

## Leptones y Quarks:

En la década de los cuarenta del siglo XX, la comprensión de la estructura última de la materia que habían adquirido los físicos les llevaba a postular la existencia de cuatro tipos de ladrillos elementales. Tres de ellos, protón, neutrón y electrón (esos podían explicar todos los elementos químicos), habían descubierto experimentalmente; el cuarto, el neutrino, era un partícula esquiva que había sido propuesta por Pauli para justificar la naturaleza de las desintegraciones nucleares débiles y no sería descubierta hasta 1956. Las cuatro partículas eran fermiones de espín  $1/2$ , y por ello se suponía que eran constituyentes elementales de la materia. Obedecían el principio de Pauli y al formar estados ligados multifermionicos, cada uno adoptaba un número cuántico diferente, haciendo posible la ocupación de niveles cuánticos que era característica de la materia. Protón y neutrón sentían la fuerza nuclear fuerte y formaban estados ligados que originaban el núcleo atómico. El electrón se ligaba al núcleo (por fuerzas electromagnéticas que sentía en proporción a su carga, al igual que el protón) formando átomos. El neutrino, sin carga eléctrica, solo interaccionaba con las otras tres partículas por medio de las fuerzas nucleares débiles.

Con el advenimiento de los aceleradores de partículas y rayos cósmicos se comenzaron a describir, encontrar una gran cantidad de partículas más. Tal es el caso que para finalizar la década del 1950, había más de 100 partículas nuevas que habían sido descubiertas y en ese momento los físicos no tenían claro el papel de todas las partículas y como se podían explicar de manera sencilla. Para intentar resolver este problema en 1960, el físico norteamericano Murray Gell-man propuso que si se plantea la existencia de tres partículas diminutas y se suponía que la generalidad de las partículas conocidas estaban compuestas por estas tres partículas diminutas, entonces se podían organizar-ordenar las partículas conocidas de una manera simple en un pequeño conjunto de familias donde todas las partículas que se encontraban en una familia tenían propiedades similares. De esta forma era suficiente para explicar un conjunto de familias, en vez de explicar todas las partículas por separado.

Las partículas que propuso Gell-Man son:  
 $u$  (*up, arriba*),  
 $d$  (*down, abajo*) y  
 $s$  (*strange, extraño*) llamados quarks, también llamados sabores, para construir los multipletes hadrones (ver tabla). El quark  $u$  tiene carga  $Q=2/3$  y los quarks  $d$  y  $s$   $Q=-1/3$ . Los antiquarks, carga opuesta.

Mesones			Bariones		
J = 0	Quarks	Masa	J = 1/2	Quarks	Masa
$\pi^0$	$u\bar{u}, d\bar{d}$	135	$p$	$uud$	938
$\pi^+$	$u\bar{d}$	140	$n$	$udd$	939
$\pi^-$	$d\bar{u}$	140	$\Lambda^0$	$uds$	1115
$K^+$	$u\bar{s}$	493	$\Sigma^+$	$uus$	1189
$K^-$	$s\bar{u}$	493	$\Sigma^0$	$uds$	1192
$K^0$	$d\bar{s}$	498	$\Sigma^-$	$dds$	1197
$\bar{K}^0$	$s\bar{d}$	498	$\Xi^0$	$uss$	1314
$\eta$	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$	547	$\Xi^-$	$dss$	1321
$\eta'$	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$	958			
J = 1	Quarks	Masa	J = 3/2	Quarks	Masa
$\rho^0$	$u\bar{u}, d\bar{d}$	775	$\Delta^{++}$	$uuu$	1232
$\rho^+$	$u\bar{d}$	775	$\Delta^+$	$uud$	1232
$\rho^-$	$d\bar{u}$	775	$\Delta^0$	$udd$	1232
$\omega$	$u\bar{u}, d\bar{d}$	782	$\Delta^-$	$ddd$	1232
$K^{*+}$	$u\bar{s}$	892	$\Sigma^{*+}$	$uus$	1383
$K^{*-}$	$s\bar{u}$	892	$\Sigma^{*0}$	$uds$	1384
$K^{*0}$	$d\bar{s}$	896	$\Sigma^{*-}$	$dds$	1387
$\bar{K}^{*0}$	$s\bar{d}$	896	$\Xi^{*0}$	$uss$	1532
$\phi$	$s\bar{s}$	1020	$\Xi^{*-}$	$dss$	1535
			$\Omega^-$	$sss$	1672

Hadrones a partir de tres tipos de quarks:  $u$ ,  $d$  y  $s$ . Las cargas eléctricas de los quarks se suman. Masas en  $\text{MeV}/c^2$ .

La palabra quark no es de origen griego, sino de otra ocurrencia de Gell-Man, aunque según parece tomó prestada su ortografía de una novela de James Joyce. En 1969 Gell-Man recibe el premio Nobel debido a que en 1967 se comprueba experimentalmente la evidencia de los quarks.

### Hadrones:

Los **hadrones** conforman las partículas pesadas que experimentan la interacción fuerte, de allí su nombre, cada partícula está formada por quarks. Una sub familia son los **bariones**, partículas de spin semi-entero o fermiones. Los bariones los integran los nucleones, que son partículas que están en el núcleo atómico, que tienen masas parecidas, y los hiperones, que no están en el núcleo y son más pesadas que los nucleones.

