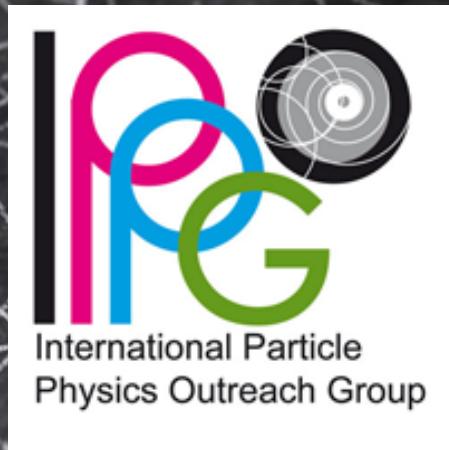


# Introducción a la Física de Partículas

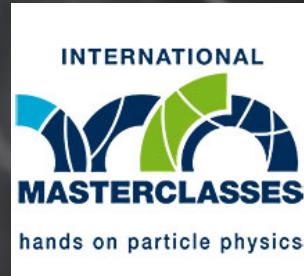


Bruno Zamorano García  
Dpto. Física Teórica y del Cosmos



19 Marzo 2019

Parque de las Ciencias - Granada



Universidad de Granada

## Física de Partículas

Física Nuclear

Física del Estado Sólido

Química

Mecánica

Cosmología

Astrofísica

Astronomía

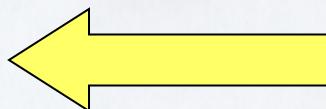
Geofísica



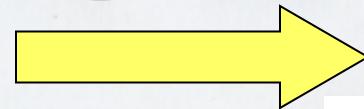
$10^{-15} \ 10^{-12} \ 10^{-9} \ 10^{-6} \ 10^{-3} \ 1 \ 10^3 \ 10^6 \ 10^9 \ 10^{12} \ 10^{15} \ 10^{18} \ 10^{21} \ 10^{24}$

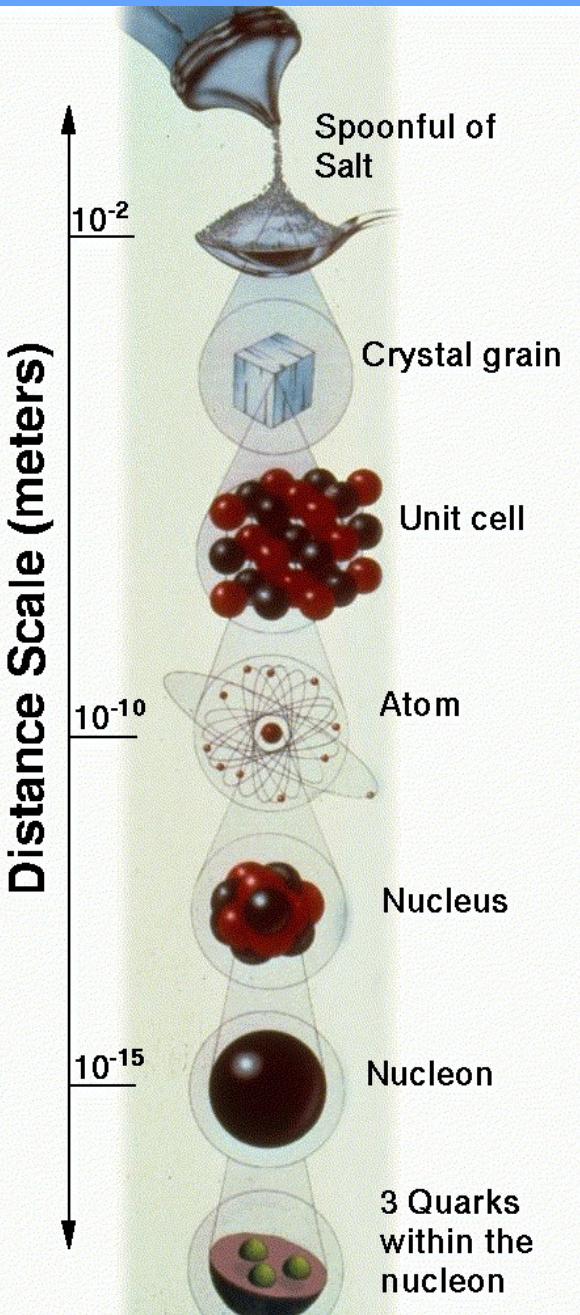


fm pm nm  $\mu$ m mm m km Mm Gm Tm Pm Em



> 40 órdenes de magnitud





Dicho de otro modo ...

Si un nucleón tuviese un tamaño de **1 milímetro**,  
la cucharilla tendría una tamaño mayor que **¡¡¡mil veces la distancia de la Tierra al Sol !!**

*Un protón es una parte infinitesimal de un átomo, que es en sí mismo, por supuesto, una cosa minúscula. Los protones son tan pequeños que una pizquita de tinta, como el punto de esta «i», puede contener unos 500 000 millones de ellos.*

Bill Bryson – “Una breve historia de casi todo”

# Experimento frente a teoría: el método científico

Dos facetas íntimamente ligadas que nos permiten avanzar en el conocimiento de los **componentes últimos de la materia y sus interacciones**.

La base de nuestro conocimiento se basa en el uso del Método Científico (**observación, hipótesis, experimentación**).

