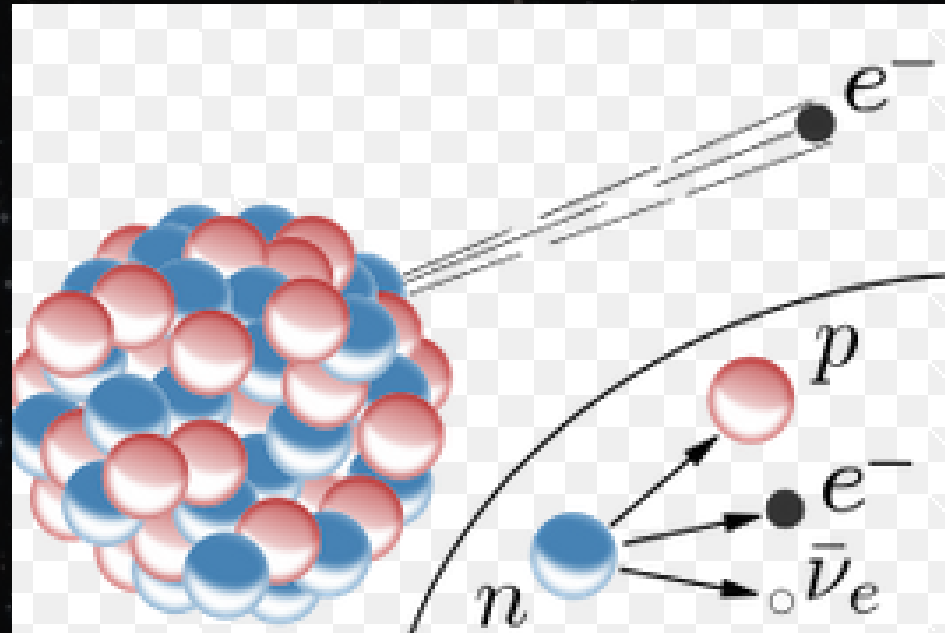
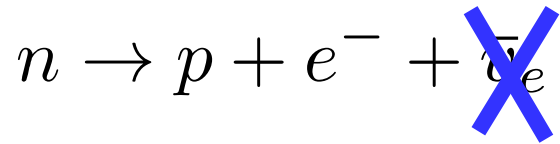
# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

## Desintegración beta



# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

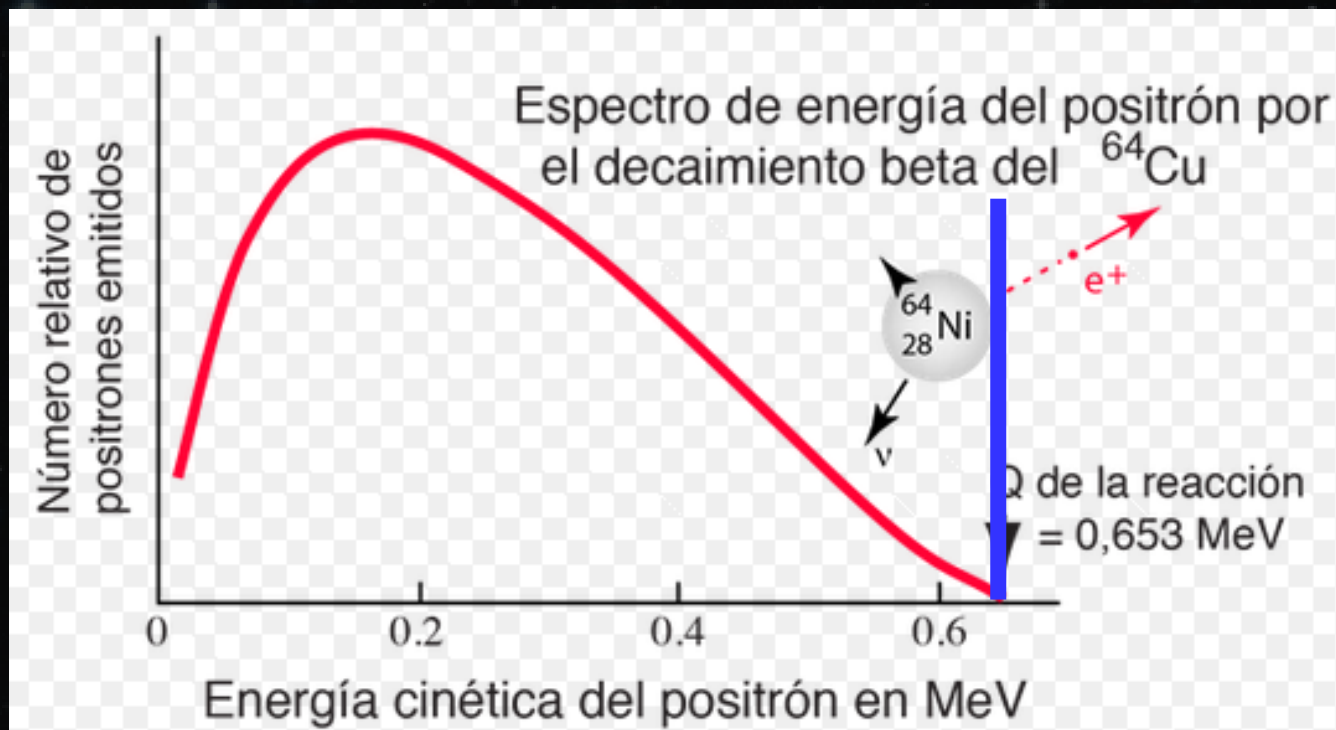
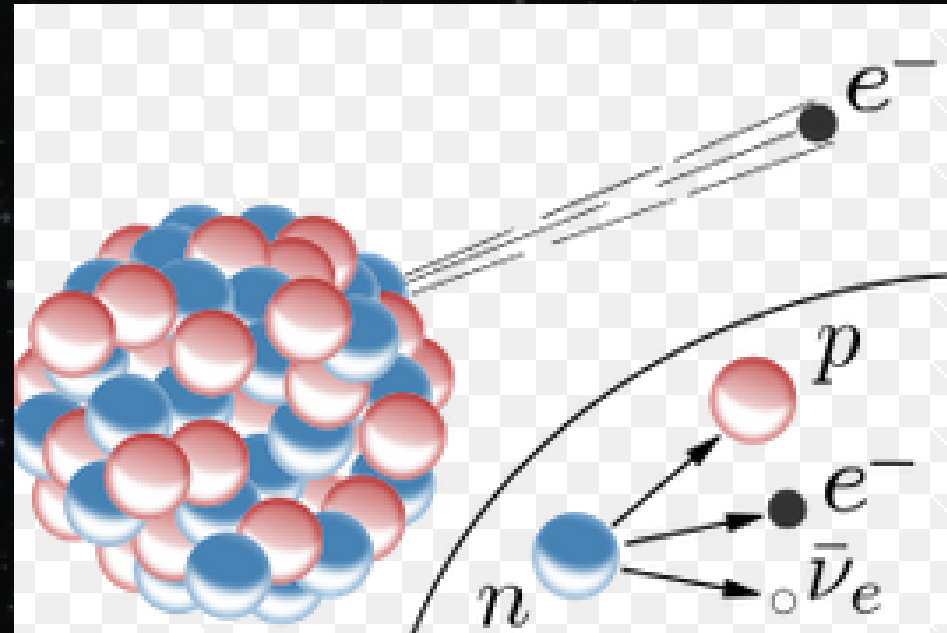
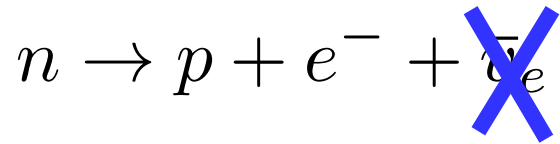
## Desintegración beta





# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

## Desintegración beta





# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

**“Estimados y radiactivos damas y caballeros, he encontrado una medida desesperada para salvar la ley de conservación de la energía suponiendo que en el núcleo existen partículas sin carga eléctrica a los que llamaré neutrones.”**

**-Pauli, 1930**

# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

**“Estimados y radiactivos damas y caballeros, he encontrado una medida desesperada para salvar la ley de conservación de la energía suponiendo que en el núcleo existen partículas sin carga eléctrica a los que llamaré neutrones.**

**Las observaciones de la desintegración beta tienen sentido si además del electrón, un neutrón es emitido de tal manera que la suma de sus energías es constante.**

**-Pauli, 1930**

# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

- **Reines and Cowan descubrieron el neutrino en 1956**



**1995**



# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

- Reines and Cowan descubrieron el neutrino en 1956

RADIO-SCHWEIZ AG. RADIOGRAMM-RADIOGRAMME RADIO-SUISSE S.A.

SBZ1311 ZHV UW1844 FM BZJ116 MH CHICAGOILL 56 14 1310

PLC 00253

Echellen - Reçu "VIA RADIOSUISSE" Befördert - Transmits

NEW YORK

Brieftelegramm

LT

PROFESSOR W PAULI

ZURICH UNIVERSITY ZURICH

NACHLASS PROF. W. PAULI

Per Post

NACHLASS PROF. W. PAULI

WE ARE HAPPY TO INFORM YOU THAT WE HAVE DEFINITELY DETECTED NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENTS BY OBSERVING INVERSE BETA DECAY OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION AGREES WELL WITH EXPECTED SIX TIMES TEN TO MINUS FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS

FREDERICK REINES AND CLYDE COWAN

BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO



1995

Frederick REINES and Clyde COWAN  
Box 1663, LOS ALAMOS, New Mexico

Thanks for message. Everything comes to  
him who knows how to wait.

Pauli

# ¿CÓMO SABEMOS QUE EXISTEN?

- Reines and Cowan descubrieron el neutrino en 1956

RADIO-SCHWEIZ AG. RADIOGRAMM-RADIOGRAMME RADIO-SUISSE S.A.  
SBZ1311 ZHV UW1844 FM BZJ116 MH CHICAGOILL 56 14 1310  
PLC 00253

Echellen - Reçu: NEW YORK  
"VIA RADIOSUISSE"  
Befördert - Transmits: 74 15. VI. 58 --1 10

Brieftelegramm  
LT  
NACHLASS PROF. W. PAULI  
PROFESSOR W PAULI  
ZURICH UNIVERSITY ZURICH  
NACHLASS PROF. W. PAULI

Per Post

WE ARE HAPPY TO INFORM YOU THAT WE HAVE DEFINITELY DETECTED NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENTS BY OBSERVING INVERSE BETA DECAY OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION AGREES WELL WITH EXPECTED SIX TIMES TEN TO MINUS FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS  
FREDERICK REINES AND CLYDE COWAN  
BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO



1995

“Everything comes to him who knows how to wait”

Frederick REINES and Clyde COWAN  
Box 1663, LOS ALAMOS, New Mexico

Thanks for message. Everything comes to him who knows how to wait.

