

Introducción al Neutrino



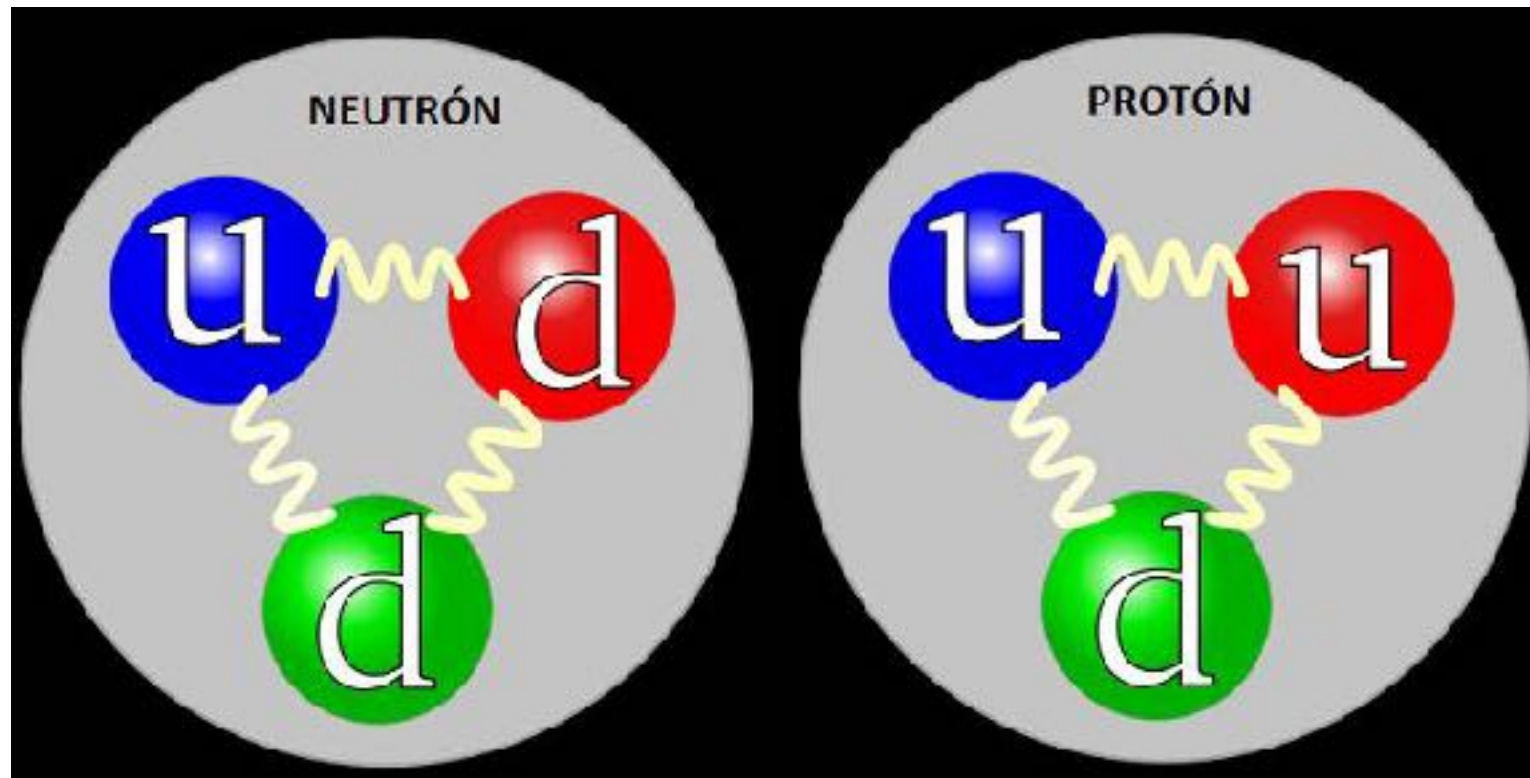
Clase I: Historia del Neutrino

Conceptos importantes en la física de partículas

Clasificamos los tipos de partículas de varias formas
Aquí presentamos unos de los más importantes

NEUTRON

Masa: 940 MeV
 $\sim 1.67 \times 10^{-27}$ kg
carga: 0 e
Lifetime: ~ 880 s



PROTON

Masa: 938 MeV
 $\sim 1.67 \times 10^{-27}$ kg
carga: +1 e
Lifetime: $> 10^{29}$ yr

Neutrones y Protones son BARYONES
Dentro tienen 3 quark y una 'sopa de gluones'

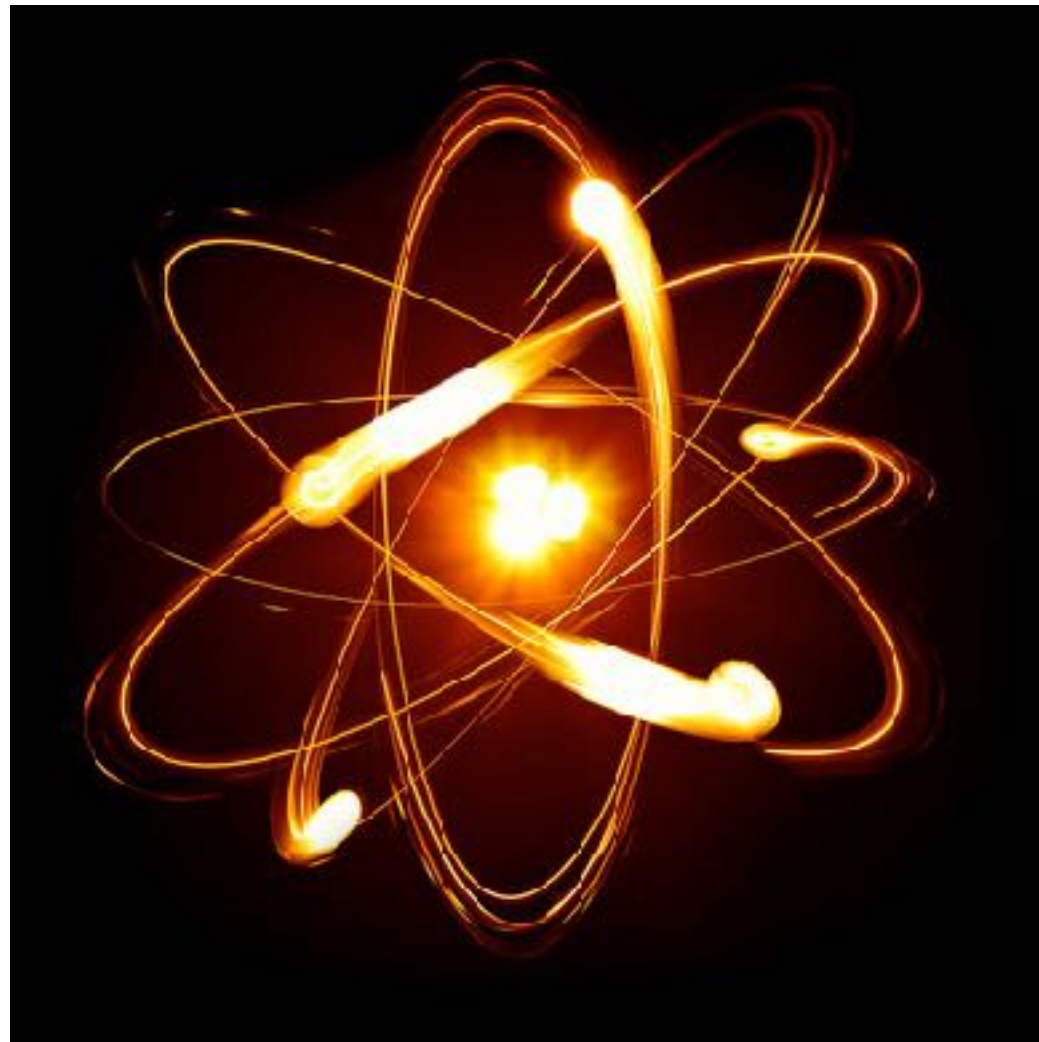
Fermiones

QUARKS

leptones

ELECTRON

masa: 0.511 MeV
 $\sim 9.10 \times 10^{-31}$ kg
carga: -1 e
 $\sim 1.6 \times 10^{-19}$ C
Lifetime: $> 4.6 \times 10^{26}$ yr



