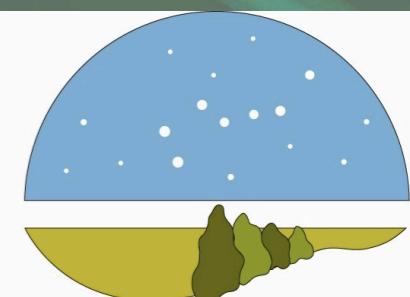


INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DE PARTÍCULAS

17 marzo 2023

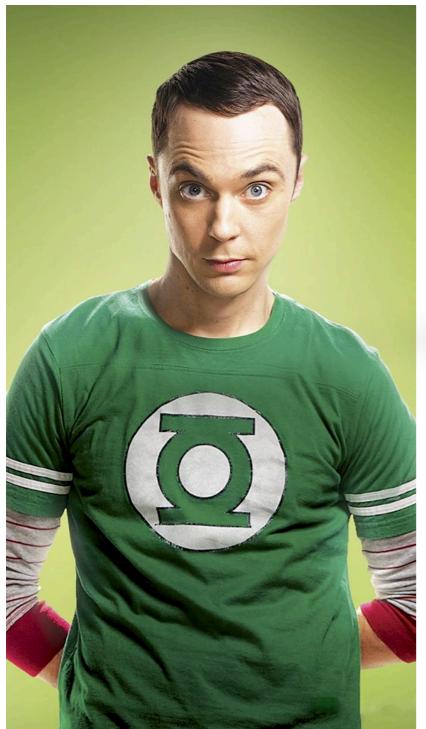
Bruno Zamorano García

Departamento de Física Teórica y del Cosmos



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
- ...



BUENO



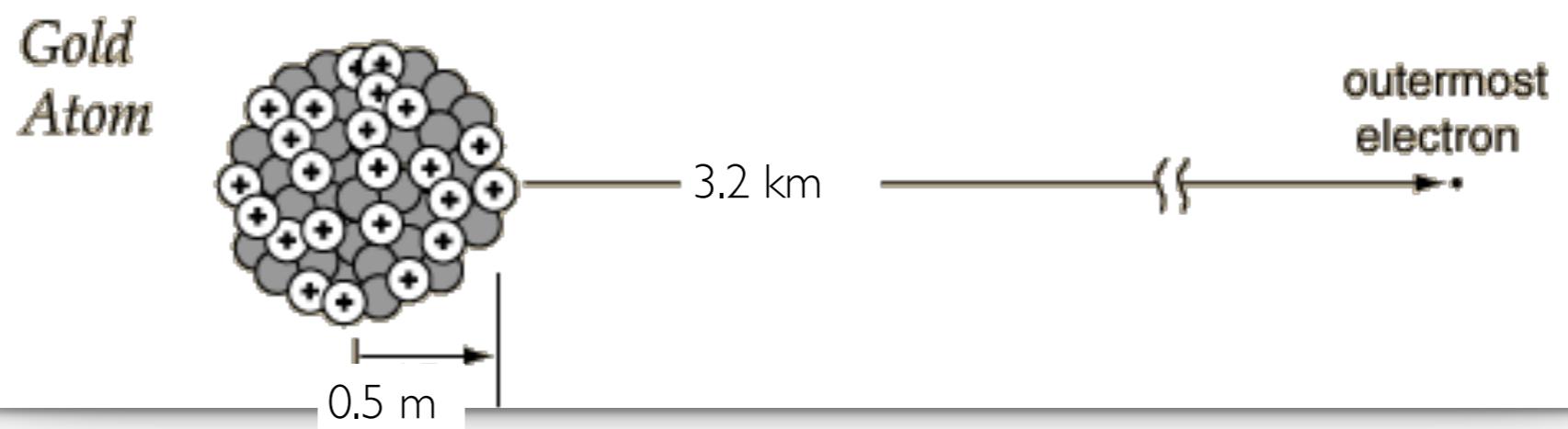
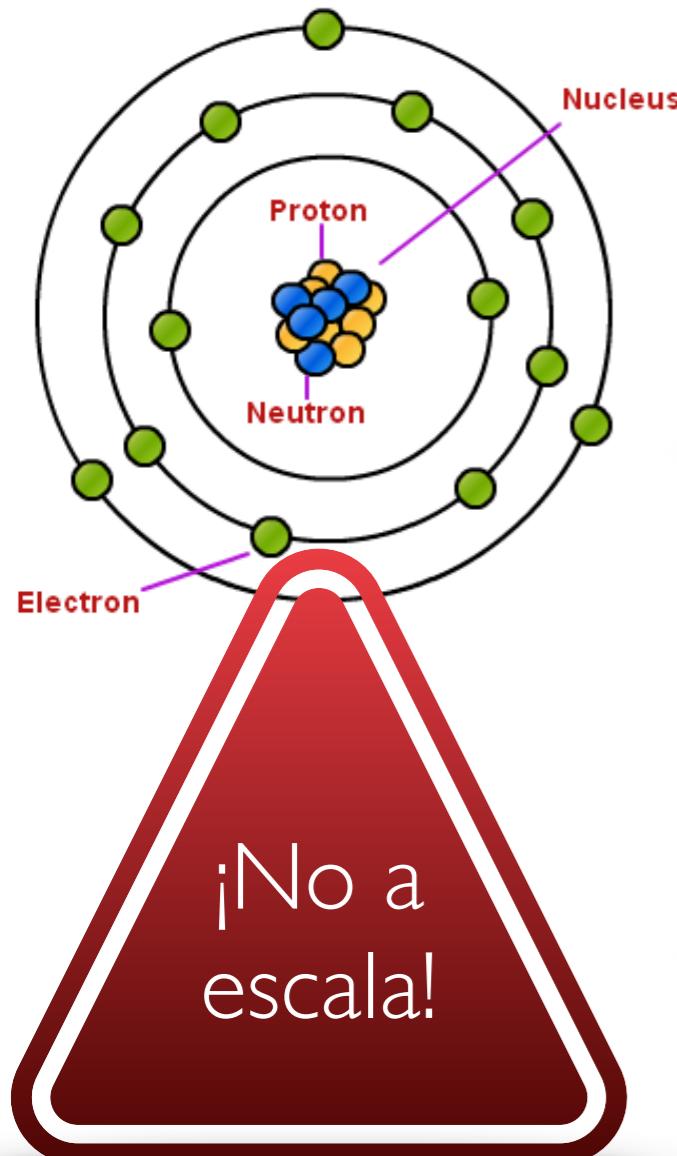
VAMOS AL GRANO

memegenerator.es

¡Hablemos de Física!

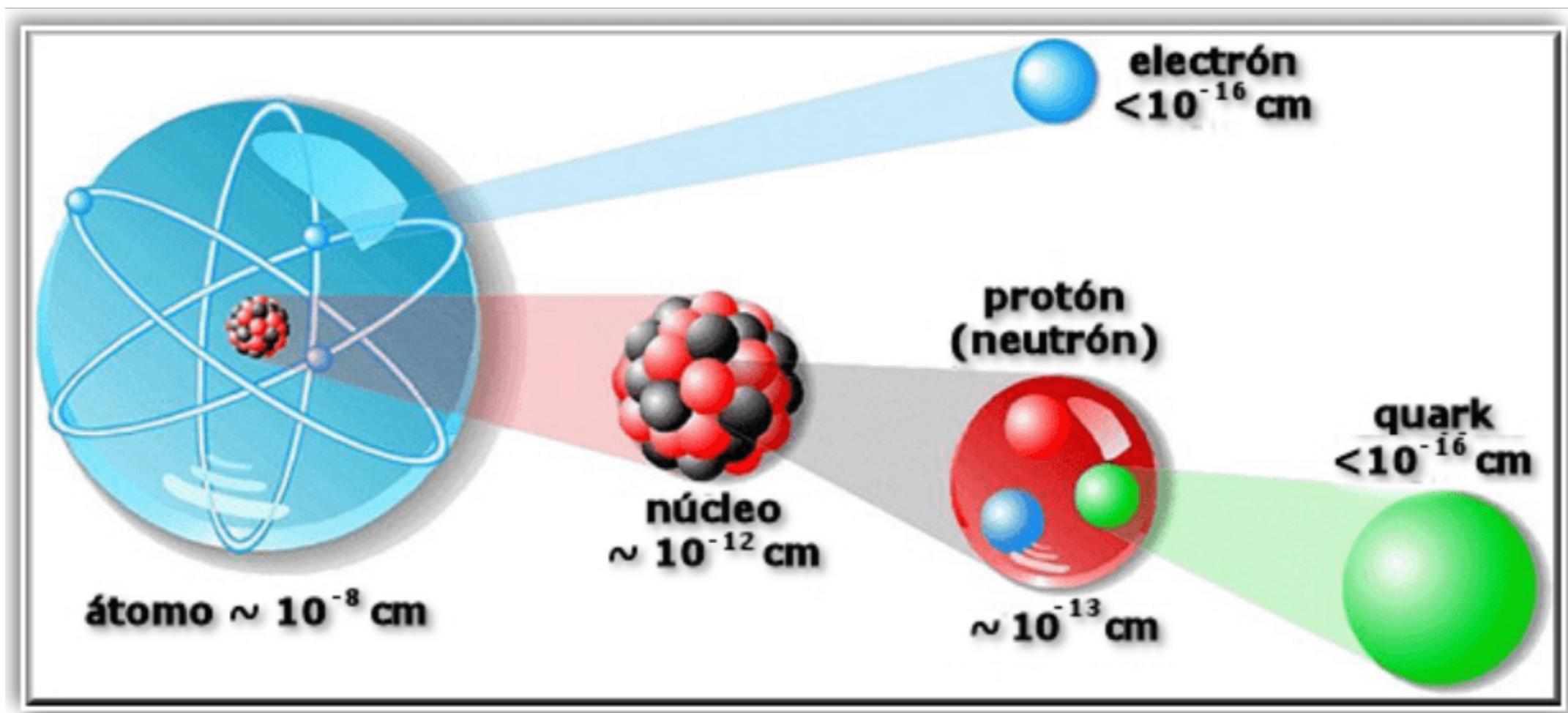
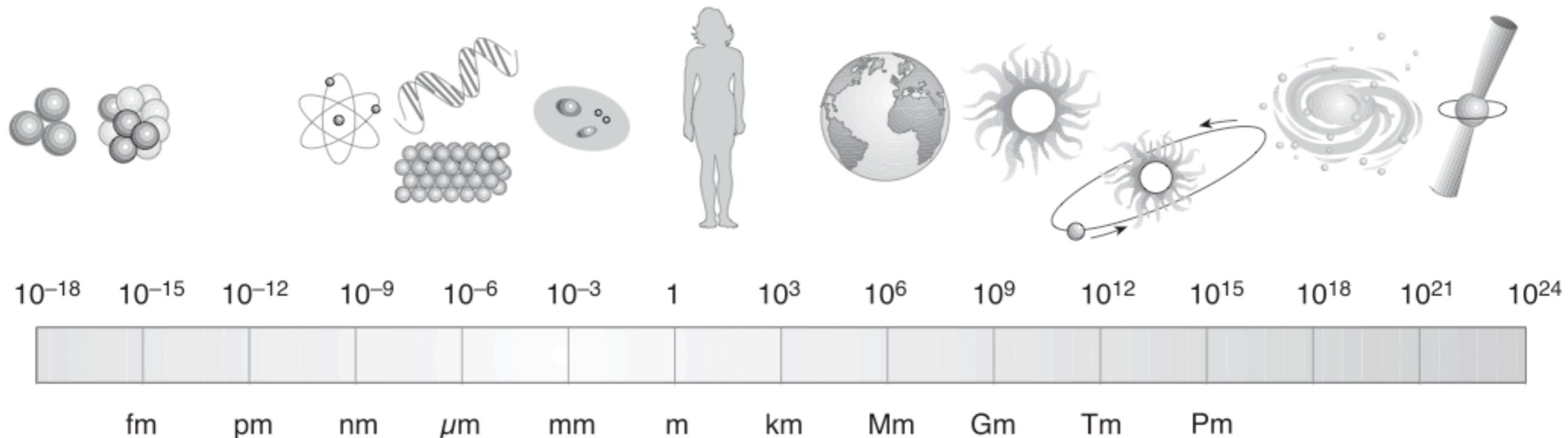
Física de lo minúsculo

