

# INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DE PARTÍCULAS

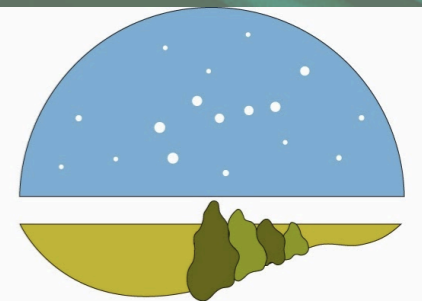
17<sup>π</sup> marzo 2023

Bruno Zamorano García

Departamento de Física Teórica y del Cosmos



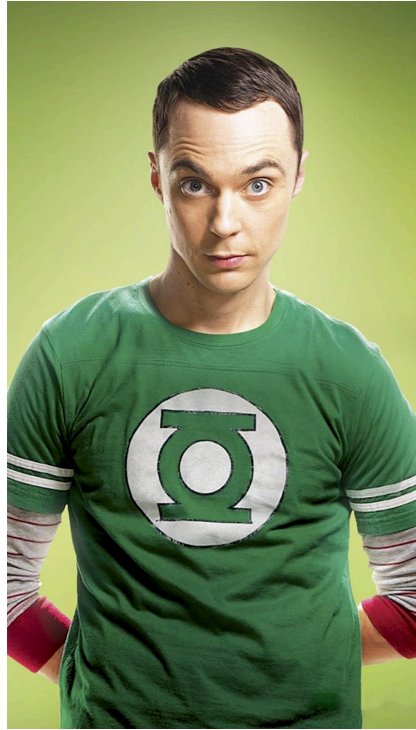
hands on particle physics



PARQUE de las CIENCIAS

ANDALUCÍA - GRANADA

# Sobre ser un físico de partículas



- ¿Unos ~~tipos~~ ~~geniales~~, ~~inadaptados~~, que trabajan ~~solos~~ en importantes universidades ~~americanas~~?

Gente corriente, de todas partes del mundo, que trabaja en grandes equipos internacionales y de gran diversidad



# Sobre ser un físico de partículas

- Es un trabajo fascinante, en el que se conoce gente de todas partes del mundo, se viaja, y se aprende muchísimo, trabajando en proyectos muy interesantes
- Se adquieren muchas destrezas muy transferibles (¡y deseables para las empresas!)

## Algunas destrezas adquiridas

- Análisis de datos (Big data, Machine Learning, ...)
- Programación
- Exposición de resultados
- Colaboración y liderazgo
- ...



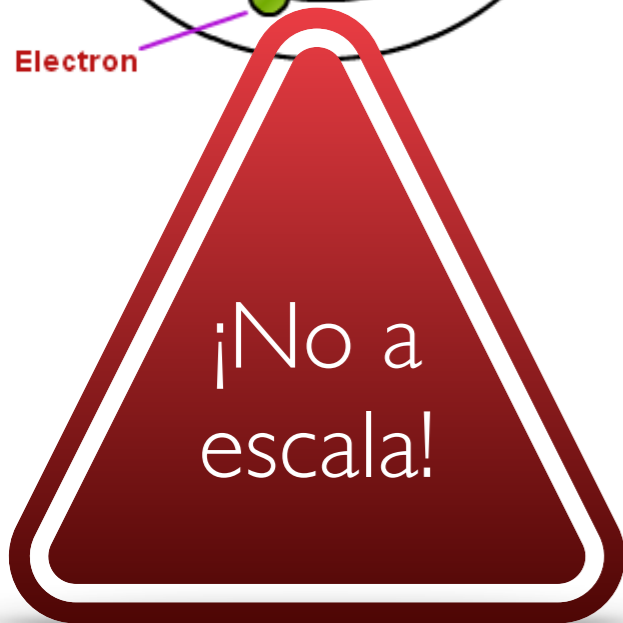
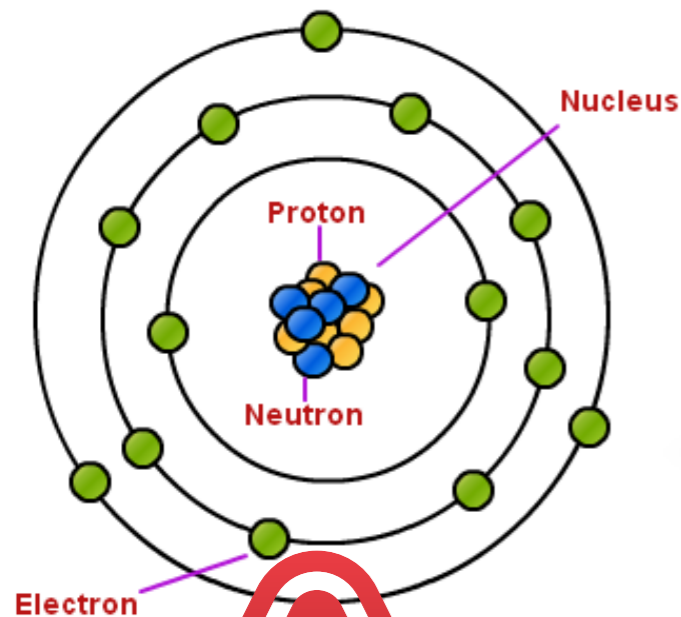
Algunos de los sitios a los que me ha llevado mi investigación (a gastos pagados)



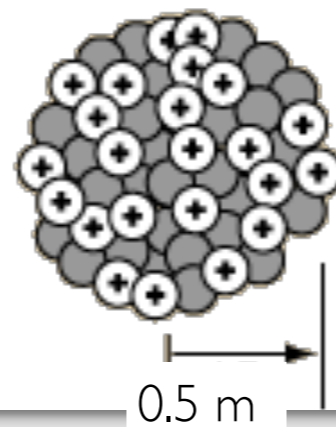
¡Hablemos de Física!

# Física de lo minúsculo

- ¿Recordáis a esos viejos amigos que son el protón, neutrón y electrón?



Gold Atom

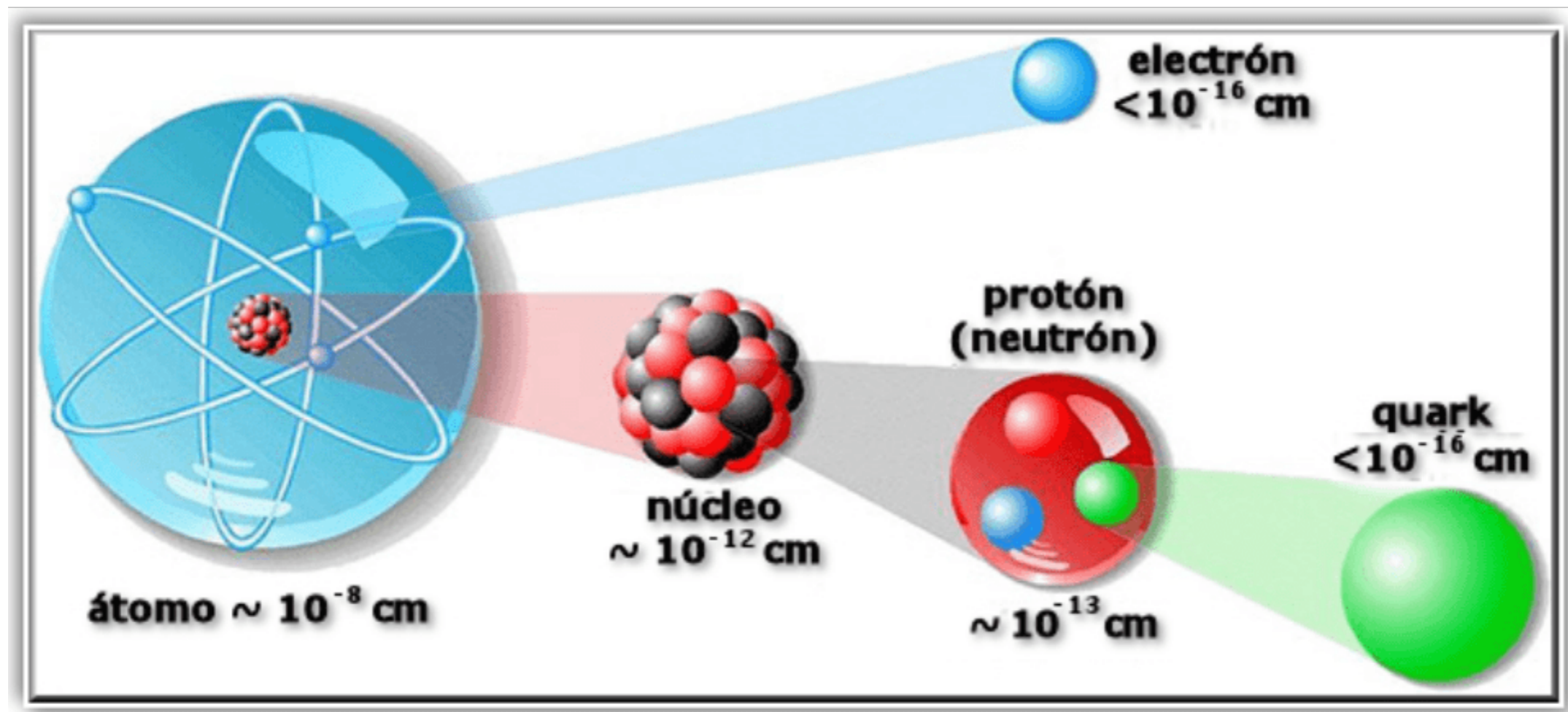
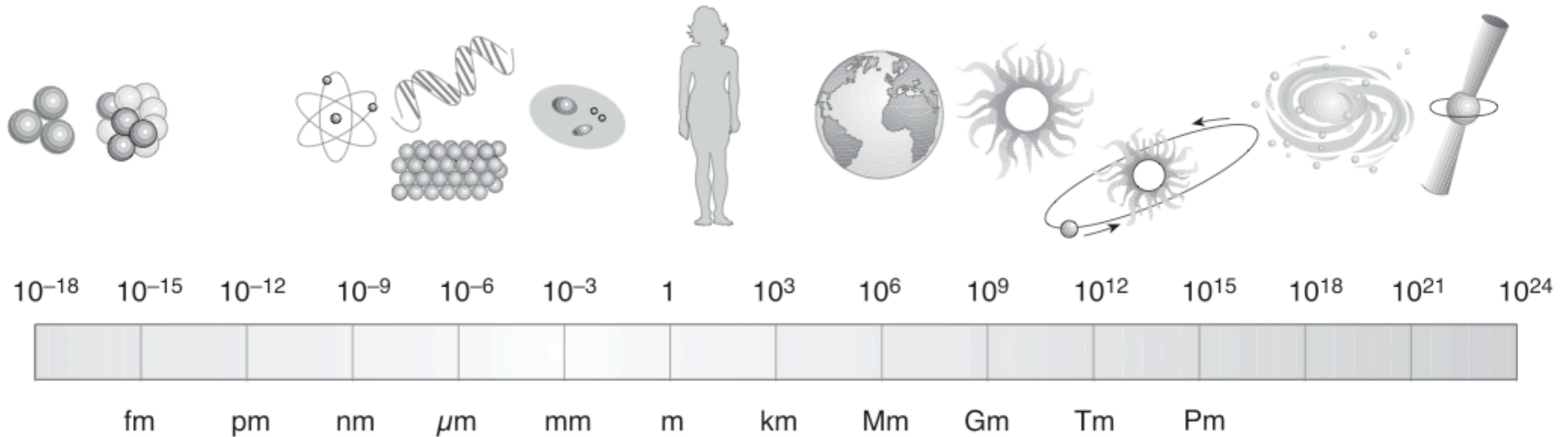