Electrones son FERMIONES

Son partículas 'fundamentales'

No tienen estructura

Siempre tienen 'spin' de 1/2

Toda la materia está hecha de fermiones

leptones

MUON

masa: 105.66 MeV
carga: -1 e
Lifetime: ~ 2.2 μ s

TAU

masa: 1776.82 MeV
carga: -1 e
Lifetime: ~ 290.6 fs

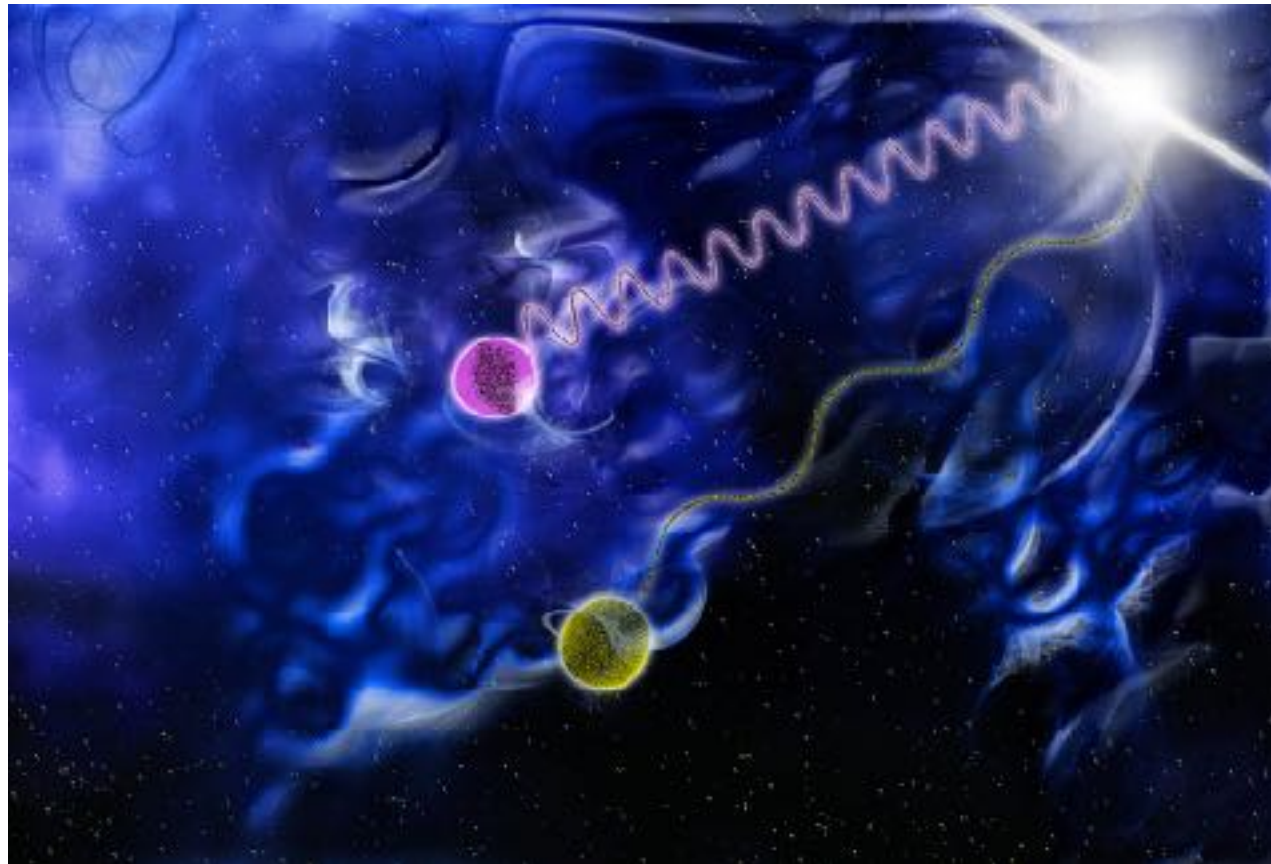
NEUTRINOS

**Electrones, muones,
taus y neutrinos son
también LEPTONES
porque no interactúan
con gluones**

Bosones

FOTÓN

Transmite la fuerza
electromagnética
masa: 0 eV



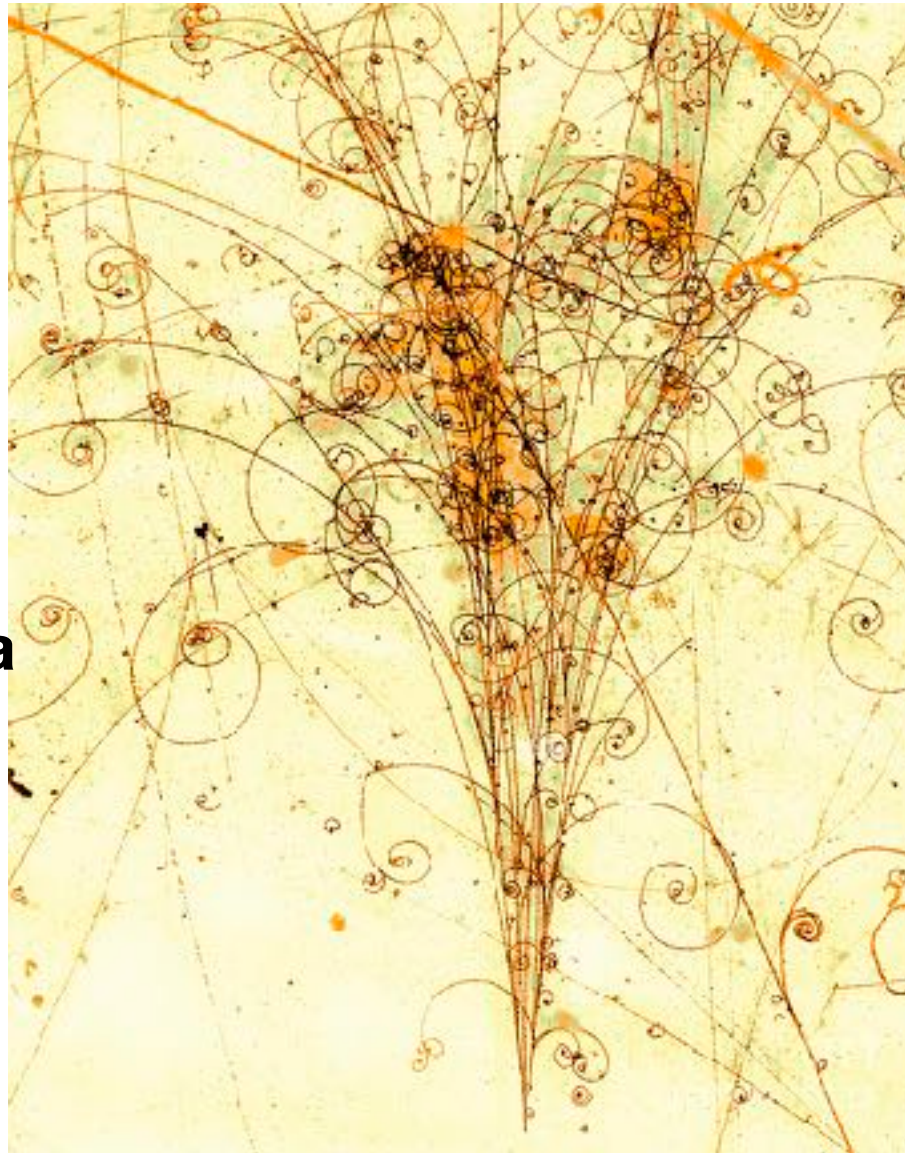
W^{\pm}/Z^0

Transmite la fuerza
débil
masa W: 80.4 GeV
masa Z: 91.2 GeV

**Los bosones transmiten las fuerzas
Siempre tienen spin 1 ó 0
También son 'fundamentales'**

Anti-partículas

**Una partícula y su anti
interactúan aniquilándose
y convirtiéndose en energía
normalmente fotones**



**Todas las partículas fundamentales tienen una anti-partícula.
Igual en masa pero opuesto en todo lo demás.**

El modelo estándar

Hoy en día sabemos de todas estas partículas fundamentales

QUARKS	mass → charge → spin →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ u up	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ c charm	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ t top	0 0 1 g gluon	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 0 H Higgs boson
		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ d down	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ s strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ b bottom	0 0 1 γ photon	
		$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ e electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ μ muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $1/2$ τ tau	0 1 Z Z boson	
LEPTONS		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $1/2$ ν _e electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν _μ muon neutrino	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν _τ tau neutrino	±1 1 W W boson	GAUGE BOSONS

