

El Modelo Estándar de Partículas Elementales

¿De qué estamos hechos?

Todo lo que nos rodea está compuesto de **partículas elementales**, como los **quarks** que forman los **protones** y **neutrones** de los núcleos atómicos, y los **leptones**, como los **electrones** que orbitan alrededor. Juntos forman los átomos que componen la materia. Los leptones incluyen además otro tipo de partícula: los **neutrinos**. Existen **3 familias de quarks y leptones**, con propiedades idénticas, excepto por sus masas.

¿Cómo se mantienen unidas las partículas?

Las partículas elementales ejercen y sienten fuerzas asociadas a **cuatro interacciones fundamentales**: el **electromagnetismo**, la **fuerza fuerte**, la **interacción débil**, y la **gravedad**. Cada una de estas interacciones tiene asociada una o varias partículas de fuerza, los **bosones gauge**: el **fotón**, los bosones **Z** y **W**, los **gluones** y el (todavía hipotético) **gravitón**.

FERMIONES: Los Ladrillos del Universo

Leptones spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica	Nombre	Masa (GeV)	Carga eléctrica
ν_L lightest neutrino*	<10 ⁻⁹	0	u up	0.002	2/3
e electron	0.0005	-1	d down	0.005	-1/3
ν_M middle neutrino*	<10 ⁻⁹	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.1	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_H heaviest neutrino*	<10 ⁻⁹	0	t top	173	2/3
τ tau	1.8	-1	b bottom	4.2	-1/3

Bosones: El cemento del Universo

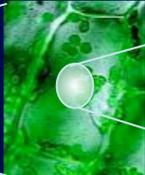
Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W⁻	80.39	-1
W⁺	80.39	+1
W bosons		
Z⁰	91.188	0
Z boson		
Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0



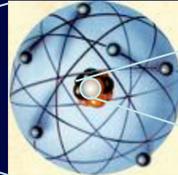
10⁵m = 100 Km
Imagen satélite de Madrid, el bosque de El Pardo y la Sierra



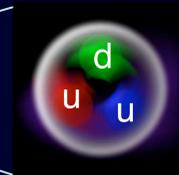
1m
Una encina de el bosque de El Pardo



10⁻⁵m = 10 μm
Célula vegetal



10⁻¹⁰m = 0.1nm
Átomo de Carbono



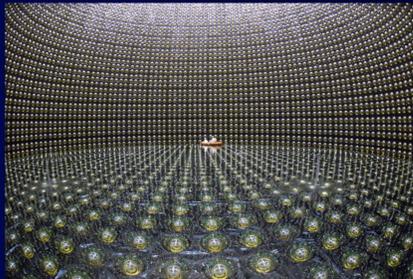
10⁻¹⁵m
Estructura interna del protón

Los neutrinos son partículas elementales que no tienen carga eléctrica ni de color, sólo sienten la interacción débil. Su masa es extremadamente pequeña, millones de veces menor que la de los electrones.

Los neutrinos son partículas muy abundantes en el universo. Por cada electrón, protón o neutrón existen 10 000 000 000 neutrinos. **Los neutrinos tienen muy poca interacción con el resto de la materia**, por lo que son extremadamente difíciles de detectar. Los neutrinos cruzan grandes cantidades de materia sin desviarse, en estos instantes billones de neutrinos están atravesando tu cuerpo.

Aún así, es posible detectar los neutrinos mediante detectores subterráneos, como **SuperKamiokande** en Japón, un enorme tanque lleno de 50.000 toneladas de agua pura, tapizado con 11.000 detectores de radiación Cherenkov, y situado a 1000 metros bajo tierra.

Estos experimentos permiten estudiar las propiedades de los neutrinos, especialmente **las oscilaciones de neutrinos y su relación con sus masas**.

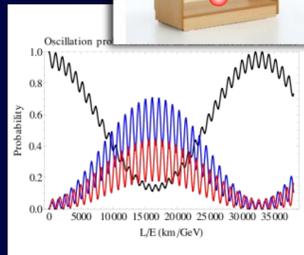


Los neutrinos existen en 3 variedades o "sabores", dependiendo de su interacción con electrones, muones o leptones tau. Estos sabores se mezclan cuánticamente, produciendo las **oscilaciones de neutrinos**.

Las partículas de materia (los quarks y leptones) se clasifican en 3 familias, con propiedades idénticas excepto por su masa. **Existen 3 tipos o "sabores" de neutrino**, denominados **electrónico, muónico y tauónico**, dependiendo del tipo de leptón cargado (electrón, muón o tau) con el que se acoplan por la interacción débil.

Estos 3 sabores se mezclan entre sí en la propagación de los neutrinos. En Mecánica Cuántica los neutrinos se describen como ondas, formadas por la interferencia de las ondas de los 3 sabores básicos. Las **oscilaciones (de sabor) de neutrinos** consisten en que el patrón de interferencia varía durante la propagación del neutrino. Así, por ejemplo un neutrino creado como electrónico en el núcleo del Sol puede ser detectado como neutrino muónico al llegar a detector en la Tierra (ver recuadro "el problema de los neutrinos solares").