Pauli



# CURSO EXPRÉS EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

$$E = mc^2$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$10^{12}$   
por sec



# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

$$E = mc^2$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**Levantar un ordenador 30 cm = 10 J = 6 x 10<sup>19</sup> eV**

por sec

# CURSO EXPRÉS EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

$$E = mc^2$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**Levantar un ordenador 30 cm = 10 J = 6 x 10<sup>19</sup> eV**

por sec

**Los neutrinos emitidos en una Supernova ~ 10<sup>7</sup> eV**

# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

$$E = mc^2$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**Levantar un ordenador 30 cm = 10 J = 6 x 10<sup>19</sup> eV**

por sec

**Los neutrinos emitidos en una Supernova ~ 10<sup>7</sup> eV**

**Los neutrinos más energéticos que existen vienen de núcleos galácticos activos (AGN) ~ 10<sup>15</sup> eV**

# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

$$E = mc^2$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**Levantar un ordenador 30 cm = 10 J = 6 x 10<sup>19</sup> eV**

por sec

**Los neutrinos emitidos en una Supernova ~ 10<sup>7</sup> eV**

**Los neutrinos más energéticos que existen vienen de núcleos galácticos activos (AGN) ~ 10<sup>15</sup> eV**

**Los neutrinos en IceCube 10<sup>12</sup>-10<sup>15</sup> = 1-1000 TeV**

# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

$$E = mc^2$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**Levantar un ordenador 30 cm = 10 J = 6 x 10<sup>19</sup> eV**

por sec

**Los neutrinos emitidos en una Supernova ~ 10<sup>7</sup> eV**

**Los neutrinos más energéticos que existen vienen de núcleos galácticos activos (AGN) ~ 10<sup>15</sup> eV**

**Los neutrinos en IceCube 10<sup>12</sup>-10<sup>15</sup> = 1-1000 TeV**

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$



# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> Higgs boson
<b>QUARKS</b>	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	$\pm 1$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
				<b>GAUGE BOSONS</b>	

## EL MODELO STANDARD



# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

	mass	charge	spin
QUARKS	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$
	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$
	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$
	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$
	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$
LEPTONS	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$-1$	$1/2$
	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$-1$	$1/2$
	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$-1$	$1/2$
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$0$	$1/2$
	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$0$	$1/2$
	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$0$	$1/2$
GAUGE BOSONS	$0$	$0$	$1$
	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$	$0$	$0$
	$0$	$0$	$1$
	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	$0$	$1$
	$\pm 1$	$1$	
	$80.4 \text{ GeV}/c^2$		

The image displays a grid of particle cards. The cards are organized into three main sections: Quarks, Leptons, and Gauge Bosons. Each card contains the particle's symbol, mass, charge, and spin. The quark and lepton cards are highlighted with a red border, while the gauge boson cards are highlighted with an orange border. The Higgs boson card is highlighted with a yellow border.

**QUARKS**

- up:  $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ ,  $2/3$ ,  $1/2$
- charm:  $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ ,  $2/3$ ,  $1/2$
- top:  $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ ,  $2/3$ ,  $1/2$
- down:  $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ ,  $-1/3$ ,  $1/2$
- strange:  $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ ,  $-1/3$ ,  $1/2$
- bottom:  $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ ,  $-1/3$ ,  $1/2$

**LEPTONS**

- electron:  $0.511 \text{ MeV}/c^2$ ,  $-1$ ,  $1/2$
- muon:  $105.7 \text{ MeV}/c^2$ ,  $-1$ ,  $1/2$
- tau:  $1.777 \text{ GeV}/c^2$ ,  $-1$ ,  $1/2$
- electron neutrino:  $< 2.2 \text{ eV}/c^2$ ,  $0$ ,  $1/2$
- muon neutrino:  $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ ,  $0$ ,  $1/2$
- tau neutrino:  $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ ,  $0$ ,  $1/2$

**GAUGE BOSONS**

- gluon:  $0$ ,  $0$ ,  $1$
- photon:  $0$ ,  $0$ ,  $1$
- Z boson:  $91.2 \text{ GeV}/c^2$ ,  $0$ ,  $1$
- W boson:  $80.4 \text{ GeV}/c^2$ ,  $\pm 1$ ,  $1$
- Higgs boson:  $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ ,  $0$ ,  $0$

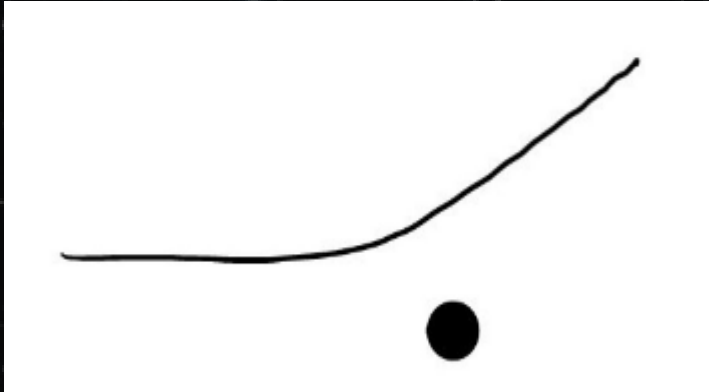
# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

	<p>mass → <math>\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>2/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>u</b></p> <p>up</p>	<p>mass → <math>\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>2/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>c</b></p> <p>charm</p>	<p>mass → <math>\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>2/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>t</b></p> <p>top</p>	<p>0</p> <p>0</p> <p>1</p> <p><b>g</b></p> <p>gluon</p>	<p>mass → <math>\approx 126 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>0</p> <p>0</p> <p>0</p> <p><b>H</b></p> <p>Higgs boson</p>
<b>QUARKS</b>	<p>mass → <math>\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>d</b></p> <p>down</p>	<p>mass → <math>\approx 95 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>s</b></p> <p>strange</p>	<p>mass → <math>\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>b</b></p> <p>bottom</p>	<p>0</p> <p>0</p> <p>0</p> <p>1</p> <p><b><math>\gamma</math></b></p> <p>photon</p>	
	<p>mass → <math>0.511 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>e</b></p> <p>electron</p>	<p>mass → <math>105.7 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\mu</math></b></p> <p>muon</p>	<p>mass → <math>1.777 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\tau</math></b></p> <p>tau</p>	<p>mass → <math>91.2 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>0</p> <p>0</p> <p>1</p> <p><b>Z</b></p> <p>Z boson</p>	
<b>LEPTONS</b>	<p>mass → <math>&lt; 2.2 \text{ eV}/c^2</math></p> <p>0</p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\nu_e</math></b></p> <p>electron neutrino</p>	<p>mass → <math>&lt; 0.17 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>0</p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\nu_\mu</math></b></p> <p>muon neutrino</p>	<p>mass → <math>&lt; 15.5 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>0</p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\nu_\tau</math></b></p> <p>tau neutrino</p>	<p>mass → <math>80.4 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p><math>\pm 1</math></p> <p>1</p> <p><b>W</b></p> <p>W boson</p>	<b>GAUGE BOSONS</b>



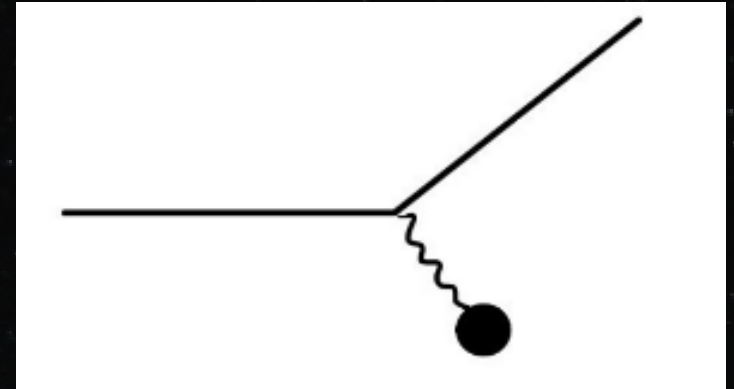
# CURSO EXPRÉS EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

**Física clásica**



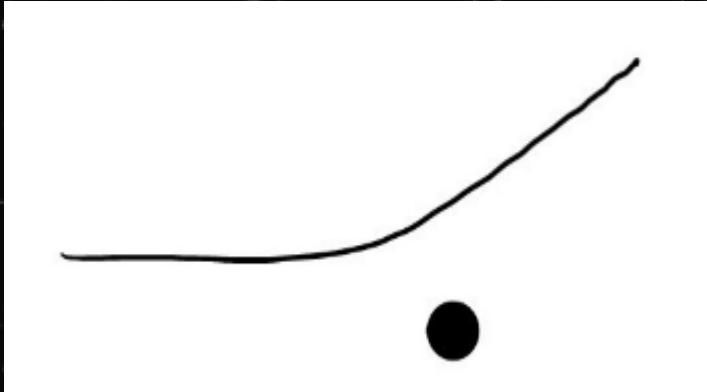
**Video**

**Física de campos**



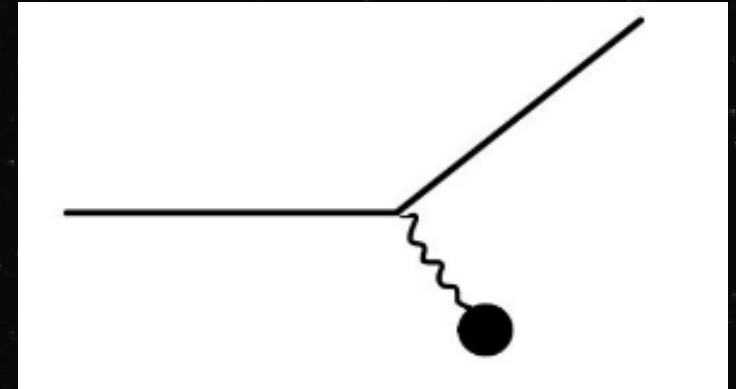
# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

## Física clásica



**Video**

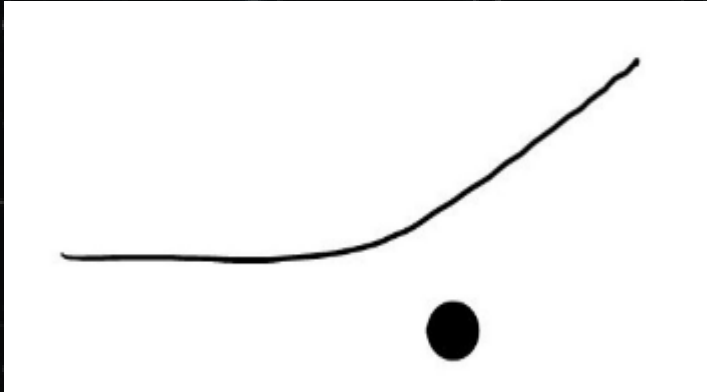
## Física de campos



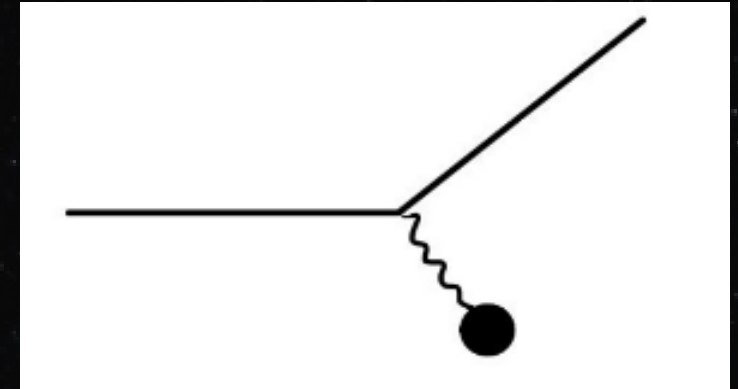


# CURSO EXPRÉS EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

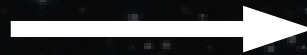
## Física clásica



## Física de campos



**Video**

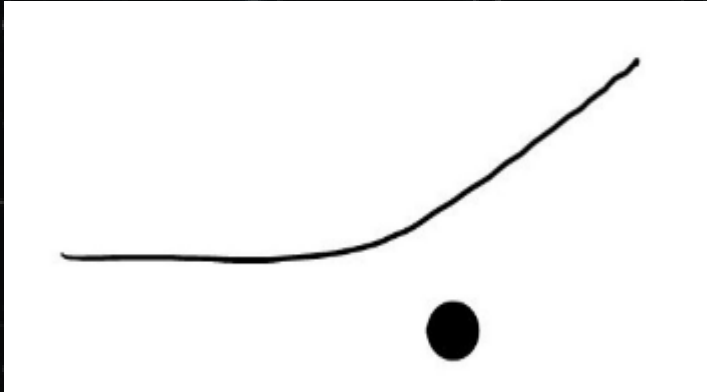


**Fuerza "fuerte" → quarks**



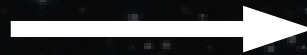
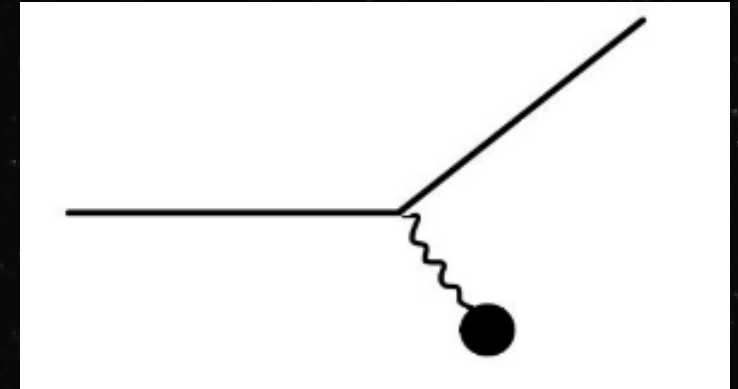
# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