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

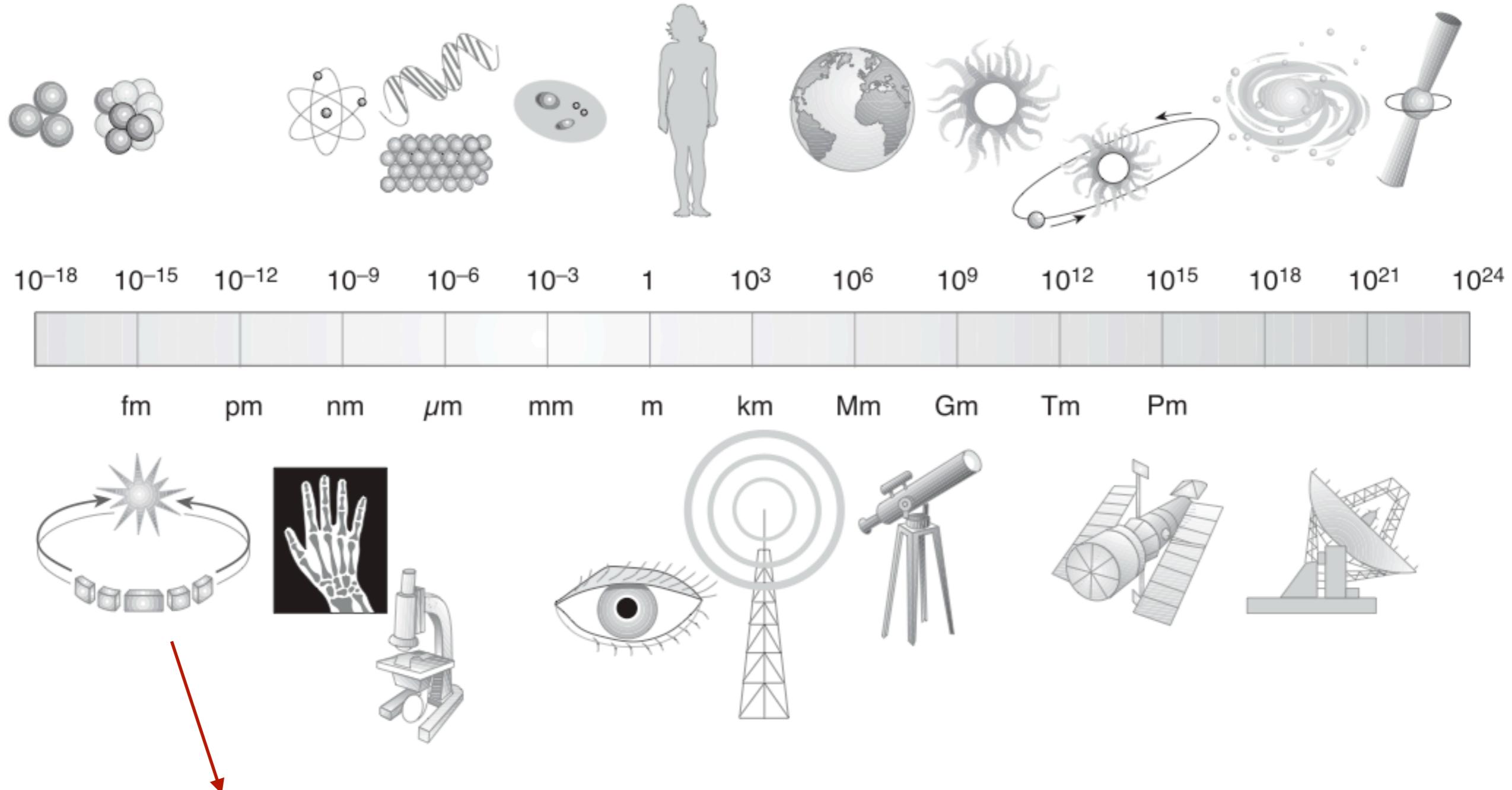


- Si pusiéramos uno de estos “átomos gigantes” en el Parque de las Ciencias, su electrón más externo estaría a la misma distancia que la Alhambra (~1 h andando)