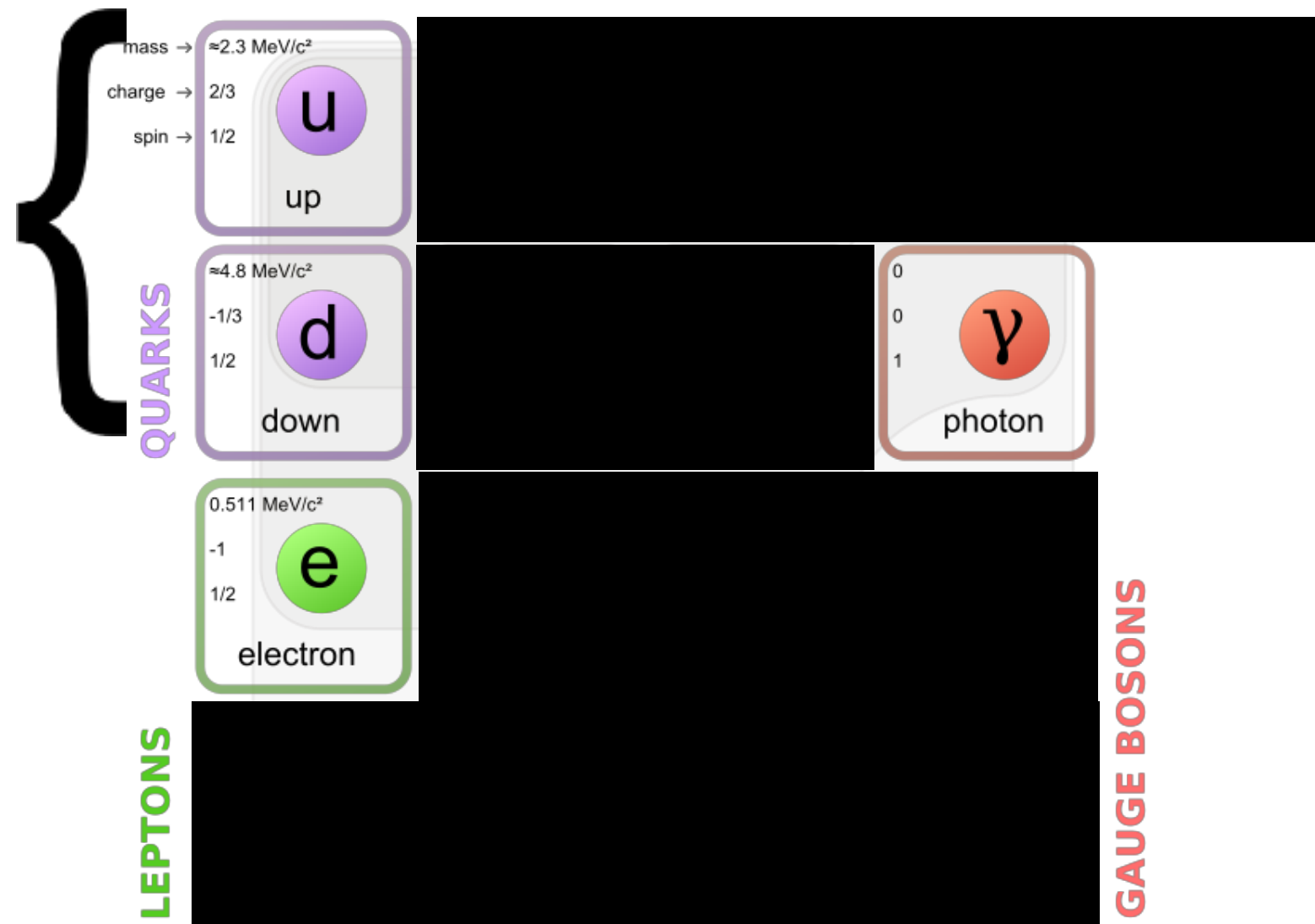
**Esta teoría es muy exitosa.
Pero le falta mucho para
explicarlo todo.**

**Veremos que los neutrinos
nos muestran los primeros
indicios de física
'más allá del modelo estándar'**

El modelo estándar

Vamos a empezar nuestro curso un poco antes

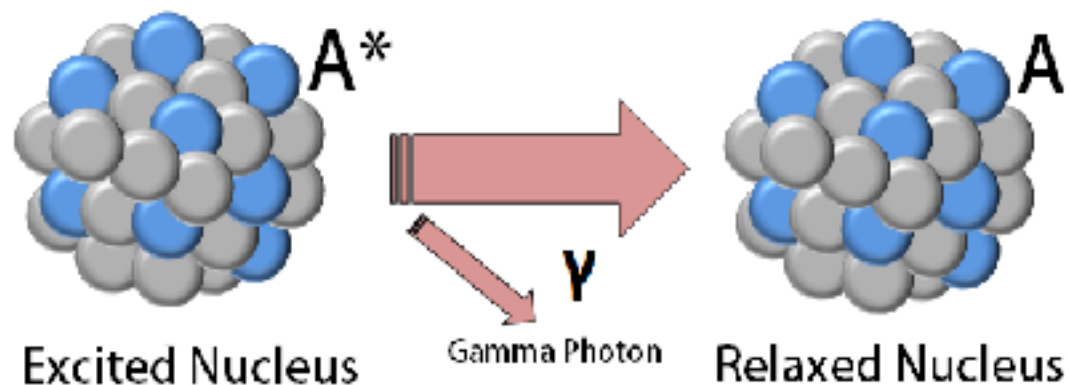
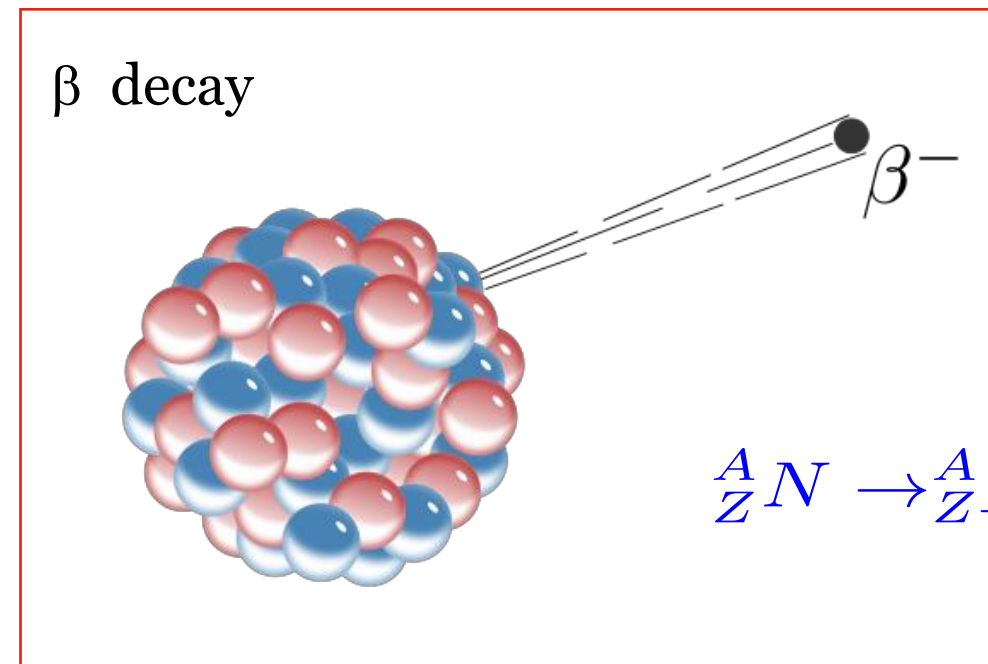
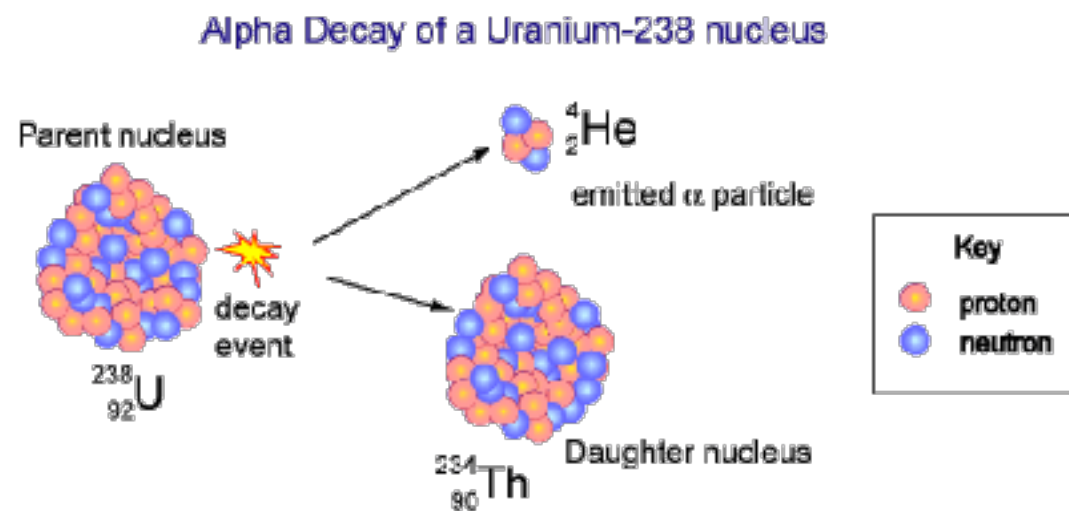
En forma compósita
como protones (y
poco después como
neutrones)