## La **TEORÍA**

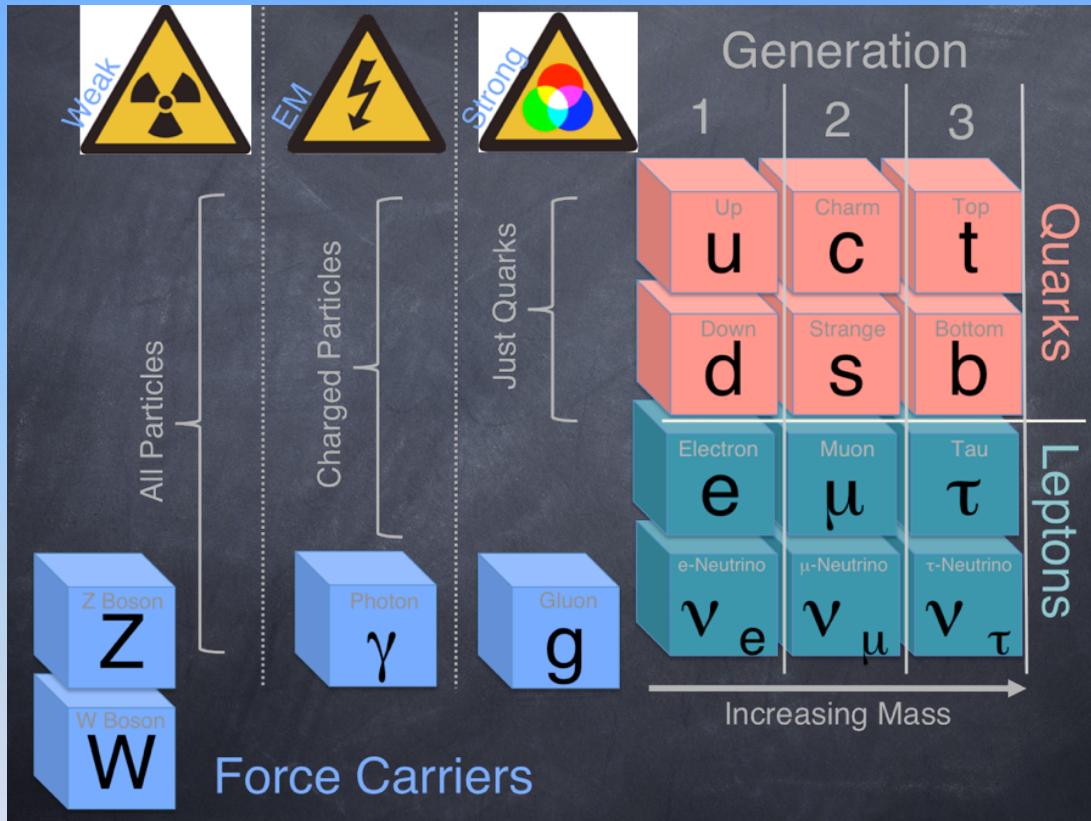
- Aporta los **modelos matemáticos** que explican los resultados de las observaciones experimentales
- Permite hacer **hipótesis** ⇒ ideas para nuevos experimentos

## Los **EXPERIMENTOS**

- Comprueban la validez de los **modelos**
- **Descartan** modelos erróneos

# El modelo estándar de la Física de Partículas

Es la teoría que describe todo lo que sabemos sobre las partículas elementales y sus interacciones



Incluye 3 de las 4 fuerzas fundamentales, a las que se asignan bosones de interacción.

Se agrupan en tres familias o generaciones. La estructura se replica para cada familia, pero con masas mayores.

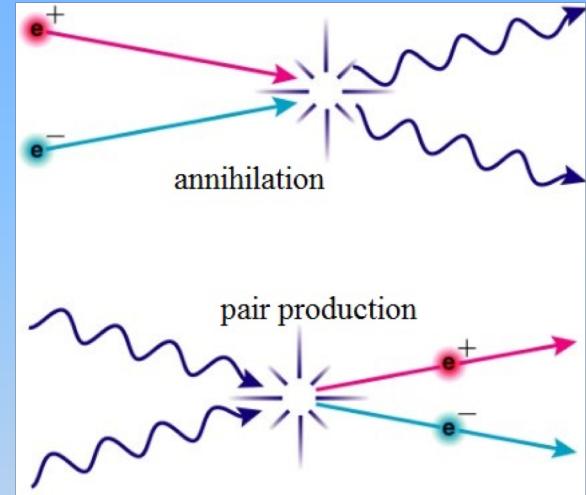
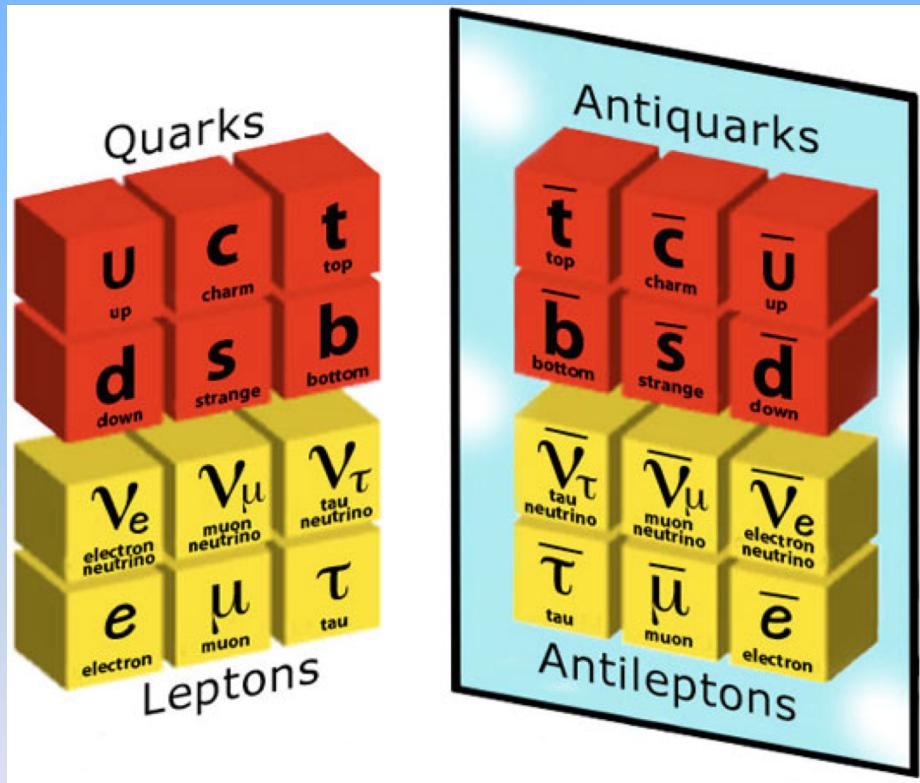
El protón y el neutrón NO son partículas elementales, sino compuestas

