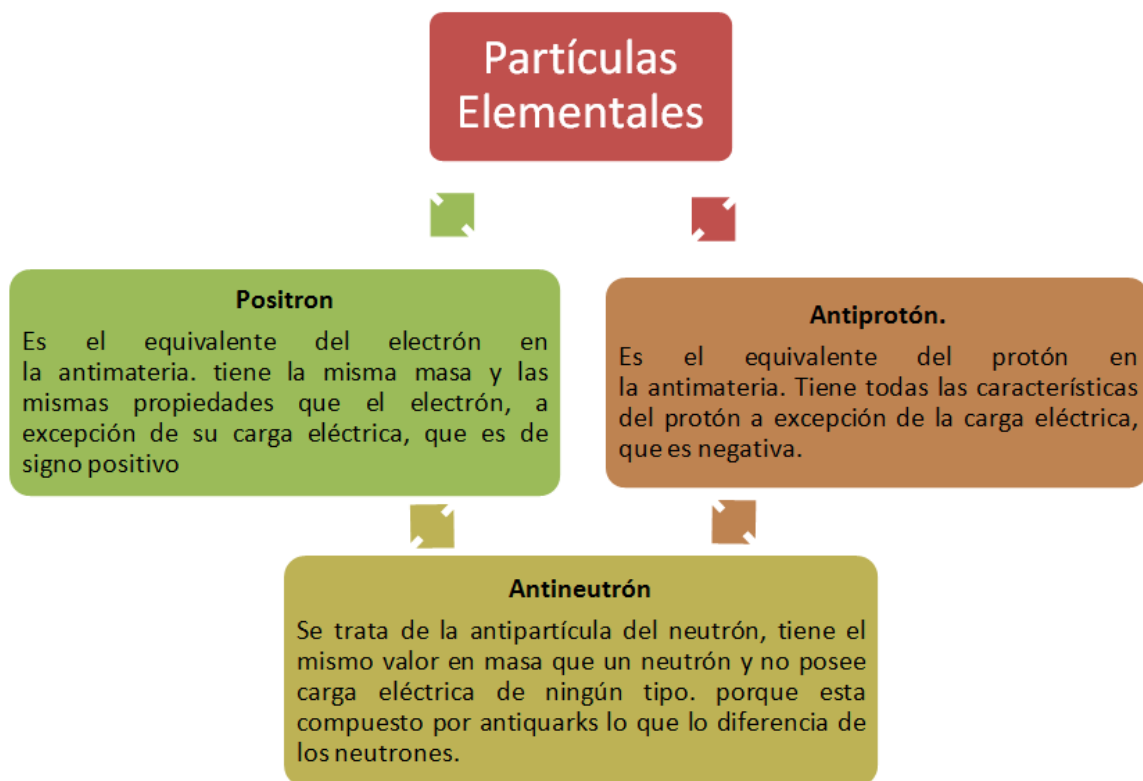


Partículas Elementales



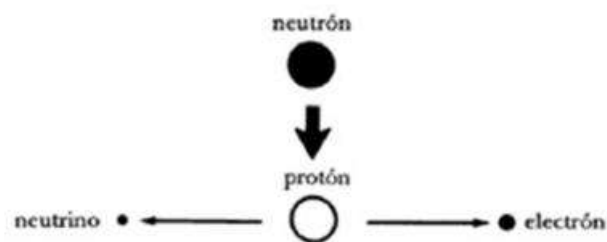
A pesar de lo que indica su nombre, un átomo no es indivisible, sino que está constituido por electrones, que giran alrededor de un núcleo formado por protones y neutrones. Al principio, los físicos pensaron que los elementos básicos del Universo eran estas tres partículas: electrón, protón y neutrón, y la partícula de la luz: el fotón. Pero el número de las partículas supuestamente elementales empezó a aumentar, primero lentamente y después, en forma alarmante...

