

APÉNDICE VII. MODELO ESTÁNDAR

A. ALGUNAS PARTÍCULAS ELEMENTALES

BOSONES

Nombre	Símbolo	Masa	Carga	Spin	Rango
Fotón	γ	0	0	1	∞
¿Gravitón?		0		2	∞
Fuerza débil	W^{+1} W^{-1} Z^0	$82 m_{pr}$ $82 m_{pr}$ $91 m_{pr}$		1	10^{-19}
Gluón	A_s	0		1	10^{-15}
¿Higgs?		$112.5 < m_H < 225$		0	

FERMIONES

SEIS LEPTONES							SEIS QUARKS ¹⁸⁰⁰					
Tipo (=sabor)	elec- tron	elec.- neutr.	muon	muon neutr.	tau	tau- neutr.	up	down	charm	stran- -ge	top	bot- tom
Símbolo	e	ν_e	μ	ν_μ	τ	ν_τ	u	d	c	s	t	b
Masa GeV/c	5.1* 10^{-4}	< 1* 10^{-8}	0.106	< 1.7 $*10^{-4}$	1.78	< 1.8 $*10^{-2}$	0.005	0.01	1.5	0.2	175	4.7
Carga eléctrica	-1	0	-1	0	-1	0	+ 2/3	- 1/3	+ 2/3	- 1/3	+2/3	- 1/3
Signo	0	0	0	0	0	0	+1	-1	+1	-1	+1	-1
Spin	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$
Número bariónico	0	0	0	0	0	0	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Número leptónico	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

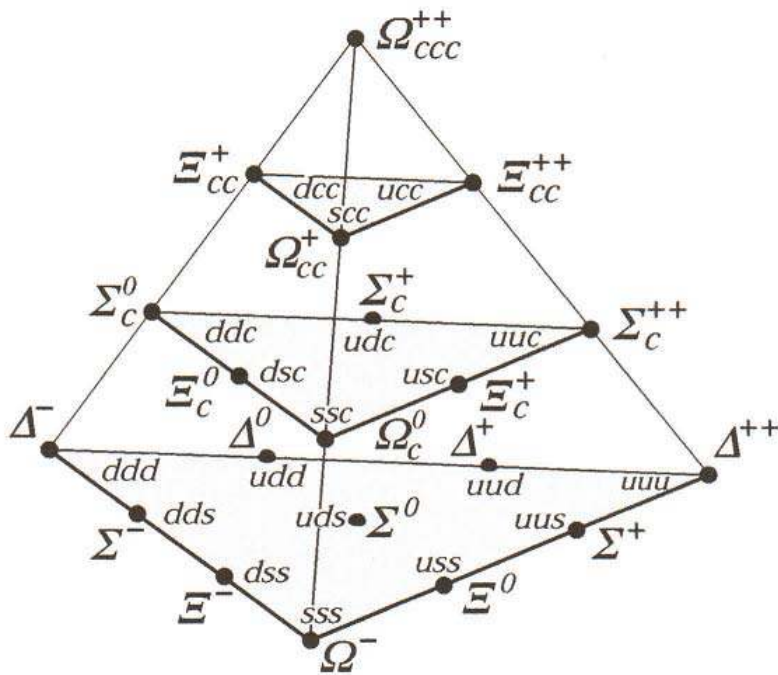
HADRONES DE 3 QUARKS = BARIONES

Nombre	Símbolo	Masa GeV/c^2	Carga	Vida s	Quarks	Signo quark	Spin $h/2\pi$	Número bariónico	Strang- -eness
Protón	p	0.938	+1	∞	uud	+1	1/2	1	0
Neutrón	n	0.940	0	$\approx 10^3$	udd	-1	1/2	1	0
Lambda	Λ_0	1.115	0	$\approx 10^{-10}$	uds	-1	1/2	1	-1
Lambda	Λ_c	2.28	+1	$\approx 10^{-13}$	udc	+1	1/2	1	0
Sigma	Σ^+	1.189	+1	$\approx 10^{-10}$	uus	+1	1/2	1	-1
Sigma	Σ^-	1.197	-1	$\approx 10^{-10}$	dds	-3	1/2	1	-1
Sigma	Σ^0	1.192	0	$\approx 10^{-20}$	uds	-1	1/2	1	-1

¹⁸⁰⁰ Los quarks no se encuentran aislados, sino se supone que existan dentro de los hadrones y mesones