**Excelente poder predictivo. Describe las propiedades de todas las partículas y procesos conocidos con una precisión sin precedentes.**

# El reflejo de las partículas: las antipartículas

Para cada partícula existe su antipartícula, que tiene propiedades idénticas pero carga contraria

Por ejemplo, el electrón  $e^-$  tiene como antipartícula el positrón  $e^+$



Cuando una partícula y su antipartícula entran en contacto se aniquilan, liberando energía en forma de fotones.

El proceso opuesto también es posible.

**Equivalencia masa-energía:**  $E = mc^2$

# Un paréntesis sobre unidades

Puesto que **masa** y **energía** se relacionan a través de una constante ( $E=mc^2$ )

- **Elegir sistema con  $c = 1$**   $\Rightarrow$  Masas y energías en las mismas unidades
- **También  $h/2\pi = 1$**   $\Rightarrow$  Sistema de unidades “naturales”

- Definimos el electronvoltio: energía que adquiere un electrón al acelerarse por un potencial de 1 voltio:  $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Definimos asimismo múltiplos y submúltiplos, por ejemplo el MeV ( $10^6 \text{ eV}$ ) y el GeV ( $10^9 \text{ eV}$ )

Ejercicio:

Un electrón tiene una masa de 0.511 MeV. Calcular su masa en el S.I.

# Un paréntesis sobre unidades

Puesto que **masa** y **energía** se relacionan a través de una constante ( $E=mc^2$ )

- **Elegir sistema con  $c = 1$**   $\Rightarrow$  Masas y energías en las mismas unidades
- **También  $h/2\pi = 1$**   $\Rightarrow$  Sistema de unidades “naturales”

- Definimos el electronvoltio: energía que adquiere un electrón al acelerarse por un potencial de 1 voltio:  $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Definimos asimismo múltiplos y submúltiplos, por ejemplo el MeV ( $10^6 \text{ eV}$ ) y el GeV ( $10^9 \text{ eV}$ )

Ejercicio:

Un electrón tiene una masa de 0.511 MeV. Calcular su masa en el S.I.

Solución:

$m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$ . Lo pasamos todo al S.I. y hemos acabado:  $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Repetir para el protón (938.3 MeV) y el muon (105.7 MeV)

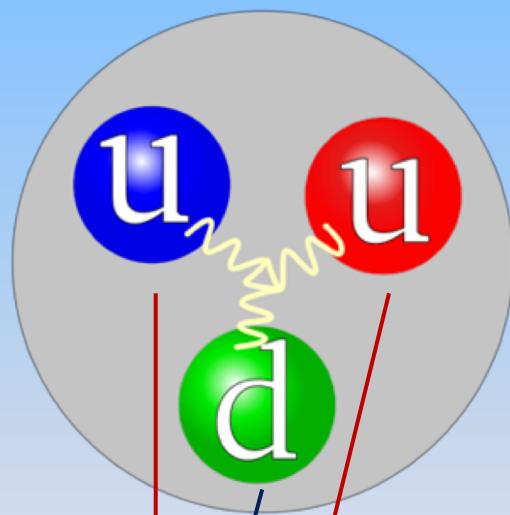
- El momento,  $p$ , también tiene unidades de energía (para un fotón  $E = pc$ )

# Protones y neutrones

Los **quarks** se agrupan para formar partículas llamadas **hadrones**

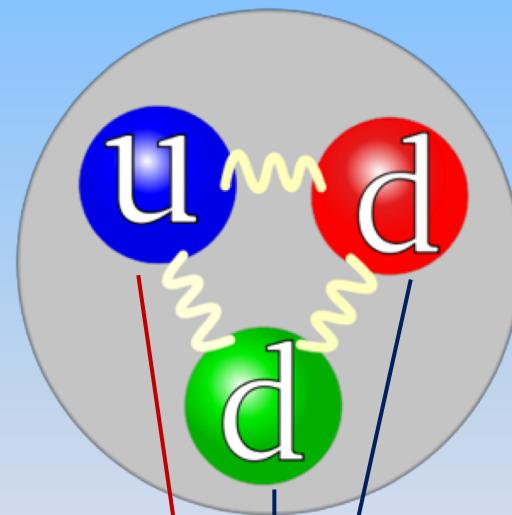
- **Mesones** ⇒ Un quark y un anti-quark
- **Bariones** ⇒ Combinación de tres quarks o anti-quarks