Primero, con la teoría Dirac (permite calcular la función de onda de un electrón y de otras partículas elementales, tomando en cuenta todos los efectos relativistas), aparecieron en la escena los positrones, los antiprotones y los antineutrones. Incluso una partícula eléctricamente neutra como el neutrón tiene su antipartícula correspondiente.



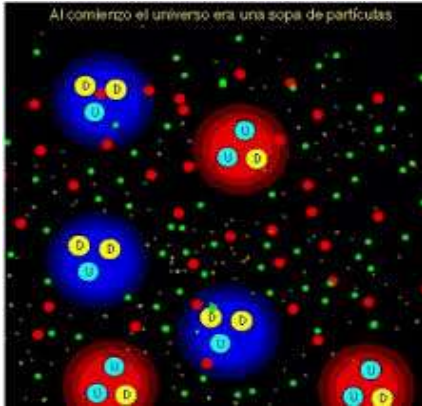
¿Cómo distinguir un neutrón de un antineutrón, si no tienen carga eléctrica que los diferencie?

La manera más simple es ponerlos en contacto ya que se aniquilan mutuamente produciendo dos fotones extremadamente energéticos. En cambio, un fotón no puede distinguirse de un anti-fotón, pues al ponerse en contacto no producen nuevos fotones, sino que prosiguen su existencia sin inmutarse (no tiene cambios): por esta razón, el fotón es una partícula que no posee antipartícula, o dicho más precisamente, es indistinguible de ella.



El decaimiento beta: es la transformación de un neutrón en un protón emitiendo un electrón y un neutrino (es una partícula carente de carga eléctrica y su masa es nula o muy pequeña). En 1930, surgió una pequeña alarma por lo que podría ser una violación de la ley de conservación de la energía y, particularmente, de la fórmula $E = mc^2$.

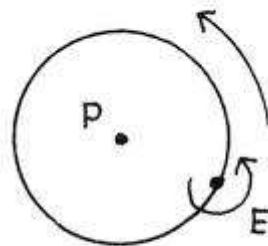
Partícula	Símbolo	Carga	Masa en Reposo
electron	e^- β^- e	-	0.510999
positron	e^+ β^+ $\bar{e}$	+	0.510999
proton	p	+	238.257
antiproton	$\bar{p}$	-	238.257
neutron	n	0	939.551
antineutron	$\bar{n}$	0	939.551
neutrino	ν	0	0
antineutrino	$\bar{\nu}$	0	0



El decaimiento beta es una reacción por la cual un neutrón se transforma en un protón, emitiendo un electrón; esta reacción es posible gracias a que la masa del neutrón es ligeramente superior a la del electrón, por lo que la diferencia de masa se transforma en la energía para crear el electrón emitido.

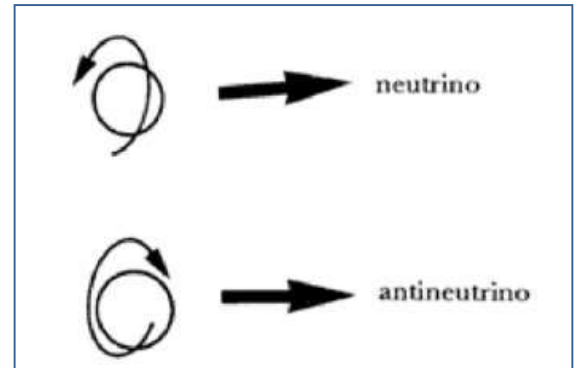
Sin embargo, al estudiar el decaimiento beta, los físicos se dieron cuenta que el electrón resultante poseía siempre menos energía de la que se esperaba. Se llegó a sospechar que la fórmula de Einstein estaba equivocada, pero en 1930 el físico Wolfgang Pauli propuso una solución: la energía faltante se la llevaba una partícula hasta entonces desconocida, sin carga eléctrica y con masa nula o extremadamente pequeña. Tal partícula fue bautizada **neutrino** y su existencia fue confirmada varios años después, salvándose así la ley de conservación de la energía.