Xi	Ξ^-	1.321	-1	$\approx 10^{-10}$	<i>dss</i>	-3	1/2	1	-2
Xi	Ξ^0	1.315	0	$\approx 10^{-10}$	<i>uss =</i>	-1	1/2	1	-2
Omega	Ω^-	1.672	-1	$\approx 10^{-10}$	<i>sss =</i>	-3	1/2	1	-3
Delta	Δ^+		+1	$\approx 10^{-25}$	<i>uud</i>	+1	1/2	1	0
Delta	Δ^0		0	$\approx 10^{-25}$	<i>udd</i>	-1	1/2	1	0

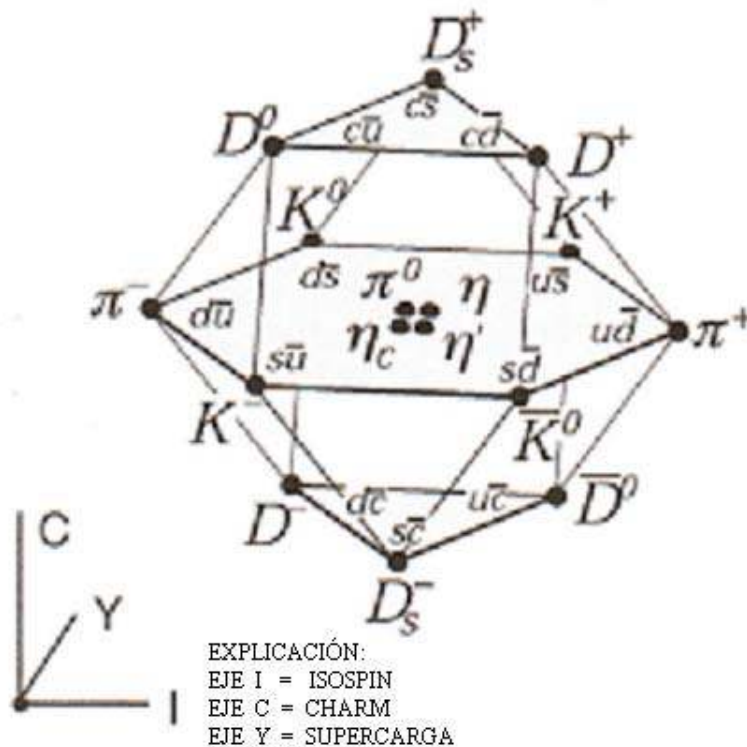
Gráfica.- SU(4) 20-plet de bariones hechos de *u, d, s* y *c* quarks con un SU(3) decuplet



HADRONES DE 2 QUARKS = MESONES

Nombre	Símbolo	Masa <i>GeV/c²</i>	Carga	Vida <i>s</i>	Quarks	Signo quark	Spin <i>h/2π</i>	Número bariónico	Strangeness
Piόν	π^0	0.249	0	$\approx 10^{-16}$	<i>uū</i>	0	0	0	0
Piόν	π^+	0.249	+1	$\approx 10^{-8}$	<i>uđ</i>	+2	0	0	0
Piόν	π^-	0.249	-1	$\approx 10^{-10}$	<i>đū</i>	-2	0	0	0
Caón	K^0	0.498	0	<i>i?</i>	<i>dđ</i>	0	0	0	+1
Caón	K^+	0.494	+1	$\approx 10^{-8}$	<i>uđ</i>	+2	0	0	+1
Caón	K^-	0.494	-1	$\approx 10^{-8}$	<i>sū</i>	-2	0	0	-1
psi	ψ	3.1	0	$\approx 10^{-20}$	<i>cđ</i>	0	1	0	0
D cero	D^0	1.86	0	$\approx 10^{-13}$	<i>cū</i>	0	1	0	0
D +	D^+	1.87	+1	$\approx 10^{-12}$	<i>cđ</i>	+2	0	0	0