Protón



$$Q_p = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 1$$

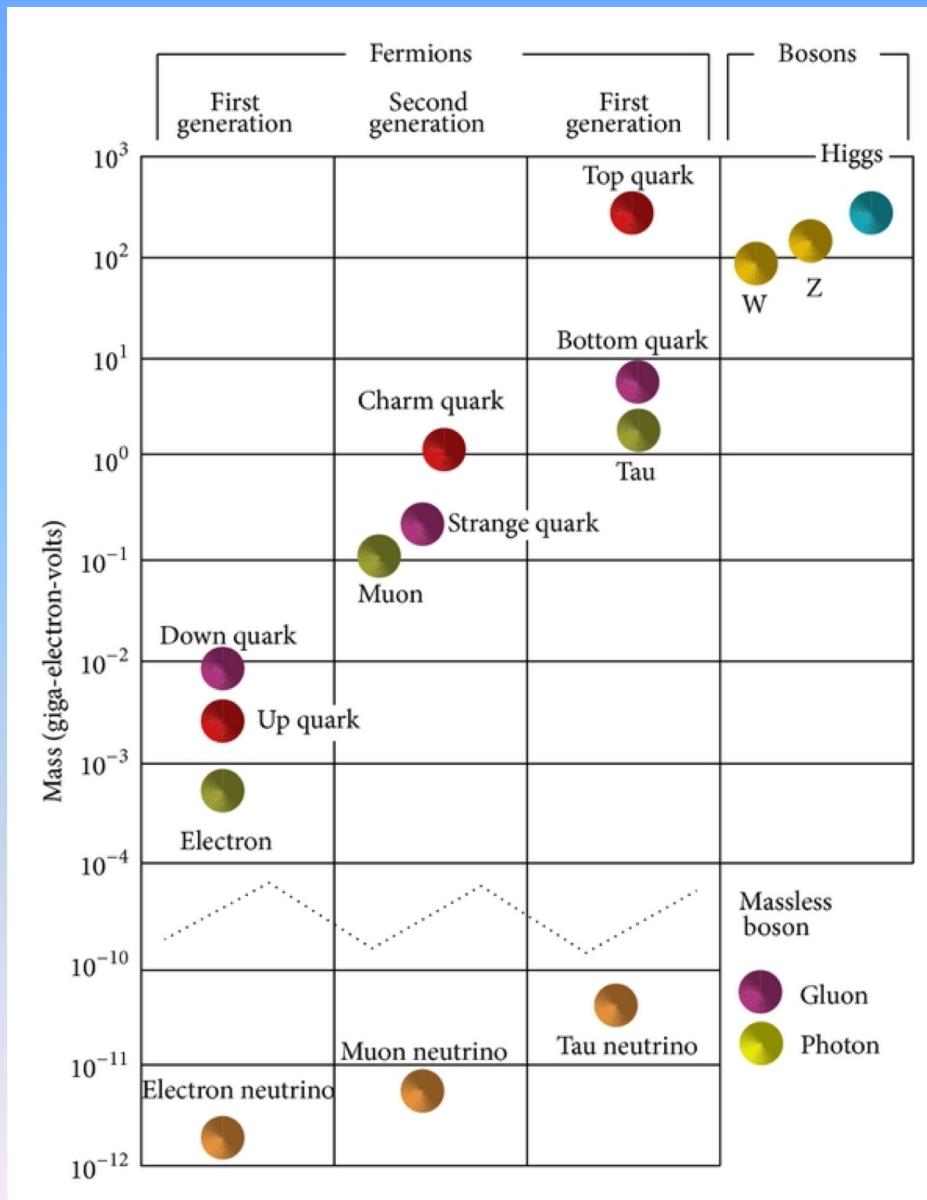
Neutrón



$$Q_n = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

# Masas de las partículas elementales

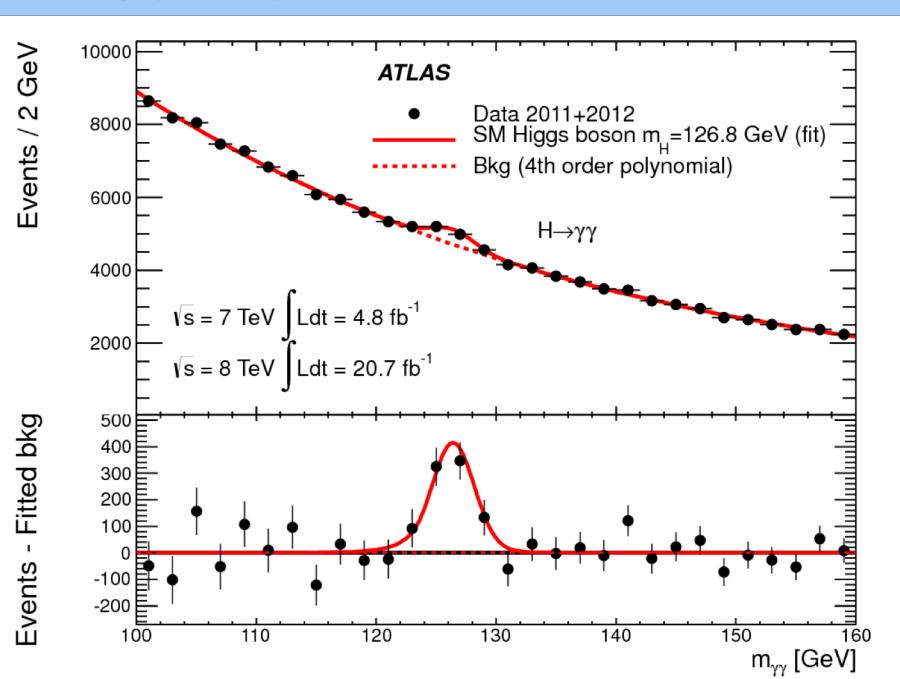
- La masa varía desde los neutrinos, con menos de una millonésima de la masa de un electrón hasta la masa del quark top, comparable a la de un átomo de oro



