

# ¿De qué estamos hechos?

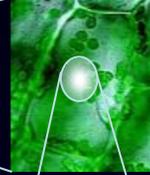
## El mundo de las partículas elementales



$10^5\text{m} = 100\text{ Km}$   
Imagen satélite de Madrid, el bosque de El Pardo y la Sierra



$1\text{m}$   
Una encina de el bosque de El Pardo



$10^{-5}\text{m} = 10\ \mu\text{m}$   
Célula vegetal



$10^{-10}\text{m} = 0.1\text{nm}$   
Átomo de Carbono



$10^{-15}\text{m}$   
Estructura interna del protón

### ¿Es el átomo una partícula fundamental?

En 1911 Rutherford demostró que el átomo estaba formado por un pequeño núcleo, con la mayor parte de la masa y carga eléctrica positiva, y una nube de **electrones** (con carga eléctrica negativa) orbitando a su alrededor. Posteriormente, se descubrió que los diferentes núcleos atómicos están a su vez compuestos por **protones** (Rutherford, 1918) y **neutrones** (Chadwick, 1932).

Actualmente si se considera que el **electrón** es una **partícula fundamental**. Sin embargo los **protones** y **neutrones** tienen estructura interna, están en realidad formados tres **quarks**.

Los **quarks** que forman los **protones** y **neutrones** son dos: el **quark u** (**up**) tiene carga eléctrica  $+2/3$  y el **quark d** (**down**), con carga  $-1/3$ . Un **protón** está formado por dos **quarks u** y un **quark d** y tiene carga  $+1$ , mientras que un **neutrón** está formado por dos **quarks d** y un **quark u**, por lo que tiene carga  $0$ .

### ¿Qué mantiene a los electrones orbitando?

#### La Fuerza Electromagnética

Las cargas de signo opuesto se atraen. Así los **electrones** de carga **negativa** son atraídos por los **protones** de carga **positiva** del núcleo y quedan atrapados orbitando a su alrededor.



#### ¿Y cómo se transmite la fuerza?

Las partículas cargadas se transmiten la fuerza electromagnética intercambiando otras partículas sin masa llamadas **photones**. Los **photones** son además las partículas de las que se compone la **luz**.



### ¿Y qué mantiene a protones en el núcleo?

#### ¿Y a los quarks en el protón?

#### La Fuerza Fuerte

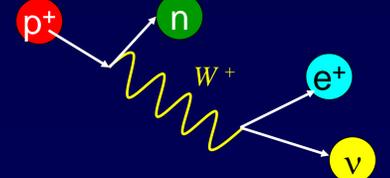
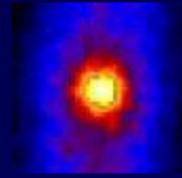
Al igual que los **electrones** y **protones** tienen carga eléctrica, los **quarks** tienen carga de "**color**". Existen tres colores distintos y los diferentes colores se atraen, de la misma manera que las cargas eléctricas opuestas. Así los **quarks** se agrupan de tres en tres con colores distintos formando **protones** y **neutrones**. Igual que la fuerza electromagnética se transmite mediante el intercambio de **photones**, la fuerza fuerte se transmite mediante el intercambio de **gluones**, otra partícula sin masa. Los **protones** y **neutrones** en el núcleo también se atraen debido a la fuerza fuerte.



### ¿Por qué brillan las estrellas?

#### La Fuerza Débil

Las estrellas emiten energía convirtiendo **protones** en núcleos de helio 4, formados por dos **protones** y dos **neutrones**. Para ello es necesaria una interacción capaz de convertir unas partículas en otras: la fuerza débil. Las partículas que transmiten la interacción son los **W** y el **Z**. Existen dos **W** con carga eléctrica  $+1$  y  $-1$  respectivamente y un **Z** que es neutro, al igual que el **photón**, pero tanto los **W** como el **Z** son masivos. En el núcleo de las estrellas los **protones** se convierten en **neutrones** a través de un **W+** produciendo positrones (la antipartícula del **electrón**) y **neutrinos v**. El Sol por lo tanto emite **neutrinos** además de luz como puede verse en la imagen del Sol formada por **neutrinos**.



Con sólo tres partículas: **electrones**, **quarks u** y **quarks d** se construyen todos los átomos  
Pero la Naturaleza nos da mucho más...

Por cada **electrón**, **protón** o **neutrón** existen 10 000 000 000 **neutrinos**. Los **neutrinos** son partículas muy ligeras (al menos un millón de veces más ligeras que los **electrones**). No tienen carga eléctrica ni "color" y sólo sienten las interacciones débiles, siendo extremadamente difíciles de detectar. Los **neutrinos** cruzan grandes cantidades de materia sin desviarse, en estos instantes billones de neutrinos están atravesando tu cuerpo.