El **neutrino** es una partícula muy curiosa; se sabe en la actualidad que hay por lo menos dos tipos de neutrinos (muy probablemente tres y quizás más), con sus respectivos antineutrinos. La masa del neutrino parece ser exactamente cero, por lo que esta partícula viaja siempre a la velocidad de la luz, tal como el fotón. A diferencia de otras partículas, los neutrinos no tienen ninguna interacción con los fotones, razón por la que un neutrino y un antineutrino no se aniquilan al chocar, pues no pueden producir un par de fotones.



¿Cómo distinguir entonces un neutrino de un antineutrino, si ninguno tiene carga eléctrica?

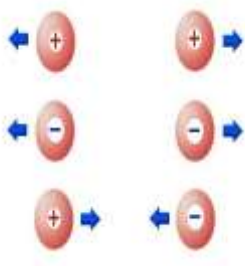
La respuesta es muy interesante: el neutrino, al igual que muchas otras partículas elementales, posee un momento angular, spin, o dicho en palabras más simples, gira sobre sí mismo. Lo que distingue un neutrino de un antineutrino es el sentido en el que giran. Vistas desde atrás con respecto a la dirección de su movimiento, un neutrino gira en sentido contrario al de las manecillas de un reloj y un antineutrino en el otro sentido. Sin embargo, podríamos pensar que si nos movemos más rápido que un neutrino, lo veríamos moverse en sentido contrario girando como si fuera un antineutrino...



Sentido de rotación de un neutrino y un antineutrino con respecto a la dirección de su movimiento.

¡Pero recordemos que los neutrinos se mueven a la velocidad de la luz, por lo que es imposible rebasarlos! Debido al límite natural que representa la velocidad de la luz, la distinción entre neutrinos y antineutrinos tiene un sentido físico muy claro.

Otras partículas siguieron apareciendo en escena. En 1935, el físico japonés Hideki Yukawa propuso la existencia de ciertas partículas, que llamaron **mesones**, para explicar la fuerza nuclear entre protones y neutrones. Los mesones fueron descubiertos una década después.

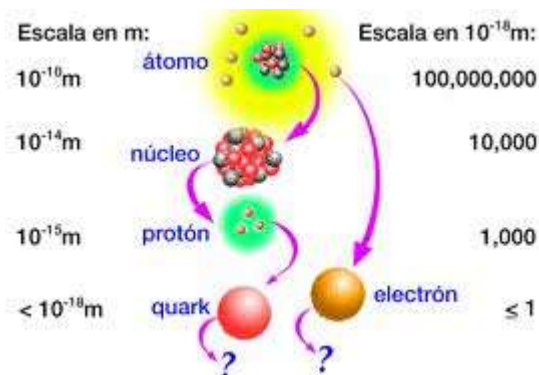


En los años cincuenta, los físicos habían descubierto todo un zoológico de partículas elementales con masas muy diversas, aunque casi todas eran inestables y se transformaban rápidamente en otras partículas. La única regularidad que se podía notar entre ellas era la carga eléctrica, que siempre es un múltiplo, positivo o negativo, de la carga del electrón.

Partículas Elementales								
Leptones	Quarks	u up	c charm	t top	Portadores de Fuerza	γ photon		
		d down	s strange	b bottom		g gluon		
		ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino		Z Z boson		
	e electron	μ muon	τ tau	W W boson				
			I	II		III		
	Tres Familias de Materia							

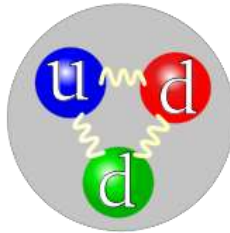
Parecía existir, pues, en la Naturaleza una unidad fundamental de carga eléctrica: el electrón posee una unidad negativa y el protón una unidad positiva; los mesones pueden tener tanto carga positiva como negativa; algunas partículas como el neutrón, el neutrino y el fotón, poseen carga cero, mientras que otras partículas más raras tienen dos o más unidades de carga.