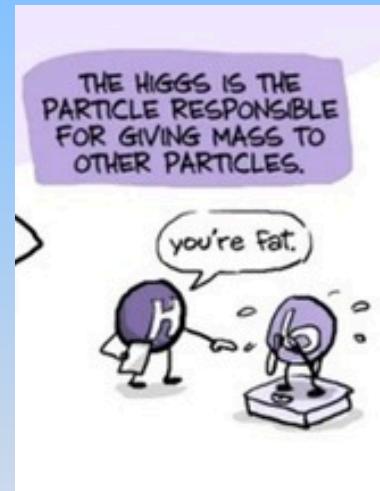
# Descubrimiento del bosón de Higgs



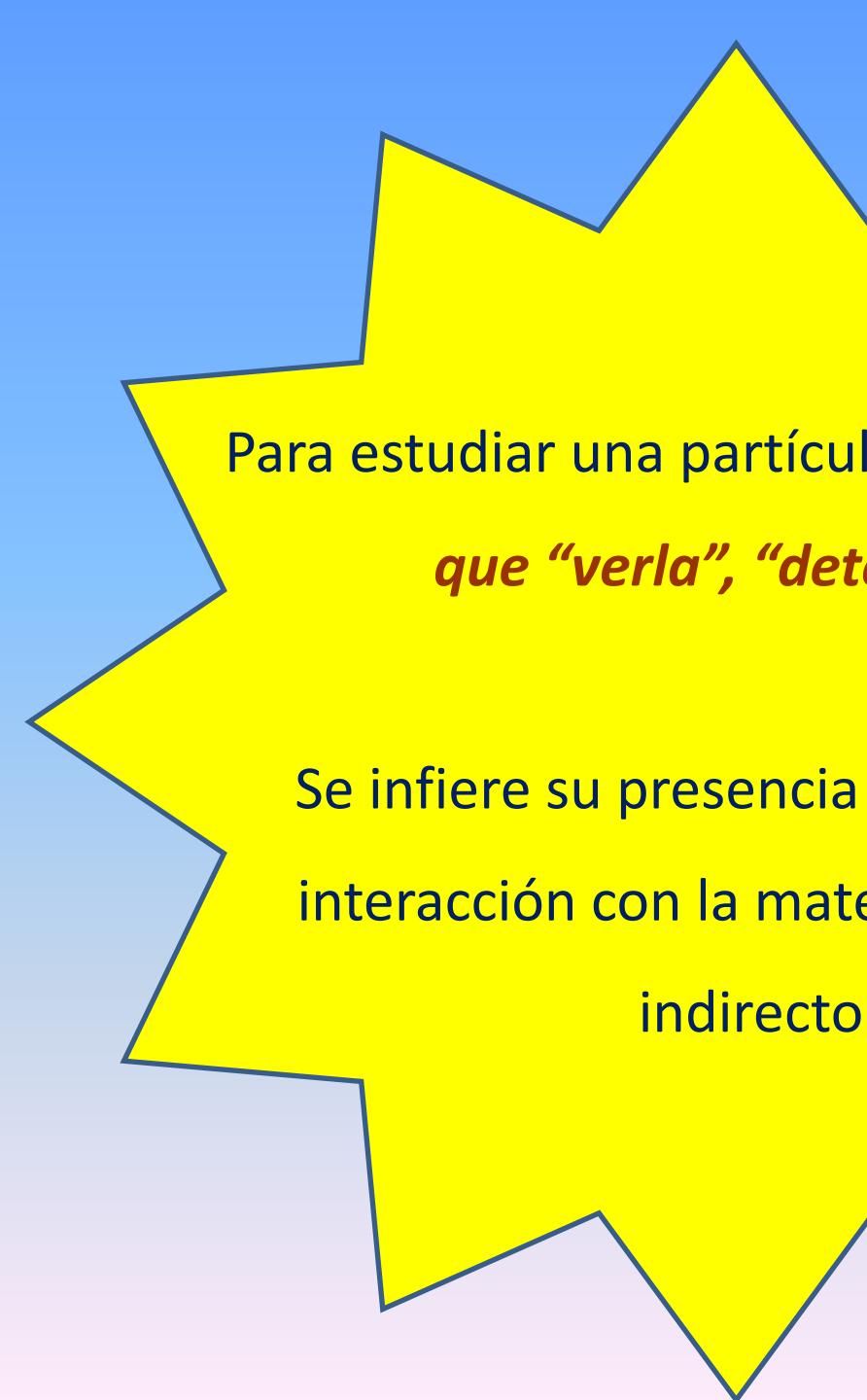
4 de julio de 2012:  $5\sigma$ !!  
 $p(\text{Azar}) \sim 1$  entre 1 millón