Al principio del siglo XX sabíamos de pocas partículas
y estábamos empezando a entender la radiactividad

La radiactividad

Trabajos de (entre otros) Becquerel, Curie y Rutherford nos ha llevado a clasificar la radiactividad natural como tres procesos distintos (más unos cuantos más...)

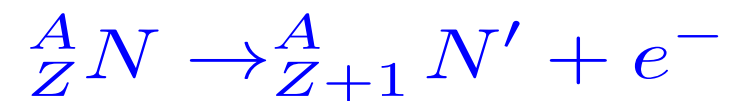
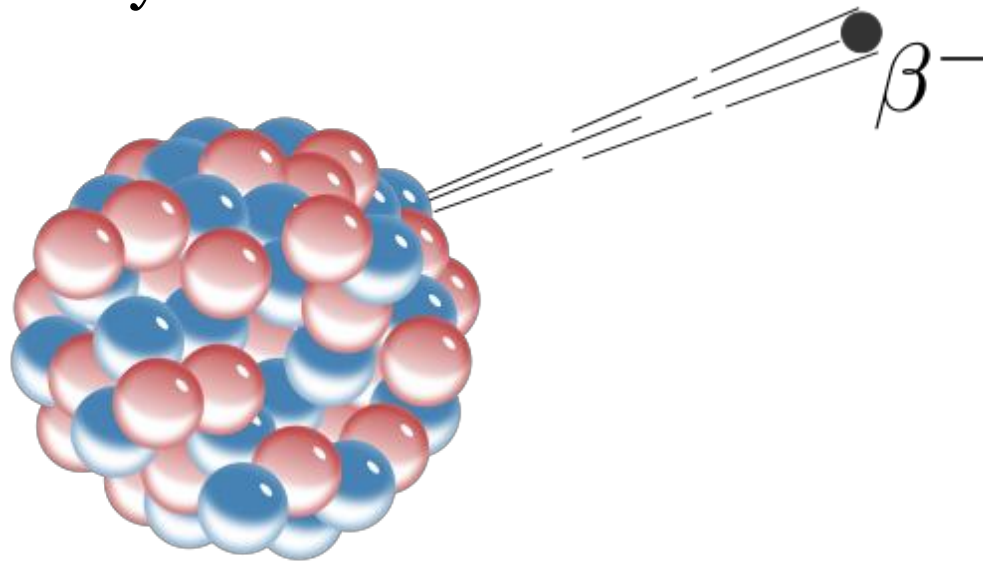


Desintegración beta es, para este curso, el proceso más interesante. Veremos que la imagen que he puesto es un poco tramposa...

Veremos que las gammas pueden hacer trampa también

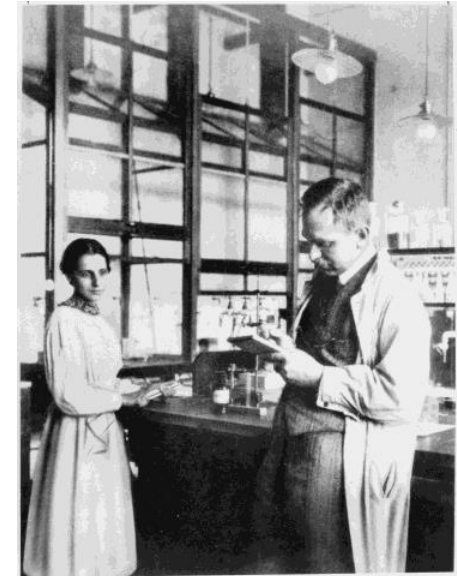
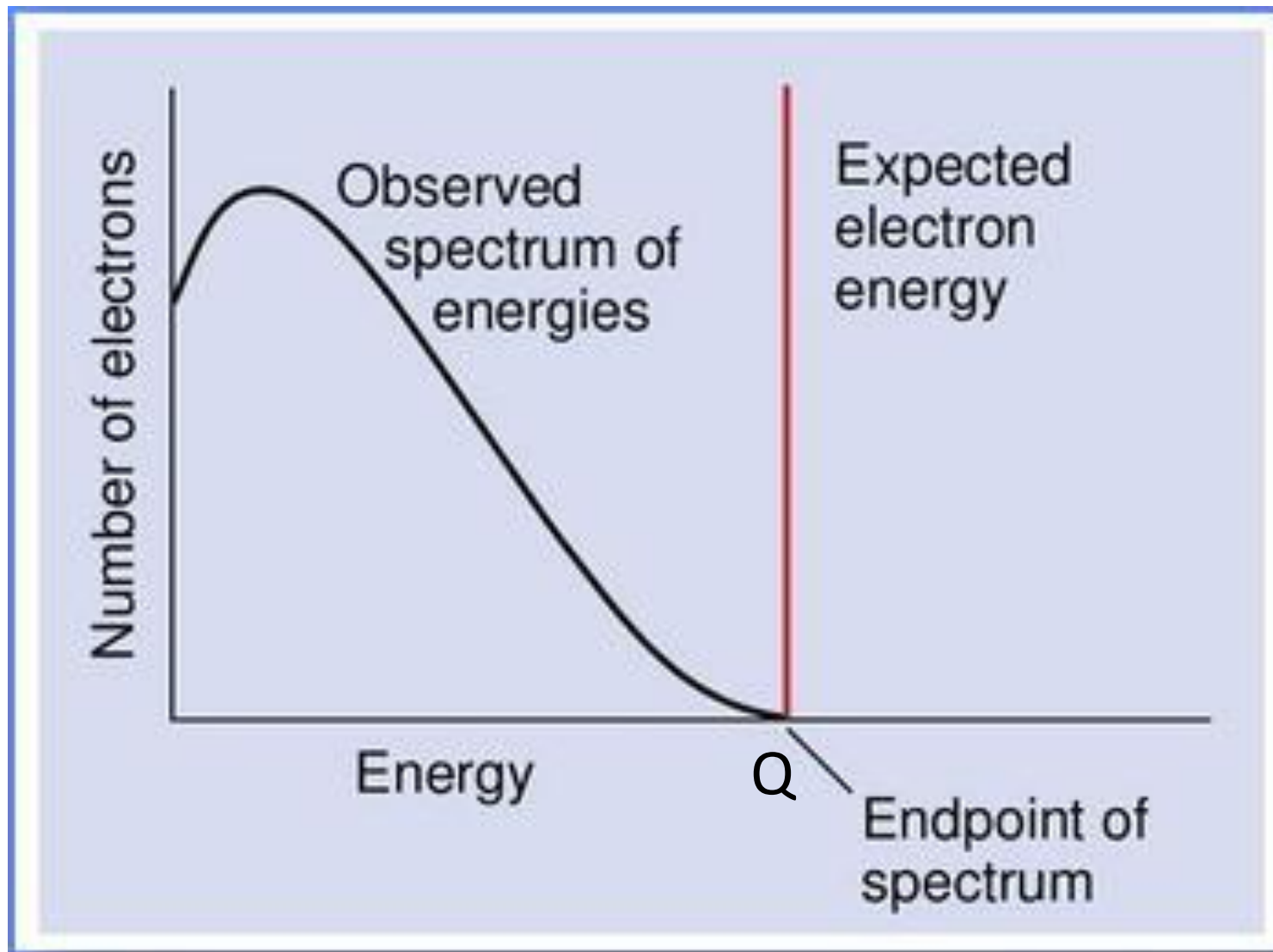
Desintegración beta