Para poner un poco de orden en la familia de las partículas elementales, el físico estadounidense Murray Gell-Mann sugirió en los años sesenta que las partículas como los mesones (una partícula subatómica compuesta de spin entero), protones, neutrones y otras más pesadas están constituidas por partículas aún más elementales, a las que bautizó **cuark o quark**.



Así pues, Gell-Mann fue el que "inventó" los quarks porque él fue aún más allá que Mendeleev, ya que no sólo ordenó el espectro de los hadrones (hizo la tabla periódica de los elementos) sino que además introdujo el modelo más **exitoso** sobre su estructura interna, al postular que estos están formados por partículas puntuales a las que denominó quarks.

Para explicar el espectro conocido, Gell-Mann propuso que estos quarks debían existir en tres variedades distintas, a las que llamó up, down y strange y que debían poseer carga eléctrica fraccionaria respecto de la del electrón. El quark up está cargado positivamente con $2/3$ de la carga del electrón, mientras que los otros dos poseen una carga de $-1/3$ en las mismas unidades. Todos los bariones conocidos pueden entenderse como compuestos por tres de estos quarks, por ejemplo el protón está formado por dos quarks u y un d (y el neutrón por dos d y un u), mientras que los mesones se componen de un quark y un antiquark.

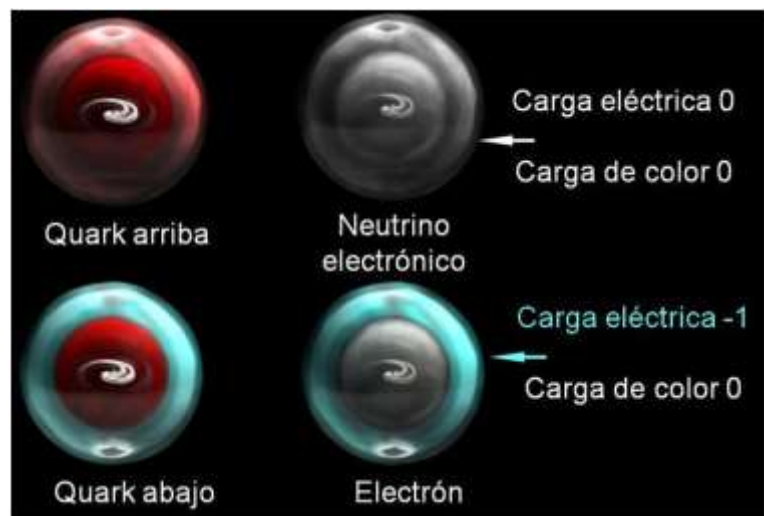


Un neutrón, compuesto por dos quark abajo (d) y un quark arriba (u).

Fueron nombrados arbitrariamente basados en la necesidad de nombrarlos de una manera fácil de recordar y usar, además de los correspondientes antiquarks. Las otras variedades de quarks: Strange, Charm, Top y Bottom son muy inestables y se desintegraron en una fracción de segundo después del Big Bang, pero los físicos de partículas pueden recrearlos y estudiarlos. Las variedades Up y Down sí se mantienen, y se distinguen entre otras cosas por su carga eléctrica.

Hay seis quarks, pero los físicos hablan usualmente de tres pares de quarks: Up/Down, Charm/Strange, y Top/Bottom. Para cada uno de estos quarks hay un correspondiente quark de antimateria o antiquark.

Los quarks tienen la inusual característica de tener carga eléctrica fraccionaria, de valor $2/3$ ó $-1/3$, a diferencia de la carga -1 del electrón, o de la carga $+1$ del protón. Los quarks también transportan otro tipo de carga llamada carga de color.