Las oscilaciones entre los 3 sabores de neutrinos se han estudiado en diversos tipos de experimentos, que difieren en la distancia entre la fuente de neutrinos y el detector, y en la naturaleza de la fuente de los neutrinos. Hay experimentos de **neutrinos solares** (creados en el Sol), **atmosféricos** (creados por la colisión de rayos cósmicos en las capas altas de la atmósfera), y producidos en **reactores nucleares** y en **aceleradores** (MINOS, OPERA, T2K).

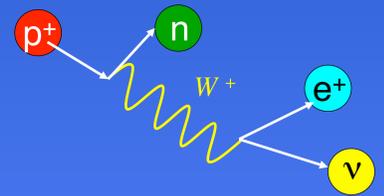
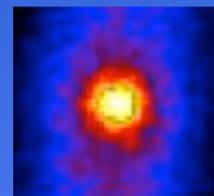


¿Por qué brillan las estrellas? La Fuerza Débil y los neutrinos

Gracias a sus sutiles propiedades, **los neutrinos son vitales para que las estrellas puedan brillar**.

Las estrellas emiten energía uniendo 4 núcleos de hidrógeno (protones) en núcleos de helio-4 (dos protones y dos neutrones). Para ello es necesaria una interacción capaz de convertir unas partículas en otras: la fuerza débil, mediada por los bosones W y Z. En el núcleo de las estrellas los **protones** se convierten en **neutrones** 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**.

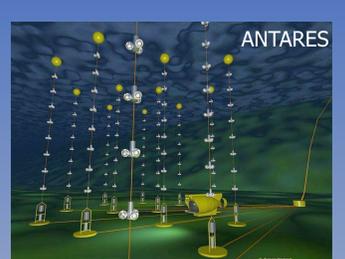
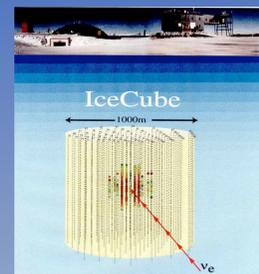


El problema de los neutrinos solares

Durante mucho tiempo, no se entendía por qué el flujo de neutrinos solares en la Tierra parecía menor que la predicción del modelo astrofísico del Sol. Hoy día sabemos que el **déficit aparente de neutrinos electrónicos del Sol se debe a su transformación en neutrinos muónicos durante su viaje a la Tierra**.

Astronomía de neutrinos

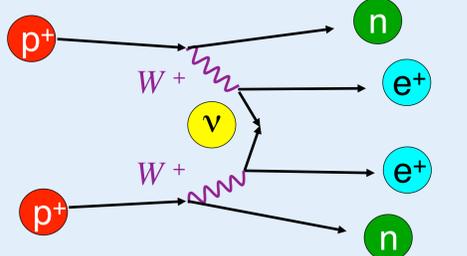
La detección de neutrinos procedentes de fuentes astrofísicas (por ejemplo en los detectores IceCube, en el Polo Sur y ANTARES en el Mediterráneo) está llevando al nacimiento de la **Astronomía de neutrinos**, que proporcionará nuevos métodos de observación de fenómenos astrofísicos violentos, como las explosiones de supernovas, los núcleos galácticos activos, o los brotes de rayos gamma (*gamma ray bursts*).



¿Neutrino=Antineutrino?

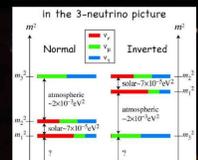
Toda partícula tiene su antipartícula, con igual masa pero cargas opuestas. Como **los neutrinos** no tienen carga eléctrica ni de color, **podrían ser sus propias antipartículas** (en términos técnicos, serían espinores de tipo Majorana y no espinores de Dirac).

Esto puede comprobarse experimentalmente intentando detectar la **"desintegración beta doble sin neutrinos"** (*neutrinoless double beta decay*), posible sólo si los neutrinos son de tipo Majorana. Existen varios experimentos buscando la observación de este proceso, entre ellos el del Laboratorio Subterráneo de Canfranc (Huesca).



Misterios por resolver

Escala de masas



Los datos sobre las oscilaciones de neutrinos nos proporcionan las diferencias de las masas de las 3 especies de neutrinos, y sus amplitudes de mezcla. Pero todavía sabemos muy poco sobre el valor de sus masas absolutas.

Fondo cósmico



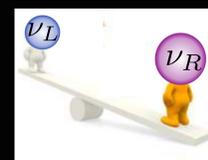
Al igual que el fondo de radiación de microondas, el universo está lleno de una radiación de fondo de neutrinos (aún no detectada), originada en el momento de su desacoplamiento, tan sólo 2 segundos después del Big Bang.

Leptogénesis



La asimetría materia-antimateria del universo podría explicarse si los neutrinos son sus propias antipartículas: en el universo primitivo se generaría un exceso de leptones que luego se transmitiría a un exceso de bariones sobre antibariones.

¿Más neutrinos?



La masa de los neutrinos es pequeñísima, pero no nula. Para incorporarlas al Modelo Estándar, y explicar su diminuto valor, el mecanismo del balancín (*seesaw*) postula la existencia de nuevos tipos de neutrinos con masas enormes y aún no observados.