## Física clásica

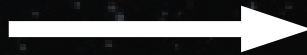


Video

## Física de campos



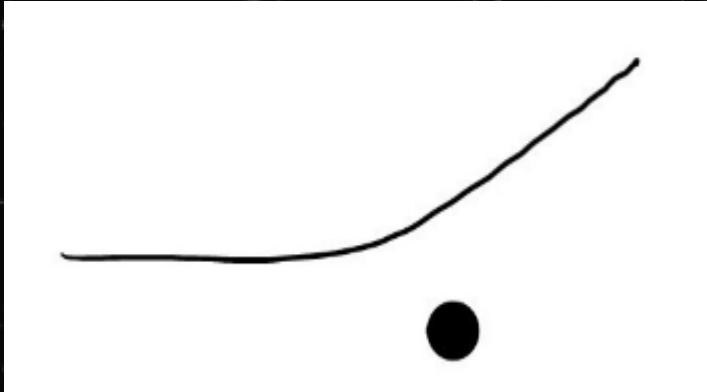
**Fuerza “fuerte” → quarks**



**Fuerza electromagnética  
→ partículas con carga**

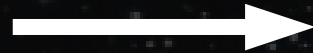
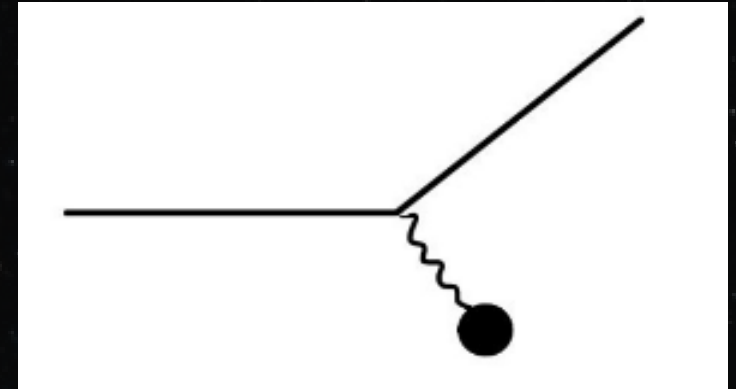
# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

## Física clásica

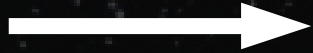


Video

## Física de campos



**Fuerza “fuerte” → quarks**



**Fuerza electromagnética  
→ partículas con carga**

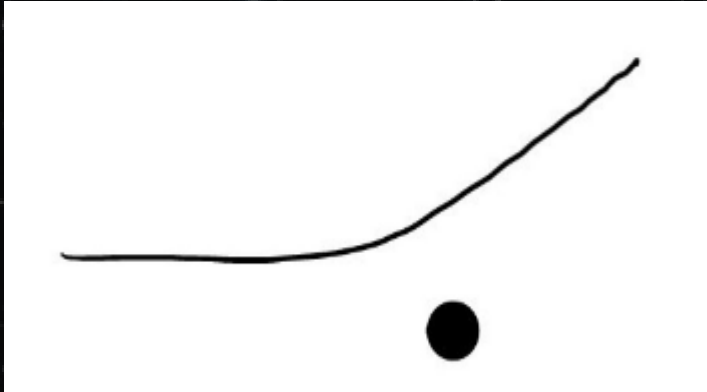


**Fuerza “débil” → todas las  
partículas**



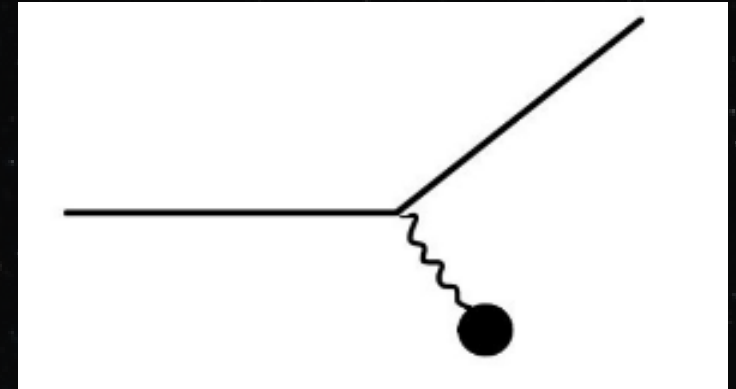
# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

## Física clásica



Video

## Física de campos



¡La gravedad no está incluida en el modelo standard!

Pero cualquier partícula con masa interacciona con la gravedad

# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

mass	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
charge	$2/3$	$2/3$	$2/3$
spin	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino

$10^{12}$   
por sec

# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

	mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
		<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>
		up	charm	top
		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
		<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>
		down	strange	bottom
		$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$
	$-1$	$-1$	$-1$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
		<b>e</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\tau</math></b>
		electron	muon	tau
		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$
	0	0	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
		<b><math>\nu_e</math></b>	<b><math>\nu_\mu</math></b>	<b><math>\nu_\tau</math></b>
		electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino

$10^{12}$   
por sec



# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

QUARKS	mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
	charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$
	spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$
		<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>
		up	charm	top
		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	
	down	strange	bottom	
LEPTONS		$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$
		$-1$	$-1$	$-1$
		$1/2$	$1/2$	$1/2$
		<b>e</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\tau</math></b>
		electron	muon	tau
		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$
	$0$	$0$	$0$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	
	<b><math>\nu_e</math></b>	<b><math>\nu_\mu</math></b>	<b><math>\nu_\tau</math></b>	
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	

Existen tres generaciones de partículas

# CURSO EXPRES EN FÍSICA DE PARTÍCULAS

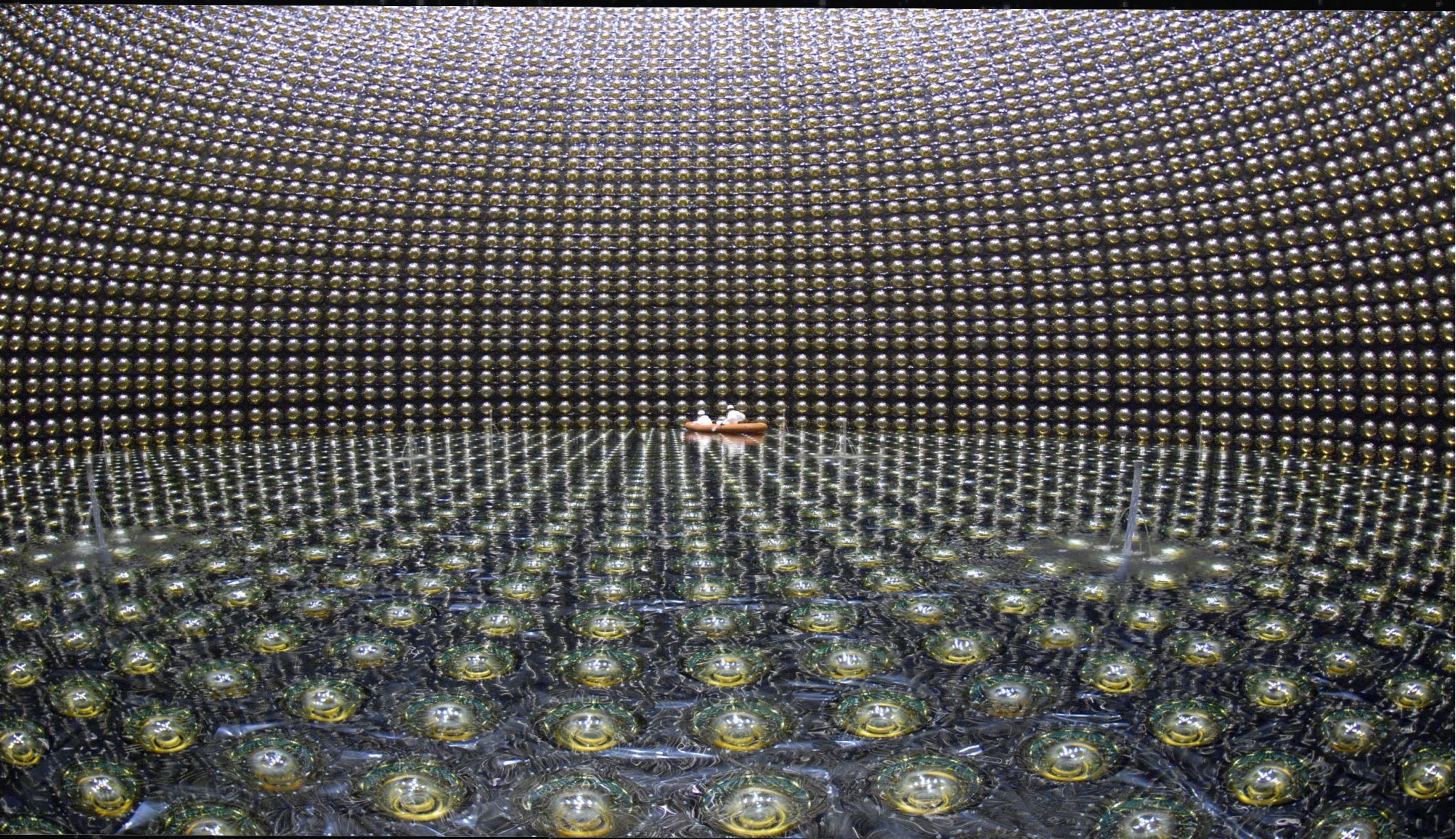
	mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	$2/3$
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$
QUARKS		<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
		$4.8 \text{ MeV}/c^2$	$95 \text{ MeV}/c^2$	$4.18 \text{ GeV}/c^2$
		$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$
		$1/2$	$1/2$	$1/2$
		<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom
		$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$
LEPTONS		<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau
		$-1$	$-1$	$-1$
		$1/2$	$1/2$	$1/2$
		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$
		<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino
		$0$	$0$	$0$
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	

