

PARTÍCULAS ELEMENTALES

1.- INTERACCIONES BÁSICAS

Existen cuatro tipos de interacciones básicas:

- Fuerte (alcance del orden de fermis (10^{-13} cm))
- Débil (alcance inferior a 10^{-17} m = 10^{-15} cm)
- Electromagnética (alcance infinito)
- Gravitatoria (alcance infinito)

Bosones de campo:

- g (gluón¹): interacción fuerte
- W^{\pm}, Z^0 : interacción débil
- γ (fotón): interacción electromagnética
- G (gravitón²): interacción gravitatoria

Se considera que toda la materia de la naturaleza está formada por sólo dos familias de partículas elementales, los leptones y los quarks.

Todas las partículas con **masa** experimentan la fuerza debida a la interacción gravitatoria.

Todas las partículas con **carga eléctrica** experimentan la fuerza debida a la interacción electromagnética.

La “carga” asociada a la interacción débil se llama **sabor**. Los quarks y los leptones tienen sabor y experimentan la interacción débil. Los tiempos de desintegración por vía de la interacción débil son del orden de 10^{-10} s.

La “carga” asociada a la interacción fuerte se llama **color**³. Los quarks y los gluones tienen color y experimentan la interacción fuerte. Los hadrones (bariones y mesones) experimentan una interacción fuerte residual que resulta de la interacción fuerte fundamental entre los quarks que forman los hadrones. Los tiempos de desintegración por esta vía son del orden de 10^{-23} s. Por tanto, ocurre entre protones y neutrones, es una interacción atractiva, y es responsable de que protones y neutrones formen núcleos atómicos. Esta interacción tiene un alcance del orden de 1 fm y tiene una dependencia complicada con la distancia, ya que depende de la orientación de los espines, de la energía y del momento angular.

2.- PARTÍCULAS FUNDAMENTALES

Existen dos familias de partículas fundamentales, leptones y quarks, que contienen seis miembros cada una. Se admite que estas partículas no tienen estructura interna.

¹ Hay ocho tipos

² Bosón de espín 2 y masa nula; No detectado experimentalmente.

³ No significa que tengan color sino que se utiliza esta nomenclatura como una forma de distinguir una propiedad característica de estas partículas al estudiar el tipo de fuerzas por las que se unen o se rechazan. Los tres colores que se usan para denominar o distinguir a los quarks son rojo, azul y verde; algunos físicos cambian este último por el amarillo.

Leptones	$\left\{ \begin{array}{l} e^- \text{ (electrón)} \\ \nu_e \text{ (neutrino electrónico)} \\ \mu^- \text{ (muón)} \\ \nu_\mu \text{ (neutrino muónico)} \\ \tau^- \text{ (tau)} \\ \nu_\tau \text{ (neutrino tauónico)} \end{array} \right.$	Quarks	$\left\{ \begin{array}{l} u \text{ (up, arriba)} \\ d \text{ (down, abajo)} \\ s \text{ (strange, extraño)} \\ c \text{ (charmed, encanto)} \\ t \text{ (top, cima (verdad))} \\ b \text{ (bottom, fondo (belleza))} \end{array} \right.$
----------	---	--------	---

Fermiones: partículas de espín semientero ($1/2$ ó $3/2, 5/2, \dots$): obedecen el principio de exclusión de Pauli y la estadística de Fermi-Dirac.

Los **leptones** son fermiones de espín $1/2$. El electrón, muón y tau tienen masa, carga eléctrica y sabor, pero no color, de modo que participan en las interacciones gravitatoria, electromagnética, y débil, pero no en la fuerte. Los neutrinos tienen sabor, pero no carga eléctrica ni color.

Los **quarks** también son fermiones de espín $1/2$. Participan de las cuatro interacciones y están confinados en los hadrones (mesones y bariones).

Bosones: partículas de espín entero: no obedecen el principio de exclusión de Pauli y obedecen la estadística de Bose-Einstein.

Bosones de campo
Bosón de Higgs⁴

3.- HADRONES

Los hadrones son partículas compuestas formadas por quarks. Hay dos tipos: bariones y mesones. Los bariones son fermiones de espín semientero y constan de tres quarks. Los mesones poseen espín cero o natural y constan de un quark y un antiquark. Los hadrones interactúan entre sí por vía de la interacción residual fuerte.