Gráfica. SU (4) diagrama de peso mostrando los 16 mesones



B. LEYES DE CONSERVACIÓN

- I) La carga total de las partículas que entran a una reacción debe ser igual a la carga después de la reacción. (Nota bene: anti-partículas tienen una carga con signo contrario a la de la partícula). Ejemplo: $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$ ($0+0 \rightarrow +1-1$).
- II) Antes y después de cualquier reacción, el número leptónico de la misma generación de leptones es invariante. Ejemplo: $\nu_\mu + e^- \rightarrow \mu^- + \nu_e$ ($L_\mu = 1, L_e = 1 \rightarrow L_\mu = 1, L_e = 1$).
- III) Antes y después de cualquier reacción, el número bariónico es invariante. Ejemplo: $p + p \rightarrow p + p + \pi^0 + \pi^0$ ($1+1 \rightarrow 1+1+0+0$)
- IV) El sabor de *strangeness* antes y después de una reacción es invariante. Ejemplo: $p + p \rightarrow p + \Sigma^0 + K^+$ ($0+0 \rightarrow 0-1+1$)
- V) La masa-energía de las partículas antes y después de la reacción es invariante. su cálculo se dificulta, porque la misma partícula puede tener muchos diferentes niveles de energía, según las circunstancias.
- VI) En transformaciones de hadrones mediante fuerza nuclear fuerte o electromagnética, y en interacciones de la fuerza débil de partículas no-leptónicas, el valor acumulado de los signos de los quarks es invariante antes y después de una reacción. Ejemplo: $p + p \rightarrow p + \Sigma^0 + K^+$ ($1+1 \rightarrow 1-1+2$). no es así en las interacciones de la fuerza débil

de partículas semi-leptónicas, en las cuales siempre se producen neutrinos, p.e. en el decaimiento del neutrón

C. EJEMPLOS DE INTERACCIÓN Y DECAIMIENTO DE ALGUNAS PARTÍCULAS

Algunos decaimientos de leptones mediante la fuerza débil

muón	$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
-carga	$-1 \rightarrow -1+0+0$
-número leptónico	$L_\mu = 1, L_e = 0 \rightarrow L_\mu = 1, L_e = +1 - 1$
muón	$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
-carga	$+1 \rightarrow +1+0+0$
-número leptónico	$L_\mu = -1, L_e = 0 \rightarrow L_\mu = -1, L_e = -1 + 1$
tau	$\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\tau + \bar{\nu}_\mu$
-carga	$-1 \rightarrow -1+0+0$
-número leptónico	$L_\tau = 1 \rightarrow L_\mu = +1 - 1, L_\tau = 1$

Algunos decaimientos no-leptónicos en donde se conserva la suma de los signos de los quarks

pión cero	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
-carga	$0 \rightarrow 0+0$
-masa-energía	$m_{\pi_0} c^2 = 2E_\gamma = 0.134 \frac{GeV}{c^2} c^2 \Rightarrow E_\gamma = 0.067 GeV$
-valor signos quarks	$0 \rightarrow +0+0$
sigma cero	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda_0 + \gamma$
-carga	$0 \rightarrow 0+0$
-número bariónico	$+1 \rightarrow +1 + 0$
-valor signos quarks	$-1 \rightarrow -1+0$
delta plus	$\Delta^+ \rightarrow p + \gamma$
-carga	$+1 \rightarrow +1+0$
-número bariónico	$+1 \rightarrow +1 + 0$
-valor signos quarks	$+1 \rightarrow +1+0$
delta cero	$\Delta^0 \rightarrow n + \gamma$
-carga	$0 \rightarrow 0+0$
-número bariónico	$+1 \rightarrow +1 + 0$
-valor signos quarks	$-1 \rightarrow -1+0$
caón cero	$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$
-carga	$0 \rightarrow +1-1$
-valor signos quarks	$0 \rightarrow +2-2$
caón plus	$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$
-carga	$+1 \rightarrow +1+0$
-valor signos quarks	$+2 \rightarrow +2+0$

caón plus	$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$
-carga	+1 \rightarrow +1+1-1
-valor signos quarks	+2 \rightarrow +2+2-2
caón plus	$K^+ \rightarrow \pi^0 + \pi^+$
-carga	+1 \rightarrow +0+1
-valor signos quarks	+2 \rightarrow +0+2
lambda cero	$\Lambda_0 \rightarrow p + \pi^-$
-carga	0 \rightarrow +1-1
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	-1 \rightarrow +1-2
sigma plus	$\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$
-carga	+1 \rightarrow 0+1
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	+1 \rightarrow -1+2
sigma menos	$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$
-carga	-1 \rightarrow 0-1
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	-3 \rightarrow -1-2
sigma menos	$\Sigma^- \rightarrow \Lambda_0 + \pi^-$
-carga	-1 \rightarrow 0-1
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	-3 \rightarrow -1-2
xi menos	$\Xi^- \rightarrow \Lambda_0 + \pi^-$
-carga	-1 \rightarrow 0-1
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	-3 \rightarrow -1-2
xi cero	$\Xi^0 \rightarrow \Lambda_0 + \pi_0$
-carga	0 \rightarrow 0+0
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	-1 \rightarrow -1+0
delta plus	$\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$
-carga	+1 \rightarrow +1+0
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	+1 \rightarrow +1+0
delta cero	$\Delta^0 \rightarrow n + \pi^0$
-carga	0 \rightarrow 0+0
-número bariónico	+1 \rightarrow +1+0
-valor signos quarks	-1 \rightarrow -1+0