3.2 km

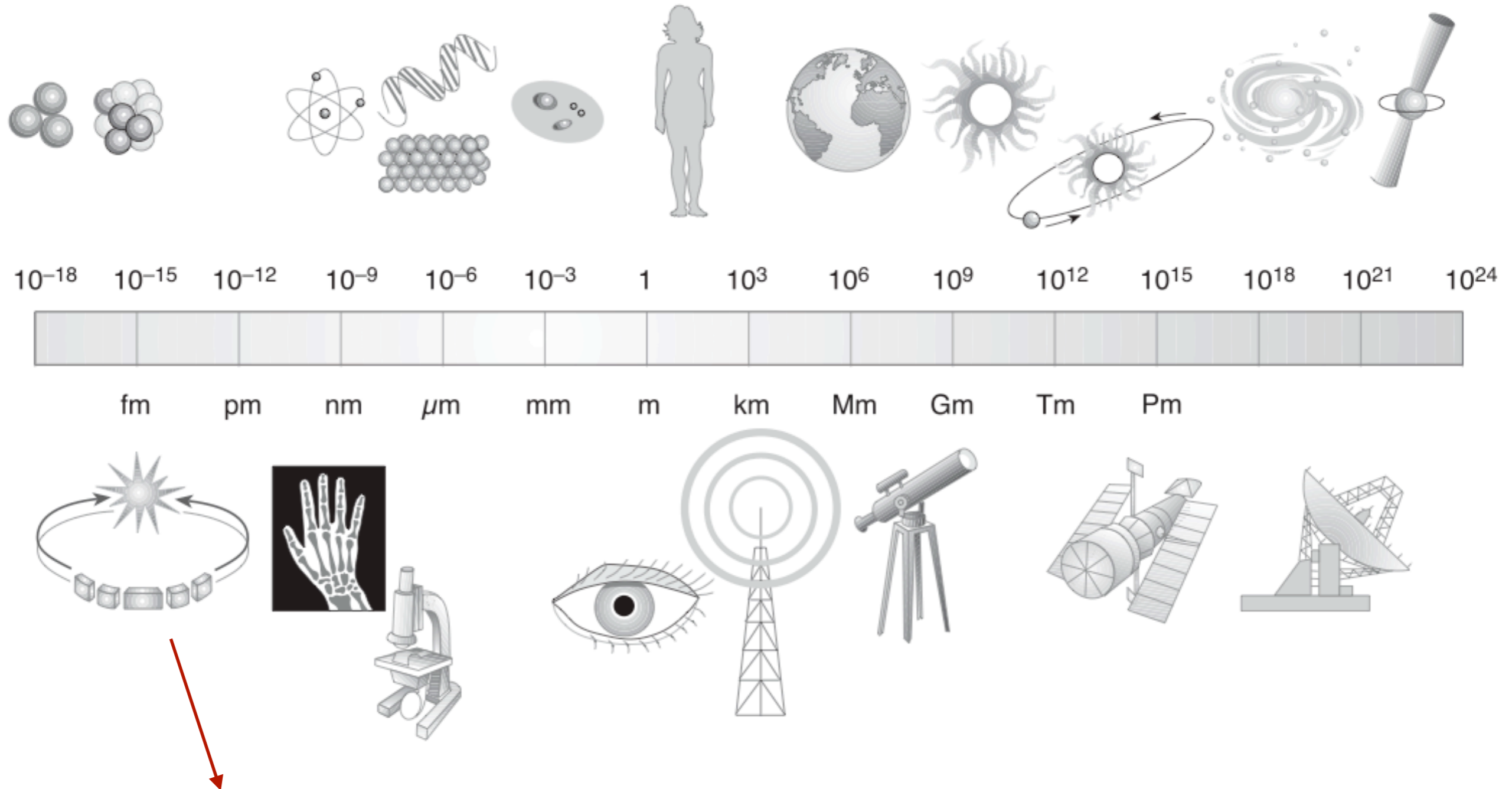
outermost electron

- Si pusiéramos uno de estos “átomos gigantes” en el Parque de las Ciencias, su electrón más externo estaría a la misma distancia que la Alhambra (~ 1 h andando)

# Física de lo minúsculo

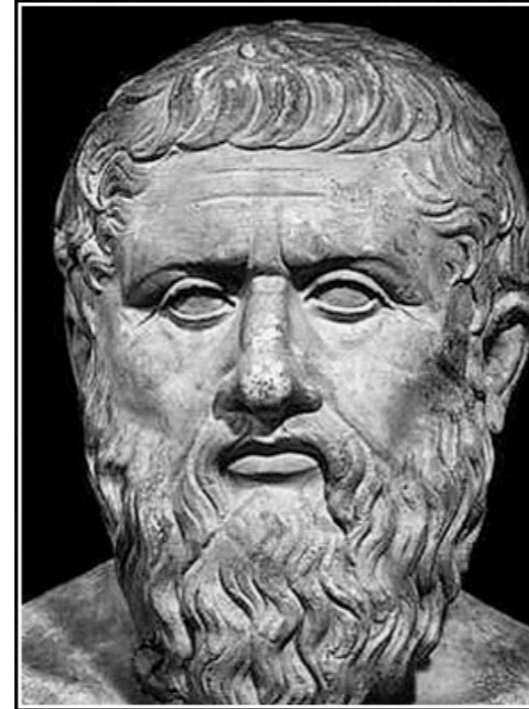


# Física de lo minúsculo



- Los **aceleradores de partículas** son el instrumento con el que exploramos las partículas elementales

La Ciencia estudia la realidad, empleando para ello el **método científico**



I'm trying to think, don't confuse me with facts.

— Plato —

AZ QUOTES

## Teoría

- **Modelos matemáticos** que explican las observaciones experimentales
- Permiten **predecir** y hacer hipótesis (ideas para nuevos experimentos)

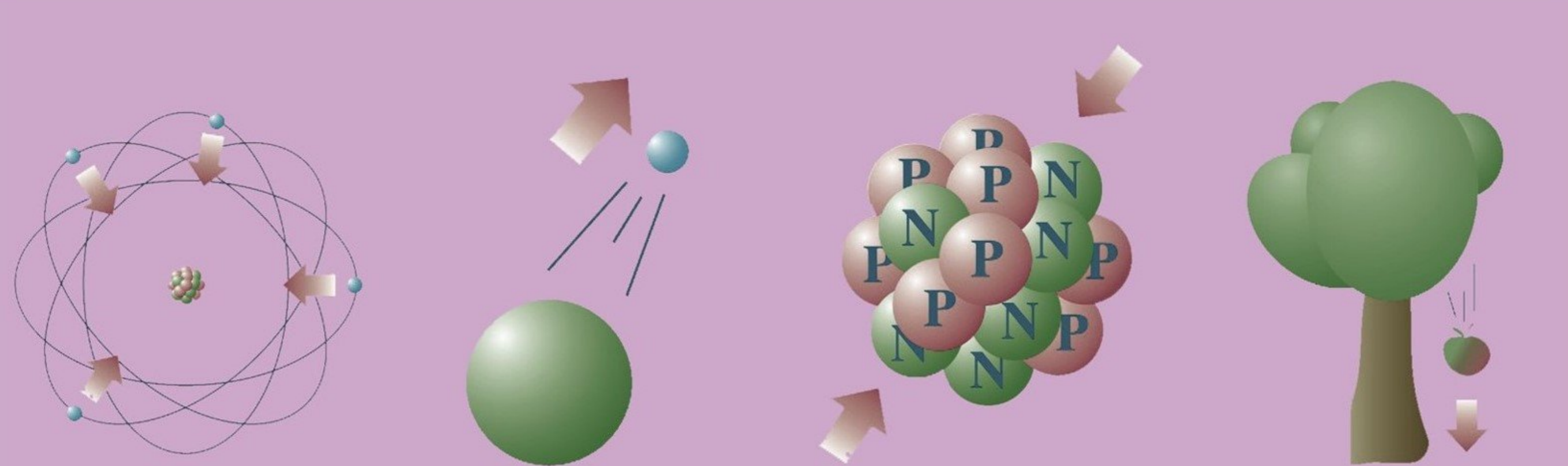
## Experimentos

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





# El modelo estándar de la Física de partículas



The diagram is divided into four vertical panels, each illustrating a different fundamental interaction. From left to right: 1. Electromagnetic interaction: A Bohr-style atomic model with a central nucleus and electrons orbiting in shells. Arrows indicate the interaction between the nucleus and the electrons. 2. Weak interaction: A large green sphere (neutron) decaying into a smaller blue sphere (proton) and emitting two particles (beta decay). 3. Strong interaction: A cluster of red spheres labeled 'P' (protons) and green spheres labeled 'N' (neutrons) held together in a nucleus. 4. Gravity: A green tree with a brown trunk and a red apple falling from it, with a downward arrow indicating the force of gravity.

