

PAUTA TRABAJO DIRIGIDO

Escuela de Verano

COFM52-1 Física de partículas: Un viaje a la descripción fundamental del universo

Profesor: Luis Mora Lepin

Auxiliar: Bianca Zamora Araya



Trabajo dirigido: Sobre las partículas y sus interacciones en el Modelo Estándar

19 de julio de 2022

Discuta, con sus compañeros y compañeras de grupo, las preguntas que se presentan a continuación. Escriban sus respuestas en el archivo que se les compartió.

P1. [Conceptualmente hablando...] (Tiempo estimado: 10 minutos)

- ¿Qué es una partícula fundamental? Refiérase a sus características físicas.
- Mencione todas las partículas del Modelo Estándar. Le puede ser útil indicar sus características principales, o también considerar las generaciones y/o familias de partículas.
- ¿Qué tipo de interacciones y/o procesos pueden ocurrir entre las partículas fundamentales, según el Modelo Estándar? Mencíónelos y explíquelos brevemente.
- Hay interacciones entre partículas fundamentales, descritas por el Modelo Estándar, en las que se deben conservar ciertas cantidades. Indique cuáles son estas cantidades, explique cómo se cuentan, y mencione bajo qué procesos se conservan.

P2. [Interaccionando ando] (Tiempo estimado: 30 minutos)

Determine si las siguientes interacciones entre partículas pueden ocurrir (o no), justificando su respuesta. También discuta si corresponde a fuerza débil, fuerza fuerte o electromagnetismo, argumentando.

- $\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$
- $e^- + e^+ \rightarrow e^+ + e^-$
- $e^- + \mu^+ \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
- $\nu_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$
- $\nu_e + p \rightarrow e^- + \pi^+ + p$
- $\nu_\tau + e^- \rightarrow \tau^- + \nu_e$
- $\tau^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$

P3. [Detective de partículas] (Tiempo estimado: 20 minutos)

Identifique las partículas que corresponden a cada caso presentado, justificando su respuesta con los contenidos vistos en clase.

- Un protón choca contra otra partícula desconocida, y a partir de esta interacción de fuerza fuerte surgen los tres tipos de piones π^+ , π^- y π^0 . Determine la identidad de la partícula desconocida.
- Un pión negativo decae en un pión neutro y un electrón. ¿Cuál partícula es necesaria que sea parte de la consecuencia del decaimiento, para que esta pueda ser una interacción válida de fuerza débil según las leyes de conservación?
- Un neutrón decae en un electrón y en un protón. ¿Cuál partícula es necesaria que sea parte de la consecuencia del decaimiento, para que esta pueda ser una interacción válida según las leyes de conservación?

P₁

$\mathcal{P}_1$

a) Qué es una partícula fundamental

- * Superposición de ondas
- * No posee volumen asociado (no tiene estructura interna)
- * No está formado por otras partículas
- * No tiene color (al referirse sobre los quarks)
- * Tiene asociada:
 - ↳ masa
 - ↳ spin
 - ↳ energía
 - ↳ carga
- * Posee su par antipartícula

Ⓟ b) Tipos de partículas

* Fermiones: spin semi-entero

* Leptones: (partículas no compuestas)

$$\begin{array}{ccc} \begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} e^+ \\ \nu_{e^+} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \mu^+ \\ \nu_{\mu^+} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \tau^+ \\ \nu_{\tau^+} \end{pmatrix} \\ \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{I} & \text{II} & \text{III} \end{array}$$

- $e, \mu, \tau \rightarrow$ leptones cargados (-1 , y antipartícula $+1$)
- $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau \rightarrow$ leptones neutros

* Quarks: (partículas no compuestas)

$$\begin{array}{ccc} \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \bar{u} \\ \bar{d} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \bar{c} \\ \bar{s} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \bar{t} \\ \bar{b} \end{pmatrix} \\ \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{I} & \text{II} & \text{III} \end{array}$$

- $u, c, t \rightarrow$ carga $\frac{2}{3}$ (antipartícula: $-\frac{2}{3}$)
- $d, s, b \rightarrow$ carga $-\frac{1}{3}$ (antipartícula: $\frac{1}{3}$)
- pueden aparecer en "colores": r, g, b .