Existen tres generaciones de partículas

Los neutrinos son “invisibles”

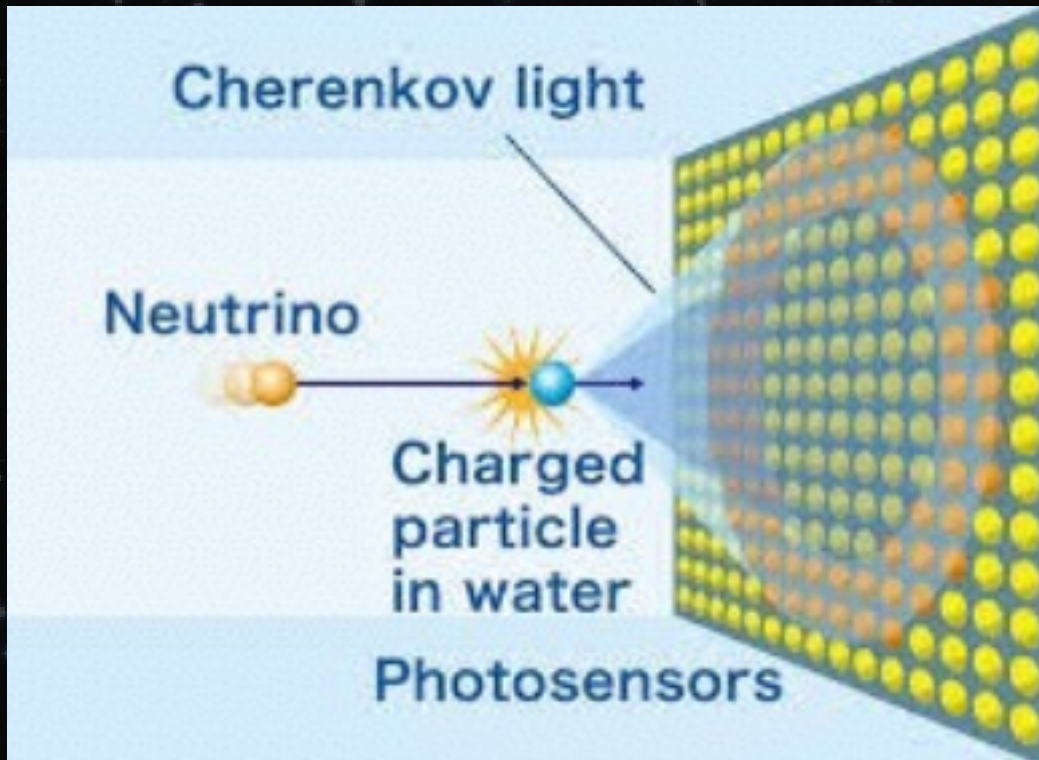


# ¿CÓMO SE DETECTAN LOS NEUTRINOS?



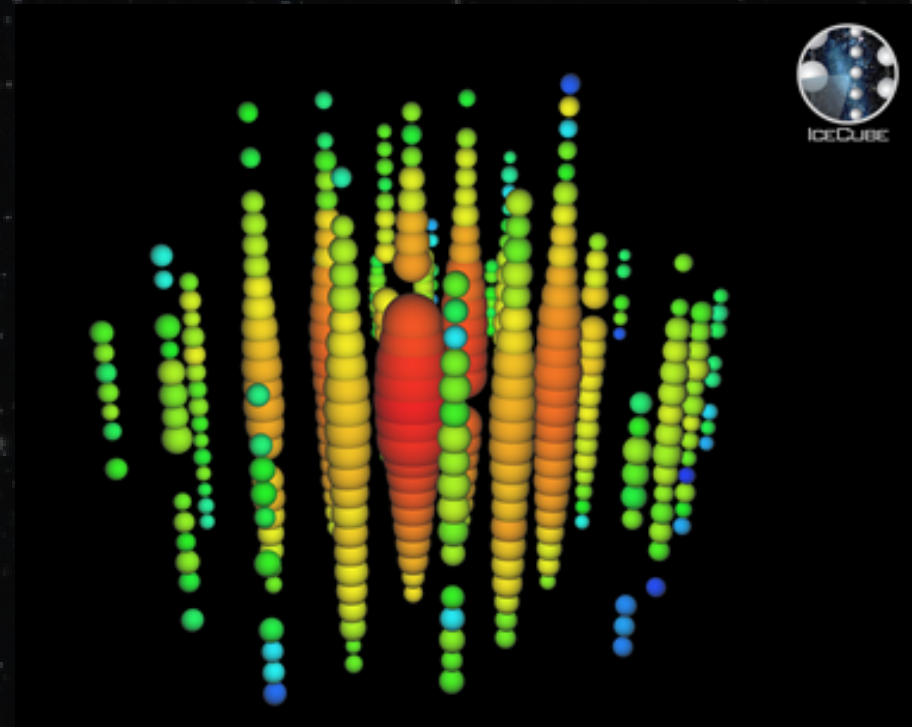
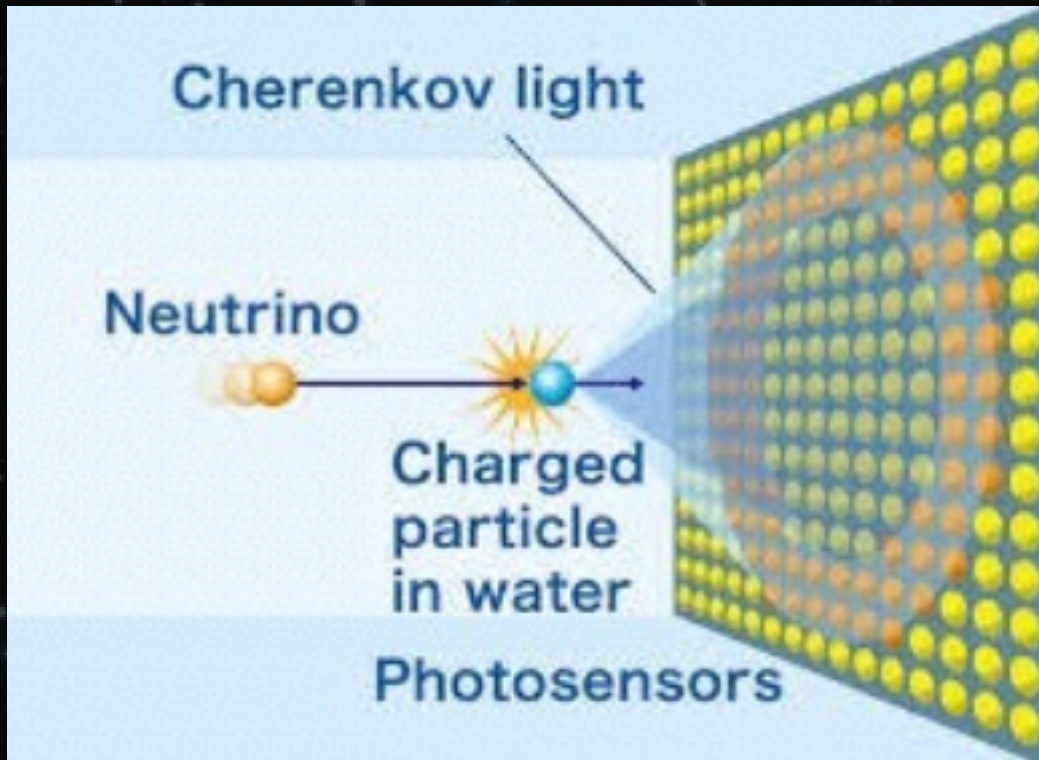


# ¿CÓMO SE DETECTAN LOS NEUTRINOS?



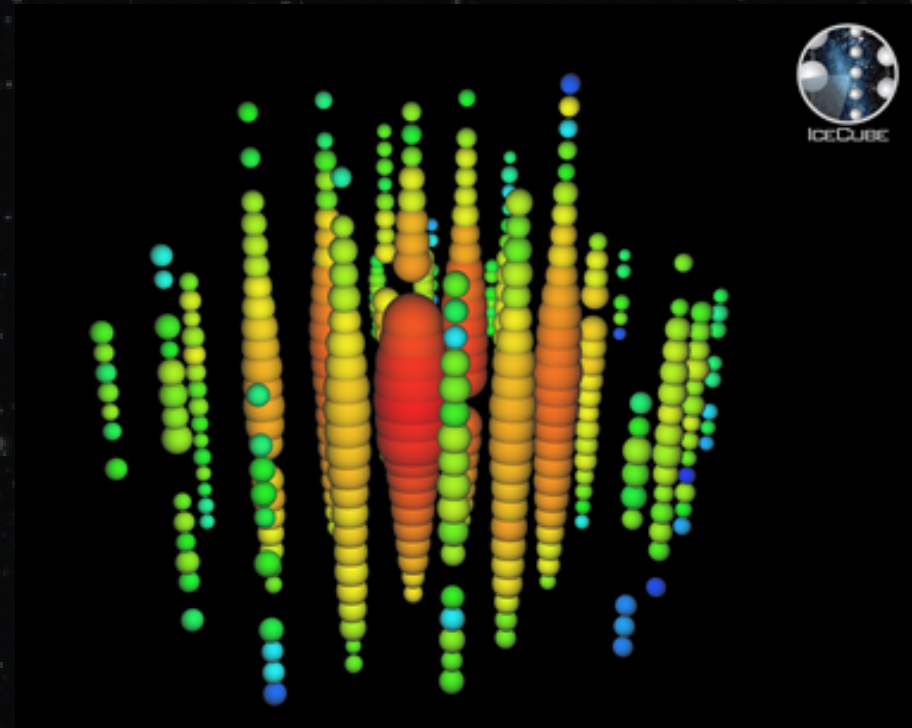
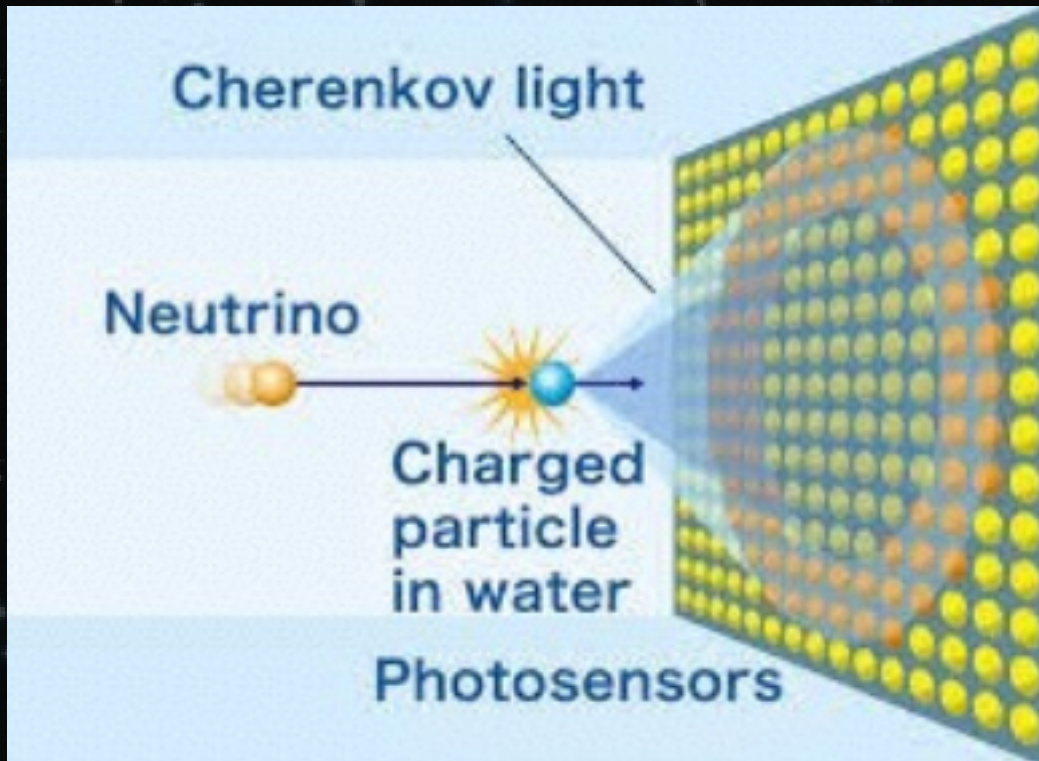
$10^{12}$   
por sec

