

Tarea 2

Entrega: 12 de septiembre de 2023

Problema 1

La interacción $e^+ + e^- \longrightarrow e^+ + e^-$ puede suceder de dos formas, dibuja los diagramas de cada una de las posibilidades y checa las conservaciones.

Solución

Antes de dibujar los diagramas de Feynman verificamos las conservaciones. Notemos que esta interacción es un proceso leptónico, por lo que el número bariónico es cero y, además, que tenemos un par de partícula-antipartícula en ambos lados de la interacción, *i.e.*, la carga se conserva. De esta manera, lo único que falta verificar es la conservación del número leptónico, tal que,

$$\begin{aligned} e^+ + e^- &\longrightarrow e^+ + e^-, \\ +1_e - 1_e &\longrightarrow +1_e - 1_e, \\ 0 &\longrightarrow 0. \end{aligned}$$

El número leptónico se conserva.

Ahora podemos dibujar cada una de las posibilidades:

- Primera posibilidad

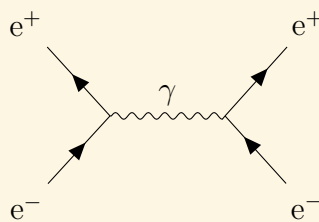


Figura 1: Diagrama de Feynman de la primera posibilidad de la interacción.

Aunque la posibilidad es válida, no considera la conservación del momento. El diagrama adecuado debería ser:

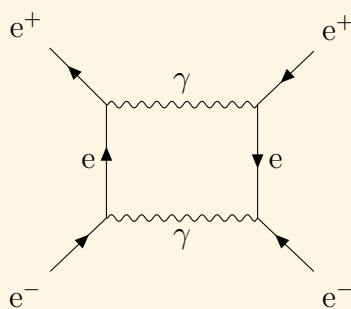


Figura 2: Diagrama de Feynman de la primera posibilidad de la interacción considerando la conservación del momento.

- Segunda posibilidad

La segunda y última posibilidad es:

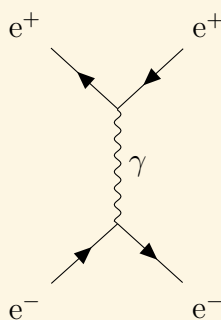


Figura 3: Diagrama de Feynman de la segunda posibilidad de la interacción.

Problema 2

La interacción $e^- + e^+ \longrightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ puede ser mediada por un boson vectorial ω^0 que tiene un modo de decaimiento dominante $\omega^0 \longrightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ ¿cómo será el diagrama de Feynman del proceso completo?

Solución

Como primer paso verificamos que todo se conserve, excepto la energía ya que estamos tratando con una interacción. Notemos antes que en la interacción no hay ningún barión, es 0 en ambos lados, *i.e.*, el número bariónico se conserva.

Ahora verificamos si se la carga se conserva:

$$\begin{aligned} e^- + e^+ &\longrightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0, \\ -1e + 1e &\longrightarrow 1e - 1e + 0, \\ 0 &\longrightarrow 0. \end{aligned}$$

La carga se conserva.

Para el número leptónico, del lado derecho es 0, ya que todas las partículas son mesones, mientras que del lado izquierdo tenemos

$$\begin{aligned} 1e - 1e &\longrightarrow 0, \\ 0 &\longrightarrow 0. \end{aligned}$$

El número leptónico se conserva y la interacción es posible.

Antes de dibujar el diagrama de Feynman recordemos la composición en quarks de cada uno de los piones:

$$\begin{aligned} \pi^+ &: u\bar{d}, \\ \pi^- &: d\bar{u}, \\ \pi^0 &: u\bar{u}, d\bar{d}. \end{aligned}$$

Entonces,

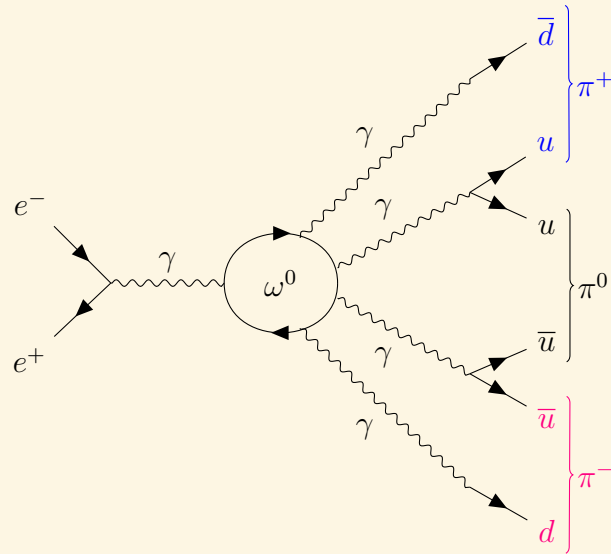


Figura 4: Diagrama de Feynman de la interacción $e^- + e^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$.