β decay



**¿Si es la verdad,
qué esperamos al medir la energía cinética del electrón?**

La verdad



Meitner, Hahn
(Nobel 1944 only him!)



Chadwick (Nobel 1935)

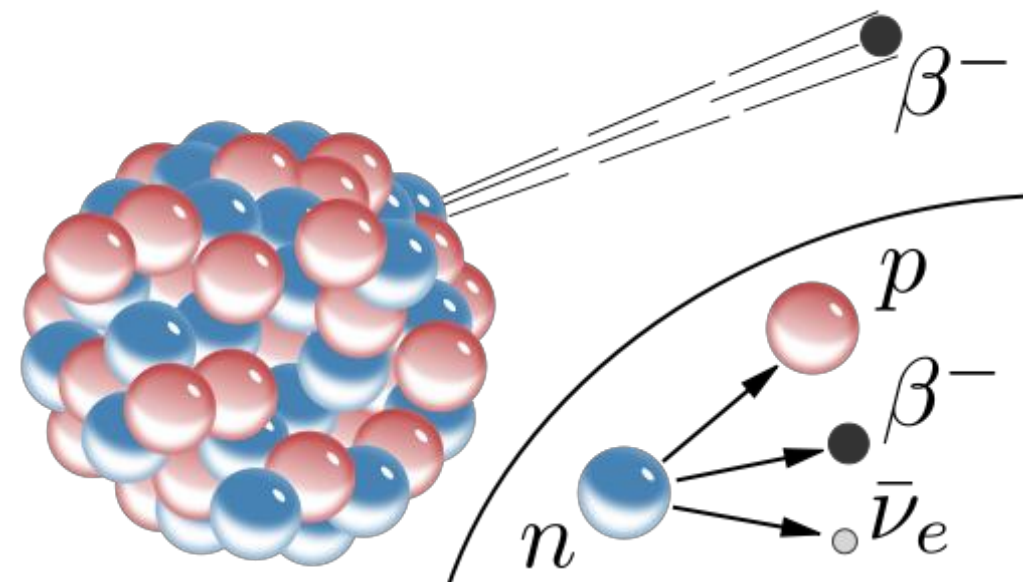
¿Cómo podemos explicar esta diferencia?

Una partícula nueva

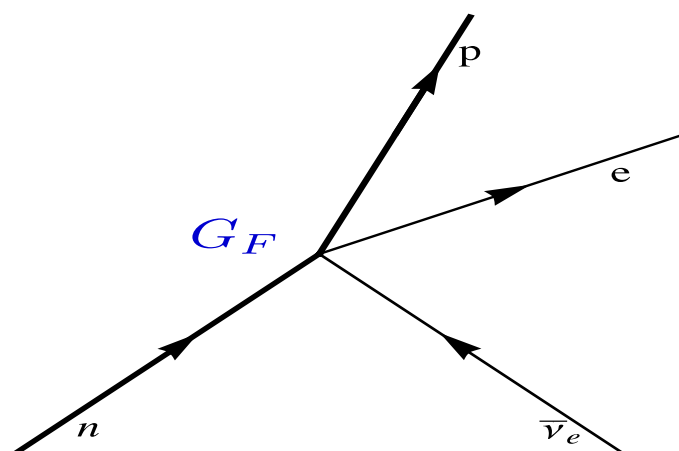


Una partícula sin masa,
sin carga eléctrica,
que podría ser imposible
de detectar

Pauli (Nobel 1945)

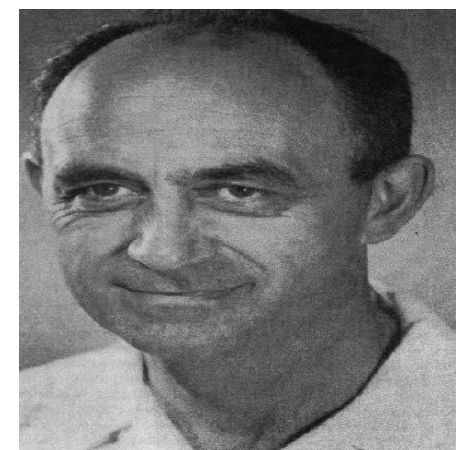


1934: Theory of beta decay



$$n + \nu \rightarrow p + e^-$$

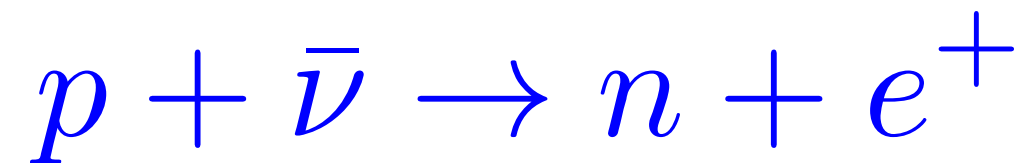
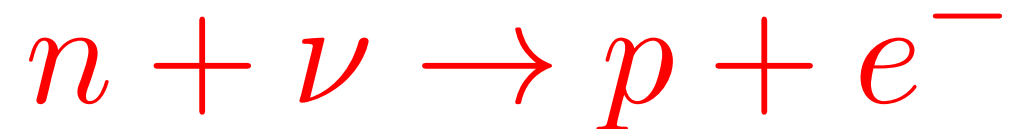
$$p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+$$



E. Fermi
(Nobel 1938)

¿Cómo detectar un neutrino?

Invertimos el tiempo...



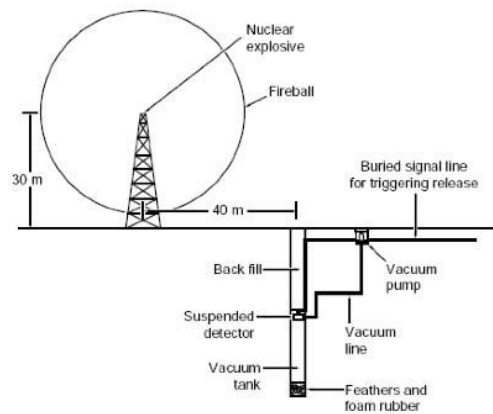
Calculando la probabilidad de interacción (cross section) de forma simple parece que no vamos a poder detectarlos:

$$\sigma \simeq 10^{-44} \text{ cm}^2, \quad E(\bar{\nu}) = 2 \text{ MeV} \quad \lambda|_{\text{@water}} \simeq 1.5 \times 10^{21} \text{ cm} \simeq 1600 \text{ Light Years}$$

pero ¿falta algo?