# ¿CÓMO SE DETECTAN LOS NEUTRINOS?



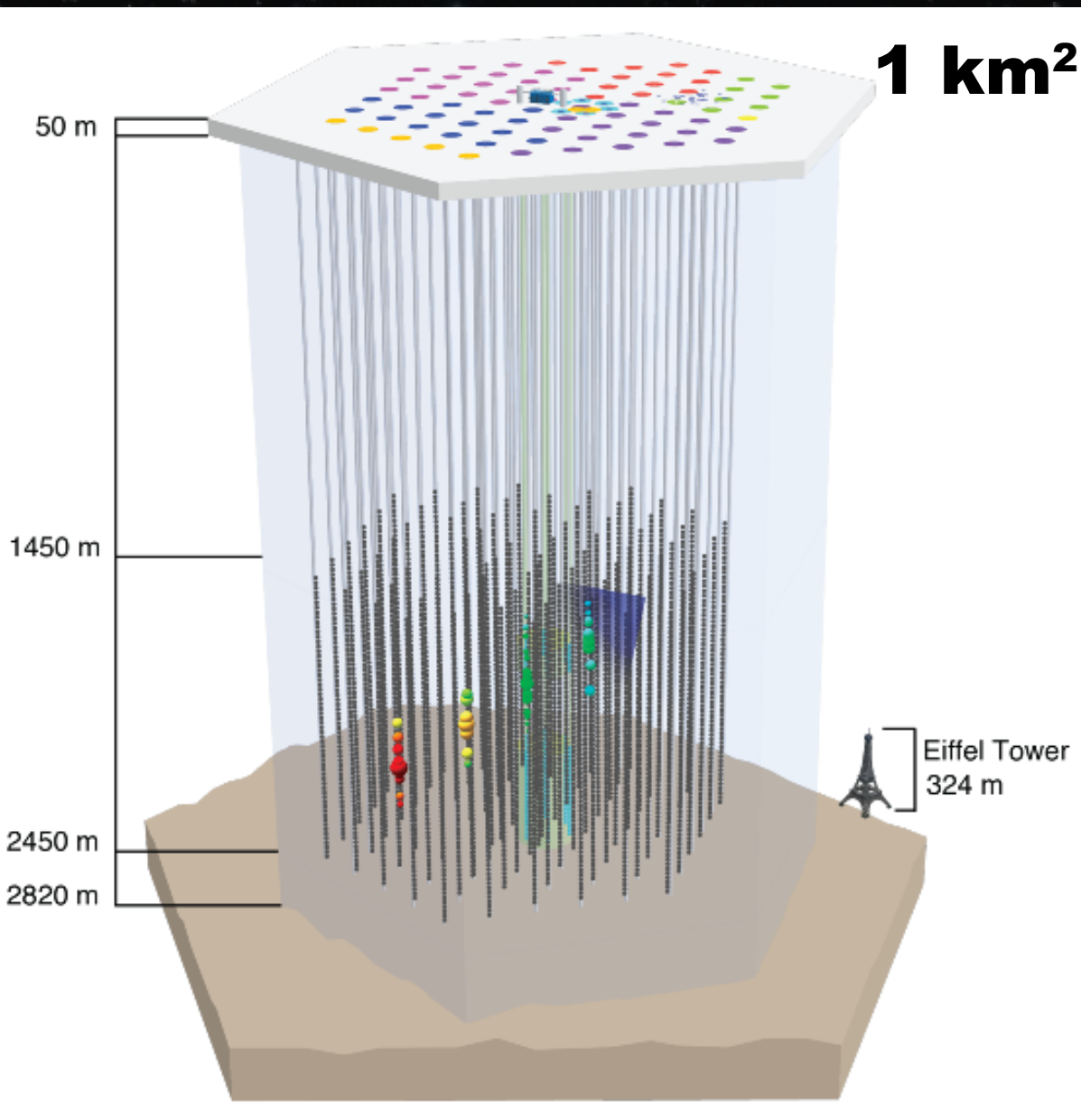


# ¿CÓMO SE DETECTAN LOS NEUTRINOS?



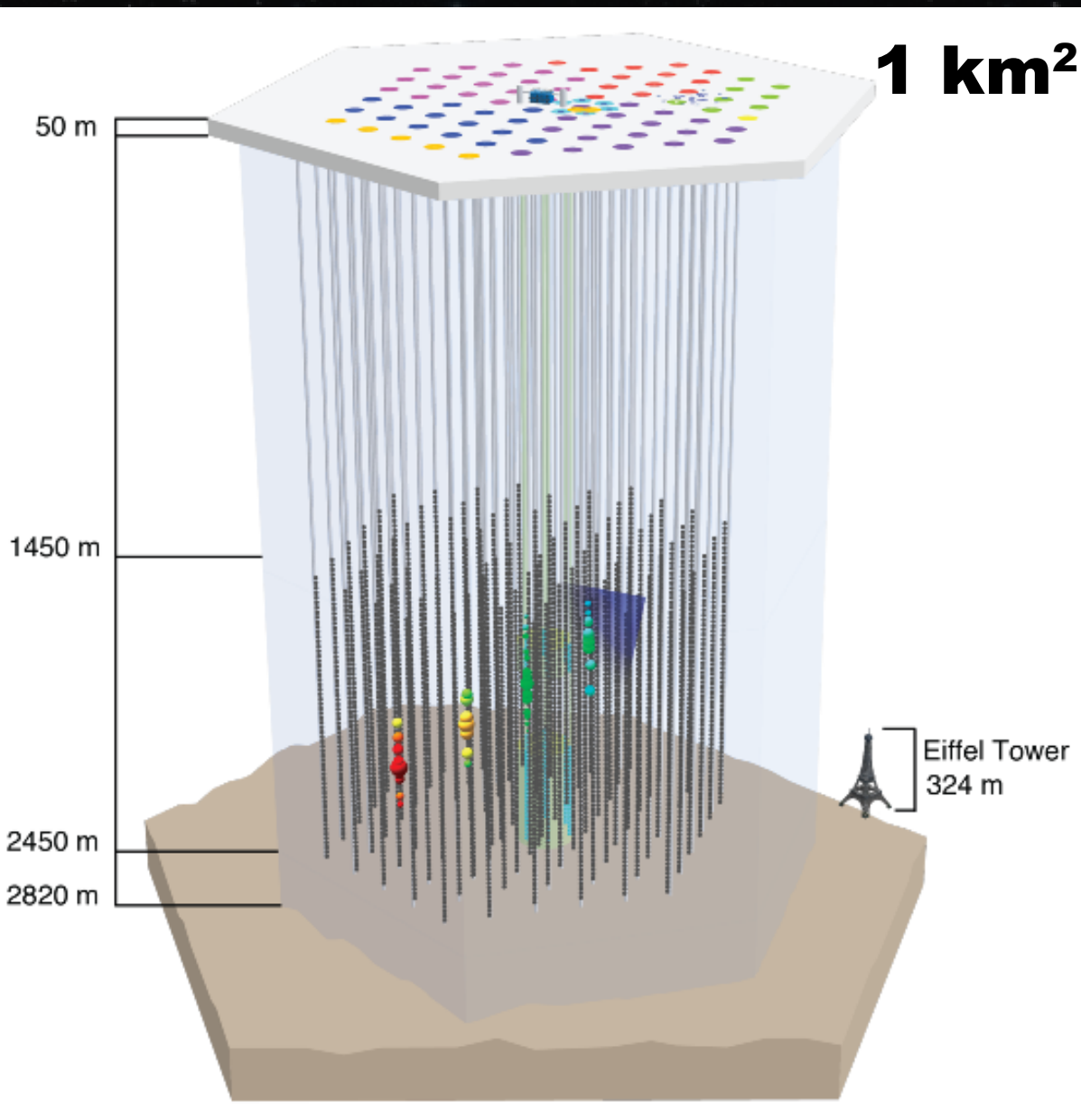
**Si se observa un electrón, sabemos que el neutrino que se choca con el agua es del sabor electrón**