La interacción **electromagnética** explica los átomos y moléculas

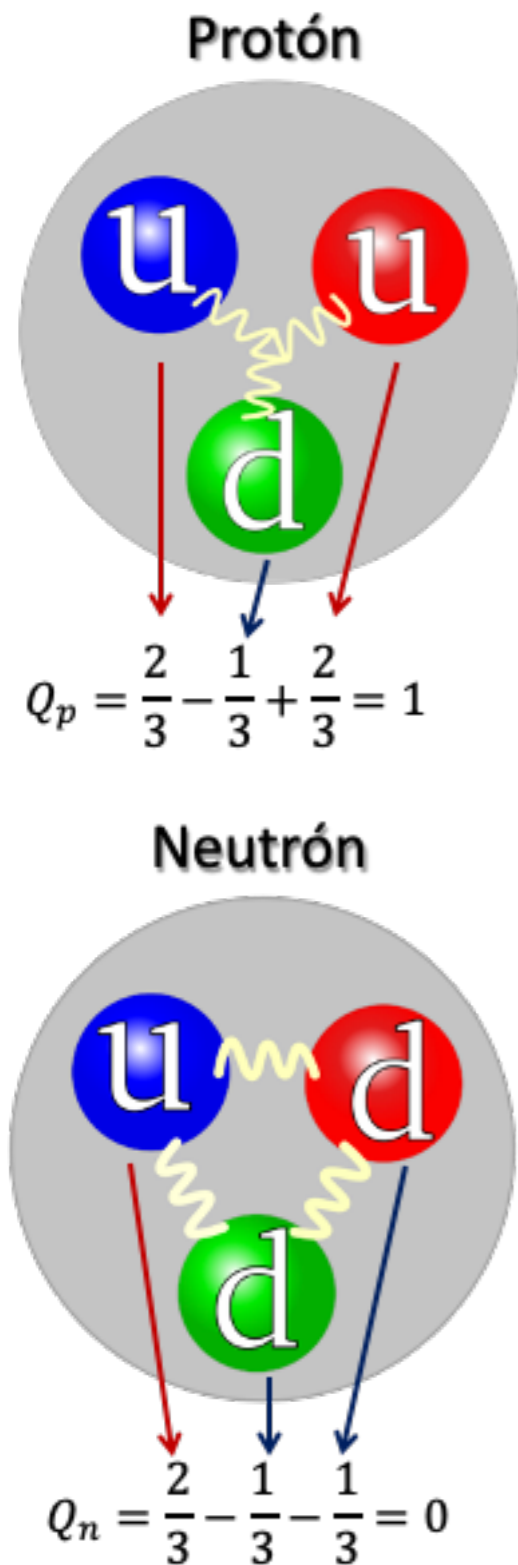
La interacción **débil** es responsable de la desintegración  $\beta$

La interacción **fuerte** mantiene unidos a protones y neutrones en el núcleo

La **gravedad** mantiene unido el Sistema Solar y hace caer las cosas

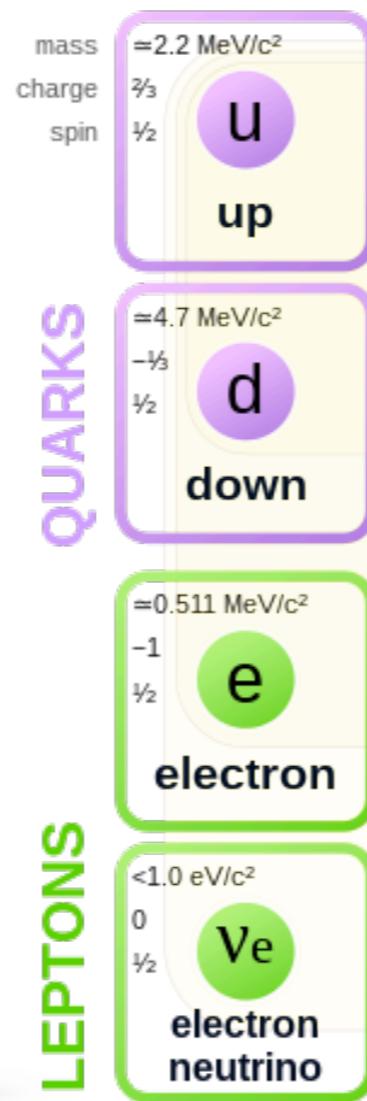
- El **modelo estándar** es nuestra teoría más avanzada sobre el universo, y explica tres de las cuatro interacciones fundamentales (a excepción de la gravedad)

# El modelo estándar de la Física de partículas



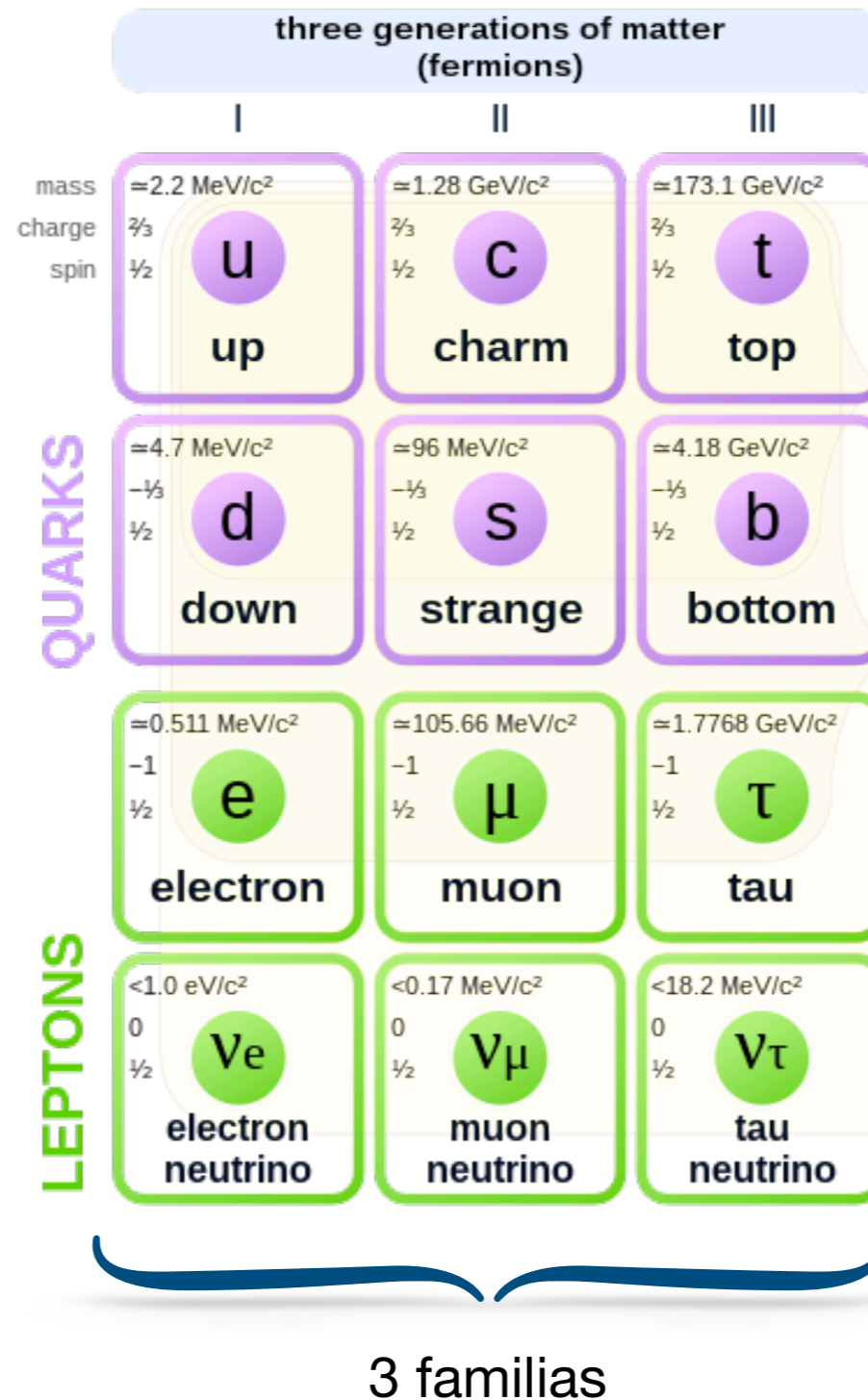
Modelo estándar de la Física de partículas