4.- LEYES DE CONSERVACIÓN

Algunas magnitudes tales como la energía, cantidad de movimiento, carga eléctrica, momento angular, número de bariones, y cada uno de los tres números de leptones se conservan estrictamente en todas las reacciones y desintegraciones. Otras, como la extrañeza y el encanto, se conservan en las reacciones y desintegraciones asociadas a la interacción fuerte, pero

Hadrones	-Bariones	Nucleón	$\left\{ \begin{array}{l} p \text{ (protón)} (uud) \\ n \text{ (neutrón)} (udd) \end{array} \right.$
		Hiperón	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Lambda: } \Lambda^0 (uds) \\ \text{Sigma} \left\{ \begin{array}{l} \Sigma^+ (uus) \\ \Sigma^0 (uds) \\ \Sigma^- (dds) \end{array} \right. \end{array} \right.$
		Ξ (Partícula de cascada)	$\left\{ \begin{array}{l} \Xi^0 (uss) \\ \Xi^- (dds) \end{array} \right.$
		Omega : $\Omega^- (sss)$	
	-Mesones	Pión	$\left\{ \begin{array}{l} \pi^+ (u\bar{d}) \\ \pi^0 (u\bar{u} / d\bar{d}) \\ \pi^- (d\bar{u}) \end{array} \right.$
		Kaón	$\left\{ \begin{array}{l} K^+ (u\bar{s}) \\ K^0 \left\{ \begin{array}{l} K^0_{corta} (d\bar{s}) \\ K^0_{larga} \end{array} \right. \end{array} \right.$
		Eta : $\eta^0 (u\bar{u} / d\bar{d} / s\bar{s})$	
		Partícula $\psi / J (c\bar{c})$	
		Partícula $\Upsilon (b\bar{b})$	

⁴ No detectado experimentalmente.

no en las asociadas a la interacción débil.

5.- PARTÍCULAS Y ANTIPARTÍCULAS

Las partículas y sus antipartículas tienen masas idénticas, pero valores opuestos para sus otras propiedades, tales como carga, número de leptones, número de bariones y extrañeza. Los pares partícula-antipartícula pueden producirse en diversas reacciones nucleares si la energía disponible es mayor que $2mc^2$, donde m es la masa de la partícula.

6.- MODELO ESTÁNDAR

Está formado por:

- **Modelo quark**

- **Teoría electrodébil:** Considera que las interacciones débil y electromagnética son dos manifestaciones distintas de una interacción más fundamental, electrodébil.

- Interacción débil
- Interacción electromagnética (Electrodinámica Cuántica)

- **Cromodinámica cuántica, CDQ** (Teoría de campo de las interacciones fuertes):

El fundamento de esta teoría, soportado por un desarrollo matemático complejo y avanzado, es que solamente pueden existir combinaciones de quarks que sean incoloras. Esto se logra de dos formas diferentes:

- Tres quarks de diferentes colores dan una unión posible al ser incolora, tal como la combinación de un electrón (-) y un protón (+) da una combinación estable de carga neutra.
- Una combinación de un par quark-antiquark también es incolora y por lo tanto posible.

Regla de atracción-repulsión:

Dos colores o anti-colores iguales se repelen, un color y su correspondiente anti-color experimentan la máxima atracción, colores diferentes también experimentan atracción aunque de menor grado que la anterior.

$$\text{Partículas} \begin{cases} \text{Bosones} \begin{cases} \text{de campo} \\ \text{de Higgs} \end{cases} \\ \text{Fermiones} \begin{cases} \boxed{\text{Leptones}} \\ \boxed{\text{Quarks}} \end{cases} \end{cases} \rightarrow \text{Hadrones} \begin{cases} \text{Bariones} \\ \text{Mesones} \end{cases}$$

$$\text{Partículas elementales} \begin{cases} \text{- Bosones} \begin{cases} \text{de campo} \begin{cases} s=1: \gamma(ED), Z^0(ED), W^\pm(ED), g(F) \\ s=2: G(GR) \end{cases} \\ \text{de Higgs} \end{cases} \\ \text{- Fermiones} \begin{cases} \text{Quarks } (s=1/2): u, d, s, c, b, t \\ \text{Leptones } (s=1/2): e^-, \nu_e, \mu^-, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau \end{cases} \end{cases}$$

7.- ALGUNAS REACCIONES Y DESINTEGRACIONES

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$p^+ + p^+ \rightarrow p^+ + p^+ + p^+ + p^-$$

$$p^+ + p^- \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$p \rightarrow \pi^0 + e^+$$

$$p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$$

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\gamma \rightarrow \begin{cases} p^+ + p^- \\ n^+ + n^- \\ \mu^- + \mu^+ \\ \pi^+ + \pi^- \end{cases}$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$p + \pi^- \rightarrow \begin{cases} \Lambda^0 + K^0 \\ \Sigma^- + K^+ \end{cases}$$

$$n + \pi^+ \rightarrow \Lambda^0 + K^+$$

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

$$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$$

$$K^- \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$K^+ \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$$

$$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^+$$

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$$

$$\Omega^- \rightarrow p + 3e^- + 3\bar{\nu}_e + 2\bar{\nu}_\mu + e^+ + \nu_e$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$$

$$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$$

$$\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$$

$$\Psi / J \rightarrow \begin{cases} \mu^+ + \mu^- \\ e^+ + e^- \end{cases}$$