* Bosones vector: (partículas no compuestas)

- gluón (g): $m=0$, $Q=0$
- fotón (γ): $m=0$, $Q=0$
- bosón Z : $m=91,1 \text{ [GeV/c}^2\text{]}$, $Q=0$
- bosón $W^\pm$: $m=80,39 \text{ [GeV/c}^2\text{]}$

* Bosón escalar: (partículas no compuestas)

- Bosón de Higgs

* Hadrones : (partículas compuestas)

↳ Barión : (partículas compuestas)

- 3 quarks

- La suma de los colores es neutro ($R+B+G = \text{neutro}$)

↳ Mesones : (partículas compuestas)

- 1 quark, 1 antiquark

- La suma de los colores es neutro ($\text{color} + \text{anticolor} = \text{neutro}$)

Φ_1 c) Interacciones/Procesos entre partículas fundamentales (SM)

* Procesos:

- ↳ Decaimiento: Una partícula transiciona y da origen a otras
- ↳ "Dar masa": Mediado por Bosón de Higgs

* Interacciones:

- ↳ Electromagnetismo:
 - Mediado por fotones
- ↳ Fuerza Fuerte:
 - Mediado por gluón (g)
- ↳ Fuerza Débil:
 - Mediado por bosones Z , $W^\pm$

$\textcircled{P_1}$ d) Leyes de conservación en SM

* Número leptónico (L):

$$\bullet L_e = N(e^-) - N(e^+) + N(\nu_e) - N(\bar{\nu}_e)$$

$$\bullet L_\mu = N(\mu^-) - N(\mu^+) + N(\nu_\mu) - N(\bar{\nu}_\mu)$$

$$\bullet L_\tau = N(\tau^-) - N(\tau^+) + N(\nu_\tau) - N(\bar{\nu}_\tau)$$

↳ Cada uno se conserva de manera independiente

* Número Bariónico (B):

$$\bullet B = N(\text{bariones}) - N(\text{antibariones})$$

* carga (Q)

* Interacción Fuerte:

↳ Ocurre cuando se conserva todo.

* Interacción Débil:

↳ Ocurre cuando se conserva todo, excepto las cargas de strangeness, topness, bottomness y charmness.

* La suma de los colores es neutro

$$\hookrightarrow R + G + B = \text{neutro}$$

$$\hookrightarrow \text{color} + \text{anticolor} = \text{neutro}$$

P_2

(P₂) Determinan si las interacciones pueden ocurrir.
justifican respuesta.



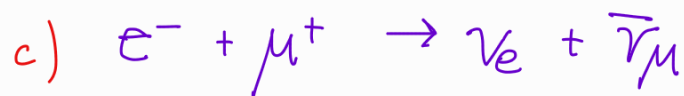
Q	0	-1	0	-1	$-1 = -1$	✓
L _e	0	+1	0	+1	$+1 = +1$	✓

∴ sí ocurre



Q	+1	-1	+1	-1	$0 = 0$	✓
L _e	-1	+1	-1	+1	$0 = 0$	✓

∴ sí ocurre



Q	-1	+1	0	0	$0 = 0$	✓
L _e	+1	0	+1	0	$+1 = +1$	✓
L _μ	0	-1	0	-1	$-1 = -1$	✓

∴ sí ocurre

$$d) \nu_{\mu} + p \longrightarrow \mu^+ + n$$

Q	0	+1	+1	0
L_{μ}	+1	0	-1	0
B	0	1	0	1

$$+1 = +1 \checkmark$$

$$+1 = -1 \rightarrow \text{False; no \& conserve}$$

$$+1 = +1 \checkmark$$

$\therefore$ NO ocorre

$$e) \nu_e + p \longrightarrow e^- + \pi^+ + p$$

Q	0	+1	-1	+1	+1
L_e	+1	0	+1	0	0
B	0	+1	0	0	+1

$$+1 = +1 \checkmark$$

$$+1 = +1 \checkmark$$

$$+1 = +1 \checkmark$$

$\therefore$ SI ocorre

$$f) \nu_{\tau} + e^- \longrightarrow \tau^- + \nu_e$$

Q	0	-1	-1	0
L_{τ}	+1	0	+1	0
L_e	0	+1	0	+1

$$-1 = -1 \checkmark$$

$$+1 = +1 \checkmark$$

$$+1 = +1 \checkmark$$

$\therefore$ SI ocorre

$$g) \tau^+ \longrightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_{\mu} + \nu_{\tau}$$