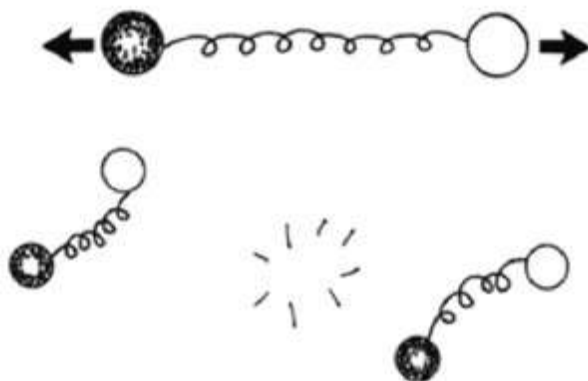


Aquí una caracterización de cada quark:



El modelo propuesto por Gell-Mann era muy ingenioso, y muchos datos experimentales lo confirmaban, excepto el hecho que nadie podía detectar un cuark. Durante años, los físicos trataron de encontrar cuarks aislados en estado natural, sin tener éxito, hasta que se dieron cuenta que los cuarks no pueden existir solos. La razón es que los cuarks se encuentran unidos entre sí con una fuerza enorme que, además, aumenta con la distancia. Al contrario de la fuerza eléctrica o la gravitacional, que disminuyen al aumentar la distancia entre los cuerpos que se atraen, los cuarks están ligados entre sí por una interacción que aumenta con la separación, tal como un resorte que, mientras más se estira, atrae con mayor fuerza.

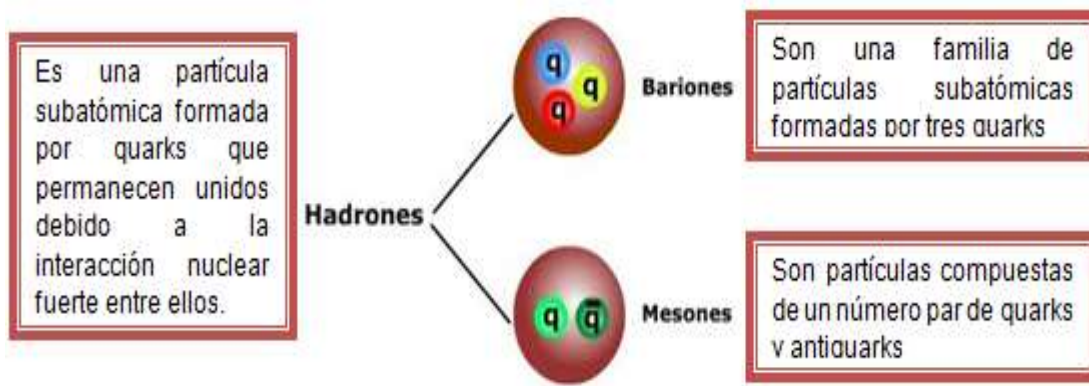
La analogía del resorte puede ilustrar la razón por la que los cuarks no existen aislados. Supongamos que queremos separar dos cuarks ligados entre sí; podemos estirar el resorte que los une más y más hasta que se rompe. Pero para romper un resorte, hay que invertir energía. En el caso de los cuarks esta energía es tan grande que puede transformarse en la masa de dos nuevos cuarks. El resultado es que, al romperse el resorte, se producen dos parejas de cuarks en lugar de dos cuarks aislados.



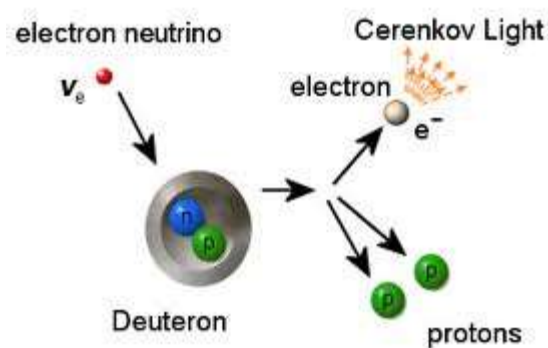
La interacción entre los cuarks es análoga a un resorte. La energía almacenada en el resorte permite crear un par de cuarks.