# EL DETECTOR ICECUBE



$10^{12}$   
por sec

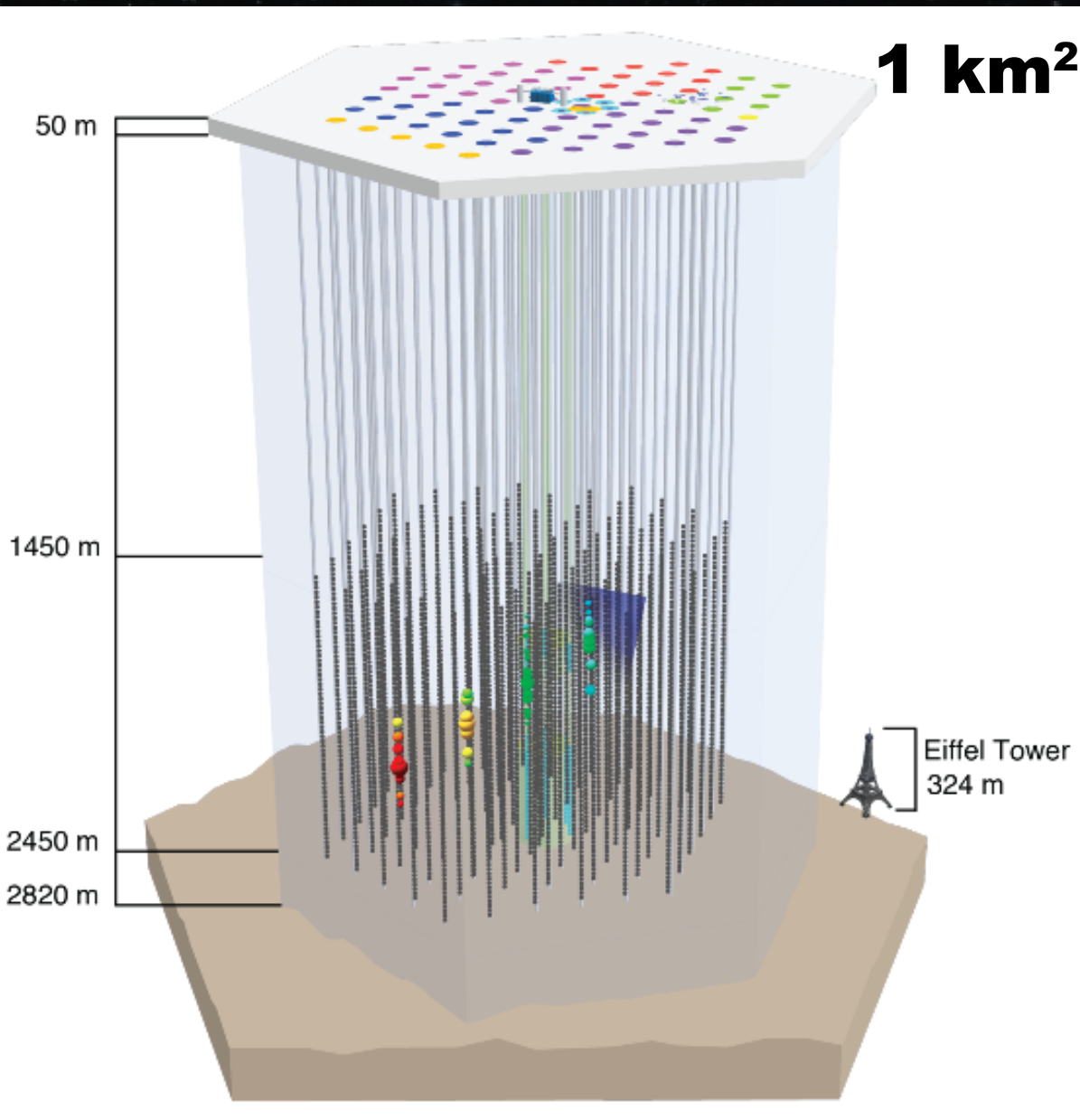
# EL DETECTOR ICECUBE



**¡Usa 100 000 cámaras!**

$10^{12}$   
por sec

# EL DETECTOR ICECUBE



**¡Usa 100 000 cámaras!**

10<sup>4</sup>  
por sec

**Se necesita una  
energía mínima para  
que las partículas  
emitan luz ( $E > 1 \text{ TeV}$ )**



# EL DETECTOR ICECUBE

Los electrones producen cascadas

$10^{12}$   
por sec



# EL DETECTOR ICECUBE

Los electrones producen cascadas

Los muones producen tracks

$10^{12}$   
por sec

# EL DETECTOR ICECUBE

Los electrones producen cascadas

Los muones producen tracks

Los taus producen double-bangs

$10^{12}$   
por sec

# EL DETECTOR ICECUBE

Los electrones producen cascadas

Los muones producen tracks

Los taus producen double-bangs

Para distinguir un neutrino de una partícula cargada, lo importante es que la luz empiece dentro del detector

$10^{12}$   
por sec

# EL DETECTOR ICECUBE

Los electrones producen cascadas

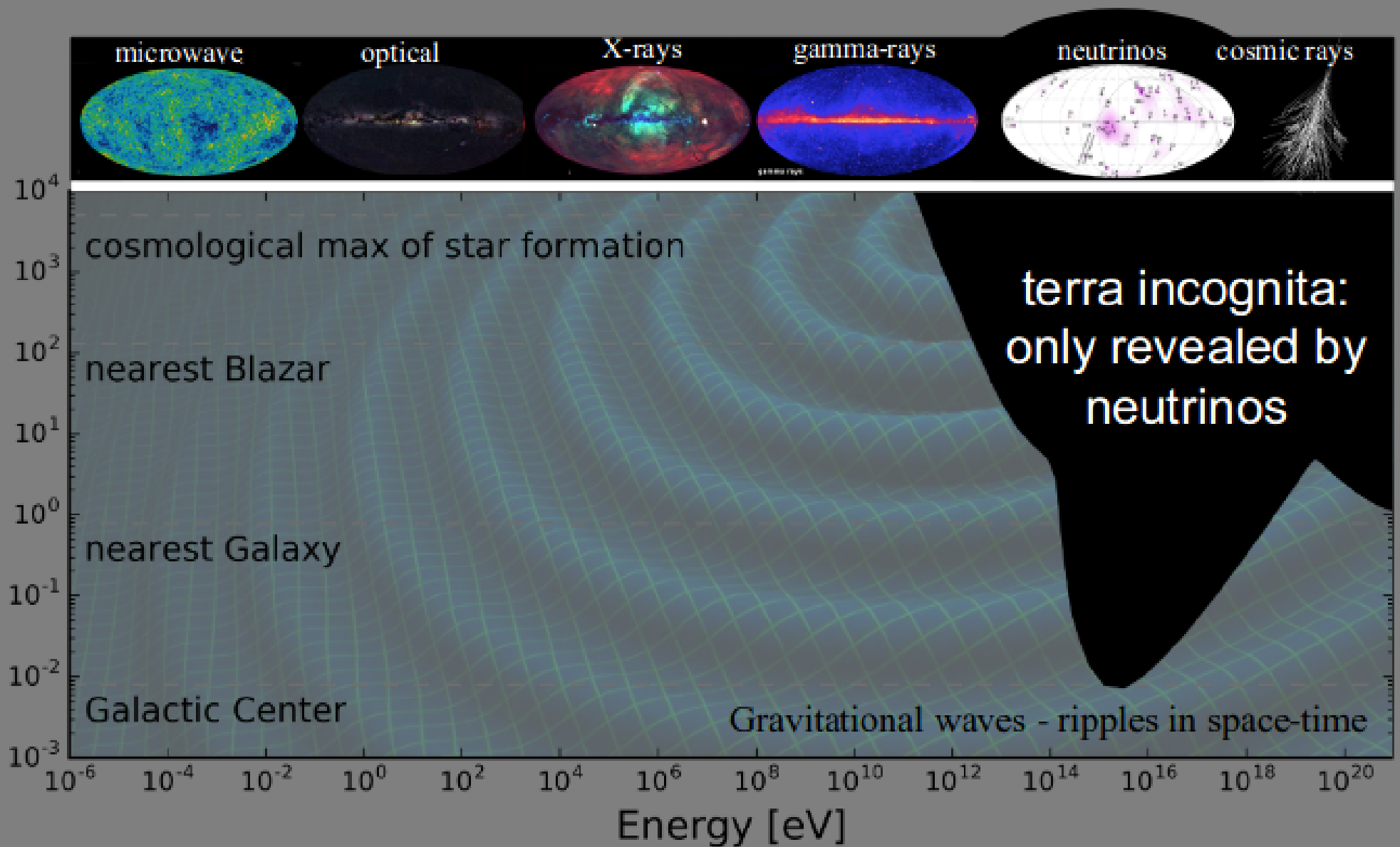
Los muones producen tracks

Los taus producen double-bangs

Para distinguir un neutrino de una partícula cargada, lo importante es que la luz empiece dentro del detector

Quiz

# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?

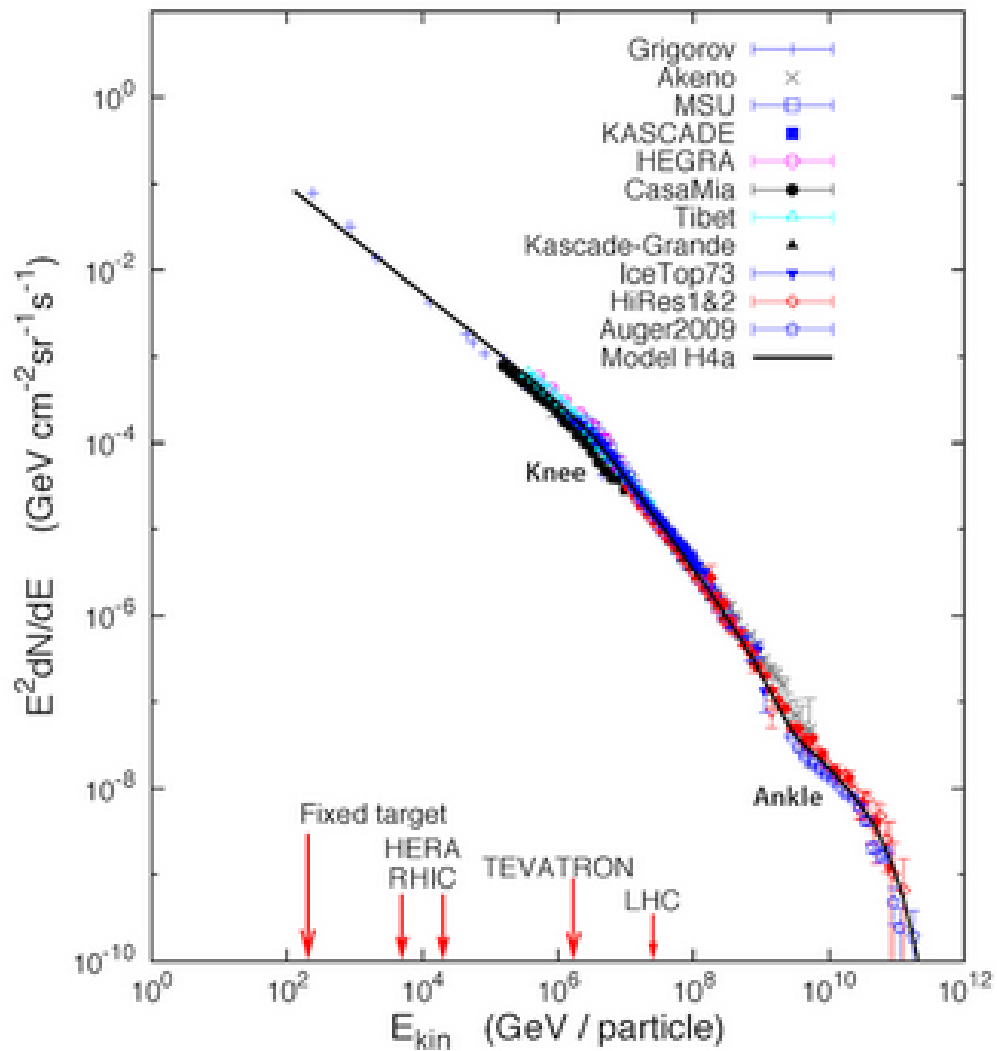


**¡Un 20% del universo no es visible con luz!**



# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?