Materia ordinaria



# El modelo estándar de la Física de partículas

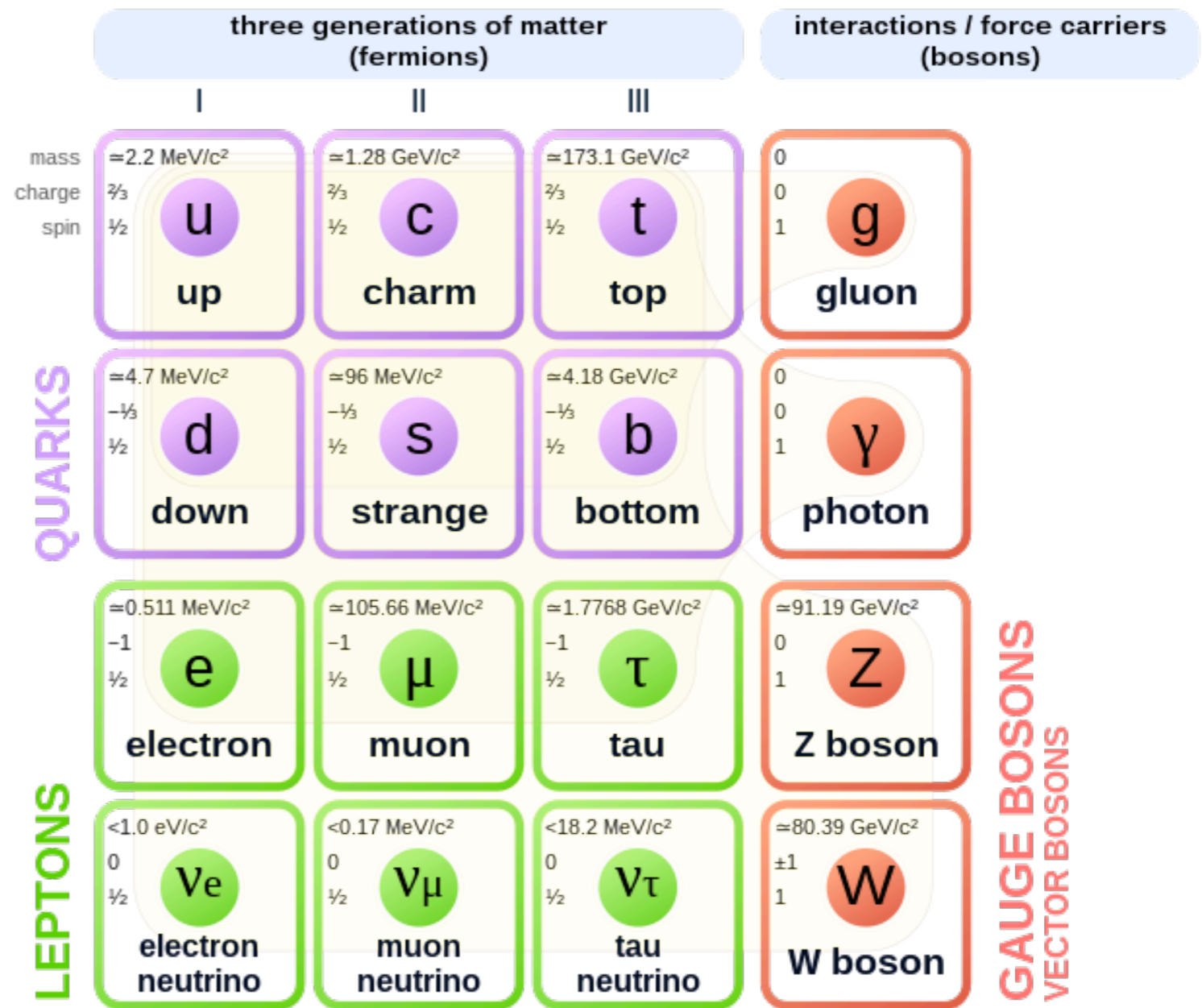
## Modelo estándar de la Física de partículas



# El modelo estándar de la Física de partículas

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

## Modelo estándar de la Física de partículas



Interacciones  
(fuerte, e.m. y débil)

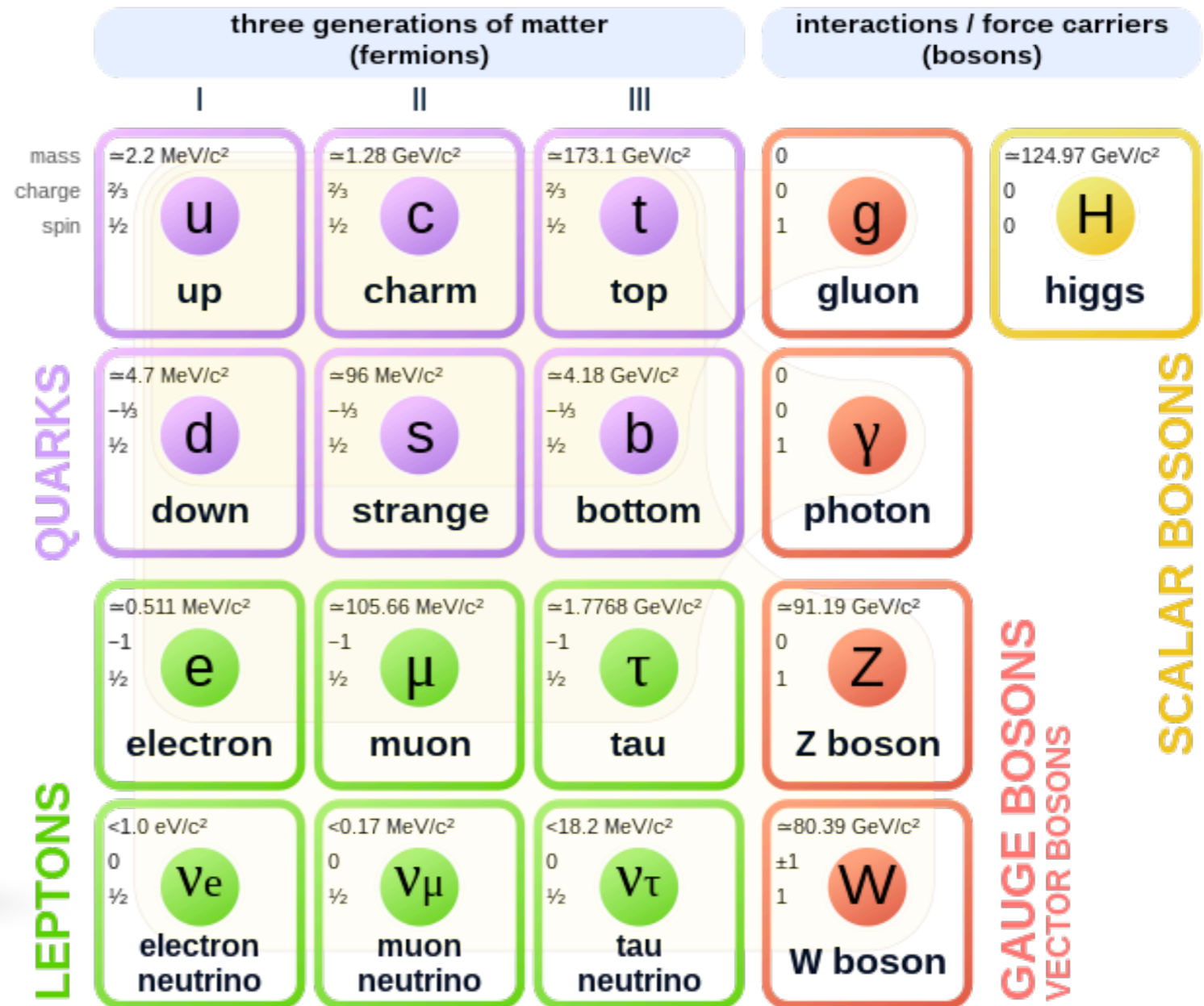
# El modelo estándar de la Física de partículas



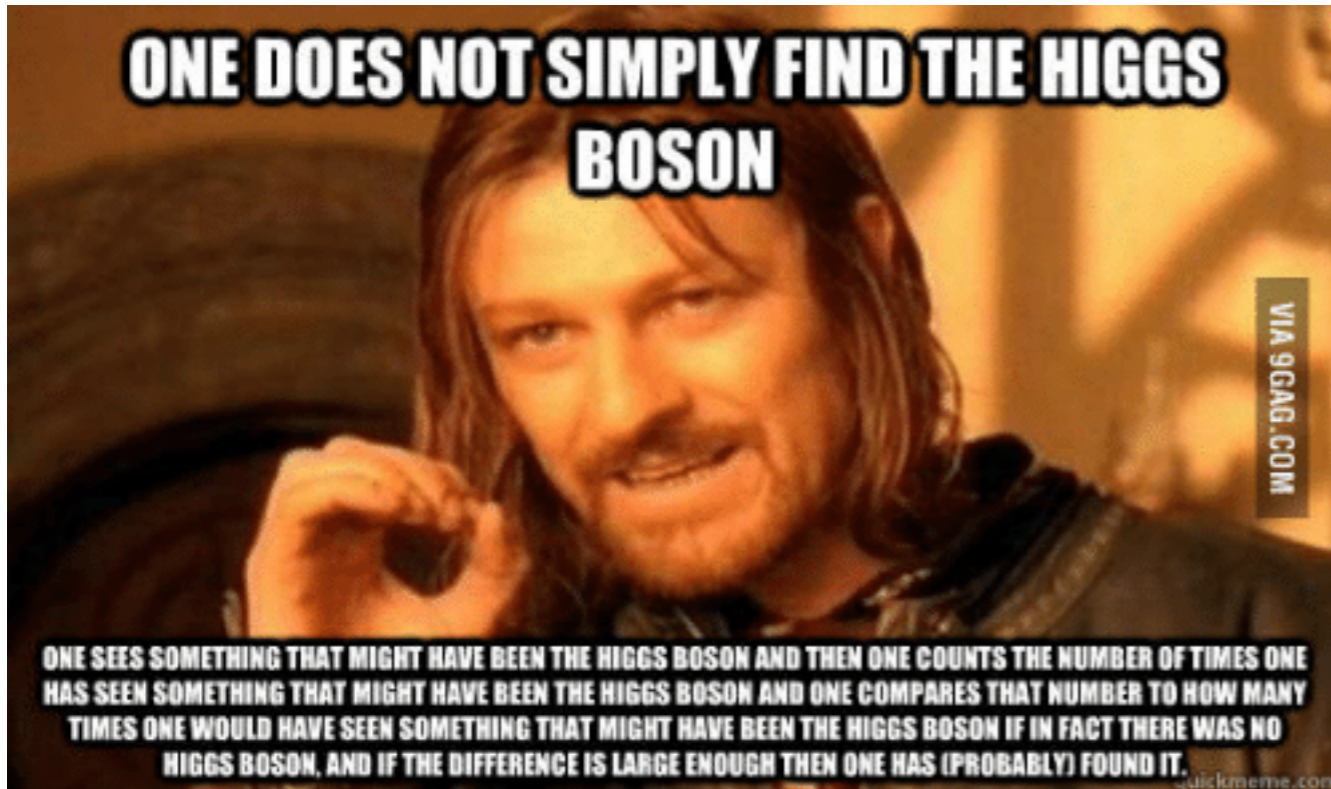
Presentación del descubrimiento del bosón de Higgs (4 de julio de 2012)