Hoy en día, los físicos piensan que los constituyentes básicos de la materia son los cuarks, por una parte, y los llamados leptones (partículas ligeras como el electrón y el neutrino) por la otra. Éstas se estudian en los aceleradores de partículas, donde alcanzan velocidades muy cercanas a la de la luz, gracias a las enormes cantidades de energías invertidas. Al chocar entre sí, las partículas forman nuevas partículas. La comprensión de estos fenómenos ha sido posible gracias a la unión de las dos grandes teorías de la física moderna.

En la naturaleza no se encuentran quarks aislados. Estos siempre se encuentran en grupos, llamados hadrones, de dos o tres quarks, conocidos como mesones y bariones respectivamente. Esto es una consecuencia directa del confinamiento del color. En el año 2003 se encontró evidencia experimental de una nueva asociación de cinco quarks, los pentaquark aunque su existencia aún es controvertida.

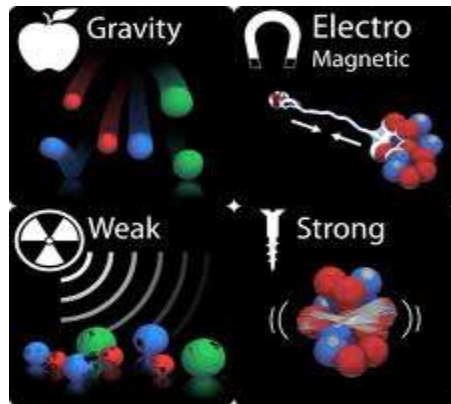


Los neutrinos son diminutas — verdaderamente diminutas— partículas de materia. Son tan pequeñas, de hecho, que pasan entre, e incluso a través de, los átomos sin interactuar con ellos en absoluto. Los neutrinos están por todas partes: Si empiezas a contar ahora, habrán pasado más de 100 trillones de ellos (esto es 10^{19}) a través de tu cuerpo cuando finalices este artículo. Aún así, sólo uno de esos 100 trillones de neutrinos probablemente interactuará con un átomo de tu cuerpo. El resto pasará siguiendo alegremente su camino.

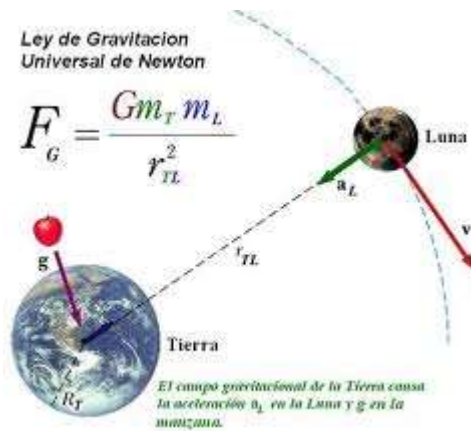


Fuerzas Fundamentales

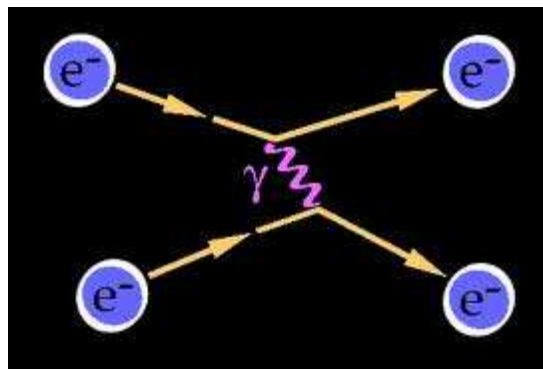
Fuerzas fundamentales son aquellas fuerzas del Universo que no se pueden explicar en función de otras más básicas. Las fuerzas o interacciones fundamentales conocidas hasta ahora son cuatro: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.



