

Partículas elementales II

Física Nuclear y subnuclear

6 de febrero de 2024

Bariones

Part.	Símb.	Cont.	Espín	Masa MeV/c^2	A- part.	Cont. a-part.
protón	p	uud	$1/2$	938	\bar{p}	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$
neutrón	n	udd	$1/2$	940	\bar{n}	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$
Sigma +	Σ^+	uus	$1/2$	1189	Σ^-	$\bar{u}\bar{u}\bar{s}$
Sigma 0	Σ^0	uds	$1/2$	1193	$\bar{\Sigma}^0$	$\bar{u}\bar{d}\bar{s}$
Sigma -	Σ^0	dds	$1/2$	1197	Σ^-	$\bar{d}\bar{d}\bar{s}$
Lambda	Λ	uds	$1/2$	1116	$\bar{\Lambda}$	$\bar{u}\bar{d}\bar{s}$
Xi 0	Ξ^0	uss	$1/2$	1315	$\bar{\Xi}^0$	$\bar{u}\bar{s}\bar{s}$
Xi-	Ξ^-	dss	$1/2$	1322	$\bar{\Xi}^-$	$\bar{d}\bar{s}\bar{s}$

Mesones

Part.	Símb.	Cont.	Espín	Masa MeV/c^2	A- part.	Cont. a-part.
pión +	π^+	$u\bar{d}$	0	140	π^-	$\bar{u}d$
pión 0	π^0	$u\bar{u}, d\bar{d}$	0	135	π^0	$u\bar{u}, d\bar{d}$
eta	η	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$	0	548	η	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$
kaon +	K^+	$u\bar{s}$	0	949	K^-	$\bar{u}s$
kaon 0	K^0	$d\bar{s}$	0	948	\bar{K}^0	$\bar{d}s$
rho +	ρ^+	$u\bar{d}$	1	770	ρ^-	$\bar{u}d$
rho 0	ρ^0	$u\bar{u}, d\bar{d}$	1	770	ρ^0	$u\bar{u}, d\bar{d}$
omega	ω	$u\bar{u}, d\bar{d}$	1	783	ω	$u\bar{u}, d\bar{d}$
phi	ϕ	$s\bar{s}$	1	1020	ϕ	$s\bar{s}$

Leptones

Part.	Símb.	Masa MeV/c^2	Espín	A-part.
electrón	e^-	0.511	1/2	e^+
neutrino e	ν_e	$< 0,000225$	1/2	$\bar{\nu}_e$
muón	μ^-	106	1/2	$\bar{\mu}$
neutrino μ	ν_μ	$< 0,19$	1/2	$\bar{\nu}_\mu$
tau	τ^-	1777	1/2	$\bar{\tau}$
neutrino τ	ν_τ	$< 18,2$	1/2	$\bar{\nu}_\tau$

Tabla de partículas fundamentales

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	u up	c charm	t top	Y photon
Quarks	6 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 0 1 g gluon
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.19 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<18.2 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	90.2 GeV ⁰ 0 1 Z fuerza débil
	Leptones	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	106 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.78 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau
				Bosons (Fuerzas)

Figura: Partículas fundamentales, imagen con licencia GNU Free

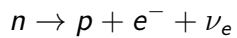
Decaimiento

$$p_{938\text{MeV}/c^2} \rightarrow e^+_{0,511\text{MeV}/c^2} + \pi^0_{135\text{MeV}/c^2}$$

Decaimiento leptónico

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

Decaimiento neutrón



Decaimiento neutrón

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

Cons. E: $940\text{MeV} \rightarrow 938\text{MeV} + 0,51\text{MeV} + (< 225\text{eV})$

Cons. Q: $0e \rightarrow 1e + (-1e) + 0e$

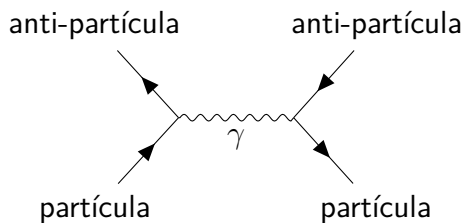
Cons. no. bariónico: $1 \rightarrow 1 + 0 + 0$

Cons. l.e.: $0 \rightarrow 0 + 1 + (-1)$

Diagramas de Feynman

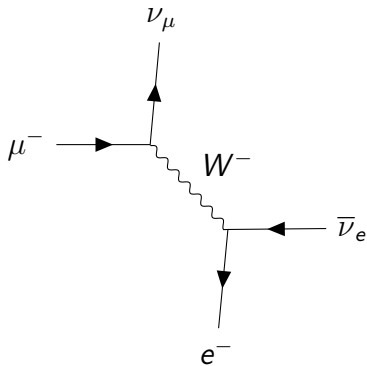
- La teoría cuántica independiente del tiempo no contempla decaimientos
- Ecuación de Dirac
- Dirección de las flechas: tiempo
- En cada vértice se conserva:
 - Energía
 - Carga
 - Número leptónico de familia
 - Momento
 - De cierta forma el número bariónico

Ejemplo



Decaimiento leptónico

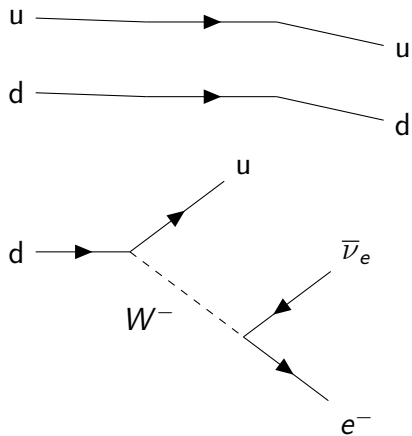
$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu,$$