Física de lo minúsculo

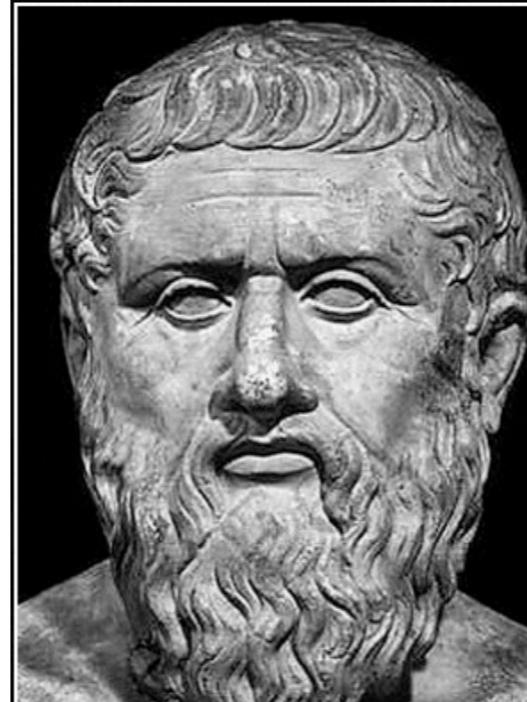


Física de lo minúsculo



- 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



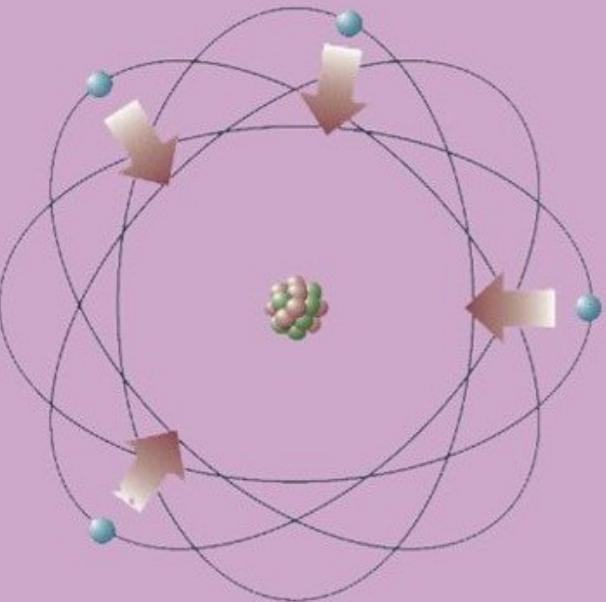
Teoría

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

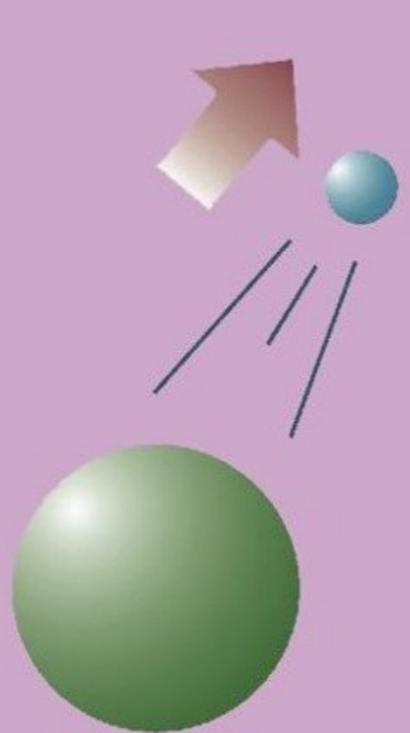
Experimentos

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

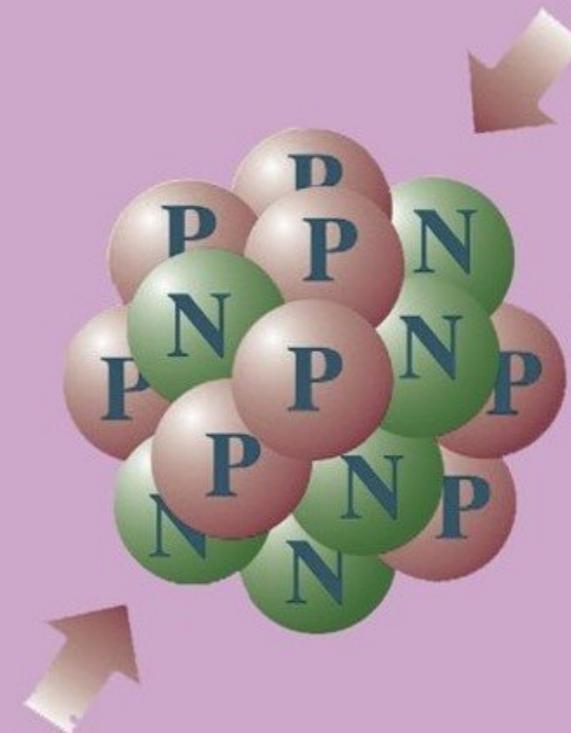
El modelo estándar de la Física de partículas



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



La interacción **débil** es responsable de la desintegración β



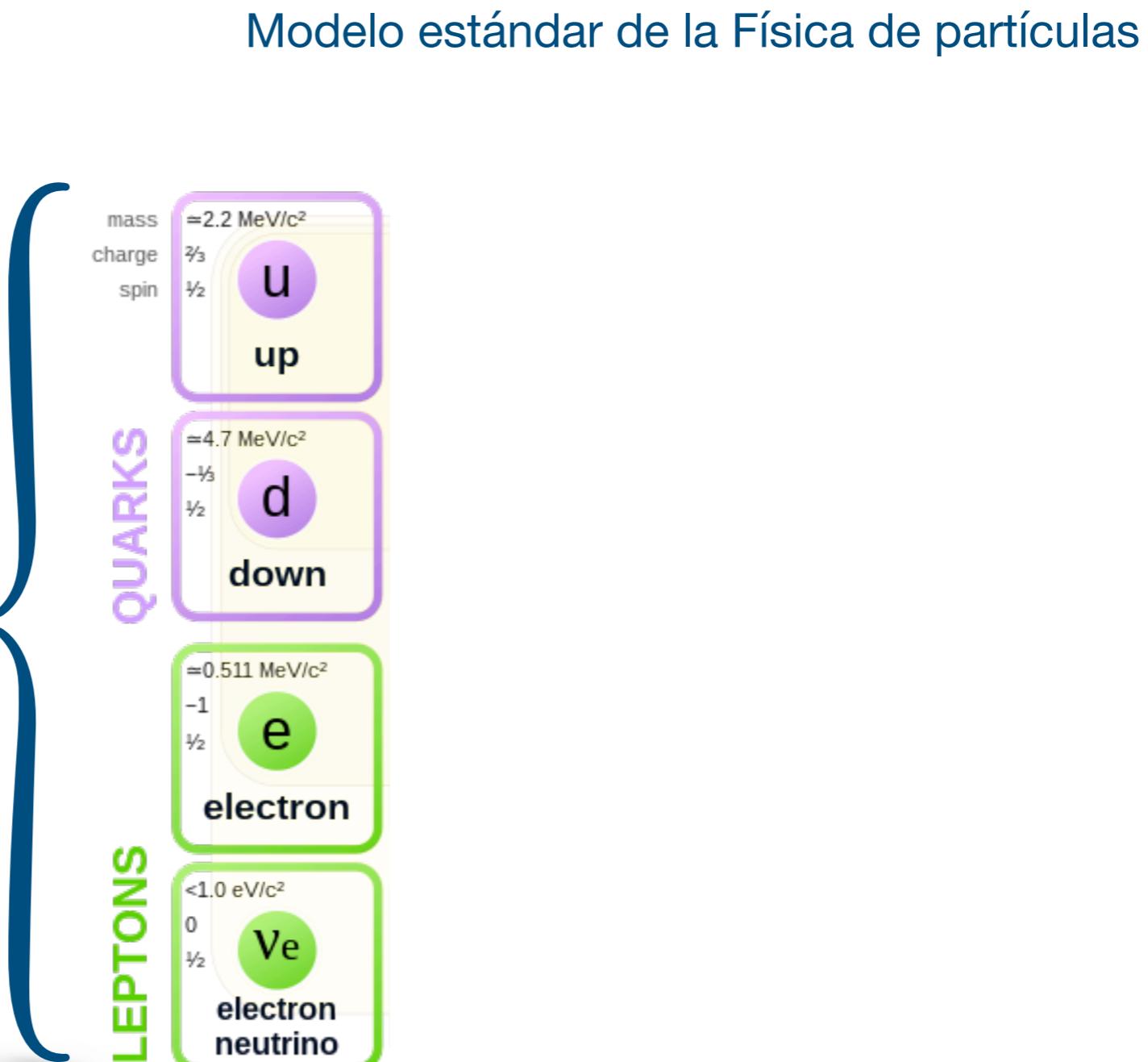
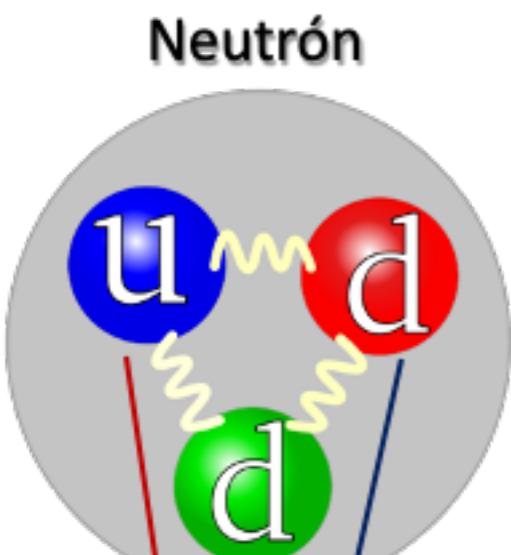
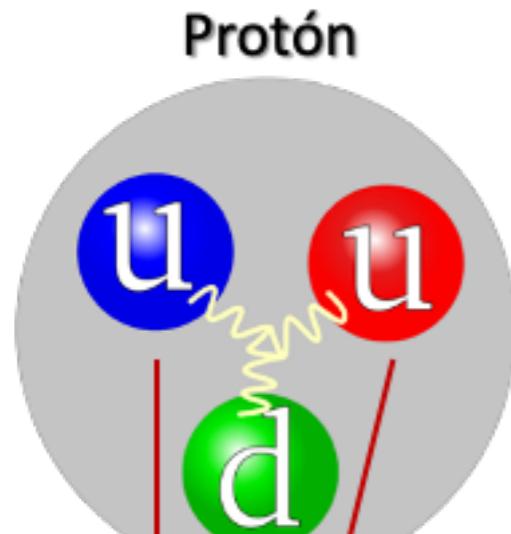
La interacción **fuerte** mantiene unidos a protones y neutrones en el núcleo