Gravitatoria: es la fuerza de atracción que un trozo de materia ejerce sobre otro, y afecta a todos los cuerpos. La gravedad es una fuerza muy débil y de un sólo sentido, pero de alcance infinito.



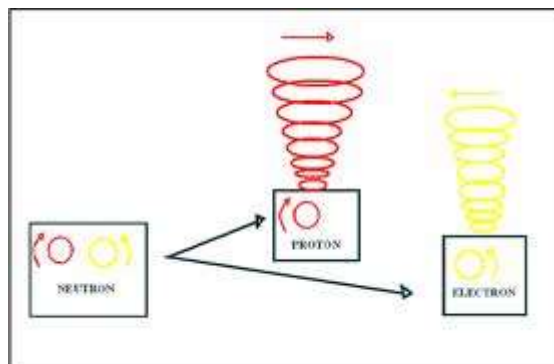
Fuerza electromagnética: afecta a los cuerpos eléctricamente cargados, y es la fuerza involucrada en las transformaciones físicas y químicas de átomos y moléculas. Es mucho más intensa que la fuerza gravitatoria, tiene dos sentidos (positivo y negativo) y su alcance es infinito.



Fuerza o interacción nuclear fuerte: es la que mantiene unidos los componentes de los núcleos atómicos, y actúa indistintamente entre dos nucleones cualesquiera, protones o neutrones. Su alcance es del orden de las dimensiones nucleares, pero es más intensa que la fuerza electromagnética.



Fuerza o interacción nuclear débil: es la responsable de la desintegración beta de los neutrones; los neutrinos son sensibles únicamente a este tipo de interacción. Su intensidad es menor que la de la fuerza electromagnética y su alcance es aún menor que el de la interacción nuclear fuerte.



Todo lo que sucede en el Universo es debido a la actuación de una o varias de estas fuerzas que se diferencian unas de otras porque cada una implica el intercambio de un tipo diferente de partícula, denominada partícula de intercambio o intermediaria. Todas las partículas de intercambio son bosones, mientras que las partículas origen de la interacción son fermiones (se caracterizan por tener espín semi-entero).

En términos muy sencillos, existen dos tipos básicos de partículas en la naturaleza: fermiones y bosones.

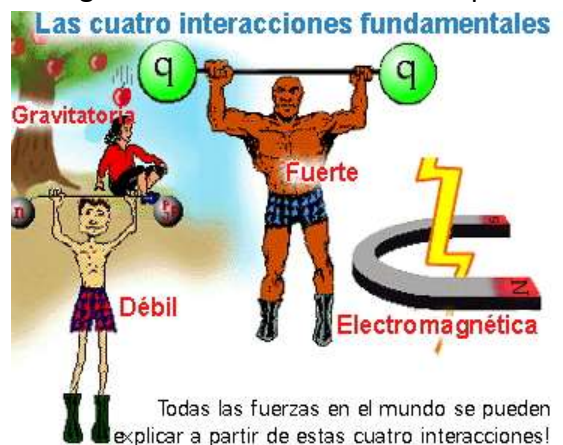
Los fermiones se caracterizan por tener un espín (espín o momento angular intrínseco se refiere a una propiedad física de las partículas subatómicas, por la cual toda partícula elemental tiene un momento angular intrínseco de valor fijo. Se trata de una propiedad intrínseca de la partícula como lo es la masa o la carga eléctrica) semi entero $1/2$, $3/2$. Existen dos tipos de fermiones: quarks y leptones.

Los bosones se caracterizan por tener un espín entero (0,1,2..).

Fermiones		Bosones	
Leptones Quarks	Spin $\frac{1}{2}$	1	Bosones portadores $\gamma W^+ W^- Z^0 g$
Bariones (qqq)	$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$	0, 1, 2, ...	Mesones (q $\bar{q}$)

En la actualidad, los científicos intentan demostrar que todas estas fuerzas fundamentales, aparentemente diferentes, son manifestaciones, en circunstancias distintas, de un modo único de interacción. El término "teoría del campo unificado" engloba a las nuevas teorías en las que dos o más de las cuatro fuerzas fundamentales aparecen como si fueran básicamente idénticas.

