

I / III Partículas elementales: Modelo Estándar (1974)

El Modelo Estándar parte de la existencia de tres clases de partículas:

1 **Partículas materiales**, (como electrones, protones, y quarks).

2 **Partículas portadoras de fuerzas**, (como los fotones).

3 **Partículas mediadoras**.

Todas las partículas observadas pueden ser explicadas con las partículas portadoras de fuerza, y las de materia (6 Leptones, 6 Quarks y sus correspondientes antipartículas).

En la física clásica, la fuerza entre dos partículas se transmite en el espacio a través de un campo. Un campo engendrado por una partícula, se propaga y actúa sobre otra partícula. La teoría cuántica de campos nos indica que para que haya interacción, primero ha de haber un intercambio de algo, este algo es un **cuanto de campo** – Una partícula característica de ese campo-. Por tanto, una interacción no se ejerce entre dos partículas si no hay una tercera que “mediatiza” la interacción.

A la tercera partícula, la mediadora, se le denomina **Bosón de referencia** de la interacción; al no poder ser detectada directamente, se dice que es virtual.

El alcance de una fuerza será tanto más débil cuanto mayor masa tenga el bosón de referencia de la interacción.

La partícula que emite la primera partícula, conserva su energía al mismo tiempo que la transmite a la tercera partícula –la receptora -. El que una partícula se desintegre en sí misma y en otra, es tolerado por la mecánica cuántica, pero a condición de que se realice en un tiempo corto; el $T \downarrow$ cuanto \uparrow la masa; si es pesado, no tiene tiempo de ir lejos, el alcance de la fuerza es corto.

La intensidad de la interacción se caracteriza por la **Constante de acoplamiento** α , la cual es un número adimensional, que mide la eficacia relativa de la interacción; siendo ésta tanto

mayor cuanto más intensa es la fuerza en cuestión. $\alpha = \frac{e^2}{2 \cdot h \cdot c} = \frac{1}{137,036}$

Unidades:

Energía: El eV es la cantidad de energía en movimiento que adquiere una partícula con la unidad de carga cuando atraviesa una ddp de 10^6 Voltios; $1 \text{ MeV} = 1 \cdot 10^6 \text{ eV}$ (2)

$1 \text{ Jul.} = 10^7 \text{ ergios} = 0,239 \text{ cal.}$

$1 \text{ Cal.} = 4,18 \text{ julios}$

$1 \text{ eV} = 1,602192 \cdot 10^{-19} \text{ julios}$

$1 \text{ eV} = 1,602192 \cdot 10^{-12} \text{ ergios}$

$1 \text{ eV} = 1,07 \cdot 10^{-9} \text{ uma;}$

$1 \text{ uma} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ gramos}$

$1 \text{ uma} = 931 \text{ MeV}$

Masa: Como $E = m \cdot c^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} \Rightarrow m = \frac{\text{MeV}}{c^2}$; Con $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Longitud: Fermi siendo $1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m.}$

Tipos de fuerzas fundamentales:

Constante de acoplamiento α , mide la eficacia relativa de la interacción.

En el Modelo Estándar se considera cuatro interacciones:

Interacciones

Interacción Gravitatoria $\alpha \cong 10^{-38}$

- Carga generalizada = **masa**.
- Actúa exclusivamente sobre la masa de una partícula.
- La interacción es de largo alcance.
 - La interacción es colectiva: todas las partículas de la tierra atraen a todas las partículas de un cuerpo, en la misma dirección.
 - La partícula mediadora es el "**gravitón**" –aún no descubierto-, con masa cero, y espín 2. (1)

Interacción Electromagnética

La interacción eléctrica es la fuerza con la cual dos partículas cargadas se repelen si son del mismo signo, o se atraen si son de signo contrario.

La interacción magnética es la fuerza que experimenta una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético. El campo magnético es generado por las partículas cargadas en movimiento.

Las fuerzas eléctricas y magnéticas están entrelazadas formando la interacción electromagnética (Maxwell 1873)

Propiedades:

- La interacción actúa de una forma universal sobre la carga eléctrica.
- Es de largo alcance.
- Carga generalizada $\alpha = \frac{e^2}{2 \cdot h \cdot c} = \frac{1}{137,036}$. La interacción es bastante débil
- La partícula mediadora de esta interacción es el "**fotón**".
Fotón: masa = 0, carga eléctrica = 0 y espín = 1

Interacción Fuerte $\alpha \cong 1$

Los protones dentro del núcleo se repelen entre sí debido a que tienen cargas eléctricas del mismo signo. Sin embargo, el hecho de permanecer unidas implica que hay otra fuerza mucho mayor que las mantiene unidas, la interacción fuerte.