Algunas decaimientos semi-leptónicos mediante la fuerza débil, en donde siempre se producen neutrinos y nunca se conserva la suma de los signos de los quarks

neutrón	$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
-carga	0 \rightarrow +1-1+0

-número leptónico	$L_e = 0 \rightarrow L_e = 0 + 1 - 1$
-número bariónico	$1 \rightarrow 1+0+0$
-valor signos quarks	$-1 \rightarrow +1$
caón plus	$K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$
-carga	$+1 \rightarrow +0+1+0$
-valor signos quarks	$+2 \rightarrow +0+0+0$
caón plus	$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
-carga	$+1 \rightarrow +1+0$
-valor signos quarks	$+2 \rightarrow +0+0$
pión plus	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
-carga	$+1 \rightarrow +1+0$
-número leptónico	$L_\mu = 0 \rightarrow (L_\mu = -1) + (L_\mu = +1) = 0$
-valor signos quarks	$+2 \rightarrow +0+0$
pión menos	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
-carga	$-1 \rightarrow -1+0$
-número leptónico	$L_\mu = 0 \rightarrow (L_\mu = +1) + (L_\mu = -1) = 0$
-valor signos quarks	$-2 \rightarrow +0+0$

D. EJEMPLOS DE INTERACCIONES DE ALGUNAS PARTÍCULAS ¹⁸⁰¹

Algunas interacciones hadrón-hadrón mediante la fuerza nuclear fuerte en donde se conserva la suma de los signos de los quarks

protón-protón

$p + p \leftrightarrow \pi^+ + d$ (d es deuterón, el núcleo de deuterio, y consiste de un protón y un neutrón)

$+1+1 \leftrightarrow +2+ (-1+1)$

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

$+1+1 \rightarrow +1-1+2$

protón-neutrón

$p + n \rightarrow d + \pi^0$

$+1-1 \rightarrow (+1-1)+0$

protón-pión menos

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

$-2+1 \rightarrow 0-1$

¹⁸⁰¹ Ejemplos de Jonathan Allday, *Quarks, Leptons and the Big Bang. Second edition* (2002), Isaac Asimov, *Nueva guía de la ciencia* (1985), Donald Perkins, *Introduction to High Energy Physics* (1987) y Particle Data Group, 2006, "Review of Particle Physics," en: *Journal of Physics G. Nuclear and Particle Physics*, Vol. 33 (julio de 2006)

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

$$-2+1 \rightarrow -1+0$$

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

$$-2+1 \rightarrow 0-1$$

$$\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-$$

$$-2+1 \rightarrow +2-3$$

protón-pión más

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

$$+1+2 \rightarrow +1+2$$

protón-caón menos

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

$$-2+1 \rightarrow -1+0$$

$$K^- + p \rightarrow K^0 + K^+ + \Omega^-$$

$$-2+1 \rightarrow 0+2-3$$

$$K^- + p \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + K^0 + K^0 + \bar{K}^0$$

$$-2+1 \rightarrow -3+2+0+0-0$$

$$K^- + p \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + K^0 + K^0 + \bar{K}^0$$

$$-2+1 \rightarrow -3+2+0+0-0$$

protón-xi menos

$$\Xi^- + p \rightarrow \Lambda_0 + \Lambda_0$$

$$-3+1 \rightarrow -1-1$$

neutrón-pión más

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

$$+2-1 \rightarrow 0+1$$

helio-caón menos

$$K^- + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{H}_\Lambda + \pi^0 \quad (\text{NB } {}^4\text{He} = p + p + n + n; \quad {}^4\text{H}_\Lambda = p + n + n + \Lambda_0)$$

$$-2+ (+1+1-1-1) \rightarrow (+1-1-1-1)+0$$

$$K^- + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He}_\Lambda + \pi^- \quad (\text{NB } {}^4\text{He}_\Lambda = p + p + n + \Lambda_0)$$

$$-2+ (+1+1-1-1) \rightarrow (+1+1-1-1)-2$$