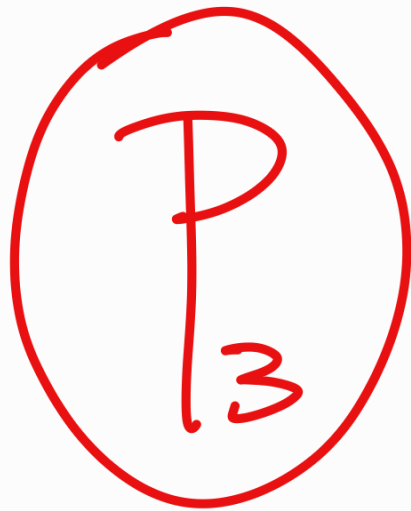
Q	+1	+1	0	0
L_{τ}	-1	0	0	+1
L_{μ}	0	-1	-1	0

$$+1 = +1 \checkmark$$

$$-1 = +1 \rightarrow \text{False, no \& conserve}$$

$$0 = -2 \rightarrow \text{False, no \& conserve}$$

$\therefore$ NO ocorre



P₃ Identificar partículas

a) $\underbrace{p}_{uud} + \underbrace{?}_x \rightarrow \underbrace{\pi^+}_{u\bar{d}} + \underbrace{\pi^-}_{\bar{u}d} + \underbrace{\pi^0}_{u\bar{u}}$, Fuerza Fuerte
 $\hookrightarrow$ todo se conserva

Q	+1	X	+1	-1	0	$\Rightarrow +1 + X = 0 \Rightarrow X = -1$
B	+1	X	0	0	0	$\Rightarrow +1 + X = 0 \Rightarrow X = -1$
L	0	X	0	0	0	$\Rightarrow 0 + X = 0 \Rightarrow X = 0$
S	0	X	0	0	0	$\Rightarrow 0 + X = 0 \Rightarrow X = 0$
C	0	X	0	0	0	$\Rightarrow 0 + X = 0 \Rightarrow X = 0$
T	0	X	0	0	0	$\Rightarrow 0 + X = 0 \Rightarrow X = 0$
B	0	X	0	0	0	$\Rightarrow 0 + X = 0 \Rightarrow X = 0$

luego, x es un antibarión ($B_x = -1$) de carga -1 ($Q_x = -1$).
 Concluimos que x es un antiprotón, $x = p^-$.

b) $\underbrace{\pi^-}_{\bar{u}d} \rightarrow \underbrace{\pi^0}_{u\bar{u}} + e^- + ?$, Fuerza débil
 $\hookrightarrow$ se conserva todo excepto C, S, T, B

Q	-1	0	-1	X	$\Rightarrow -1 = -1 + X \Rightarrow 0 = X$
B	0	0	0	X	$\Rightarrow 0 = 0 + X \Rightarrow X = 0$
L _e	0	0	+1	X	$\Rightarrow 0 = 1 + X \Rightarrow -1 = X$

O sea que la partícula x debe ser neutra con carga $L_e = -1$.
 Concluimos que x es un antineutrino electrónico, $x = \bar{\nu}_e$.

c)

$$n \rightarrow p + e + ?$$

$$Q \quad 0 \quad 1 \quad -1 \quad X \quad \Rightarrow \quad 0 = 0 + X \Rightarrow X = 0$$

$$L_e \quad 0 \quad 0 \quad +1 \quad X \quad \Rightarrow \quad 0 = +1 + X \Rightarrow X = -1$$

$$B \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad X \quad \Rightarrow \quad 1 = 1 + X \Rightarrow X = 0$$

O sea, la partícula desconocida es neutra, tiene número leptónico electrónico negativo (no es un Barión).

Concluimos que x es un antineutrino electrónico $x = \bar{\nu}_e$.

HEMOS TERMINADO



Cualquier consulta la puedes realizar en el foro del curso, para que podamos discutirlo entre todos y todas ☺

(o bien a mi correo bianca.zamora@vg.uchile.cl)