Propiedades:

- Actúa solamente entre partículas **Hadrones** - Hadrón es el nombre colectivo de las partículas sensibles a la interacción fuerte, incluye a **Bariones y Mesones**-.
- Alcance $\cong 1 \cdot 10^{-13}$ cm. –Núcleo atómico ligero-.
- La interacción es fuerte. Bajo su influencia las partículas no pueden desintegrarse.
- Los mediadores son los Gluones.
- Carga generalizada: **El Color**

Interacción Débil

Es la responsable de que muchas partículas y también muchos núcleos sean inestables –desint. β -.

Puede provocar que una partícula se transforme en otra partícula relacionada por emisión de un electrón y un neutrino.

- Hasta 1970 se conocía que la interacción actúa universalmente, tenía un alcance corto y era muy débil.
- Entre 1970 y 1980: Los mediadores son W^+, W^- , el fotón, con un espín = 1,
Son muy pesados y están cargados.
El mediador Z^0 , responsable de que los neutrinos puedan colisionar con otras partículas sin cambiar su identidad.

- $\alpha \cong \frac{1}{137} \cdot 10^{-4}$

- Carga generalizada = La carga débil

Partículas

Barión: Nombre común de las partículas sensibles a la interacción fuerte. Tienen un espín igual a $1 + \frac{1}{2}$ y están formadas por 3 quarks.

Número Bariónico B : $B = n^{\circ} \text{ de Bariones} - n^{\circ} \text{ antibariones}$

El total de B es constante, B se conserva.

Bariones: $B = 1$

Antibariones $B = -1$

Mesones $B = 0$

Bosón: Nombre común de las partículas de espín entero o nulo, que no obedece al principio de exclusión de Pauli –pe. fotón-.

Formado por un número par de Fermiones -partículas con espín impar-

El núcleo de un átomo es un Fermión o un Bosón según que la suma de los protones y neutrones sea par o impar.

Su comportamiento no es individual como los fermiones –electrones- sino colectivo.

Los mediadores de las cuatro interacciones fundamentales – gravitón, fotón, W^+ , W^- , Z^0 y Gluones- son bosones elementales.

El bosón de Higgs – aún no encontrado -, explicaría como los bosones W^+ , W^- y Z^0 han adquirido masa.

$$\text{masa} \cong \frac{m_{\text{Protón}}}{100}; \text{ Alcance} \cong \frac{\text{Diámetro Protón}}{100} \cong 2 \cdot 10^{-18}$$

Color L: Tanto los quarks como los gluones son partículas con carga de color. La fuerza color, es la fuerza por la cual se atraen los quarks.

Dos o mas quarks, cercanos entre sí, intercambian gluones, creandoun “campote fuerza de calor” que liga entre sí los quarks. Existen 3 cargas de color y 3 de anticolor. Los quarks cambian constantemente su carga de color mientras interactúan.

Cada quark tiene 3 cargas de color y cada antiquark uno de las tres cargas complementarias (anticolor).

Los gluones transportan pares color7anticolor no necesariamente del mismo color dando 9 combinaciones posibles de pares – se elimina una por razones de simetría – con lo cual quedarán 8.

Quark \Rightarrow Color; Antiquark \Rightarrow Anticolor

Gluón \Rightarrow Color/Anticolor

Conservación de la Carga de Color:

Cuando un quark emite o absorbe un Gluón, el color del quark debe cambiar de tal modo que se conserve la carga de color.

Encanto: Número cuántico que indica el número de quarks con encanto que tiene un objeto.

Fermión: Nombre común de las partículas con espín semientero: $1+\frac{1}{2}$, $2+\frac{1}{2}$,...Es decir: $n+\frac{1}{2}$.

Principio de exclusión de Pauli: Dos fermiones del mismo tipo no pueden estar en la misma posición.

La fuerza entre fermiones puede ser de atracción o repulsión.

Los quarks y Leptones son fermiones.

No les afecta la interacción fuerte.

Sí les afecta la interacción débil.