El contenido de materia del Universo, **los fermiones**, está entonces descrito por el **electrón**, el **neutrino**, el **quark u** y el **quark d**, lo que se denomina la **primera generación de partículas**. Sin embargo en la naturaleza esta generación esta repetida tres veces. Las partículas de las generaciones sucesivas tienen las mismas interacciones (carga eléctrica, "color" e interacciones débiles) que las de la primera, pero son más masivas.

Leptones spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica	Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
$\nu_L$ lightest neutrino*	$<10^{-9}$	0	<b>u</b> up	0.002	2/3
<b>e</b> electron	0.0005	-1	<b>d</b> down	0.005	-1/3
$\nu_M$ middle neutrino*	$<10^{-9}$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3
$\mu$ muon	0.1	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3
$\nu_H$ heaviest neutrino*	$<10^{-9}$	0	<b>t</b> top	173	2/3
$\tau$ tau	1.8	-1	<b>b</b> bottom	4.2	-1/3

### ¿Qué es la Antimateria?

Por cada partícula existe una **antipartícula**. Éstas tienen la misma masa que su partícula correspondiente pero todas sus cargas opuestas (carga eléctrica, "color", ...).

Cuando una partícula y su antipartícula se encuentran, ambas se destruyen produciendo gran cantidad de energía en forma de luz.

### Bosones: El cemento del Universo

Electromagnética y débil spin = 1		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
$\gamma$ photon	0	0
<b>W-</b>	80.39	-1
<b>W+</b>	80.39	+1
W bosons		
<b>Z</b> <sup>0</sup>	91.188	0
Z boson		

Fuerte (color) spin = 1		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
<b>g</b>	0	0
gluon		

### ¿Qué fuerza es más fuerte?

La más intensa de las fuerzas es la interacción fuerte, capaz de mantener a los **protones** confinados en el núcleo a pesar de la repulsión electromagnética. Sin embargo esta fuerza es de muy corto alcance y desaparece a distancias mayores que el núcleo atómico.

La fuerza electromagnética es la segunda en intensidad y es la responsable de mantener a los **electrones** orbitando en torno a los núcleos atómicos. Explica los enlaces entre átomos que dan lugar a moléculas, células y seres vivos. Es de largo alcance, pero debido a que la materia es neutra ya que hay la misma cantidad de **electrones** y de **protones**, no puede actuar a grandes distancias.

A grandes distancias la interacción dominante es la gravedad, que es sin embargo la más débil de las fuerzas. Pero el resto tienen su alcance limitado. Así es la gravedad la interacción que más sentimos en nuestra vida diaria y la que explica los movimientos planetarios.

## El Origen de las Masas: el Bosón de Higgs

Para explicar la masa de las partículas es necesario postular una nueva: el **bosón de Higgs**. El **Higgs** es capaz de interactuar con todas las demás partículas. Además un **campo de Higgs** cubriría todo el espacio. El resto de partículas, al atravesarlo, sufrirían un "rozamiento" que da lugar a sus masas. Esto es similar a lo que se siente al sumergir el brazo en agua y desplazarlo: el agua frena el movimiento y el brazo parece pesar más. Así cuanto más fuerte sea la interacción de una partícula con el **Higgs**, mayor será la masa que adquiere.

La partícula de **Higgs** aún no ha sido descubierta. Para eso se está construyendo el LHC en el complejo del CERN, en Ginebra. En este acelerador de partículas, el mayor construido hasta el momento, se espera alcanzar la energía suficiente para producir partículas de **Higgs** y así verificar la teoría que explica el origen de las masas.

## Misterios sin resolver

**Gravedad**

El Modelo Estándar es una teoría cuántica que explica las interacciones fuerte, débil y electromagnética, sin embargo aún no se ha conseguido formular una teoría cuántica de la gravedad...

**¿Y la antimateria?**

El Modelo Estándar contiene una antipartícula por cada partícula y sus interacciones son similares. ¿Por qué no observamos antimateria en el universo excepto la que fabricamos en los aceleradores?

**Materia Oscura**

La mayor parte de la materia que componen las Galaxias es un tipo de materia invisible que se ha llamado materia oscura y no está presente en el Modelo Estándar. ¿Qué es esta materia? ¿Cuáles son sus interacciones?

**Las masas**

El Modelo Estándar contiene tres generaciones de partículas cada vez más pesadas. El por qué cada partícula esta replicada tres veces y los valores de sus masas sigue siendo un misterio...