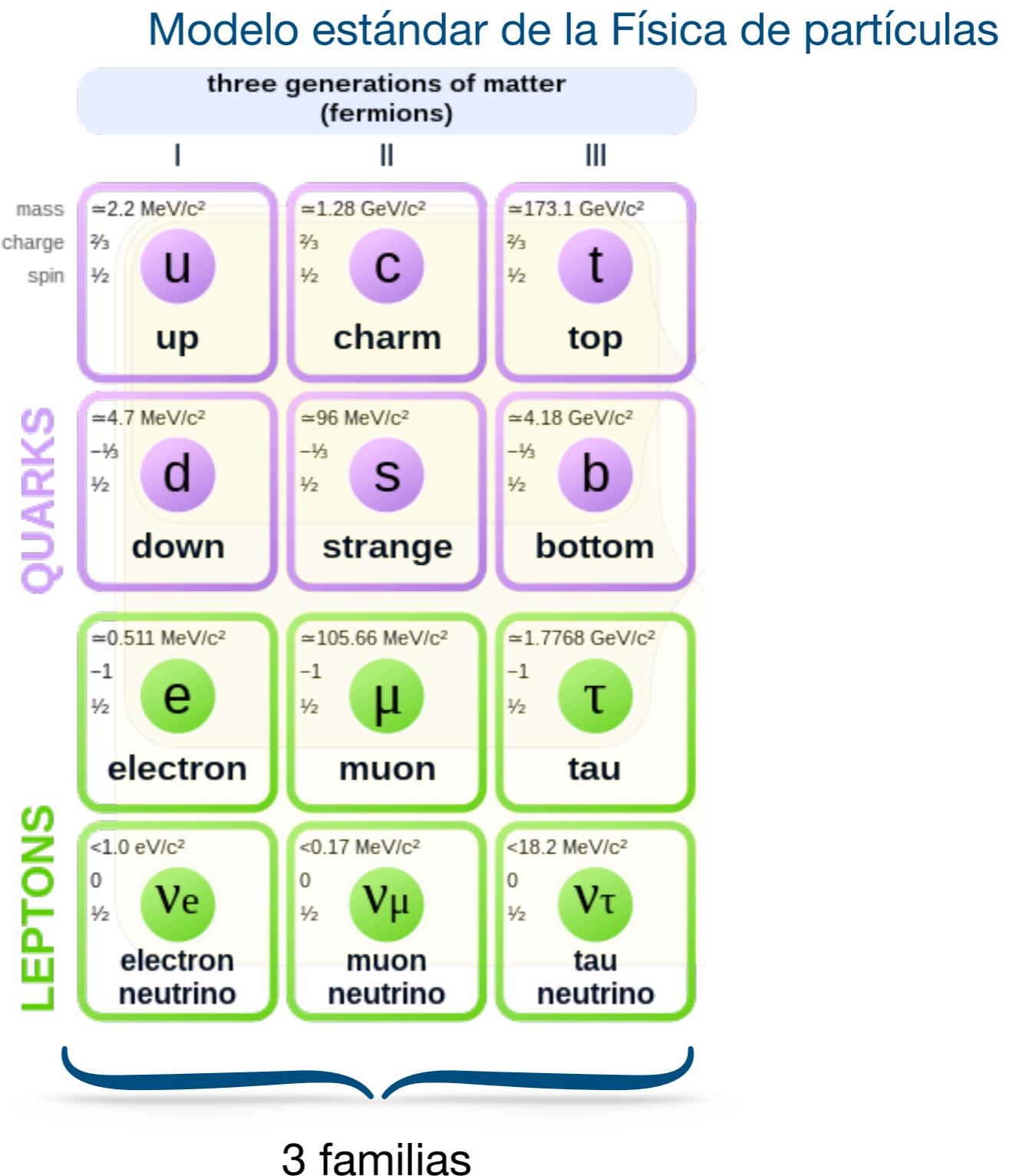
La **gravedad** mantiene unido el Sistema Solar y hace caer las cosas

- 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

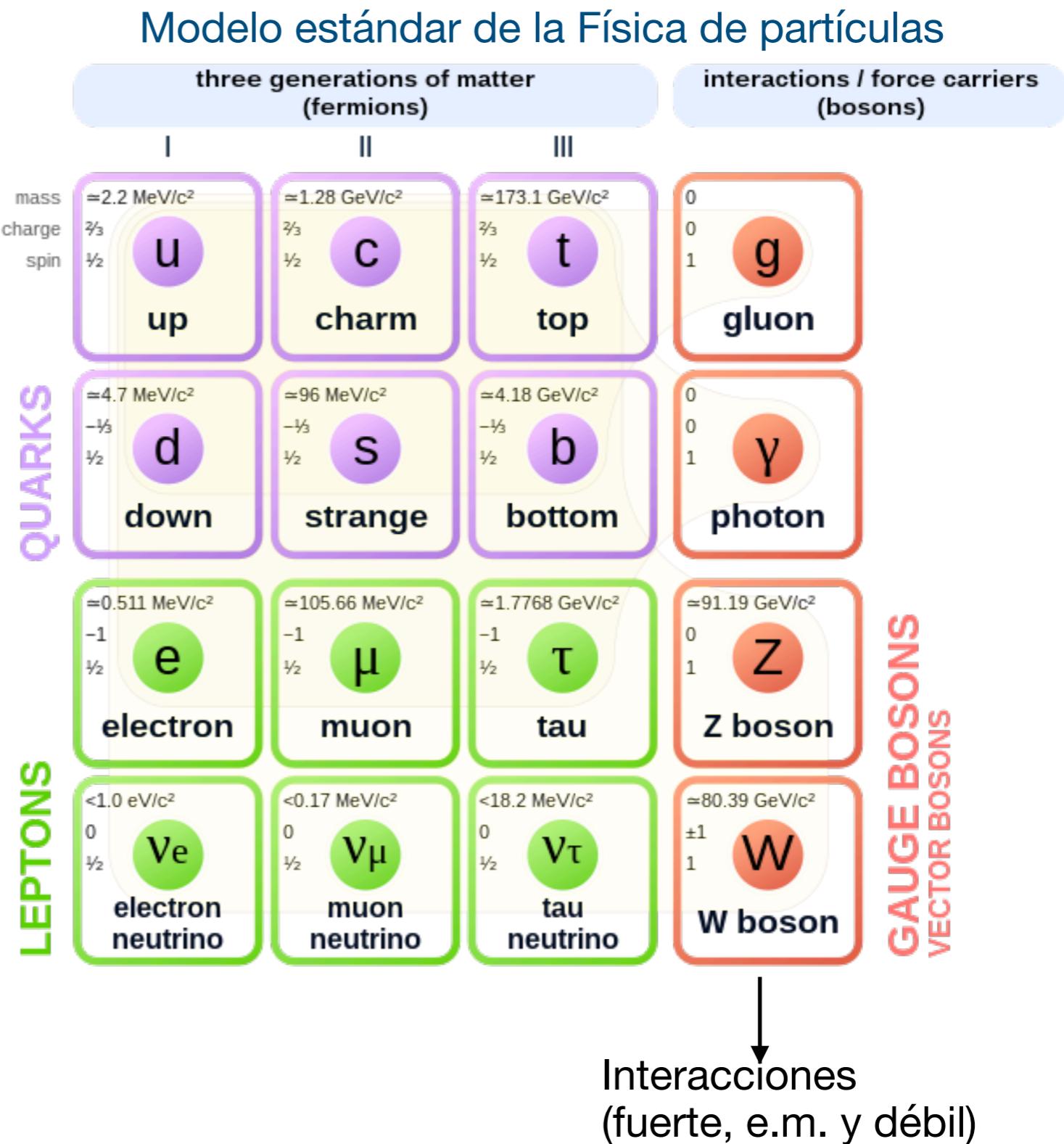


El modelo estándar de la Física de partículas



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



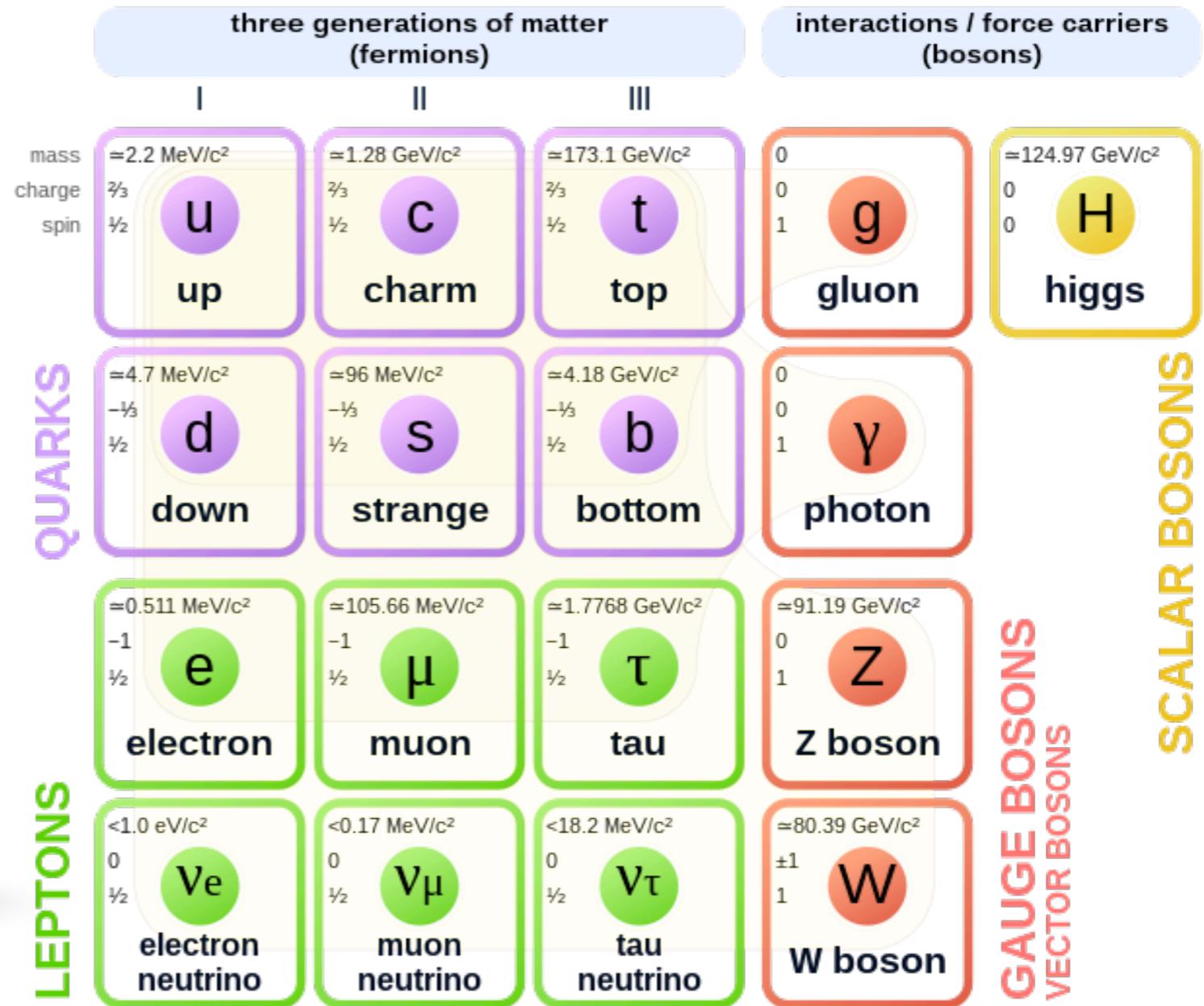
El modelo estándar de la Física de partículas