Energies and rates of the cosmic-ray particles

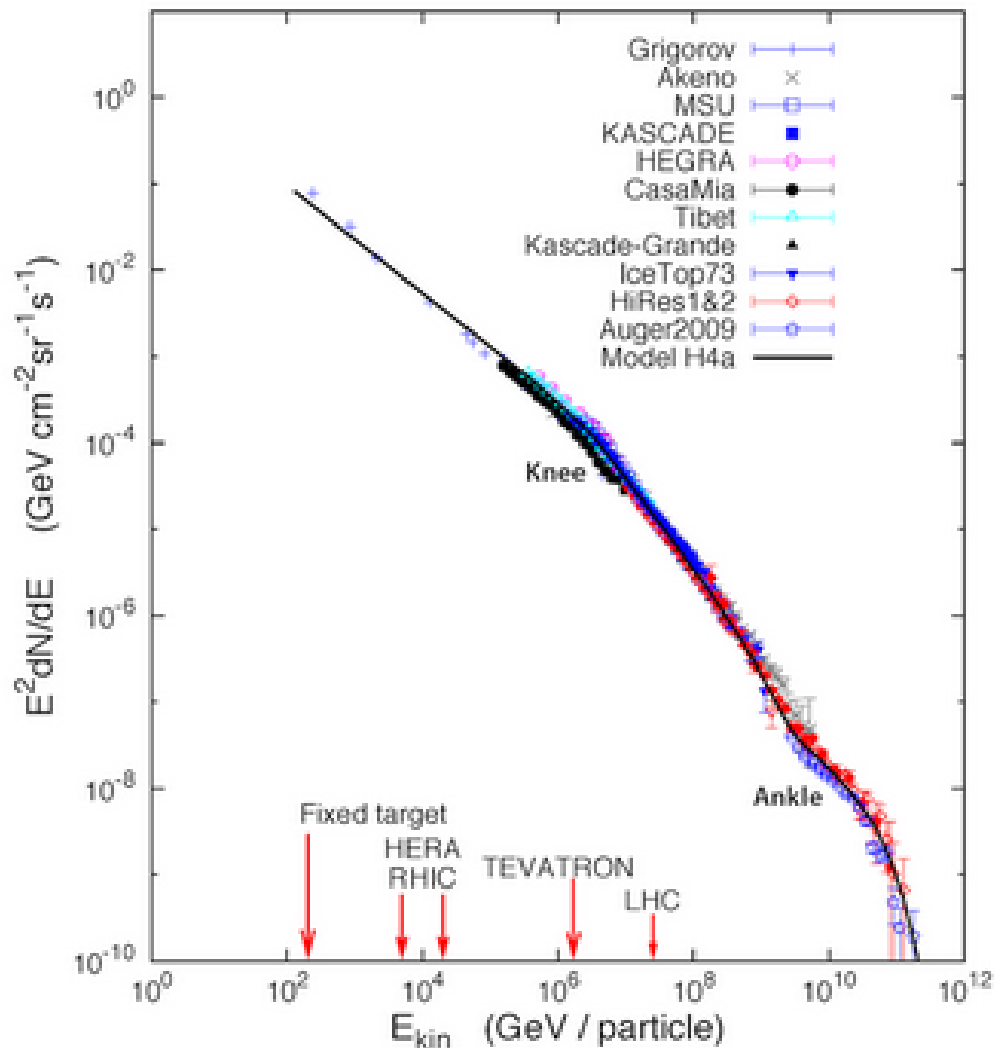


$\text{km}^2$

$10^{12}$   
por sec

# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?

Energies and rates of the cosmic-ray particles

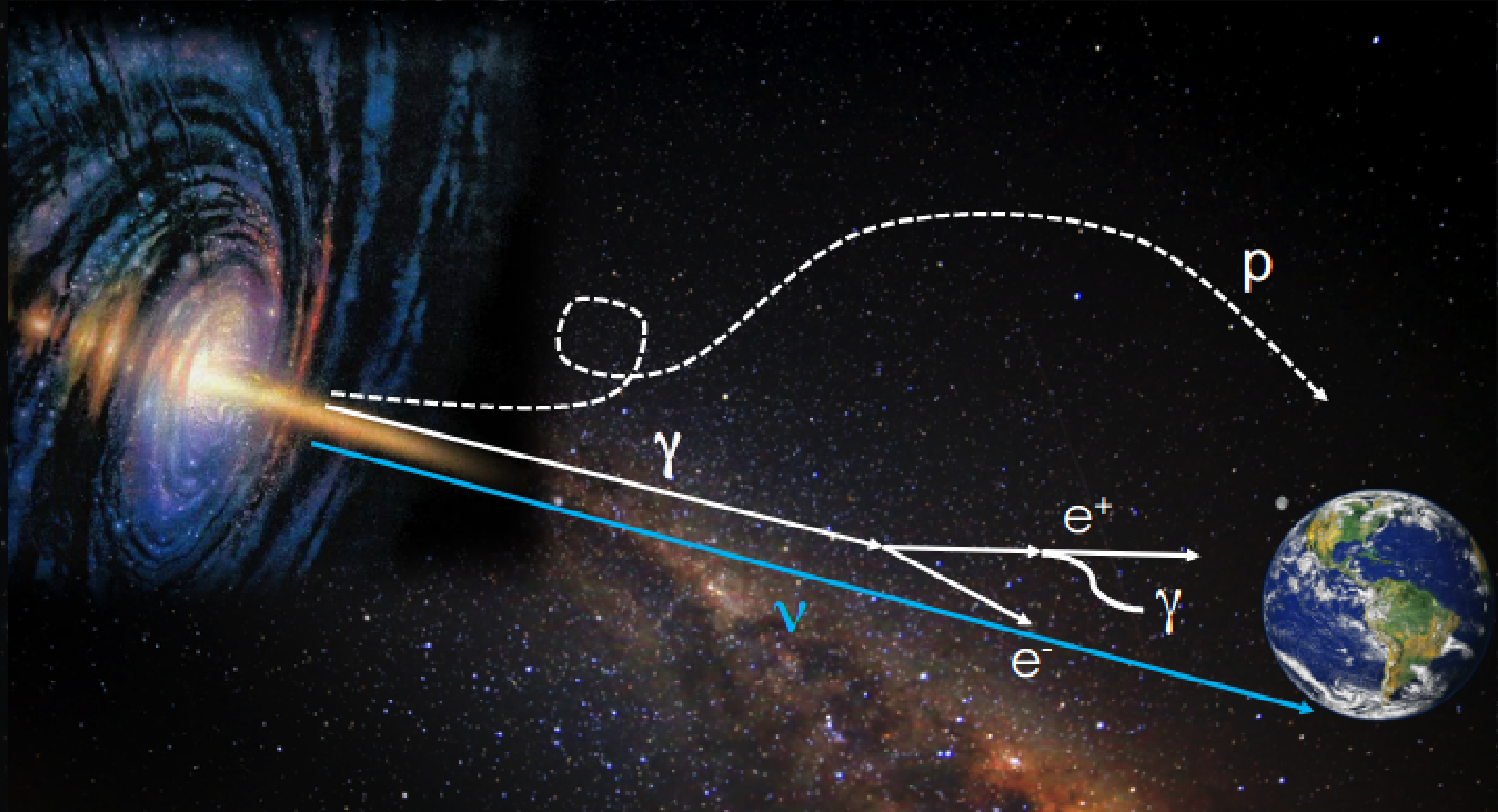


$\text{km}^2$

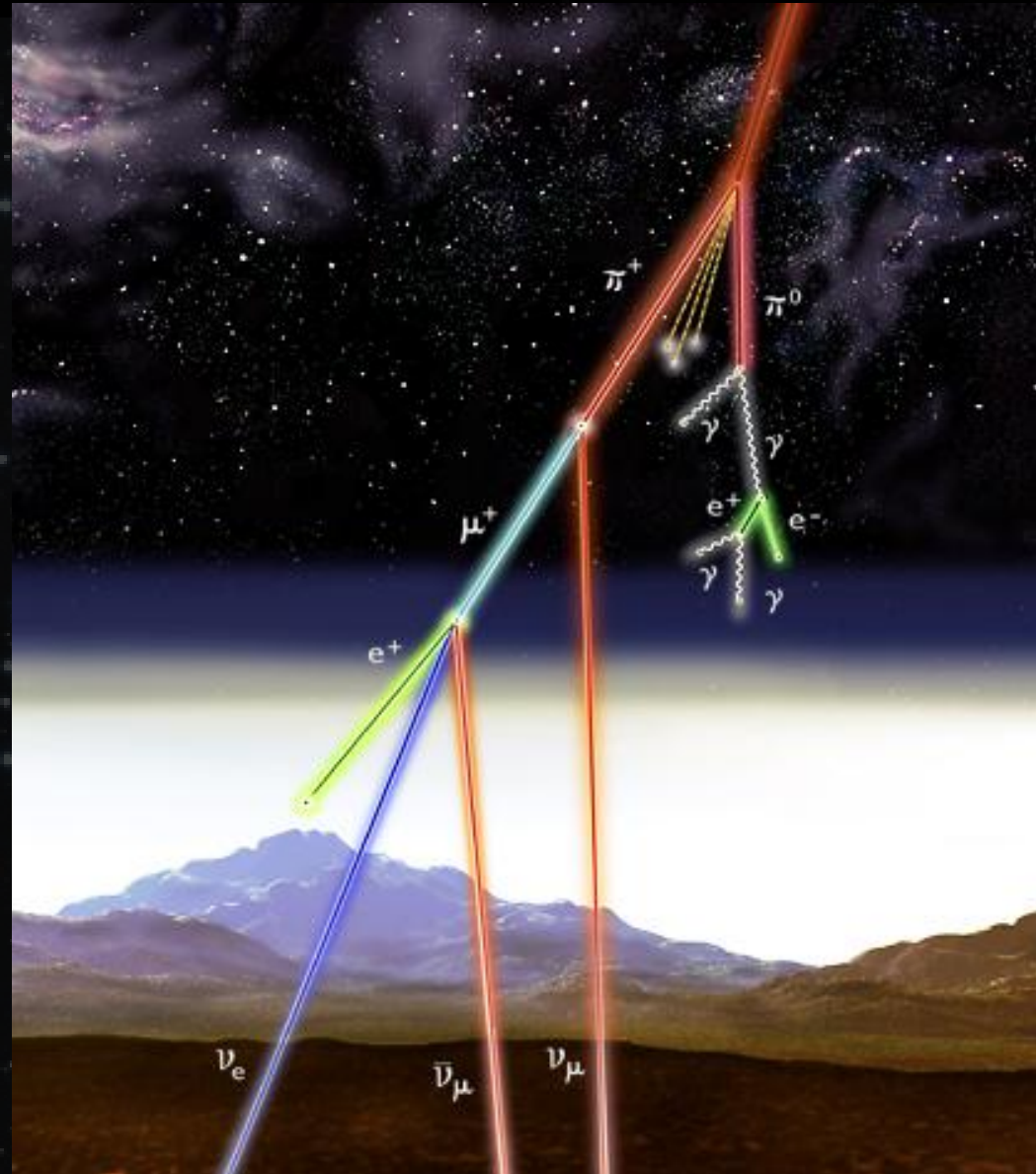
$10^{12}$   
por sec

**¡No sabemos cómo se crean los rayos cósmicos!**

# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?