Los miembros más conocidos son los protones y neutrones que están compuestos por tres quarks. Ejemplo de ello, es el caso del protón que tiene dos quarks u y un quark d; por el contrario, el neutrón tiene dos quarks d y un quark u. (figura 2).

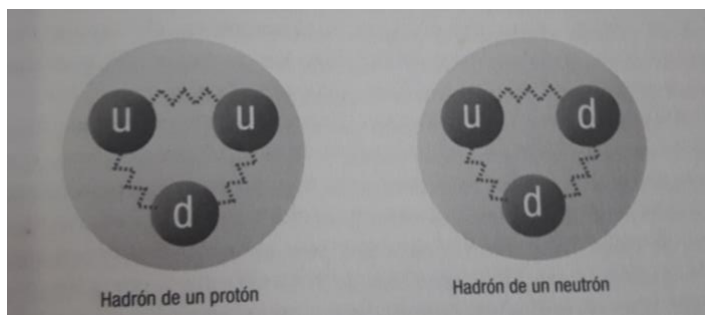


Figura 2: Los quarks componen hadrones y se mantienen unidos por la interacción nuclear fuerte. En la imagen de la izquierda, quarks en el interior de un protón (up, up y down) y, a la derecha, de un neutrón (up, down y down)..

En tanto que, la combinación de un quark y un anti-quark forman la sub familia de los **mesones**; son bosones o partículas de spin entero, con masas intermedias entre bariones y los leptones. Por ejemplo, el mesón pi, que está formado por un quark u y un anti quark d. Los mesones son partículas inestables y decaen en otras partículas. Un ejemplo sería el decaimiento de los mesones: una partícula pi positiva decae en un muón positivo y un neutrino, y en el segundo caso una pi negativa decae en un muon negativo y un antineutrino.

Los experimentos mostraron que las fuerzas que contienen los quarks se debilitan cuando los quarks están juntos, de modo que dentro de los confines de un barión/hadrón, están esencialmente libres para moverse. Esta condición se conoce como "libertad asintótica". Cuando dos quarks se separan, la fuerza atractiva entre ellos se hace más fuerte con la distancia, la energía asociada crece tanto que es lo suficientemente grande para formar un par quark-antiquark. Esta condición se conoce como "confinamiento".

Los modelos actuales de la física de partículas describen la fuerza nuclear fuerte entre hadrones como resultado de una fuerza similar a la que actúan entre quarks

El Modelo Estándar tiene 3 generaciones de partículas con cuatro tipos de partículas. Hay pruebas experimentales convincentes de que no existe una cuarta generación.

La primera generación está formada por dos quarks: up y down, electrón y neutrino electrónico. El quark up posee  $+2/3$  de carga eléctrica y spin  $1/2$ , en tanto que el quark down posee carga eléctrica  $-1/3$  y spin  $1/2$ . Permite explicar toda la materia conocida incluidos nosotros.

Los elementos de la segunda generación y tercera generación tienen una vida muy breve que pueden ser del orden de microsegundos y solamente se han observado en los rayos cósmicos y en laboratorios.

Los miembros de la segunda generación son los quarks strange y charm, el muon y su neutrino. El muon es una partícula similar al electrón, con una carga eléctrica negativa, pero su masa es 200 veces mayor que la masa del electrón.

Y los de la tercera generación son los quarks top y bottom, la partícula tau y su neutrino. El tau es una partícula también similar al electrón, pero su masa es más 3.500 veces mayor que la masa del electrón.

A su vez, todas estas partículas tienen su contraparte denominada antipartícula. Si se encuentran, ambas desaparecen y quedará como remanente dos quantum de energía equivalente a sus masas. Ejemplo de ello es el positrón, que es la antipartícula del electrón. Si se encuentran, se aniquilan y quedan dos fotones de 0,511 MeV cada uno. Al igual que los seis quarks, existen sus anti quarks, y los neutrinos tienen su partícula que los aniquila que son los antineutrinos.

Uno de los interrogantes esenciales de la física es lo que llamamos masa original. Nadie sabe por qué las partículas de las tres generaciones tienen masas crecientes, y tampoco qué es lo que decide que algunas partículas no tengan masa.

Las familias de partículas pueden ser observadas en la figura "Modelo Estándar de Partículas Elementales". FIGURA 2. Modelo Estándar de Partículas Elementales.

QUARKS	mass → charge → spin →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>u</b> up	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>c</b> charm	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>t</b> top
		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>d</b> down	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>s</b> strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>b</b> bottom
		$0.511 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $1/2$ <b>e</b> electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $1/2$ <b><math>\mu</math></b> muon	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ $-1$ $1/2$ <b><math>\tau</math></b> tau
		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ $0$ $1/2$ <b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ $0$ $1/2$ <b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ $0$ $1/2$ <b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino
LEPTONS				

Columnas I, II y III, representan cada una de las tres generaciones de partículas. La cuarta columna representa a las partículas portadoras de interacción. (Partícula elemental, 2015).

Leptones: partículas que están solo sometido a todas las interacciones sin contar con la fuerza fuerte o interacción fuerte o fuerza color. Son los fermiones de spin  $1/2$  y pueden estar cargados como el electrón, muon y tau o ser neutros, como los neutrinos.

