

2.3- Hadrones

Después de dar una breve introducción a los leptones, hablemos sobre partículas compuestas: hadrones.

Estas son partículas que pueden interactuar fuertemente porque están compuestas de quarks.

Ejemplos que ya conocemos:

protón: uud , neutrón: udd .

Dentro de los hadrones, existen dos categorías:

* Bariones: Compuestos por tres quarks.

Ejemplos: protón, neutrón, $\Delta^{++}(uuu)$, $\Omega^{-}(sss)$, etc.

* Mesones: quark + antiquark.

Ejemplos: piones, kaones, etas, rho, etc.

Nota: recuerda que los leptones no interactúan fuertemente.

Una cantidad importante es el número bariónico:

$$B = \frac{1}{3} (N_q - N_{\bar{q}}) \quad (2.5)$$

con N_q y $N_{\bar{q}}$ número de quarks y antiquarks, respectivamente.

Ejemplos:

protón: uud , $B = \frac{1}{3}(1+1+1) = 1$

neutrón: udd , $B = 1$

pión: $u\bar{d}$, $B = \frac{1}{3}(1-1) = 0$ Mesón

- Este es un número cuántico que se conserva en el Modelo Estándar. No se ha encontrado evidencia de lo contrario.

Teorías más allá del SM permiten la violación de Lepton y Baryon number.

Ejemplos: $SU(5)$, $SO(10)$, E_6 , etc. ← GUTs

- A hipotéticamente se tendría:

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

con $\Delta B = 1$.

- Volviendo a la realidad, este número se dedujo experimentalmente

→ Simplemente se conserva

Recordemos:

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

$$B_i = 1, B_f = 1, \Delta B = 0 \quad \checkmark$$

$$L_i = 0, L_f = 1 - 1 = 0, \Delta L = 0 \quad \checkmark.$$

• La carga eléctrica se calcula de los quarks que componen al hadrón:

$$\pi^+ : u\bar{d}, Q_{\pi^+} = \frac{2}{3} + \left(+\frac{1}{3}\right) = 1$$

$$\pi^- : d\bar{u}, Q_{\pi^-} = -\frac{1}{3} + \left(-\frac{2}{3}\right) = -1$$

$$K^+ : u\bar{s}, Q_{K^+} = \frac{2}{3} + \left(+\frac{1}{3}\right) = 1$$

Ahora veamos si ciertos procesos en el SM son permitidos o no:

$$e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^- \quad \checkmark$$

$$p + p \rightarrow K^+(u\bar{s}) + \Sigma^+(uus) \quad \times$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma \quad \times$$

$$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau \quad \checkmark$$

$$\Lambda^0(uds) \rightarrow p + \pi^- \quad \checkmark$$

Otro número importante es el strangeness

$$S = -(N_s - N_{\bar{s}}) \quad (2.6)$$

con N_s y $N_{\bar{s}}$ es el número de strange y antistrange quarks.

En corto:

- Por cada strange quark: -1 ,
- Por cada antistrange quark: $+1$.

Ejemplos,

$$K^+(u\bar{s}), S = 1$$

$$\Lambda^0(uds), S = -1$$

$$\Sigma^+(uus), S = -1.$$

• Es importante mencionar que strangeness se conserva en interacciones fuertes y electromagnéticas, pero no en weak interactions.

• Esta violación se debe a que los procesos débiles permiten el cambio de sabor:

$$s \rightarrow u + W^-,$$

$$u \rightarrow s + W^+.$$

• En este caso, $\Delta S = \pm 1$ son permitidos. Procesos con $\Delta S = \pm 2$ son altamente suprimidos o prohibidos en el SM.

TAREA

Volviendo al ejemplo:

$$(uds) \Lambda^0 \rightarrow p^+ + e^-$$

$$\text{tenemos } S_i = -1, S_f = 0$$

$$\Delta S = S_f - S_i = +1 \quad \checkmark \text{ Allowed.}$$

Ejemplo:

$$K^- (s\bar{u}) + p \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0 \quad \checkmark$$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0 \quad \checkmark$$

$$n \rightarrow \nu + \gamma \quad +$$

$$\pi^0 \rightarrow e^- + e^- \quad \times$$

$$p + n \rightarrow \Lambda^0 + \Sigma^+ \quad \times$$

2.3.1 Eightfold way

• Este es un esquema que nos permite organizar hadrones basado en sus propiedades cuánticas.

Fue propuesto por Gell-Mann y Ne'eman en 1961.

→ Premio Nobel de 1969.

Para 1947 se conocía:

- electrón, protón, neutrón y fotón, junto con

otras partículas como piones, muones y neutrinos*.