La teoría de la gran unificación intenta unir en un único marco teórico las interacciones nuclear fuerte y nuclear débil, y la fuerza electromagnética. Esta teoría de campo unificado se halla todavía en proceso de ser comprobada. La teoría del todo es otra teoría de campo unificado que pretende proporcionar una descripción unificada de las cuatro fuerzas fundamentales.



Hoy, la mejor candidata a convertirse en una teoría del todo es la teoría de supercuerdas. Esta teoría física considera los componentes fundamentales de la materia no como puntos matemáticos, sino como entidades unidimensionales llamadas "cuerdas". Incorpora la teoría matemática de supersimetría, que sugiere que todos los tipos de partícula conocidos deben tener una "compañera supersimétrica" todavía no descubierta. Esto no significa que exista una compañera para cada partícula individual (por ejemplo, para cada electrón), sino un tipo de partícula asociado a cada tipo conocido de partícula. La partícula hipotética correspondiente al electrón sería el selectrón, por ejemplo, y la correspondiente al fotón sería el fotino. Esta combinación de la teoría de cuerdas y la supersimetría es el origen del nombre de "supercuerdas".

Existen 4 tipos de interacciones fundamentales: **interacción nuclear fuerte**, **interacción nuclear débil**, **interacción electromagnética** e **interacción gravitatoria**. Casi toda la historia de la física moderna se ha centrado en la unificación de estas interacciones, y hasta ahora la interacción débil y la electromagnética se han podido unificar en la **interacción electrodébil**. En cambio, la unificación de la fuerte con la electrodébil es el motivo de toda la **teoría de la gran unificación**. Y finalmente, la teoría del todo involucraría esta **interacción electronuclear** con la gravedad.

La siguiente tabla nos ayuda a ver lo que el modelo estándar indica sobre las interacciones fundamentales:

Interacción	Gravitatoria	Electromagnética	Débil	Fuerte
Accionar	masa-energía	carga eléctrica	carga de sabor	carga de color
Partículas a las que afecta	todas	partículas con carga	leptones y quarks	quarks y gluones
Partículas mediadoras	gravitón	fotón	bosones W y Z	<u>gluón</u>
Intensidad para dos quarks si están a 10^{-18} m	10^{-41}	1	0.8	25
Intensidad para dos quarks si están a 3×10^{-17} m	10^{-41}	1	10^{-4}	60
Intensidad para dos protones en el núcleo	10^{-36}	1	10^{-7}	no aplicable para hadrones

Glosario:

Antineutrón: Es la antipartícula del neutrón, la misma masa que un neutrón, y ninguna carga eléctrica neta.

Electrón: Un electrón es una partícula elemental estable, cargada negativamente, que constituye uno de los componentes fundamentales del átomo. Forma parte del grupo de los leptones.

Gravitatoria: Es la fuerza de atracción que un trozo de materia ejerce sobre otro, y afecta a todos los cuerpos.

Neutrón: Es una partícula subatómica contenida en el núcleo atómico. No tiene carga eléctrica neta, a diferencia de carga eléctrica positiva del protón. El número de neutrones en un núcleo atómico determina el isótopo de ese elemento.

Protón: Un protón es una partícula cargada positivamente que se encuentra dentro del núcleo atómico.

Referencias Bibliográficas:

<http://aportes.educ.ar/fisica/nucleo-teorico/recorrido-historico/las-particulaselementales-de-la-materia/>

<http://www.librosmaravillosos.com/relatividadparaprincipiantes/capitulo06.html>

<http://www.cienciakanija.com/2007/10/18/%C2%BFque-es-un-neutrino/>

<http://www.astromia.com/astronomia/fuerzasfundamentales.htm>