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

Necesario para explicar la existencia de la masa

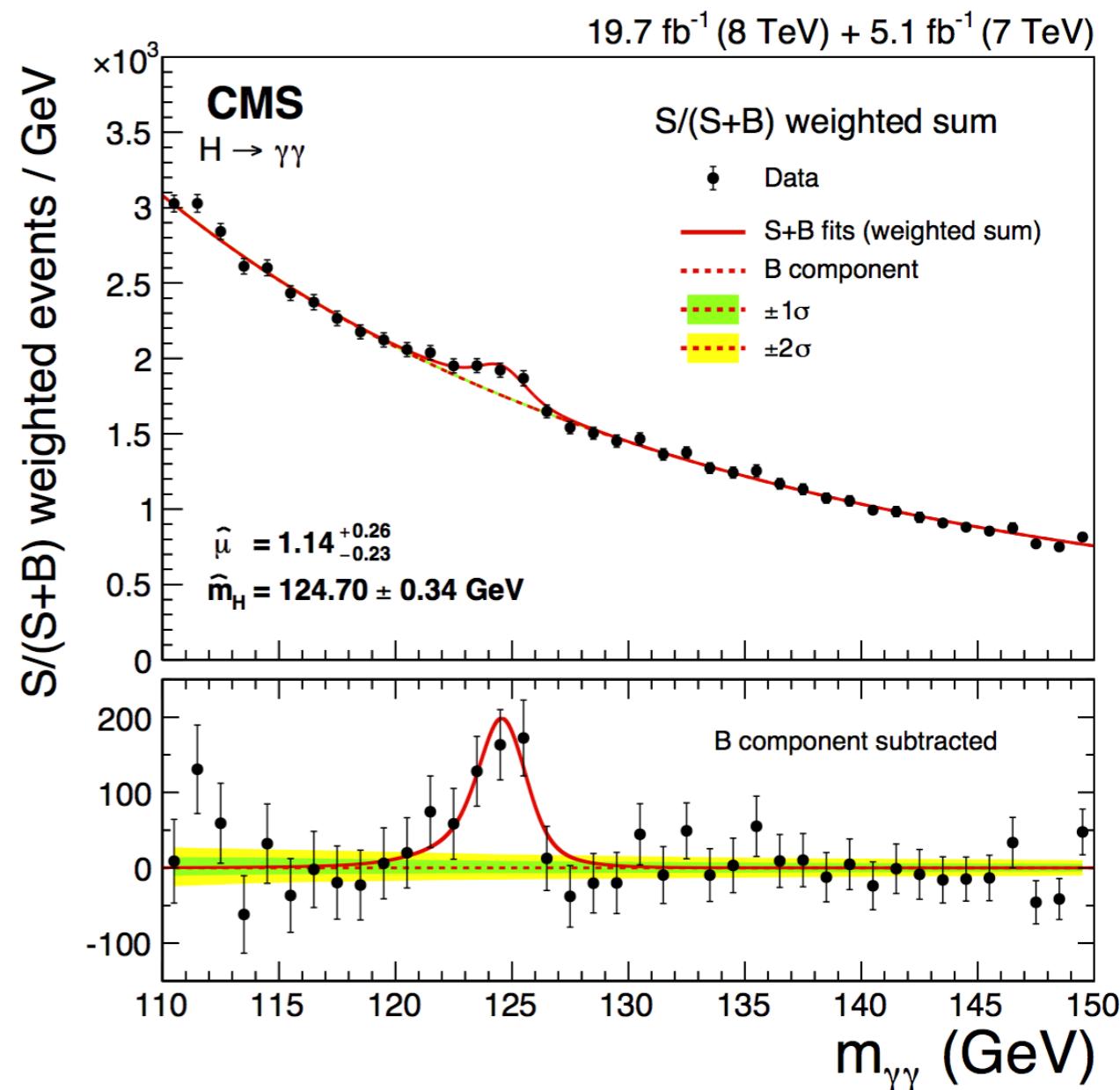
Modelo estándar de la Física de partículas



El bosón de Higgs

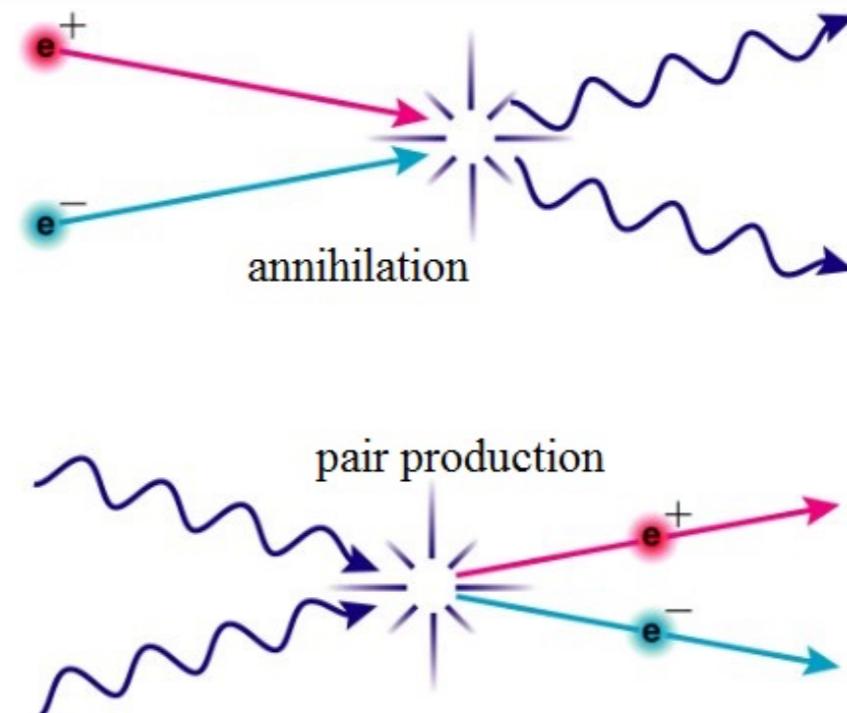
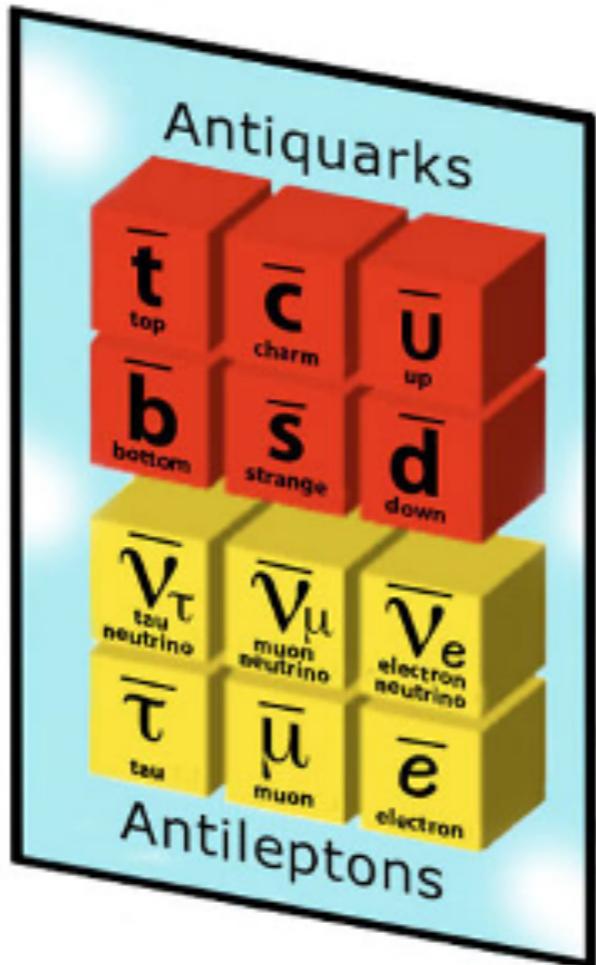
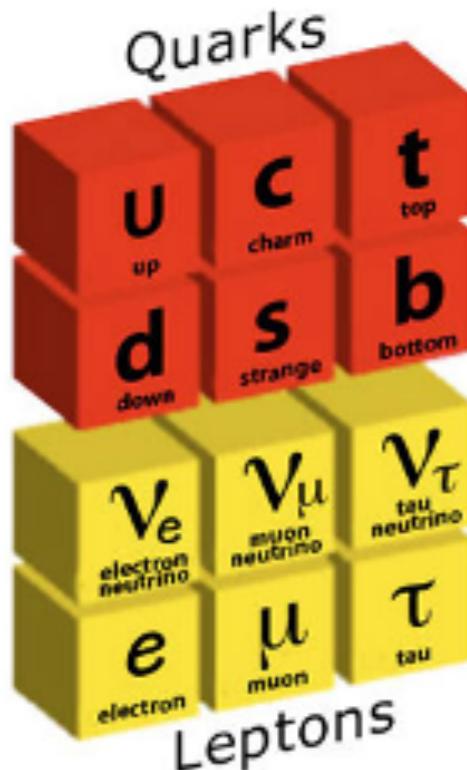


5 σ !!
 $p(\text{Azar}) \sim 1 \text{ entre } 1 \text{ millón}$



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 $h/2\pi = 1$** \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 eV) y el GeV (10^9 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?