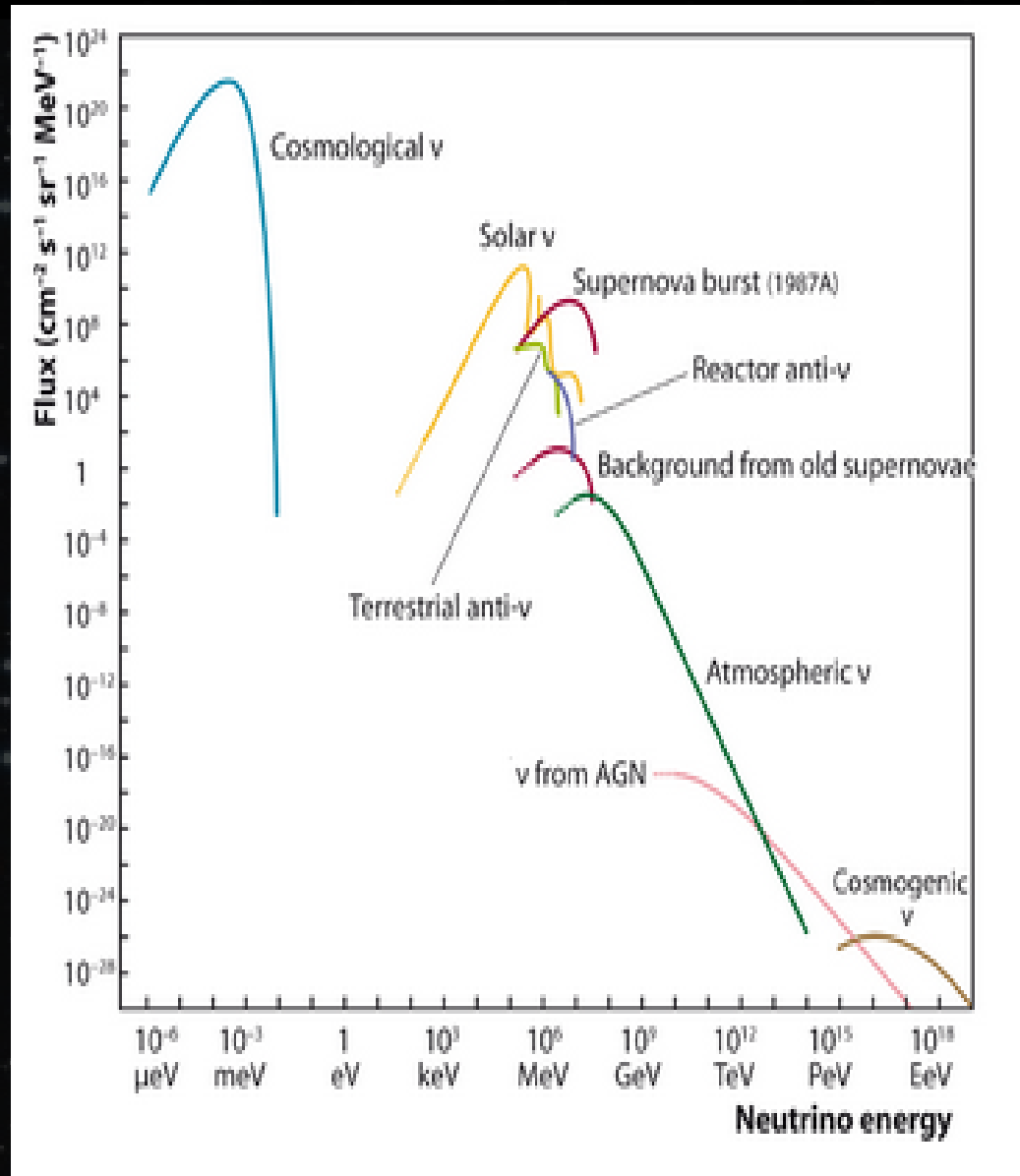


# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?



$10^{12}$   
por sec

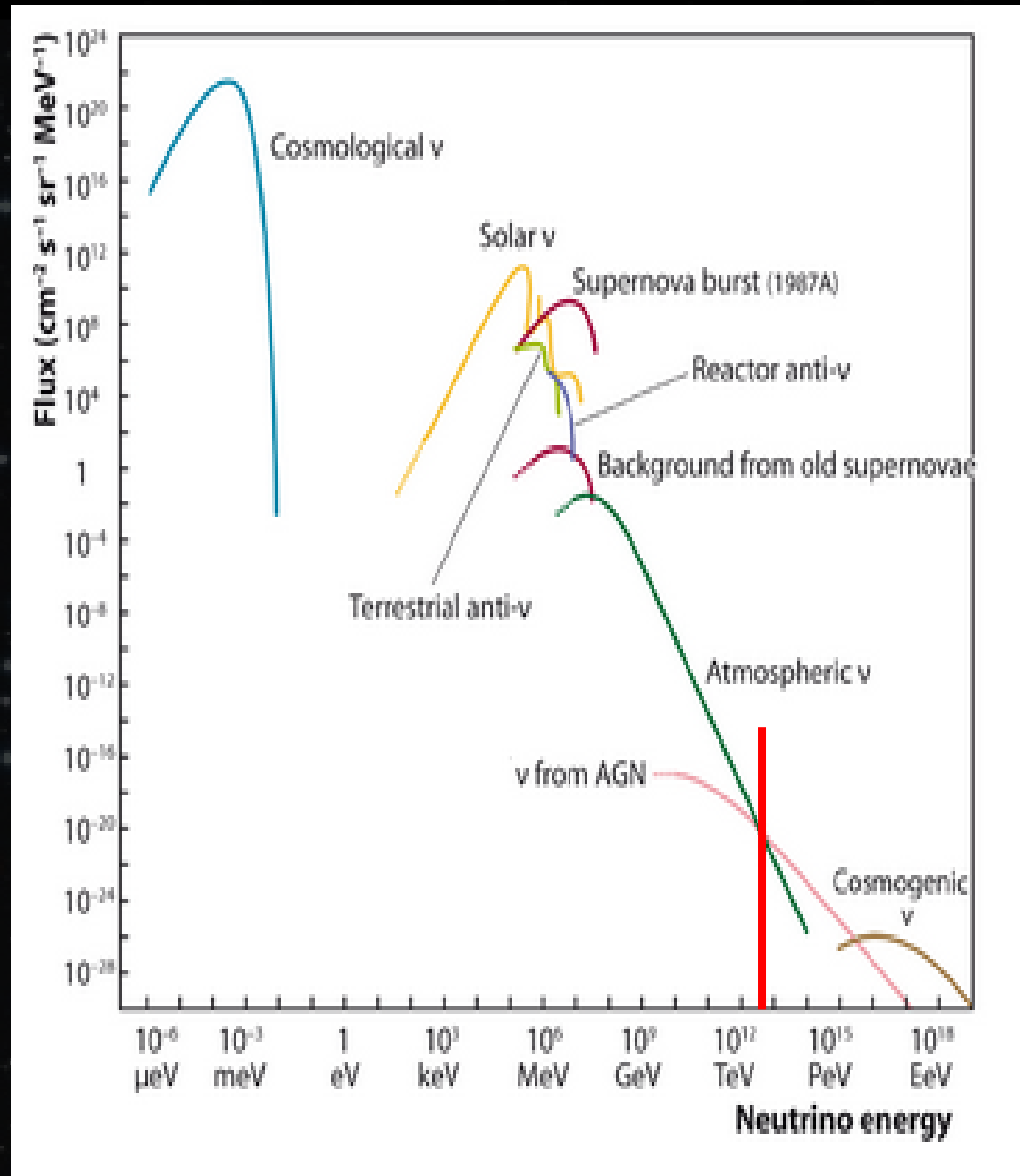
# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?



$10^{12}$   
por sec

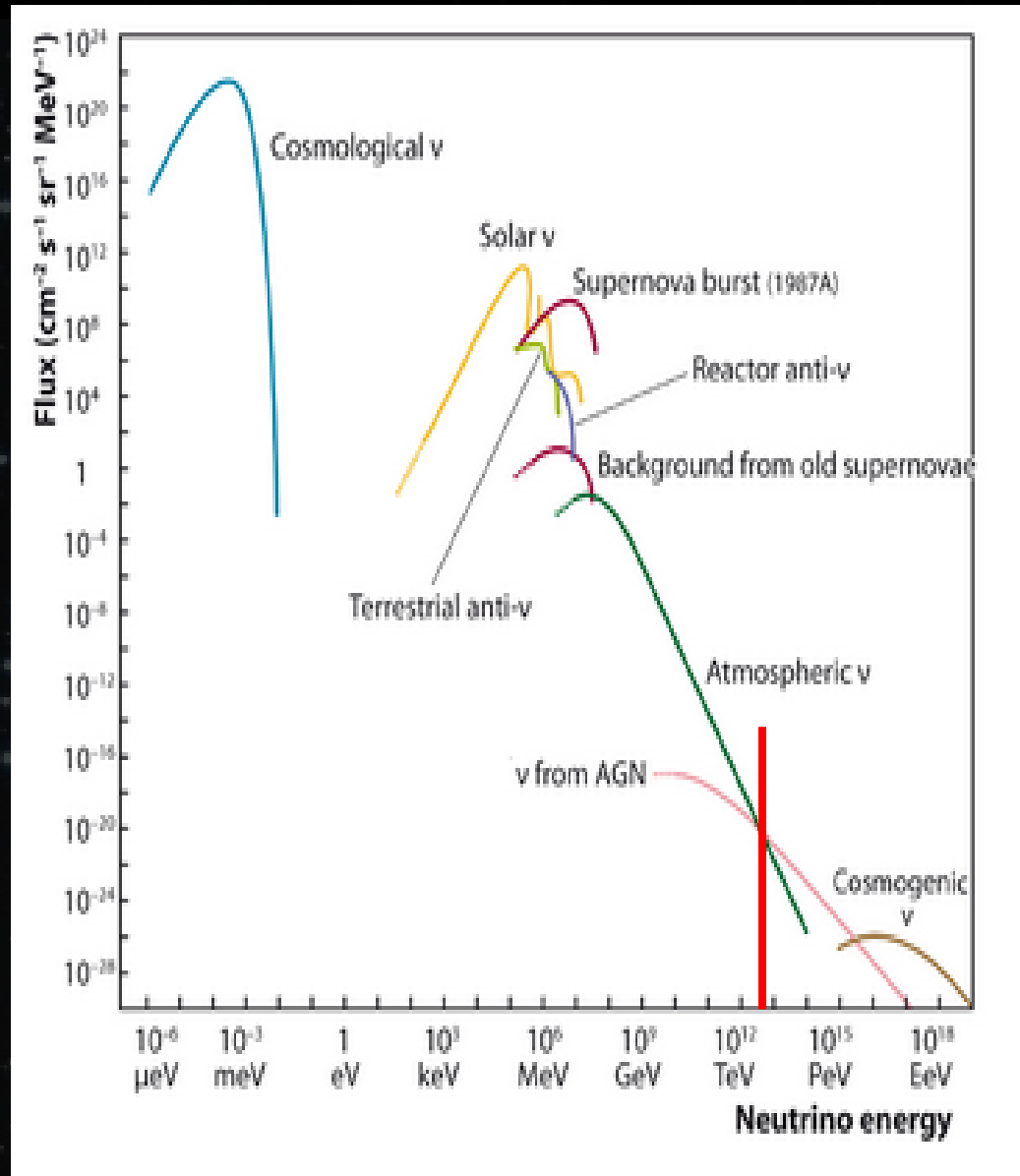


# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?



$10^{12}$   
por sec

# ¿DE DONDE VIENEN LOS NEUTRINOS?



$10^{12}$   
por sec

**Hay que distinguir la “señal” del “ruido de fondo”  
¡75 al día vs 1 al mes!**

# ACTIVIDAD

1) Ir a <https://bit.ly/2Eqqwys>

2) Abrir el formulario.

3) Leer y completar las actividades apuntando los resultados en el formulario.

# ACTIVIDAD 1

1 km<sup>2</sup>  
**Link**

**¿Qué partículas se han creado dentro del detector?**

**¿Es posible saber si son neutrinos atmosféricos (ruido de fondo) o extragalácticos (señal)?**

## ACTIVIDAD 2

1 km<sup>2</sup>  
**Link**

**Para pasar el veto, la partícula con carga se tiene que crear dentro del detector.**

**Para pasar el corte de carga ( “charge cut”) la carga acumulada debe ser mayor de 6000 pe.**



# ACTIVIDAD 3

1 km<sup>2</sup>  
**Link**

**Tenéis que intentar adivinar qué neutrinos tienen más energía mirando las imágenes.**

**¿Qué características de las imágenes os hacen pensar que el neutrino tiene mucha energía?**

# ACTIVIDAD 4

1 km<sup>2</sup>  
**Link**

**Aquí podéis mirar los eventos  
con más detalle.**

**¿Cuáles son las características  
más importantes?**

**Link**

## **ACTIVIDAD 5**

**Aquí podéis ver la diferencia entre las simulaciones (en gris) y los datos (en negro).**

**Cambiar la energía de corte hasta que las simulaciones se parezcan más a los datos y haya la mayor diferencia con el ruido de fondo.**

**¿Qué información podéis obtener usando la declinación?**



**Hora de  
Analizar**