- In any case, se sabía sobre la existencia de una fuerza que mantiene unido al núcleo.

→ fuerza fuerte → solo hadrones.

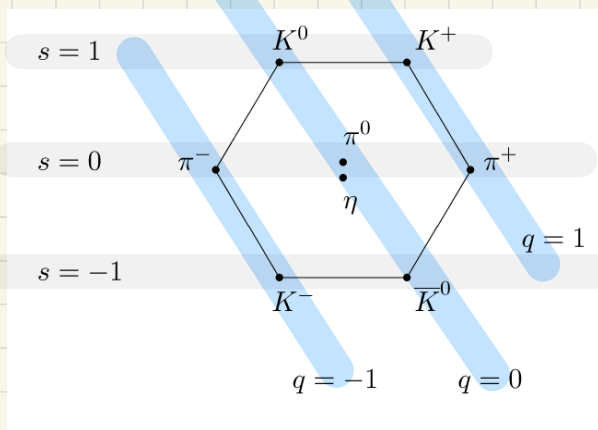
- Más partículas se fueron descubriendo como los Kaones cargados y el Λ .

→ Decaían lento → fuerza débil.

- Años después, decenas de partículas habían sido descubiertas, pero no había donde "acomodarlas".

Para explicar todo esto a detalle necesitamos teoría de representaciones, solo nos concentramos en carga eléctrica y strangeness.

Mesones



• Espín 0

Kaones: $K^\pm: u\bar{s}, s\bar{u}$

$\bar{K}^0: d\bar{s}, s\bar{d}$

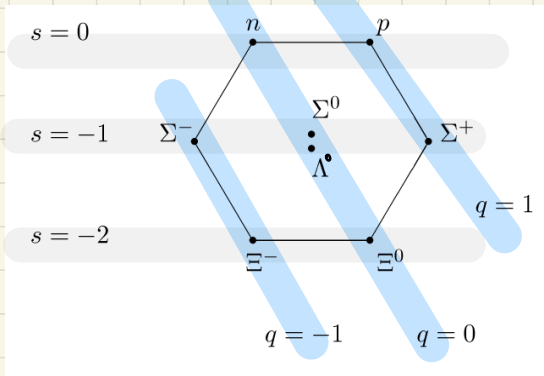
Piones: $\pi^\pm: u\bar{d}, d\bar{u}$

$\pi^0: \frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}}$

Estas $\eta: \frac{1}{\sqrt{6}}(u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s})$ } investigar
 $\eta': \frac{1}{\sqrt{3}}(u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s})$ } $\eta - \eta'$ puzzle

TAREA

Baryones



Espín $\frac{1}{2}$

Proton (uud) } Isospin?
neutron (udd) } **TAREA**

Sigmas:

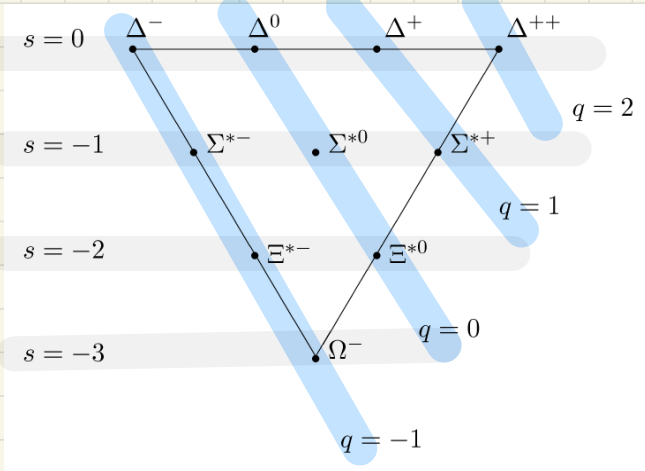
Σ^+ (uus) Σ^- (dds) Σ^0 (uds)

Lambda:

Λ^0 (uds)

Xi baryons: Ξ^- (dss), Ξ^0 (uss).

Nota: El Λ^0 y Σ^0 tienen el mismo contenido, pero son distintas partículas ¿por qué? **TAREA**



Deltas

Δ^- (ddd), Δ^+ (uud)

Δ^0 (udd), Δ^{++} (uuu)

Sigmas

Σ^{*-} (dds) Σ^{*0} (uds)

Σ^{*+} (uus)

Xi Ξ^{*-} (dss), Ξ^{*0} (uss)

Omega baryon : Ω^- (sss)

• Cuando se propuso este esquema, el Ω^- no se conocía; fue una predicción.

Esto le ganó el Nobel a Gell-Mann