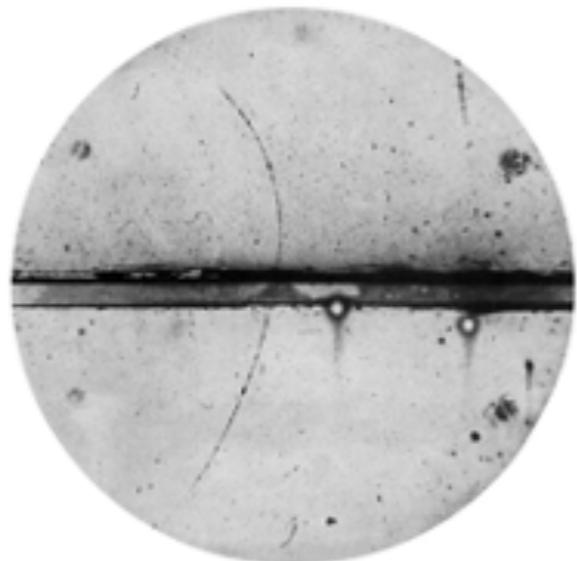
- No se pueden “ver” las partículas subatómicas
- Se infiere su presencia a partir de su interacción con la materia, de modo indirecto

¿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

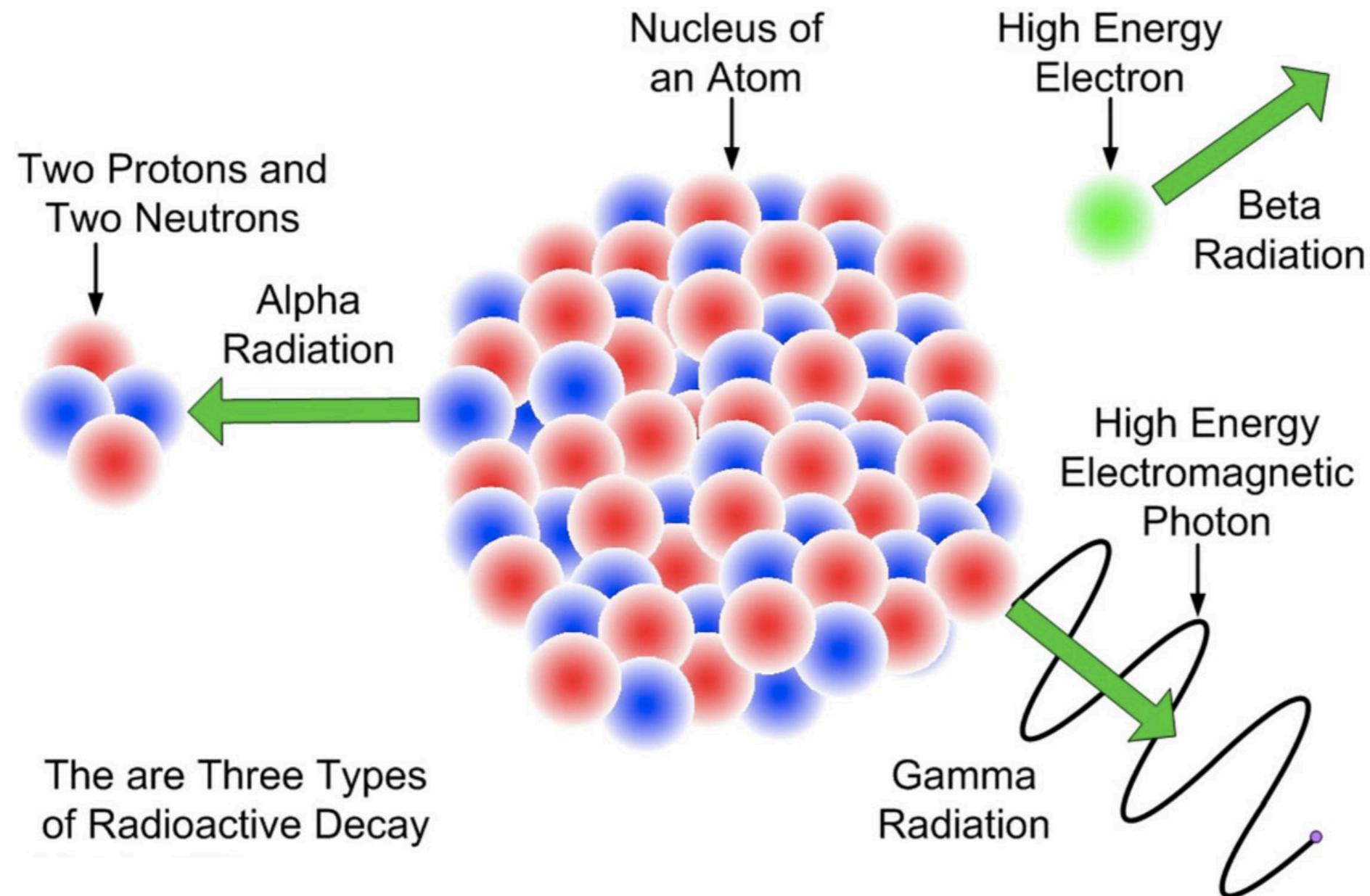
Emulsiones fotográficas, cámaras de burbujas, cámaras de hilos, calorímetros, cámaras de deriva, detectores de material semiconductor, ...



Descubrimiento del positrón en una cámara de niebla (1932)

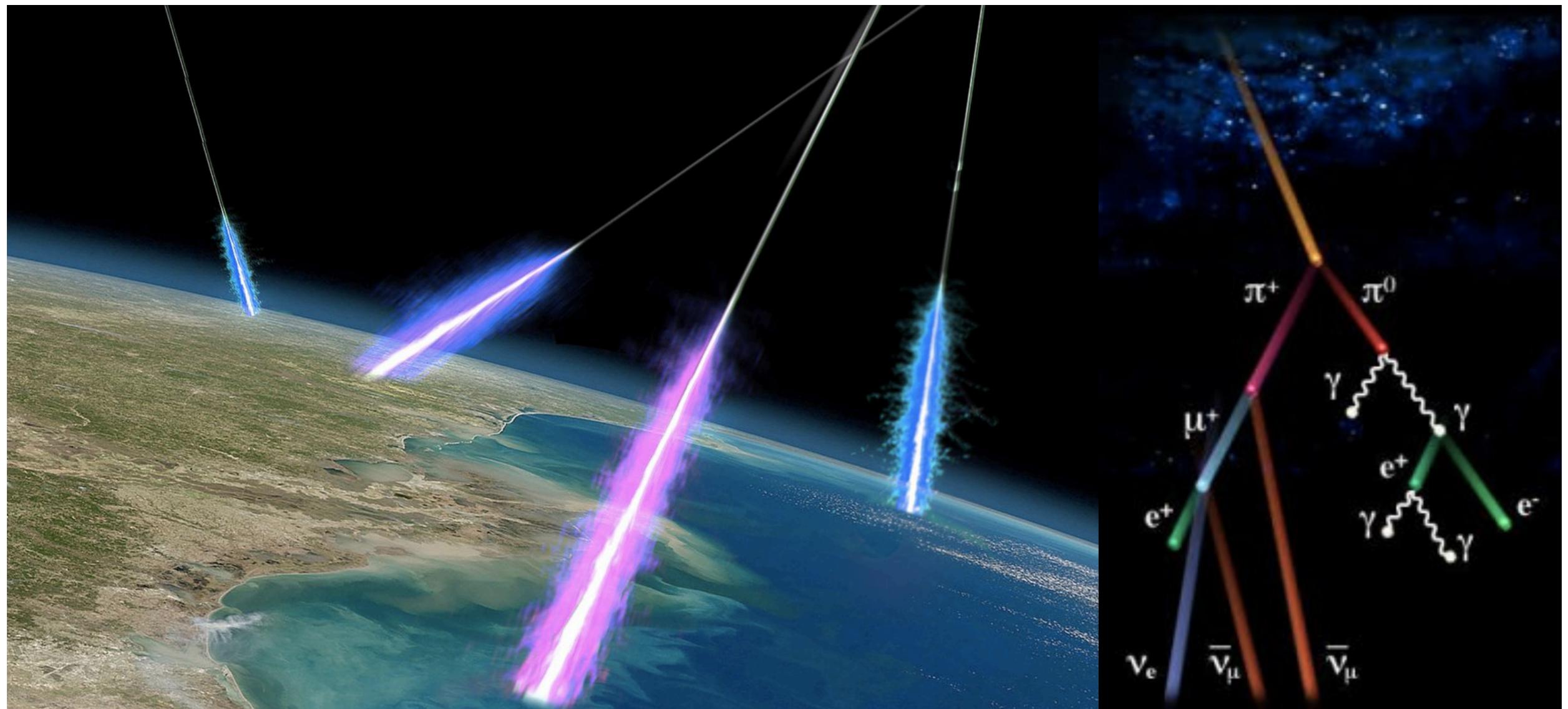
Fuentes de partículas: radiactividad natural