Sí les afecta la interacción electromagnética si están cargados.

Fotón: Cuanto de energía de la radiación electromagnética –luz- con espín 1.

Masa = nula. Alcance = ∞ .

Gluón: Cuanto de energía de la interacción fuerte; partícula con espín 1 que transmite la interacción fuerte entre los quarks. Tiene 8 posibles estados coloreados.

Alcance \cong radio del protón.

Gravitón: Cuanto de energía de las ondas gravitatorias; transmite la fuerza gravitatoria
Espín = 2. Alcance = ∞ ; Masa = nula.

Hadrón: Es el nombre colectivo de las partículas sensibles a la interacción fuerte, incluye a Bariones – formados por 3 quarks- y Mesones – formado el un par quark/antiquark -.

Kaón: Es el mesón mas ligero ($m \cong 500$ Mev.) que contiene el quark extraño s , o su antiquark \bar{s} . Espín: n^0 entero o entero + $1/2$; $L = r \wedge P$; $L = K \cdot \frac{h}{2 \cdot \pi}$

Puede ser neutro o estar eléctricamente cargado.

Clases: k^+ , K^- , K^0

Leptón: Partícula insensible a la interacción fuerte y con espín $1/2$. -Pe.:el electrón-
Masa Leptón < masa del Mesón < masa del Barión

Están afectados por la Interacción Débil.

Si están cargados les afectaría la Interacción Electromagnética.

Número Leptónico L: $L = n^0$ de leptones – n^0 antileptones

Mesón: Partícula con espín entero, sensible a la interacción fuerte. Está formada por un quark y un antiquark.

Neutrino: Partícula muy ligera, posiblemente sin masa, eléctricamente sin carga y con espín $1/2$. No es sensible a la interacción fuerte. Pertenece a la familia de los Leptones. Solo interaccionan con otras partículas a través de la I. Débil. Pueden viajar a través del espacio sin disminuir su velocidad ni variar su dirección.

Pión: Partícula con masa comprendida entre la del electrón y la del protón. Transmite la interacción fuerte entre hadrones. Tiene espín = 0 y puede estar cargada eléctricamente o ser neutra.
 $m \approx 140 \text{ MeV}$; Si $V \uparrow \Rightarrow \uparrow \text{ masa}$; Clases: π^+ , π^- , π^0

Quark: -1964- Elemento constitutivo de los hadrones. Un quark es un fermión con espín $\frac{1}{2}$ que aparece solamente en múltiplos de tres o ligado a un antiquark, se conocen 6 especies:

U: up, carga Electromag. $+\frac{2}{3}$
 D: down, " " $-\frac{1}{3}$

S: strange (extraño) " $-\frac{1}{3}$
 C: charm, (encanto) " " $+\frac{2}{3}$

B: bottom " " $-\frac{1}{3}$
 T: top " " $+\frac{2}{3}$

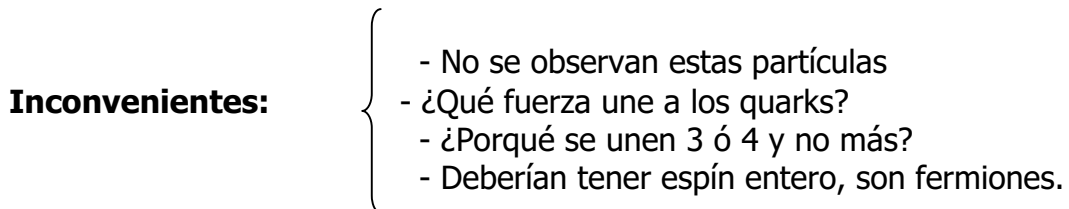
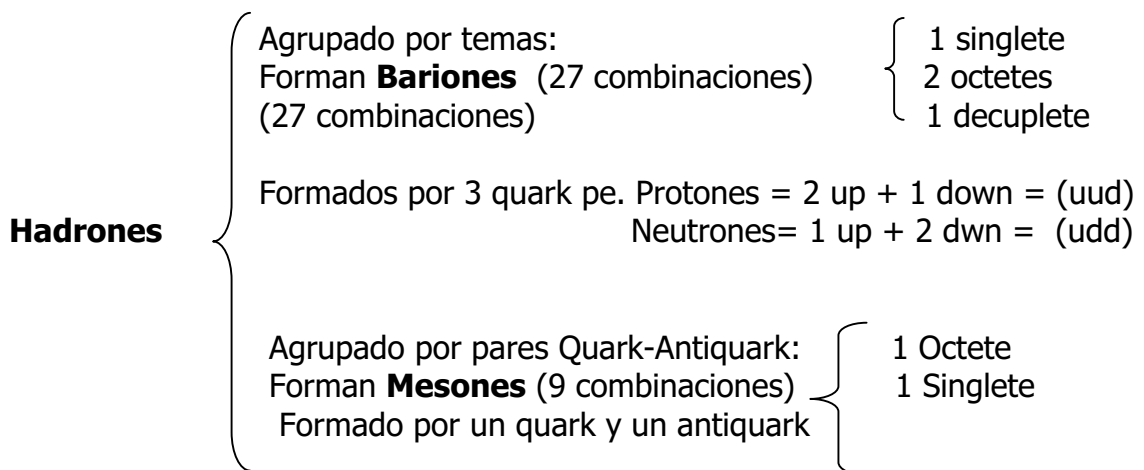
- Son partículas con carga eléctrica fraccionaria.
- Nunca están solos, por lo que no se observan directamente cargas fraccionarias.
- Forman las partículas compuestas llamadas Hadrones.
 La suma de las cargas son siempre un n° entero.
- Los quarks individuales llevan carga de color, los hadrones son de color neutro.