Decaimineto bariónico

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

Decaimiento bariónico



Piones

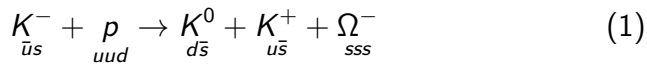
- Los mesones más ligeros ($140\text{MeV}/c^2$ para π^\pm y $135\text{MeV}/c^2$ para π^0)
- Tiempo de vida media de $2,6 \times 10^{-8}\text{s}$, propio de interacciones débiles

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

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

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

Interacción



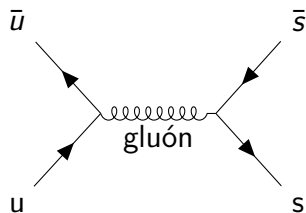
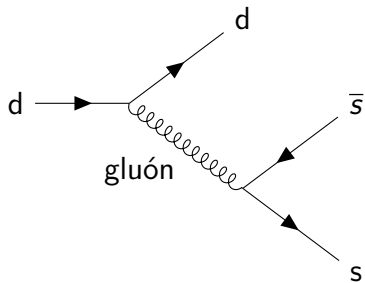
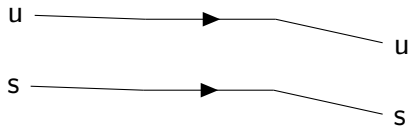
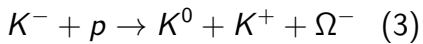
Interacción

$$K^- + p \rightarrow K^0 + K^+ + \Omega^- \quad (2)$$

$$\text{Cons. Q: } -1e + 1e \rightarrow 0e + 1e + (-1e)$$

$$\text{Cons. no. bariónico: } 0 + 1 \rightarrow 0 + 0 + 1$$

$$\text{Cons. extrañeza: } 1 + 0 \rightarrow (-1) + (-1) + (3)$$



Extrañeza

- Se descubre en experimentos de rayos cósmicos
- Se crean en proceso fuertes
- Decaen por procesos débiles
- Al crearse aparecen con una pareja específica

Producción

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda^0 \quad (4)$$

$$\text{Cons. Q: } -1e + 1e \rightarrow 0e + 0e$$

$$\text{Cons. no. bariónico: } 0 + 1 \rightarrow 0 + 1$$

$$\text{Cons. extrañeza: } 0 + 0 \rightarrow 0 + (-1) + 1$$

Producción



Decaimientos

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

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

Decaimientos

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

$$\text{Cons. E: } 948\text{MeV} \rightarrow 140\text{MeV} + 140\text{MeV}$$

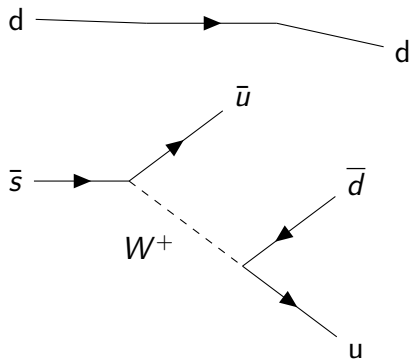
$$\text{Cons. Q: } 0e \rightarrow 1e + (-1e)$$

$$\text{Cons. extrañeza: } -1 \rightarrow 0 + 0$$

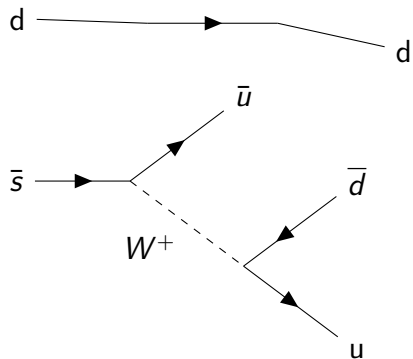
Decaimiento

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

Decaimiento



Otro decaimiento



Procesos que no suceden

$$\pi^- + p \not\rightarrow \pi^- + \pi^+ + \Lambda^0$$

$$\pi^- + p \not\rightarrow K^- + \pi^+ + \Lambda^0$$

$$\pi^- + p \not\rightarrow \Sigma^+ + K^-$$

$$\pi^- + p \not\rightarrow \Sigma^- + \pi^+$$

La extrañeza se conserva en procesos fuertes pero se viola en procesos débiles.

Conservaciones

Sistema cuántico descrito por \hat{H}

$$-i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = \hat{H}\Psi \quad (6)$$

Relaciones de permutación para un operador \hat{A} con observable A :

$$[\mathbf{H}, \mathbf{A}] = 0 \rightarrow \frac{d}{dt} \langle A \rangle = 0$$

La carga

$$\mathbf{Q}\Psi = q\Psi.$$

Invariancia de norma

$$\Psi' = e^{i\epsilon Q}\Psi,$$

Isospín

Partícula	I	I_3
p	$1/2$	$1/2$
n	$1/2$	$-1/2$
π^+	1	1
π^0	1	0
π^-	1	-1
K^+	$1/2$	$1/2$
K^0	$1/2$	$-1/2$
Σ^+	1	1
Σ^0	1	0
Σ^-	1	-1

Cuadro: Valores del número leptónico por familia para los leptones

Relación Gell-Mann-Nishima

$$Q = I_3 + \frac{Y}{2} = I_3 + \frac{B - S}{2}, \quad (7)$$