Detectando los primeros (anti-)neutrinos

Una fuente



Reactors: $\sim 10^{20}$ /second!



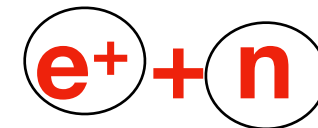
Vienen de
desintegraciones beta

Un blanco

¿Algo con muchos protones?



Una señal

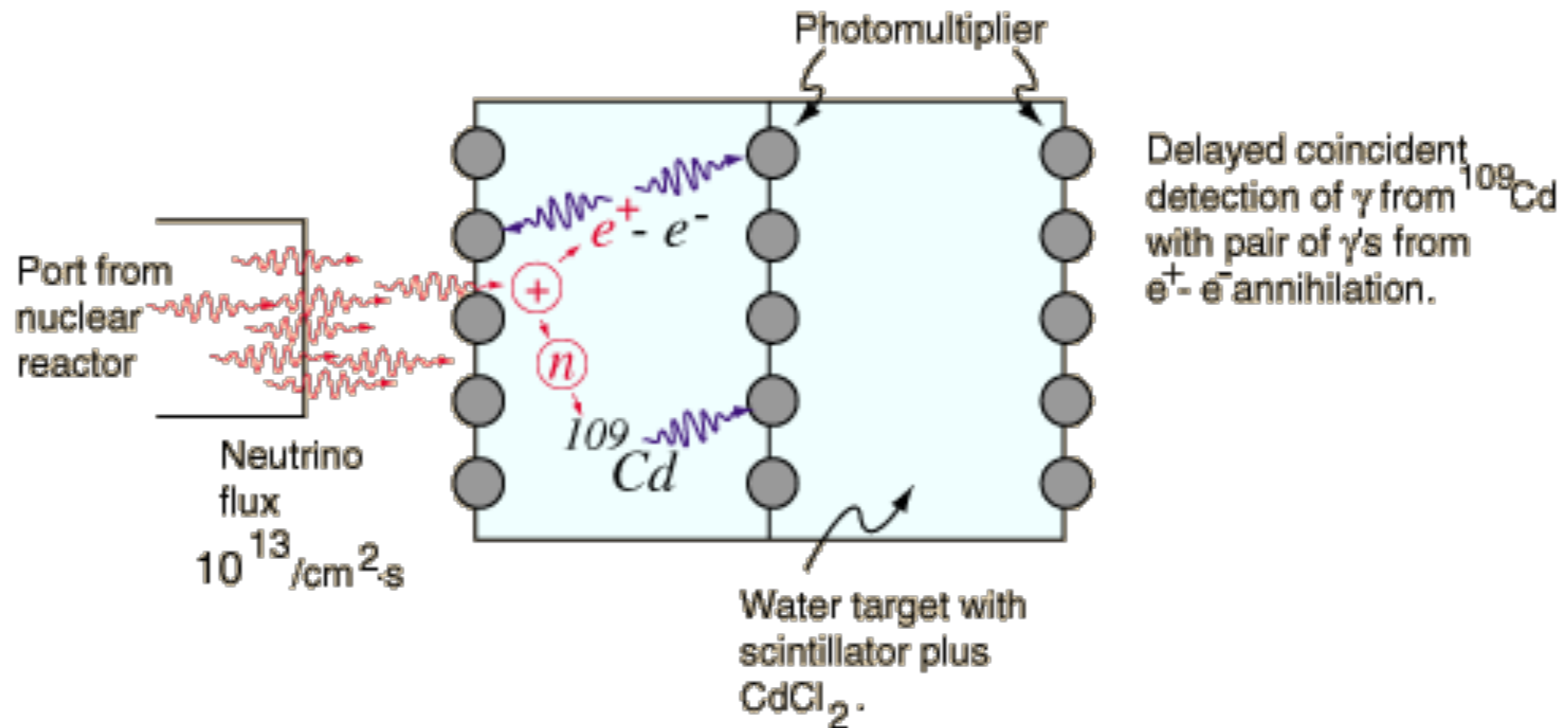


Señal rápido
de
aniquilación

¿Los
detectamos?

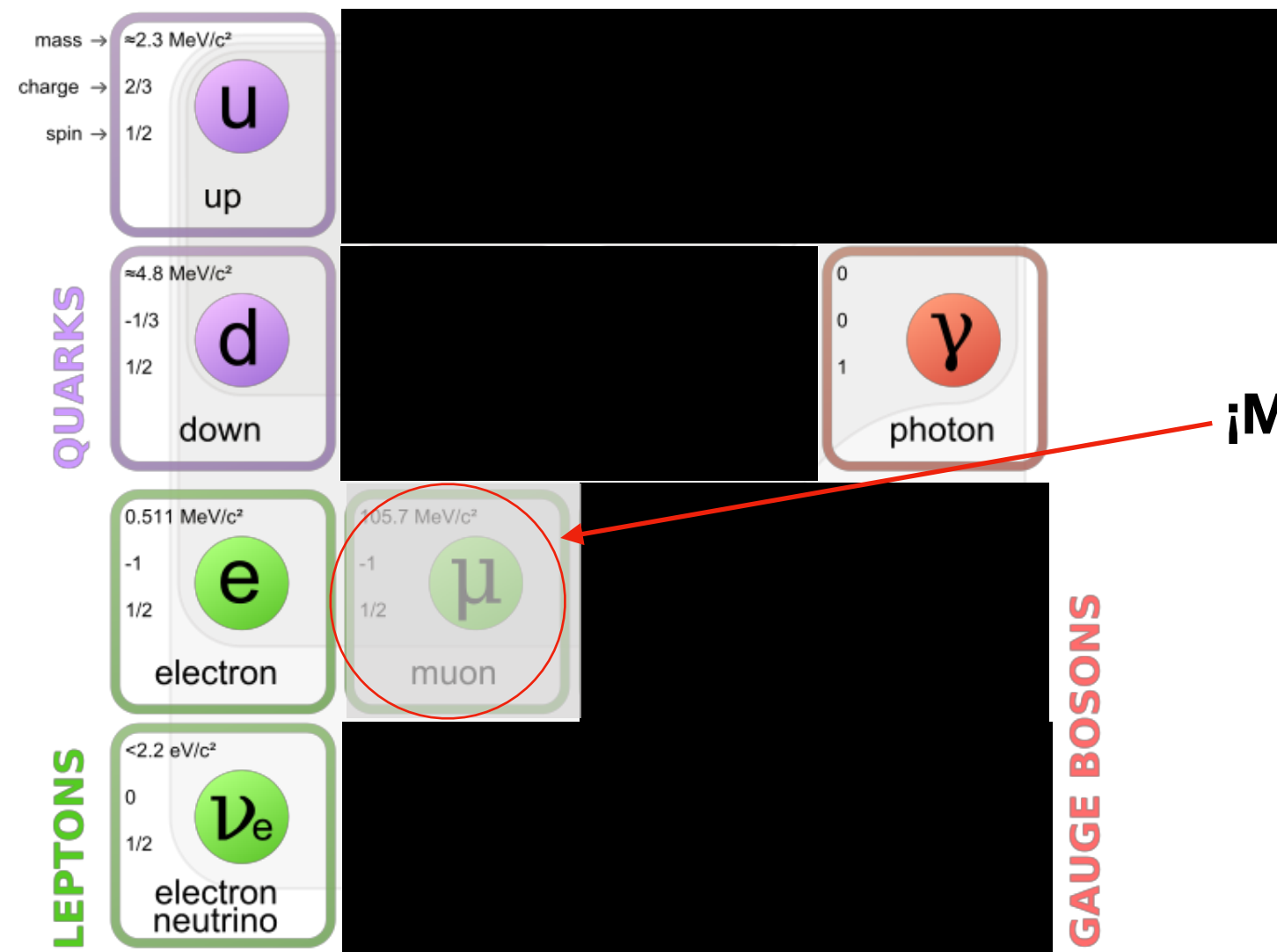
El detector de Reines-Cowan

Bajo tierra — Protección del ambiente
Señal inequívoca — reduce falsos positivos



Dos gama en PMT opuestos seguido de gamas de la captura del neutrón.
“**The Golden signal**” que se usa todavía en muchos experimentos.