Generación: Tanto los quarks como los leptones se clasifican en tres conjuntos diferentes llamadas **generación de partículas**.

Una generación es un grupo de partículas formado por un quark y un leptón de cada uno de los tipos de carga. Toda la materia visible está formada por materia de la primera generación: up, down y e^- .

Las partículas de 2ª y 3ª generación son inestables y decaen hacia partículas de la 1ª generación.

Generación	Quarks	+	Leptones
I	up, down	+	ν_e = Neutrino e^- , e^- (electrón)
II	charm, strange	+	μ_μ = Neutrino μ , μ (muón)
III	top, bottom	+	μ_τ = Neutrino τ , τ (Tau)



Espín **I** : Cantidad de movimiento rotacional de una partícula. ; $L = r \wedge P$;

$L = K \cdot \frac{h}{2 \cdot \pi}$, con $h = 6,626 \dots 10^{-34}$ j.s Puede ser un entero: 0, 1, 2, 3, ... o

semientero: 1/2, 3/2, 5/2,

Si el espín es par, la fuerza entre cargas iguales es atractiva y entre cargas opuestas repulsiva.

Si el espín es impar se cumple la inversa.

Isoespín **I₃** :

Tanto el protón como el neutrón serían la misma partícula llamada nucleón pero que rotaran en direcciones opuestas en el mismo espacio interno (espacio de isoespín).

Número cuántico que se conserva en los choques.

Existen familias de partículas con la misma masa e iguales propiedades de interacción, pero difieren en la carga. Estas familias se llaman "multiplotos" (2I+1). Multiplete del nucleón = $\frac{1}{2} \Rightarrow 2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2$ estados los cuales serían el protón y el electrón.

El mesón: I=1 sus estados serían: $2 \cdot 1 + 1 = 3$ y son π^+ , π^- , π^0

Ley de conservación:

Extrañeza = **S**:

$S = n^{\circ} \text{ antiquarks "extraños"} - n^{\circ} \text{ quarks "extraños"}$

La colisión solo es posible si:



$S_A + S_B$	$= S_C + S_D$	Conservación de la Extrañeza
$E_A + E_B$	$= E_C + E_D$	Conservación de la energía
$P_A + P_B$	$= P_C + P_D$	Conservación del momento
$I_{3(A)} + I_{3(B)}$	$= I_{3(C)} + I_{3(D)}$	Conservación del momento de Rotación.

Bibliografía:

- (1) Étienne Klein: Las partículas elementales. Colección Dominós. Círculo de Lectores, S.A. Barcelona 1994
- (2) Sears zemansky: Física. Aguilar 5ªed. Madrid 1973
- (3) Gerard't Hooft: Partículas elementales. Drkontos Ed. Crítica, S.L. Barcelona 2001
- (4) Francisco J. Ynduráin. Electrones, Neutrones y quarks. Drakontos bolsillo, 9. Ed.Crítica. 2ª ed., Barcelona 2006