- Su existencia se predice en 1964
- Esta partícula es responsable de dotar a las demás de masa



Exceso de sucesos alrededor de 126 GeV compatible con la existencia del bosón de Higgs



Para estudiar una partícula elemental **hay**  
*que “verla”, “detectarla”*

Se infiere su presencia a partir de su  
interacción con la materia, de modo  
indirecto



# Detección de partículas

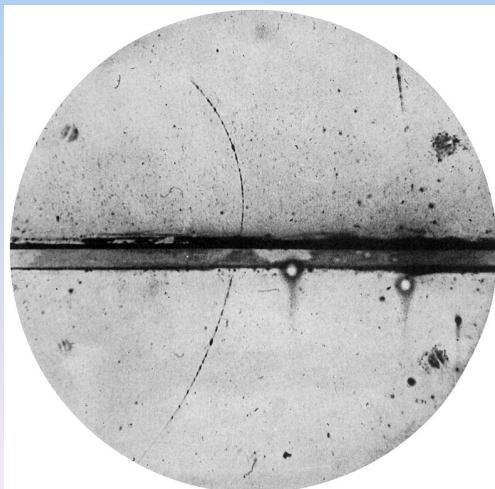
## Fotones

- Efecto fotoeléctrico
- Producción de pares  $e^-e^+$

□ Otras partículas neutras, como los neutrinos, generalmente escapan del detector y las identificaremos como energía “perdida” o “faltante”

## Partículas cargadas

- Ionización ⇒ Puede aprovecharse recogiendo la carga depositada (cámara de hilos) o la condensación de un gas cerca de los iones (cámara de niebla)



- Descubrimiento del positrón en una cámara de niebla (1932)

# Detección de partículas

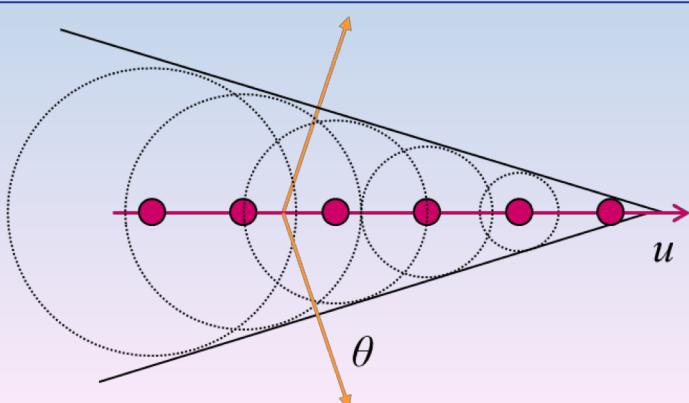
## Fotones

- Efecto fotoeléctrico
- Producción de pares  $e^-e^+$

□ Otras partículas neutras, como los neutrinos, generalmente escapan del detector y las identificaremos como energía “perdida” o “faltante”

## Partículas cargadas

- Ionización ⇒ Puede aprovecharse recogiendo la carga depositada (cámara de hilos) o la condensación de un gas cerca de los iones (cámara de niebla)
- Radiación Cherenkov ⇒ Si una partícula cargada viaja más deprisa que la velocidad de la luz en el medio, emite radiación Cherenkov



□ Radiación Cherenkov en el núcleo de una central nuclear

# Detección de partículas

## Fotones

- Efecto fotoeléctrico
- Producción de pares  $e^-e^+$

□ Otras partículas neutras, como los neutrinos, generalmente escapan del detector y las identificaremos como energía “perdida” o “faltante”

## Partículas cargadas

- Ionización ⇒ Puede aprovecharse recogiendo la carga depositada (cámara de hilos) o la condensación de un gas cerca de los iones (cámara de niebla)
- Radiación Cherenkov ⇒ Si una partícula cargada viaja más deprisa que la velocidad de la luz en el medio, emite radiación Cherenkov

□ Además, las partículas cargadas emiten radiación al acelerarse (por ejemplo al pasar cerca de un núcleo atómico)

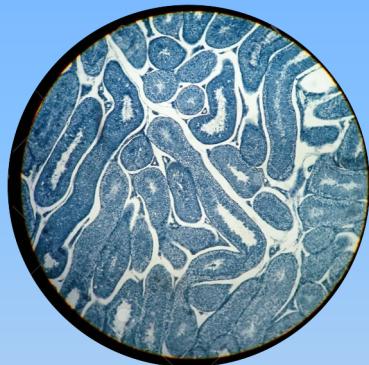
□ La ionización de los átomos puede producir saltos de electrones que emiten fotones (luz, rayos X, ...)

□ ...

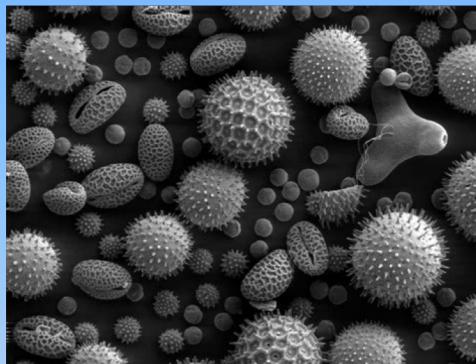
# Aceleradores de partículas (I)

Con ayuda de campos eléctricos y magnéticos, se aceleran partículas cargadas a gran velocidad.