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

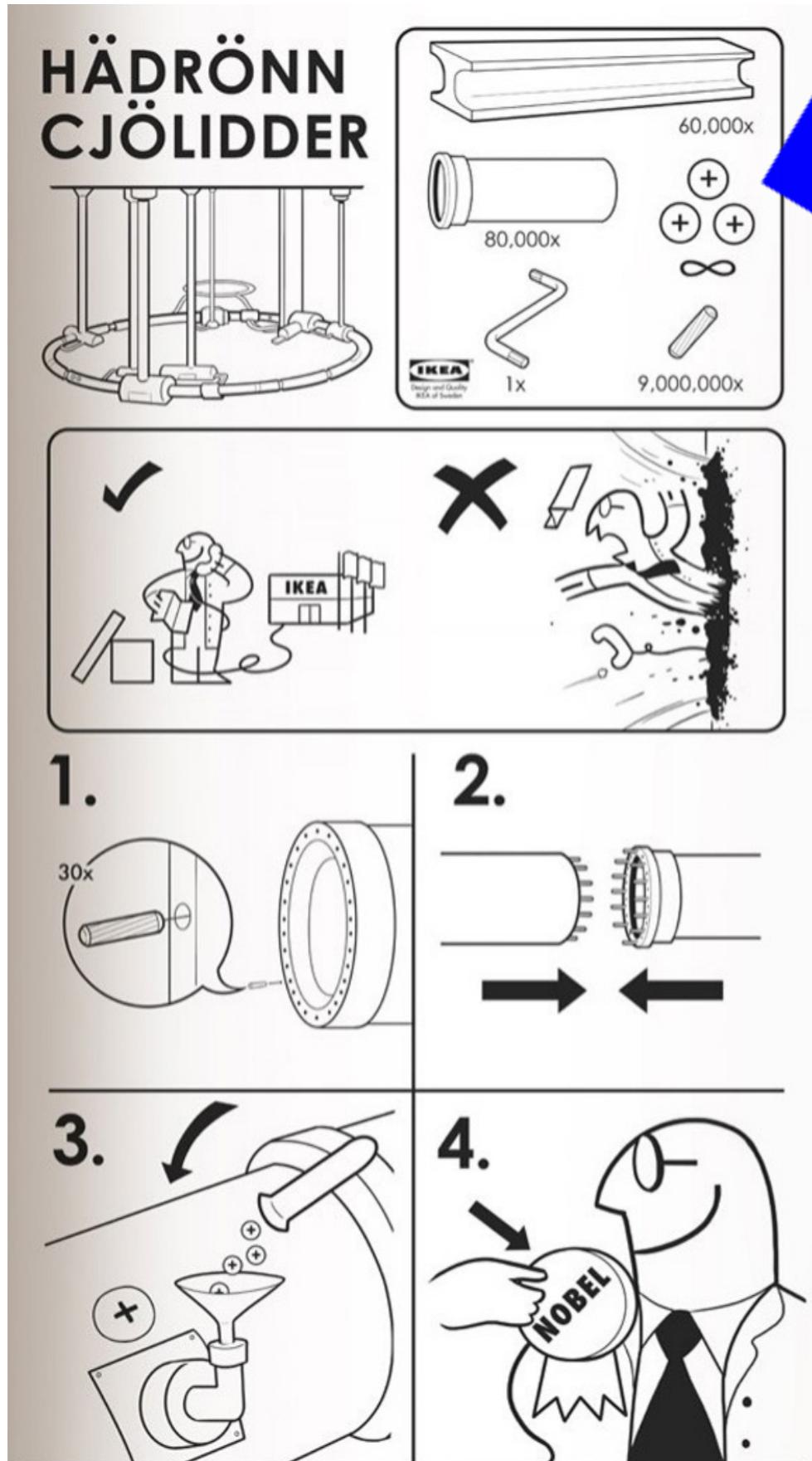


Fuentes de partículas: rayos cósmicos

- 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

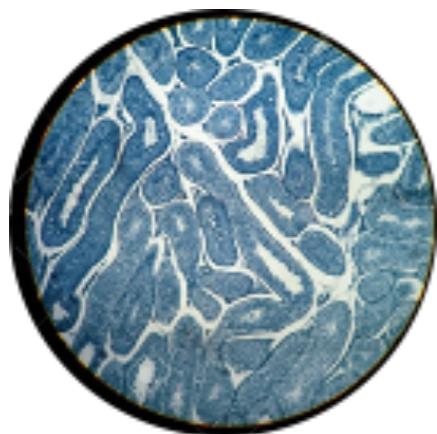


- Posiblemente la mayor creación tecnológica de la historia de la Humanidad
- Más de 2000 físicos de 34 países y cientos de universidades han participado en su construcción
- ¡25 años!

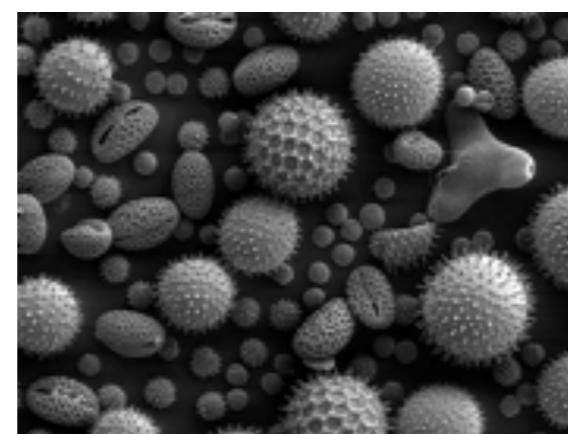
Fuentes de partículas: aceleradores de partículas

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

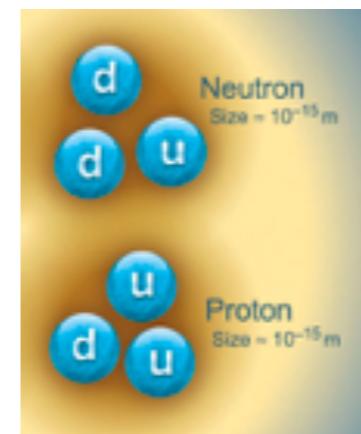
Microscopio convencional



Microscopio electrónico

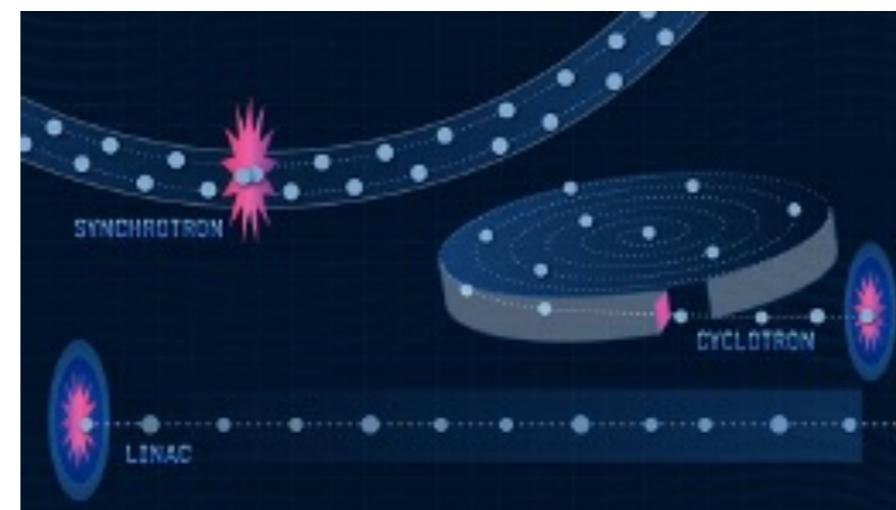
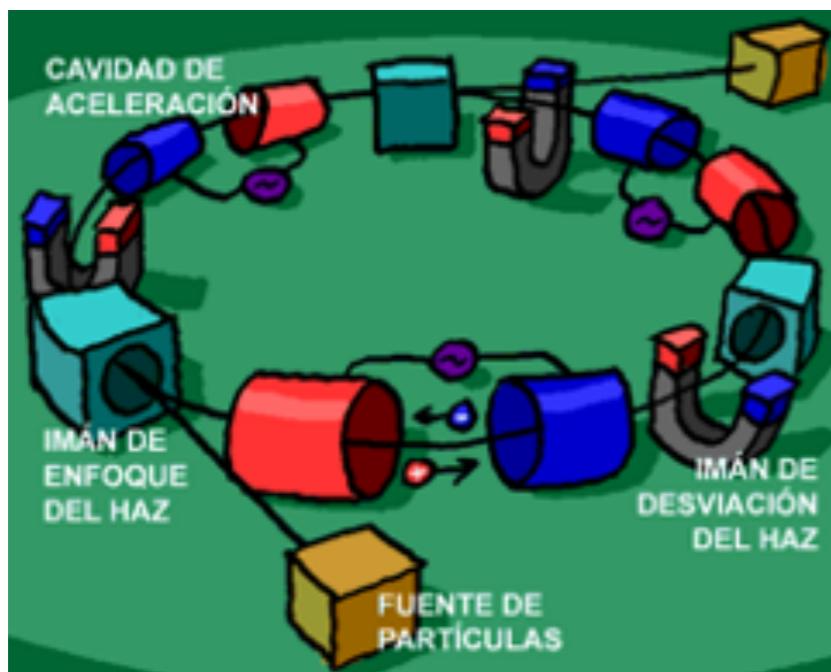