Necesario para explicar la existencia de la masa

## Modelo estándar de la Física de partículas

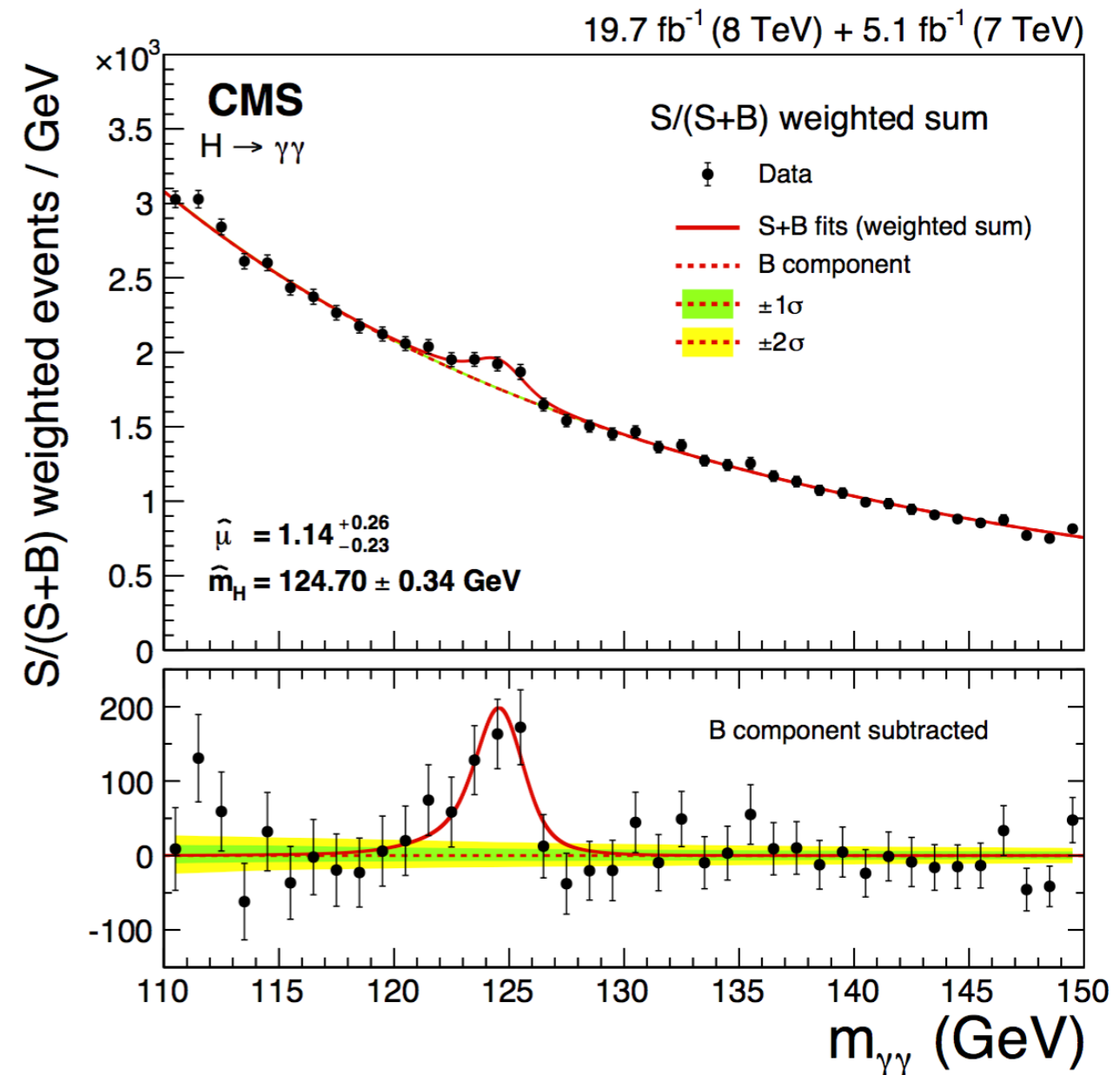


# El bosón de Higgs



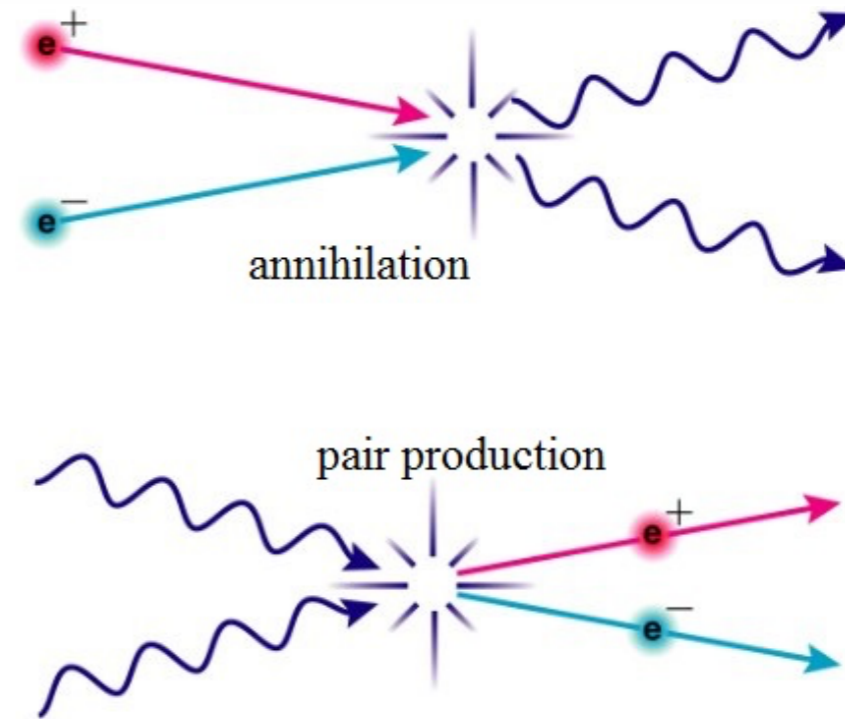
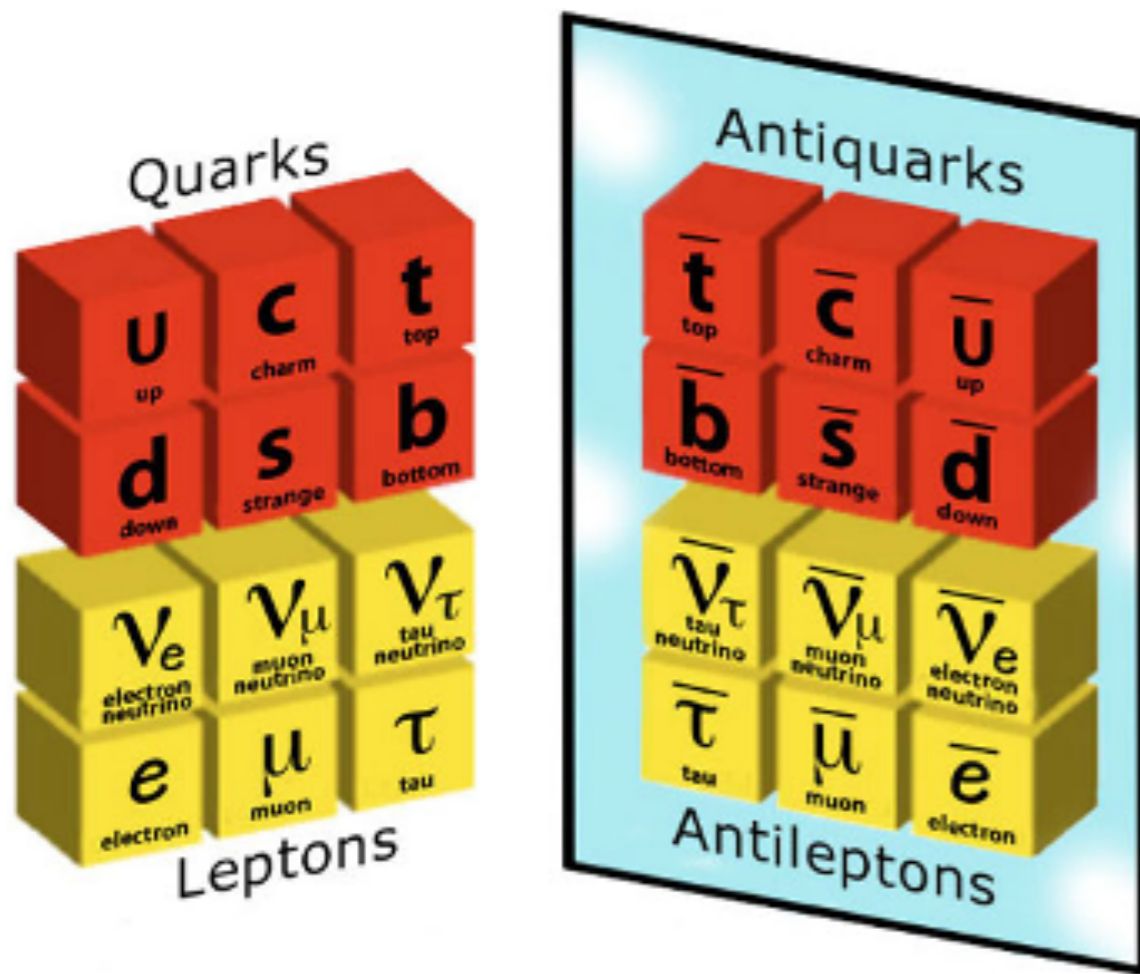
**5σ!!**