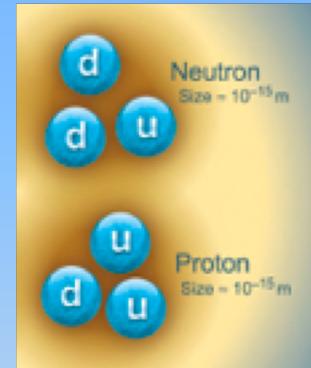
Microscopio convencional



Microscopio de electrones

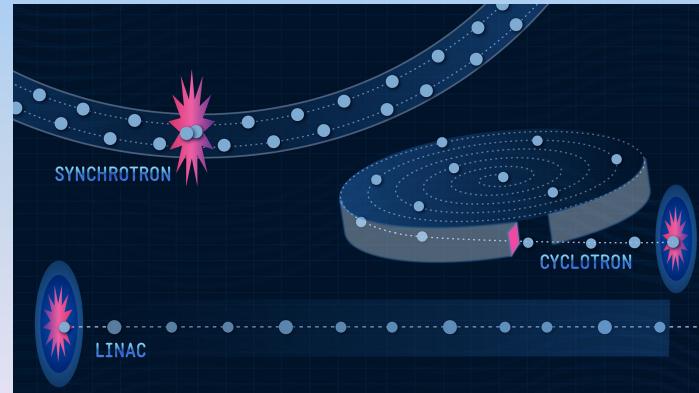


Acelerador de partículas



Ecuación de De Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

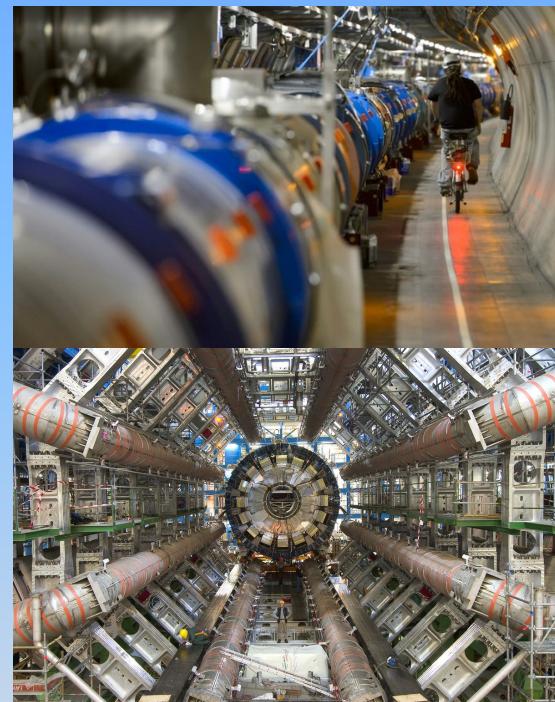
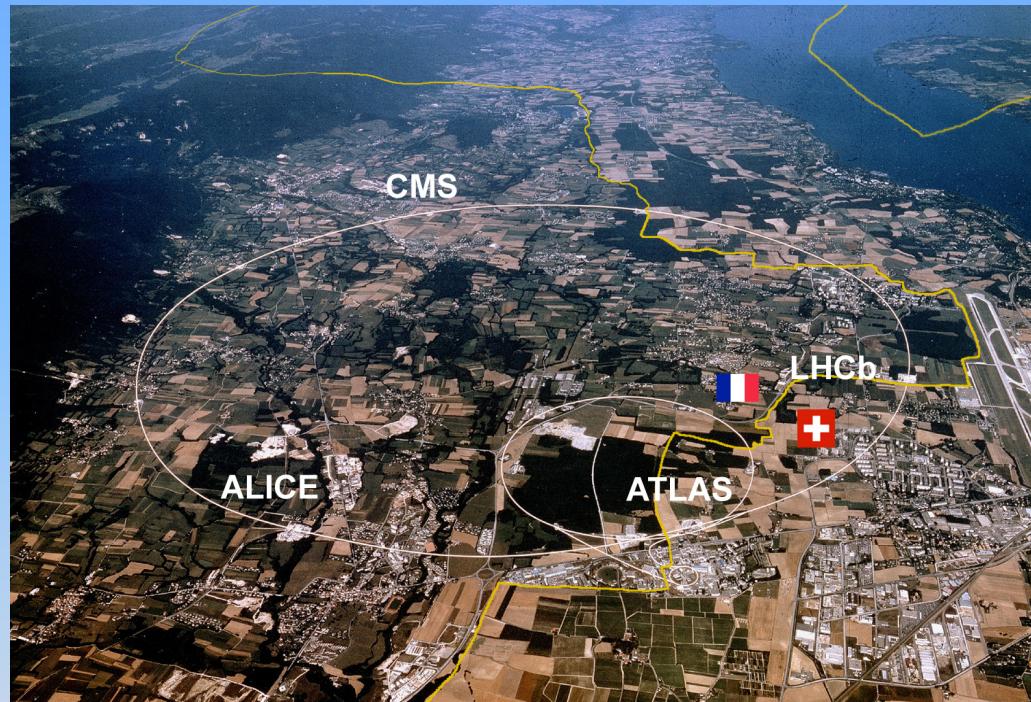


$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Principio físico

# Aceleradores de partículas (II)

El más grande y potente es el LHC (Large Hadron Collider)