Acelerador de partículas



Ecuación de De Broglie

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

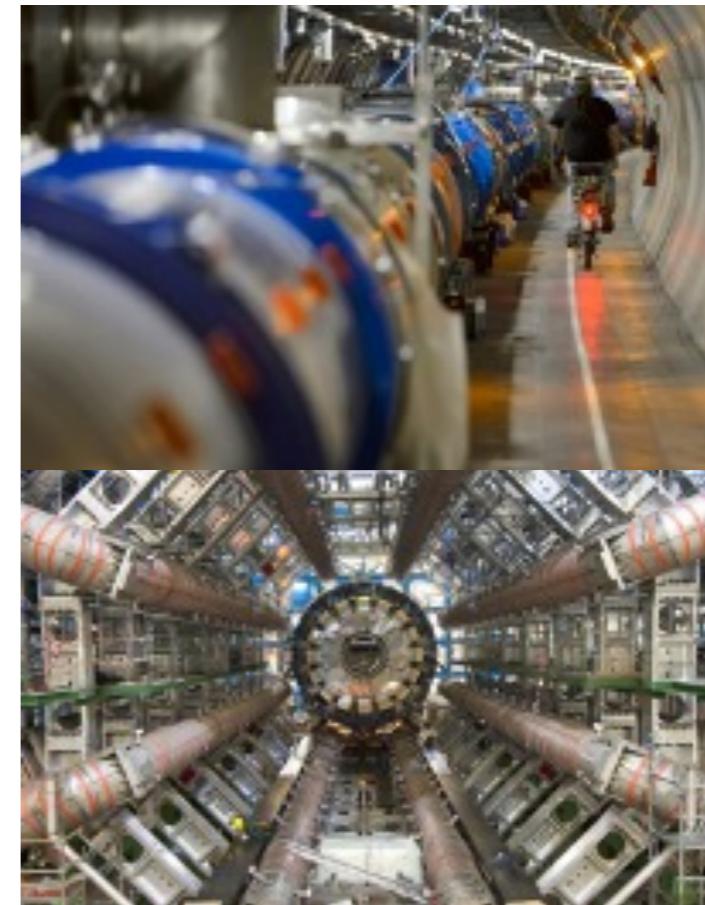


$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Principio físico

Fuentes de partículas: aceleradores de partículas

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

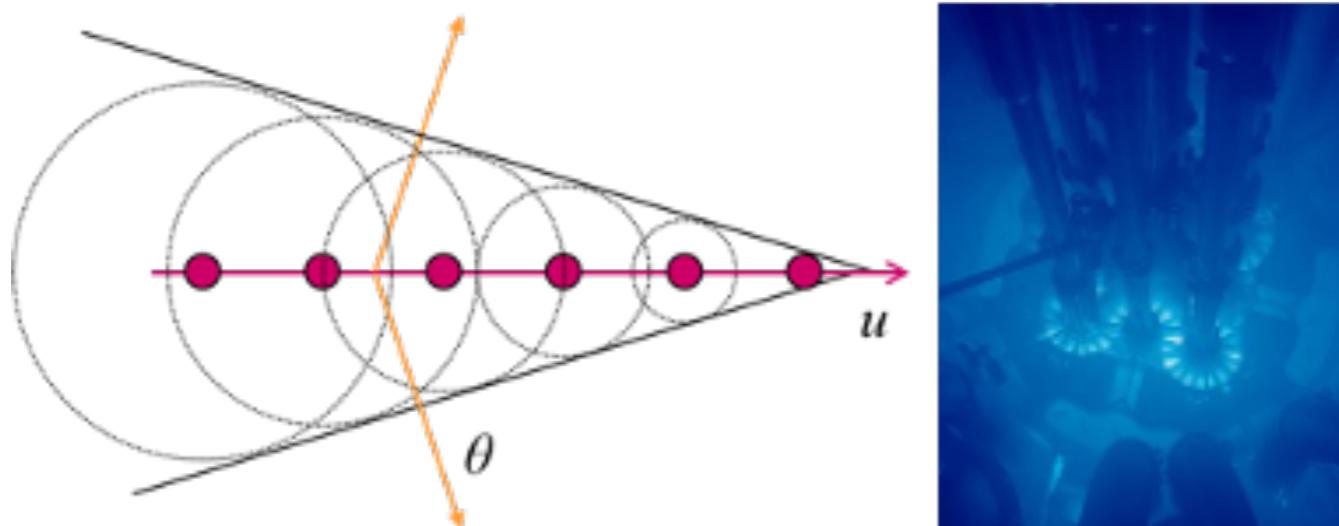


- 7 TeV de energía por haz (7×10^{12} eV)
- 10^{11} protones por paquete (~ 10000 vueltas por segundo)
- Una colisión cada 25 ns. Temperatura: 1.9 K. Consumo ~ 1000 GW, aproximadamente lo que un barrio de 500 000 viviendas
- En unas 10 horas los protones podrían ir y volver a Neptuno

Detección de partículas

Partículas cargadas

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



Radiación Cherenkov en el núcleo de una central nuclear

Detección de partículas

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 Cerenkov** ⇒ si una partícula cargada viaja *más deprisa que la velocidad de la luz en el medio*, emite radiación Cerenkov

Fotones

- ◆ **Efecto fotoeléctrico** ⇒ 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, ...)

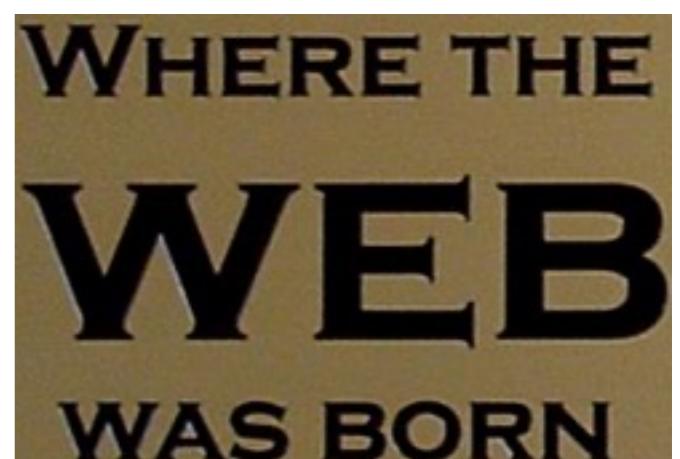
Beneficios de la Física de partículas

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**

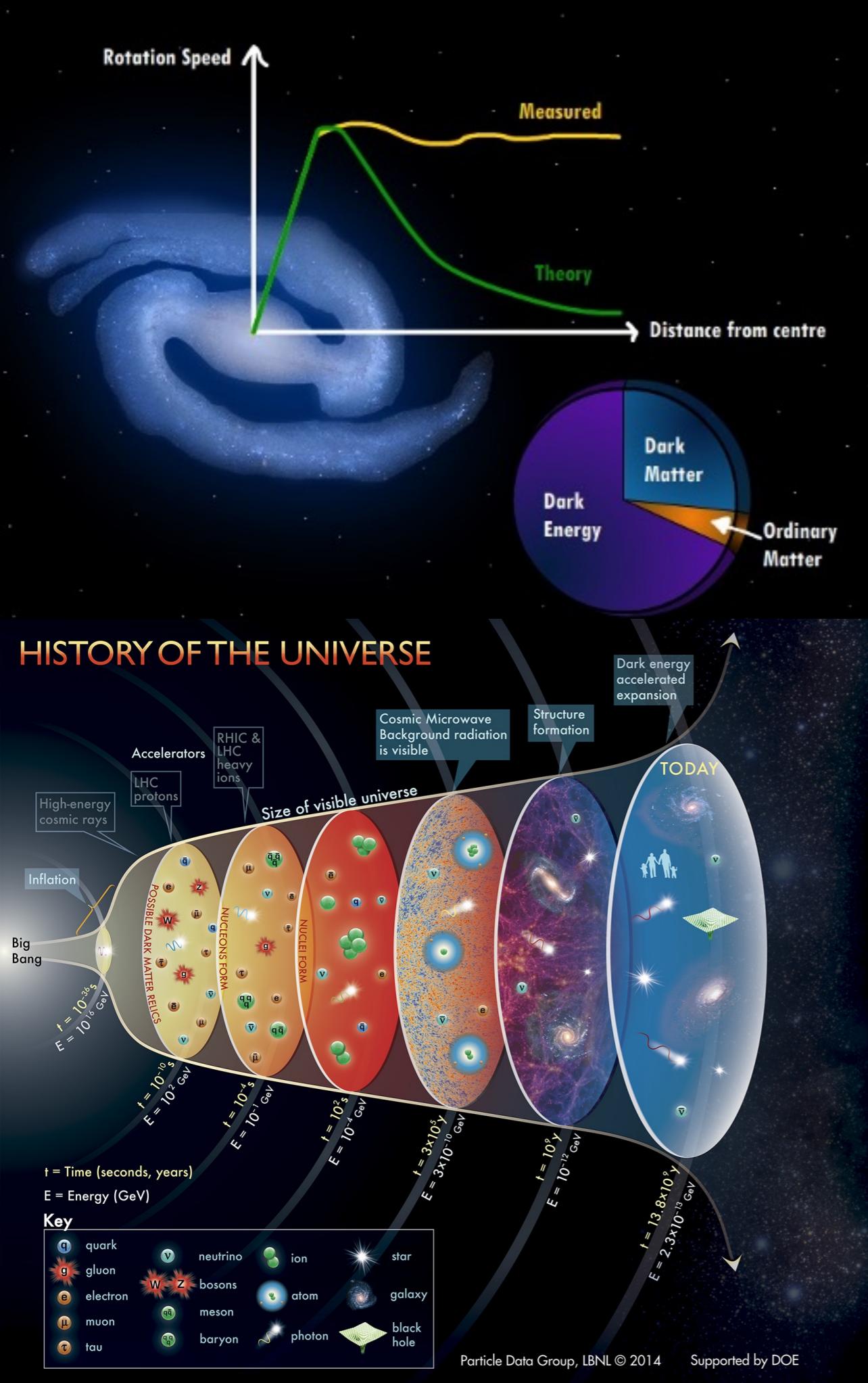
- Para otras ramas de la **Ciencia**: Simulaciones, software, “Machine Learning”, radiación sincrotrón, en Cosmología...
- En **Medicina**: Radioterapia, Tomografías PET y TAC...
- En **política**: organizaciones internacionales, colaboraciones...
- En la **Industria**: Superconductividad, alimentación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



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...↗**