$p(\text{Azar}) \sim 1$  entre 1 millón



# El reflejo de las partículas: las antipartículas

- Para cada partícula existe su **antipartícula**, que tiene propiedades idénticas pero **carga opuesta**
- 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  $\hbar/2\pi = 1$**   $\Rightarrow$  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  $E = pc$ )



# ¿Cómo podemos medir todo esto?



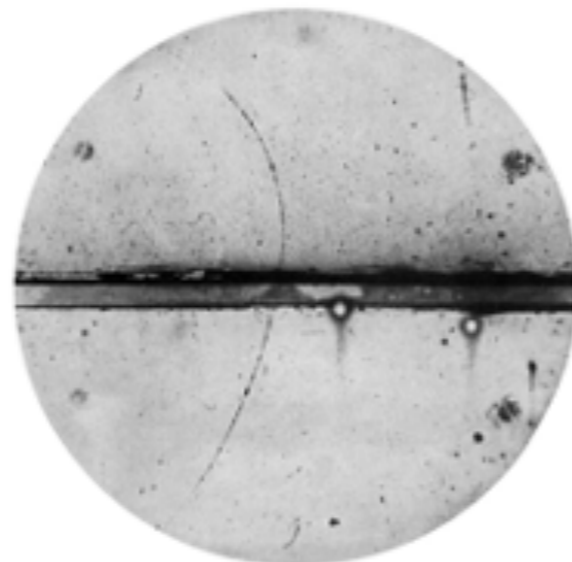
- No se pueden “ver” las partículas subatómicas
- Se infiere su presencia a partir de su interacción con la materia, de modo indirecto

# ¿Cómo podemos medir todo esto?

## Ingredientes:

- **Fuentes de partículas:** Radiactividad natural, reactores nucleares, rayos cósmicos y aceleradores de partículas
- **Detectores de partículas:** recogen información de las partículas que los atraviesan. Son nuestros “microscopios” para estudiar las escalas más pequeñas

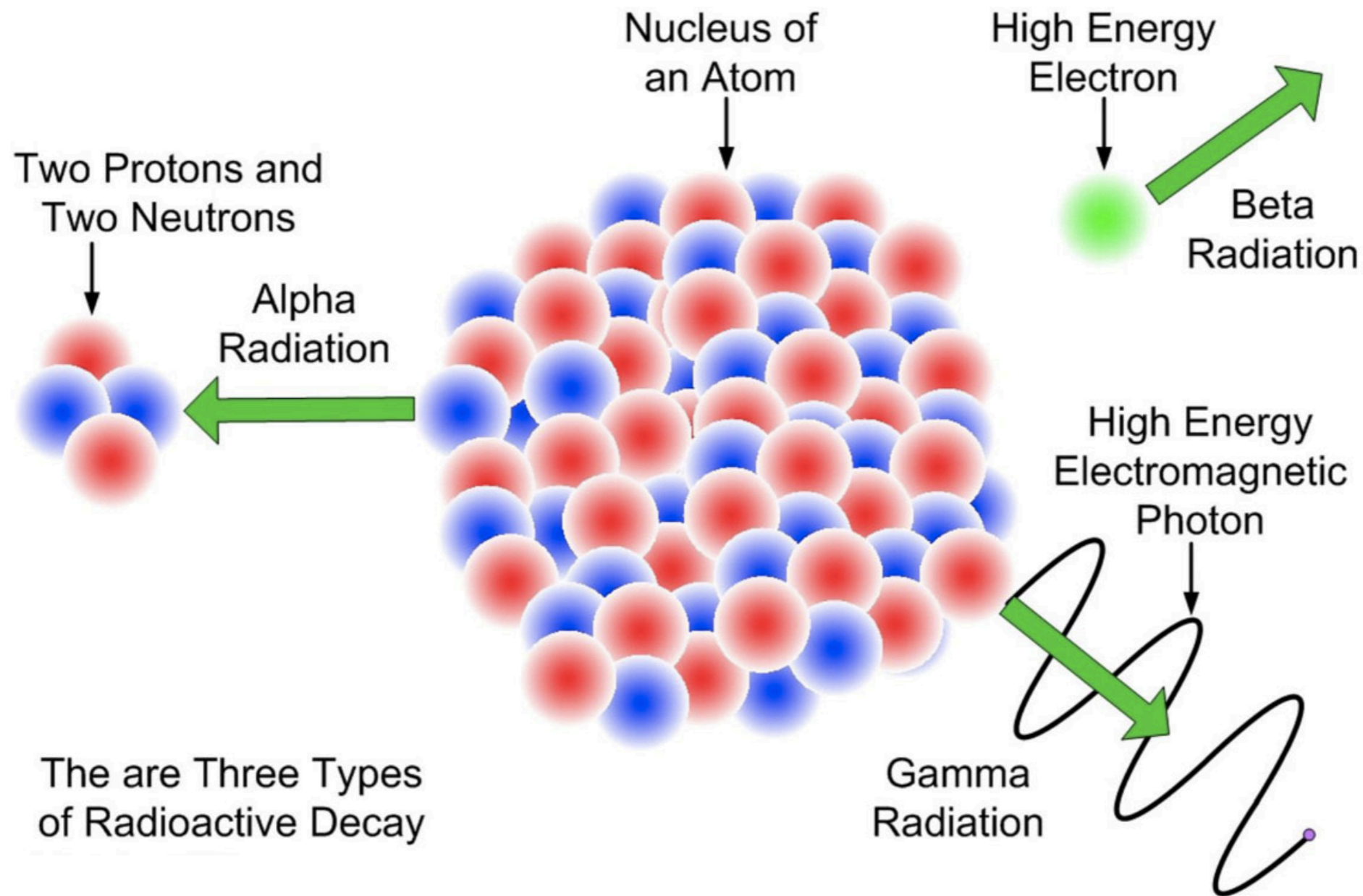
*Emulsiones fotográficas, cámaras de burbujas, cámaras de hilos, calorímetros, cámaras de deriva, detectores de material semiconductor, ...*



Descubrimiento del positrón en una cámara de niebla (1932)

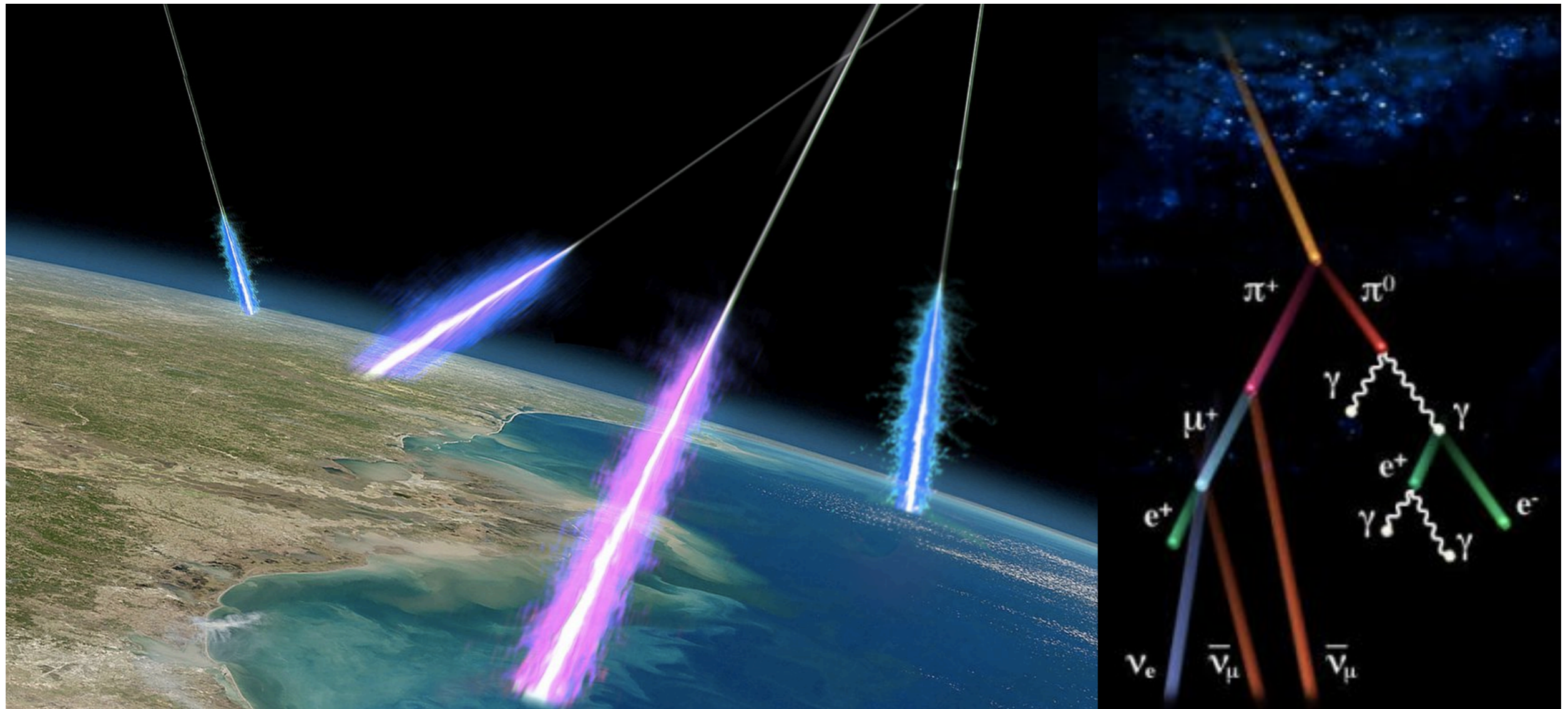
# Fuentes de partículas: radiactividad natural

