¿De qué estamos hechos?

El mundo de las partículas elementales

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

1m
Una encina de el bosque de El Pardo

10^{-5}m = 10 μm
Célula vegetal

10^{-10}m = 0.1nm
Átomo de Carbono

10^{-15}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 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.

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.

FERMIONES: Los Ladrillos del Universo

Leptones spin =1/2		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
ν_L lightest neutrino*	$<10^{-9}$	0
e electron	0.0005	–1
ν_M middle neutrino*	$<10^{-9}$	0
μ muon	0.1	–1
ν_H heaviest neutrino*	$<10^{-9}$	0
τ tau	1.8	–1

Quarks spin =1/2		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
u up	0.002	2/3
d down	0.005	–1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	–1/3
t top	173	2/3
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.

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** ha sido descubierta 48 años después de su predicción teórica en 1964. El gran colisionador hadrónico LHC, en el complejo del CERN en Ginebra, confirmó la existencia del bosón de Higgs el 4 de julio de 2012. Este descubrimiento llevó a François Englert y Peter Higgs a ser galardonados con el premio Nobel de física en 2013 por el descubrimiento teórico del mecanismo responsable del origen de las masas de las partículas elementales.

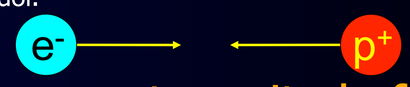
Bosones: El cemento del Universo

Electromagnética y débil spin = 1		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
γ photon	0	0
W^-	80.39	–1
W^+ W bosons	80.39	+1
Z^0 Z boson	91.188	0

Fuerte (color) spin =1		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
g gluon	0	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 trasmite la fuerza?

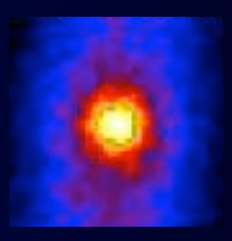
Las partículas cargadas se trasmiten la fuerza electromagnética intercambiando otras partículas sin masa llamadas **fotones.** Los **fotones** son además las partículas de las que se compone la **luz.**

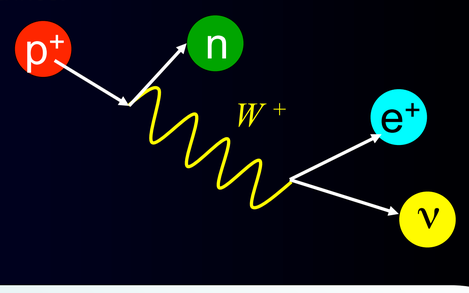
¿Y qué mantiene a protones en el núcleo?
¿Y a los quarks en el protón?
La Fuerza Fuerte

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 trasmite mediante el intercambio de **fotones**, la fuerza fuerte se trasmite 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 uniendo 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 trasmiten 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 **fotón**, 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 ν. El Sol por lo tanto emite neutrinos además de luz como puede verse en la imagen del Sol formada por neutrinos.





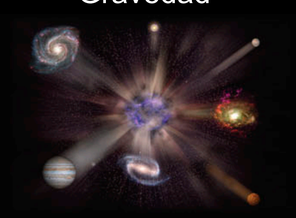
¿Qué fuerza es más fuerte?

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. De este modo, pese a ser la más débil de las fuerzas, es la que explica los movimientos planetarios.

Misterios por 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…

Instituto de Física Teórica UAM-CSIC

www.ift.uam-csic.es