¿Por dónde andamos?



¡Mira, algo nuevo!

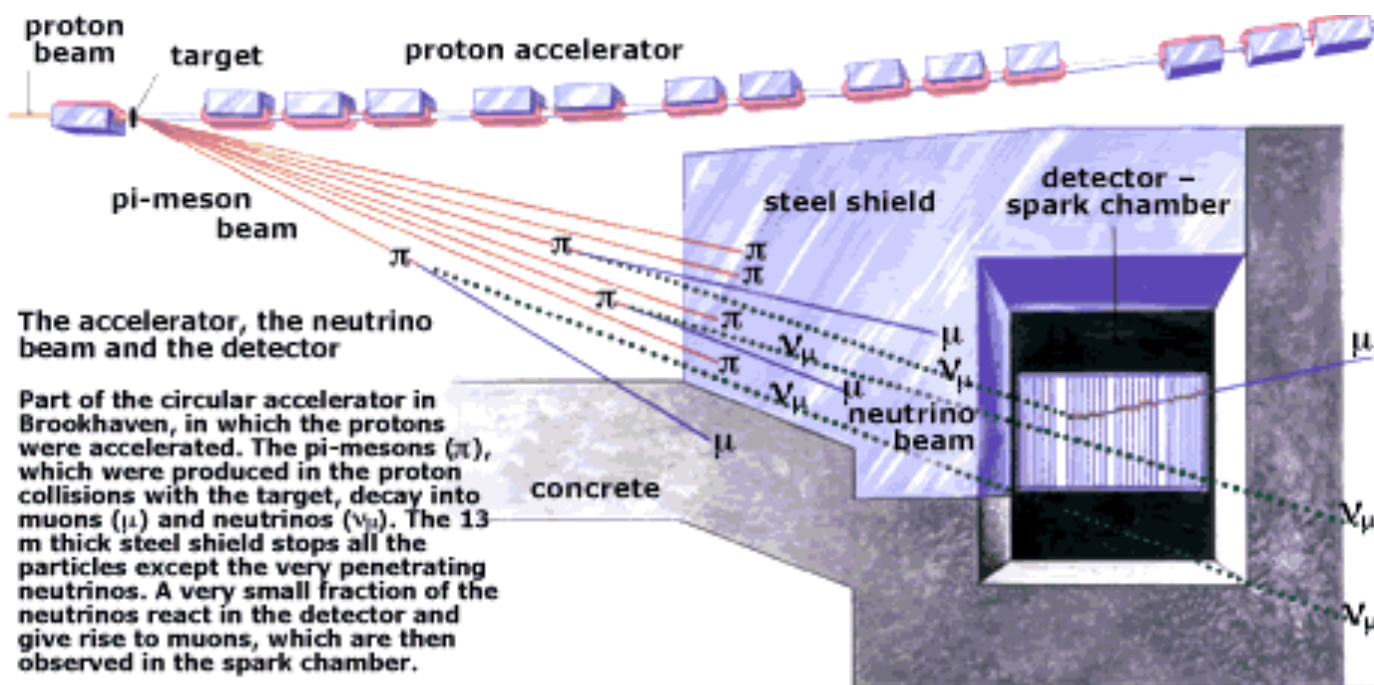
bueno, su anti

Muones y sus neutrinos

El muón fue descubierto en los rayos cósmicos, es como un electrón pesado

$$\pi \rightarrow \mu \bar{\nu}_{\mu}$$

Su (anti-)neutrino interactúa de forma distinta



Muones, al tener más masa, se detectan de forma más fácil

Modern versions of Lederman, Schwartz, Steinberger experiment are accelerator neutrino experiments: **Minos, Opera, T2K, NoVA,...**

¿Por dónde andamos?

De los quarks masivos no hablaremos

Casi toda la física de neutrinos se basa en detectar (o no) neutrinos de tipo electrón, muón

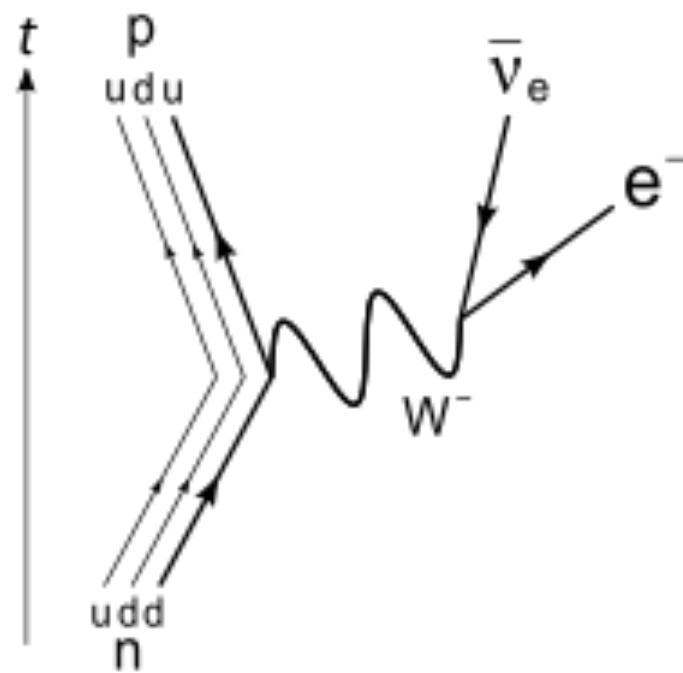
mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ 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	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

Z y W son partículas muy importantes para la física de neutrinos

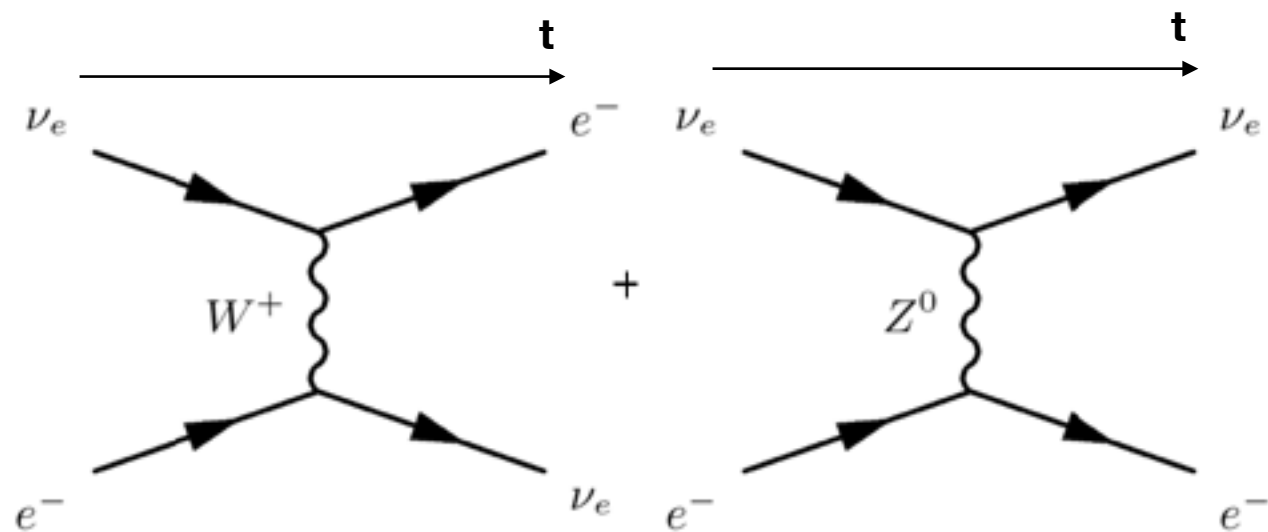
Si hay tiempo hablaremos un rato de neutrinos de tipo tau