- Una gran cantidad de elementos presentes en la naturaleza emiten partículas: transmutación nuclear, fisión ...
- Algunas partículas se desintegran en otras

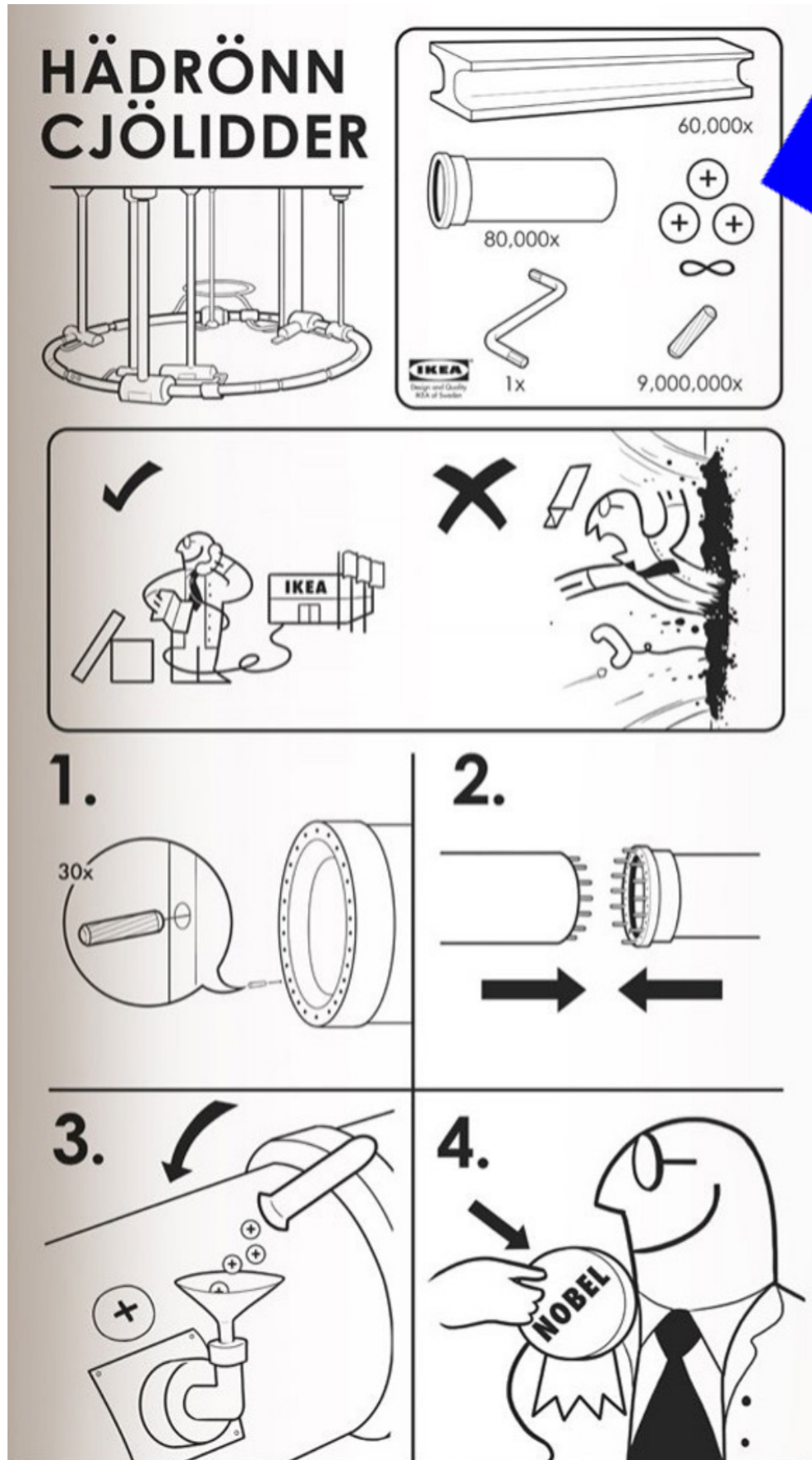


# Fuentes de partículas: rayos cósmicos

- La radiación cósmica procede del espacio exterior. Usualmente son protones y a veces núcleos de elementos. A nivel del mar nos llegan muones y algunos fotones, electrones y positrones



# Fuentes de partículas: aceleradores de partículas

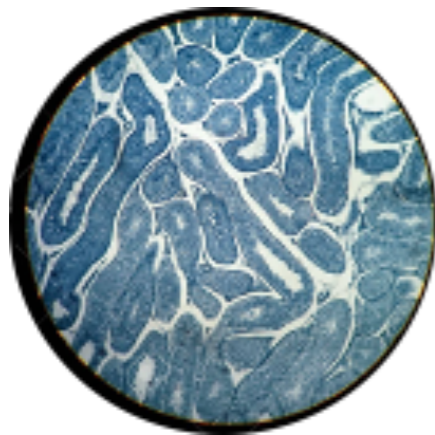


- Posiblemente la mayor creación tecnológica de la historia de la Humanidad
- Más de 2000 físicos de 34 países y cientos de universidades han participado en su construcción
- ¡25 años!

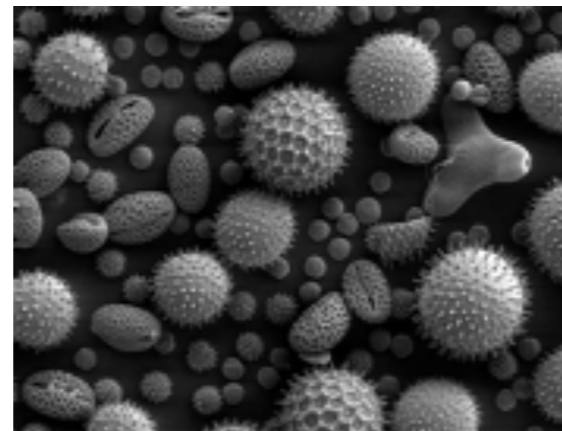
# Fuentes de partículas: aceleradores de partículas