- 7 TeV de energía por haz ( $7 \times 10^{12}$  eV)
- $10^{11}$  protones por paquete ( $\sim 10000$  vueltas por segundo)
- Una colisión cada 25 ns. Temperatura: 1.9 K. Consumo  $\sim 1000$  GW, aproximadamente lo que un barrio de 500 000 viviendas
- En unas 10 horas los protones podrían ir y volver a Neptuno

# Beneficios de la Física de partículas

Se trata de Ciencia básica: se realiza por el afán de conocer

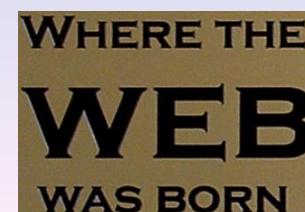
- Los constituyentes elementales de la materia y sus interacciones
- Los principios básicos de la Naturaleza
- El origen de nuestro Universo

Sin embargo, se obtienen múltiples beneficios

- Para otras ramas de la **Ciencia**: Simulaciones, software, “Machine Learning”, radiación sincrotrón, en Cosmología...
- En **Medicina**: Radioterapia, Tomografías PET y TAC...
- En **política**: organizaciones internacionales, colaboraciones...
- En la **Industria**: Superconductividad, alimentación eléctrica...
- En informática: La WWW y computación “grid”



The 12 founding member states  
of CERN in 1954<sup>[1]</sup>

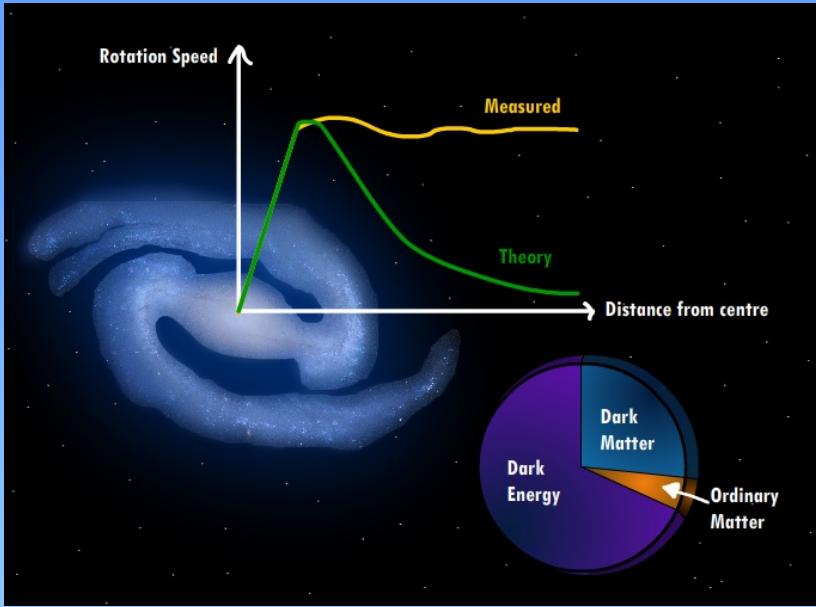


# The End of Physics

- Entonces, ¿lo sabemos ya todo?



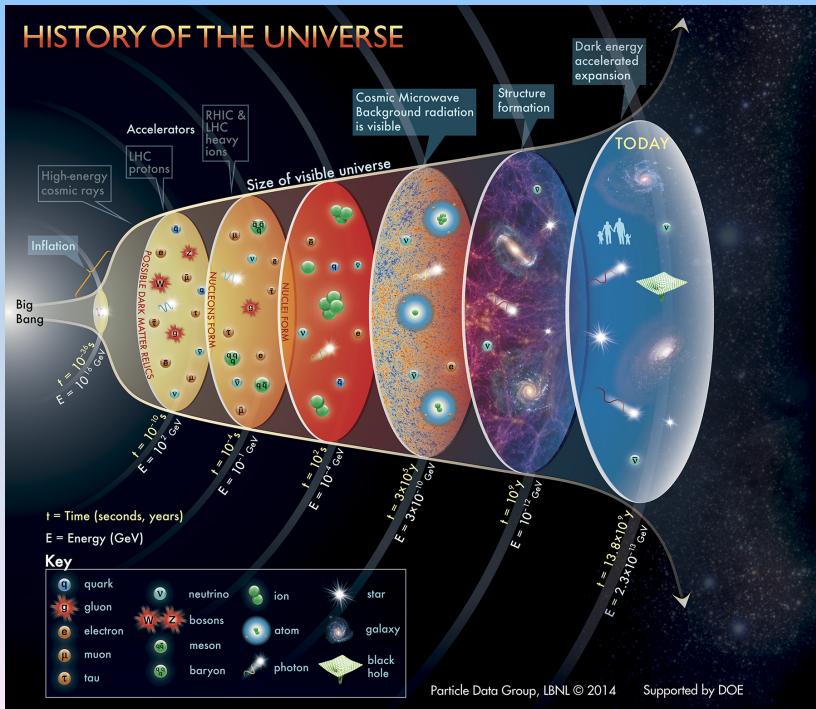
**¡Quedan muchas  
preguntas por resolver!**



Sólo un 4% del universo está hecho de materia como la que conocemos.

Las medidas astrofísicas no cuadran con la teoría, y se proponen materia (y energía) oscuras.

¿Qué son? ¿De qué están hechas?



El Modelo Estándar no es completo:  
¿Gravedad?

¿Por qué son los neutrinos tan ligeros? ¿Son su propia antipartícula?

¿Por qué en el universo predomina la materia y no la antimateria?



**TO BE  
CONTINUED....**

- No es el final, sino el comienzo