La fuerza débil

En el modelo estándar las interacciones de los neutrinos se describen mediante la fuerza débil



Desintegración beta



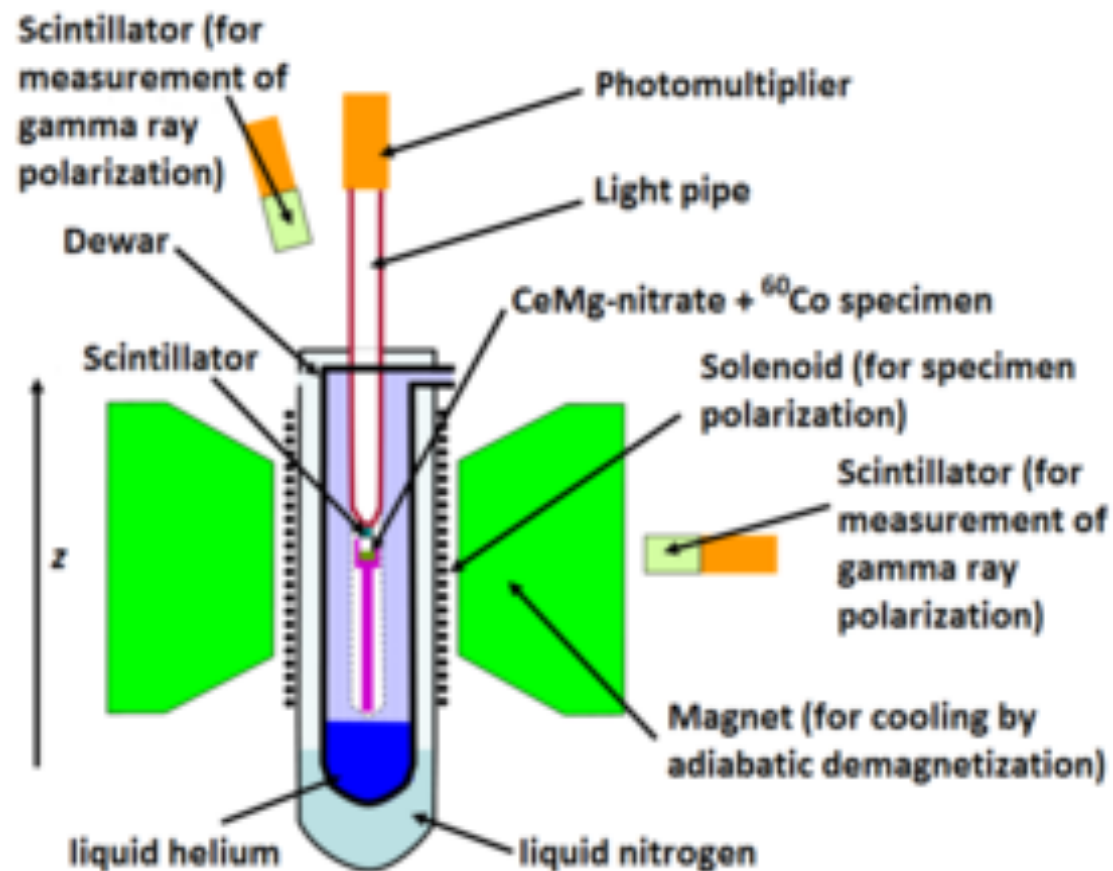
**Dispersión de
electrones de corriente
cargada (CC)**

**Dispersión de
electrones de corriente
neutra (NC)**

**Interacciones conservan el número de de tipo de leptón:
por ejemplo, un neutrino de tipo electrón no puede producir un muon**

La fuerza débil 2

El experimento de C. S. Wu



El experimento de Wu estudiaba la desintegración beta de ^{60}Co para estudiar la fuerza débil.

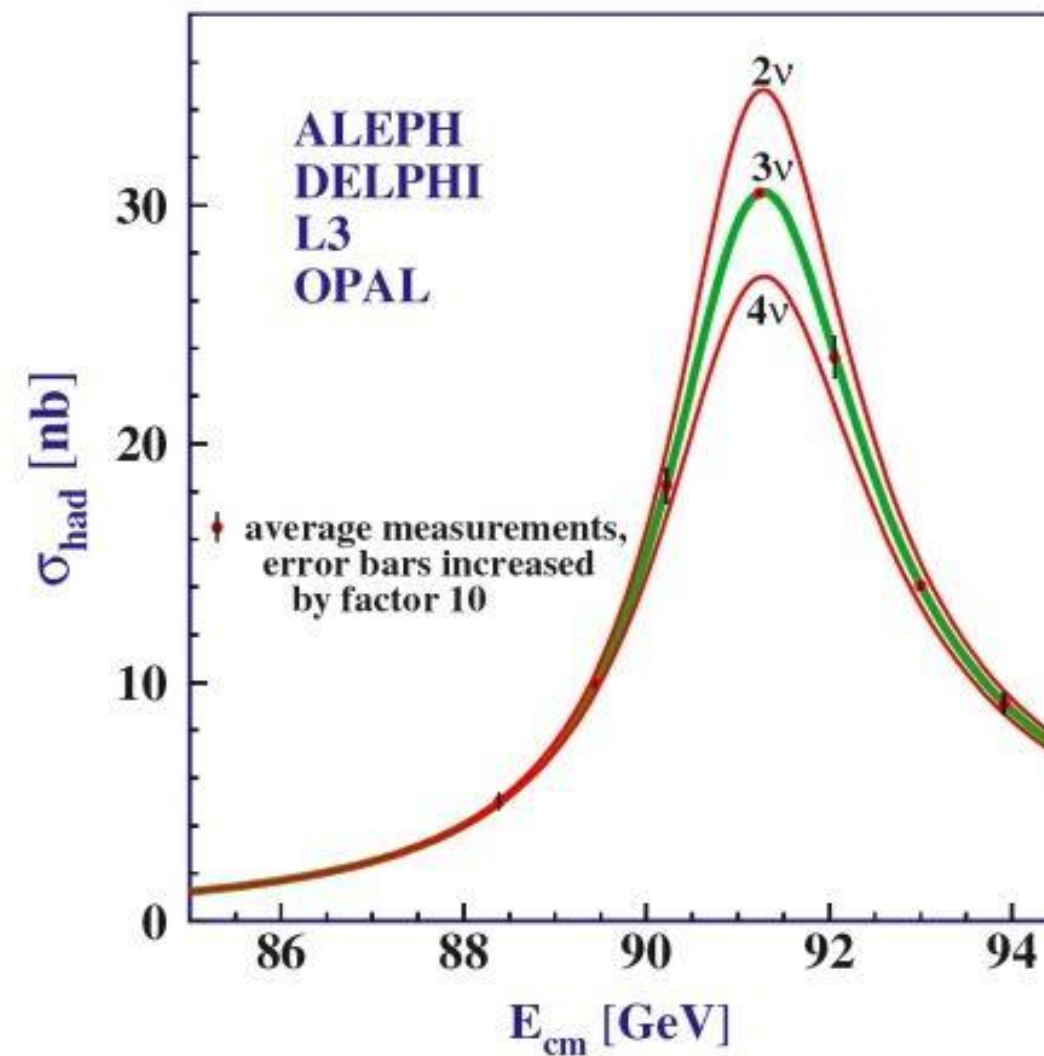
Chequeo de polarización usando gamas.

Observaron que los electrones siempre salían en la dirección contraria a la polarización
La fuerza débil es única en que tiene dirección preferida: el espejo se ha roto.

Familias

LEP pudo medir el número de familias (con masa $\leq m_Z$)
usando la ausencia de neutrinos

Los detectores de LEP no pudieron
detectar neutrinos pero las Z^0 que
estaban produciendo tenían que
desintegrarse en $\nu + \bar{\nu}$



Resumen

- La existencia de los neutrinos fue una sorpresa.
- Solo interactúan via la fuerza débil.
- Por ellos sabemos que hay 3 familias de fermiones.
- ¿Qué más podemos saber de ellos?