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

Microscopio convencional



Microscopio electrónico

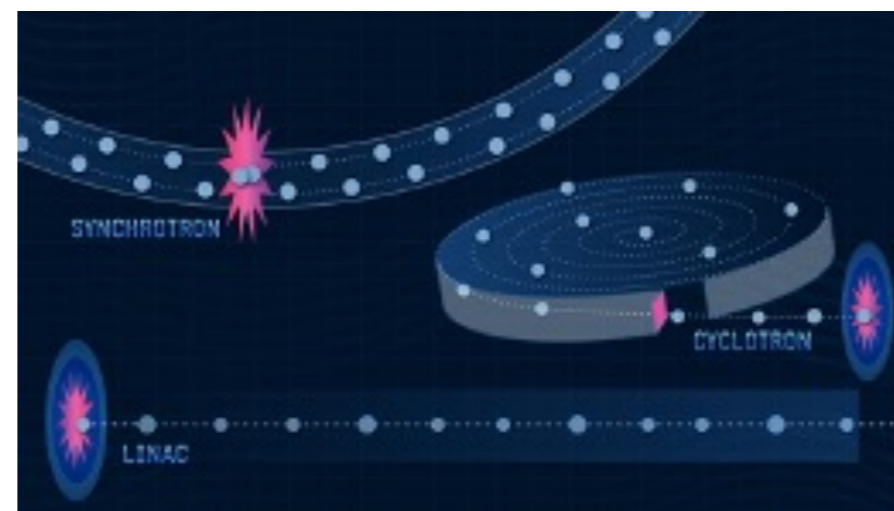


Acelerador de partículas



Ecuación de De Broglie

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

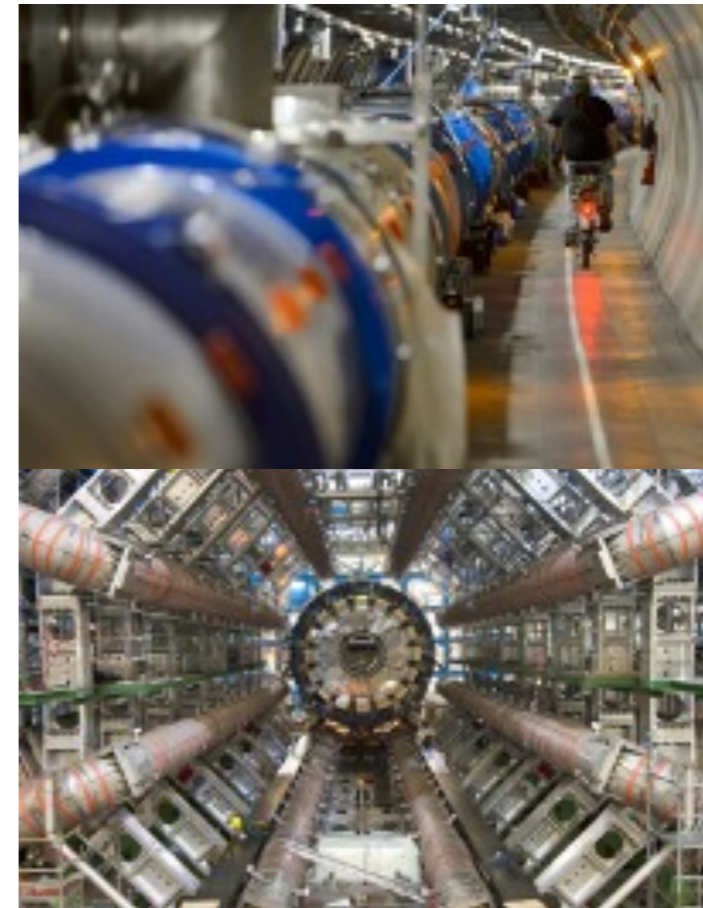


$$\vec{F} = q \left( \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

Principio físico

# Fuentes de partículas: aceleradores de partículas

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

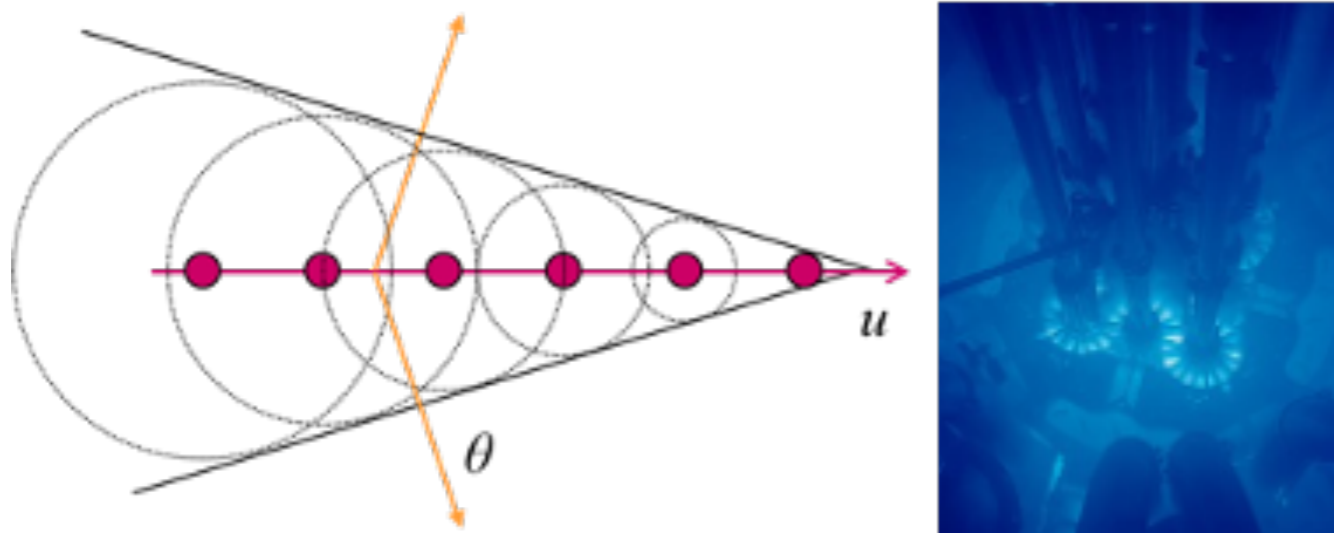


- 7 TeV de energía por haz ( $7 \times 10^{12}$  eV)
- $10^{11}$  protones por paquete ( $\sim 10000$  vueltas por segundo)
- Una colisión cada 25 ns. Temperatura: 1.9 K. Consumo  $\sim 1000$  GW, aproximadamente lo que un barrio de 500 000 viviendas
- En unas 10 horas los protones podrían ir y volver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

# Detección de partículas

## Partículas cargadas

- ◆ **Ionización**  $\Rightarrow$  puede aprovecharse recogiendo la carga depositada (cámara de hilos) o la condensación de un gas cerca de los iones (cámara de niebla)
- ◆ **Radiación Cerenkov**  $\Rightarrow$  si una partícula cargada viaja *más deprisa que la velocidad de la luz en el medio*, emite radiación Cerenkov



Radiación Cerenkov en el núcleo de una central nuclear



# Detección de partículas

## Partículas cargadas

- ◆ **Ionización**  $\Rightarrow$  puede aprovecharse recogiendo la carga depositada (cámara de hilos) o la condensación de un gas cerca de los iones (cámara de niebla)
- ◆ **Radiación Cerenkov**  $\Rightarrow$  si una partícula cargada viaja *más deprisa que la velocidad de la luz en el medio*, emite radiación Cerenkov

## Fotones

- ◆ **Efecto fotoeléctrico**  $\Rightarrow$  se emiten electrones
- ◆ **Producción de pares  $e^+e^-$**

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

# 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”



WHERE THE  
WEB  
WAS BORN

*The End  
Of Physics*



**¡Quedan muchas preguntas  
por resolver!**

Solo un 4% del Universo está hecho de materia como la que conocemos

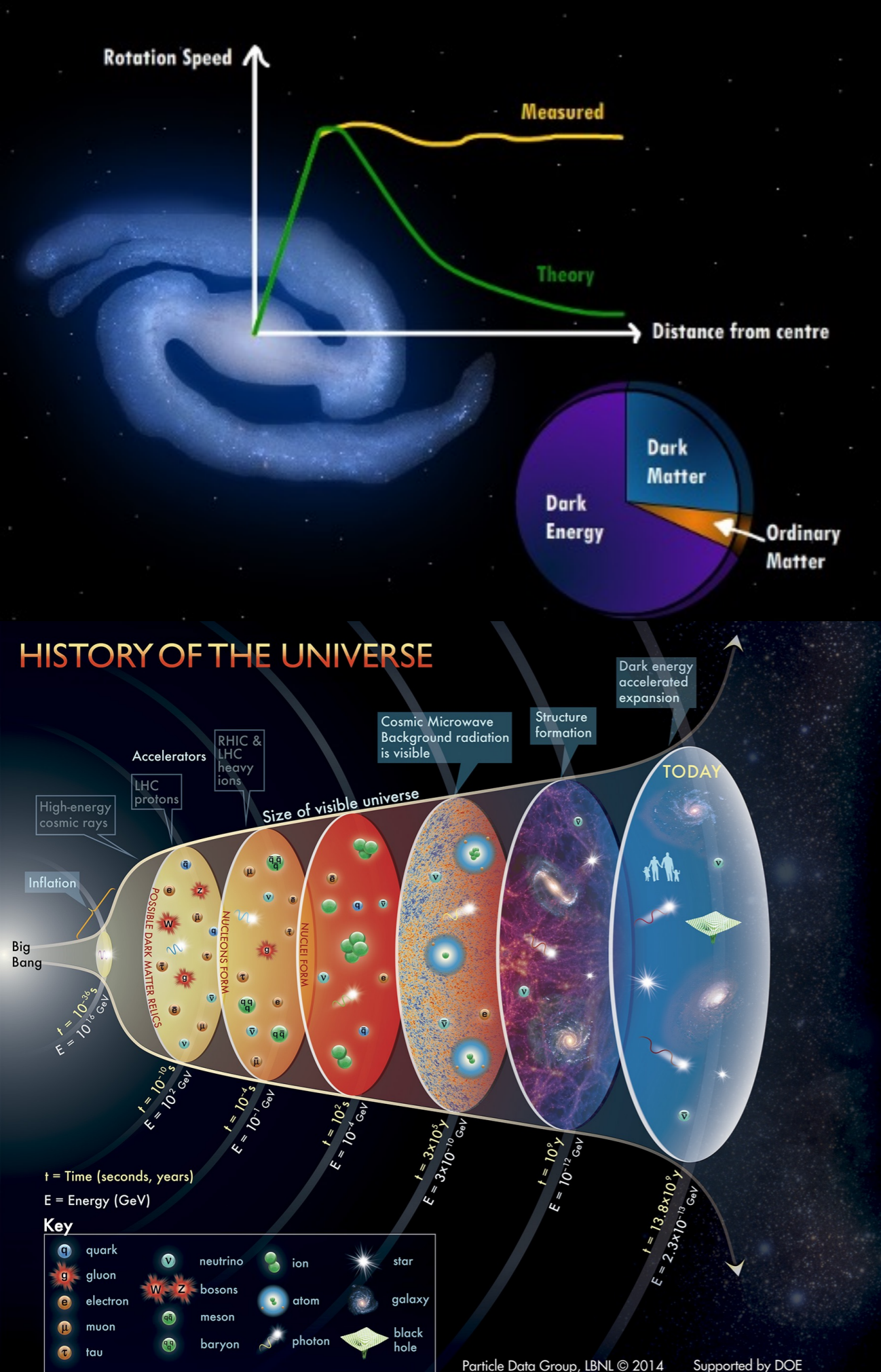
Las medidas astrofísicas no cuadran con la teoría, y se proponen materia (y energía) oscuras

¿Qué son? ¿De qué están hechas?

El Modelo Estándar no es completo: ¿qué ocurre con la 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...** 