Problema 3

Checa las conservaciones y dibuja el diagrama de Feynman de interacción

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

Solución

Notemos que es un proceso leptónico, por lo que el número bariónico es cero y, además, es una interacción, por lo cual no se verificamos la conservación de la energía. Verificamos entonces si la carga se conserva,

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

$$0 - 1e \longrightarrow 0 - 1e,$$

$$- 1e \longrightarrow - 1e.$$

La carga se conserva. Ahora verificamos si el número leptónico por familia se conserva:

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

$$- 1_{\mu} - 1_e \longrightarrow - 1_{\mu} - 1_e.$$

El número leptónico por familia se conserva.

El diagrama de la interacción es

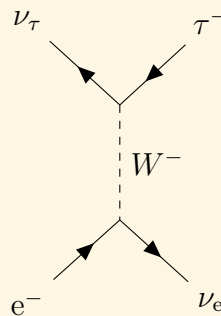


Figura 5: Diagrama de Feynman para la interacción $\nu_{\tau} + e^{-} \longrightarrow \nu_e + \tau^{-}$

Problema 4

¿Es posible el decaimiento siguiente?

$$\Sigma^- \longrightarrow \Lambda^0 + e^- + \bar{\nu}_e$$

De ser posible dibuja su diagrama de Feynman, ¿qué tipo de interacción es?

Solución

Verificamos las conservaciones, tal que para la energía tenemos

$$1197.449 \text{ MeV} \longrightarrow 1115.683 \text{ MeV} + 0.511 \text{ MeV} + 0$$

La energía del lado izquierdo es mayor, por lo que la energía se conserva. Vemos entonces si la carga se conserva,

$$-1e \longrightarrow 0 - 1e + 0,$$

$$-1e \longrightarrow -1e.$$

La carga se conserva. Ahora veremos si el número bariónico y leptónico se conserva, recordando que $\Sigma^- = dds$ y $\Lambda^0 = uds$ son bariones y e^- , $\bar{\nu}_e$ son leptones de la misma familia. Así,

- Número bariónico

$$+1 \longrightarrow +1,$$

\therefore El número bariónico se conserva.

- Número leptónico

$$0 \longrightarrow +1_e - 1_e,$$

$$0 \longrightarrow 0,$$

\therefore El número leptónico se conserva.

Además por cómo están definidos Σ^- y Λ^0 debemos verificar si se conserva la extrañeza,

$$-1 \longrightarrow -1.$$

La extrañeza se conserva.

Dibujamos su diagrama de Feynman,

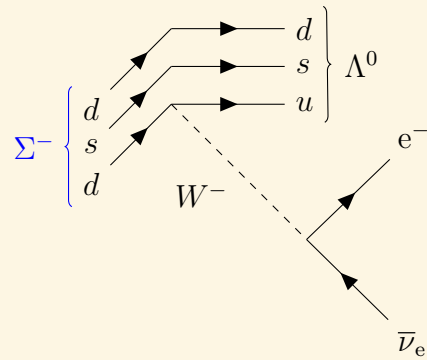


Figura 6: Diagrama de Feynman para el decaimiento de Σ^- .

Problema 5

¿Es posible la siguiente interacción?

$$\nu_\mu + p \longrightarrow \nu_\mu + p$$

Dibuja el diagrama de Feynman. ¿Qué tipo de interacción es?

Solución

No verificamos la conservación de la energía, pues es una interacción. Por otro lado notemos que en ambos lados de la interacción tenemos los mismos elementos, por lo que inmediatamente se puede ver que la carga, el número leptónico y el número bariónico se conservan.

El diagrama de Feynman para la interacción es el siguiente:

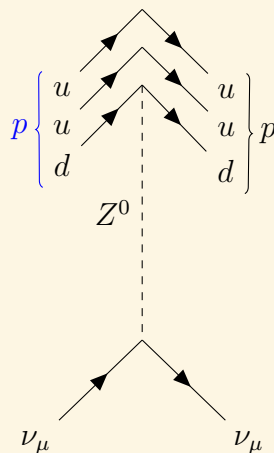


Figura 7: Diagrama de Feynman para la interacción $\nu_\mu + p \longrightarrow \nu_\mu + p$.

Problema 6

¿Por qué los gluones son los únicos bosones de norma que pueden interactuar entre sí? ¿Puede un gluon provocar el cambio de carga de color en un cuark?

Solución

En efecto, los gluones son los únicos bosones de norma que pueden interactuar entre sí porque a diferencia de los otros bosones de norma, estos tienen una carga de color. Por lo tanto, los gluones pueden interactuar entre sí mediante la interacción fuerte, ya que además son portadores de esta. Y de esta interacción surge la teoría de la cromodinámica cuántica (QCD, por sus siglas en inglés).

Entonces, ¿los gluones pueden cambiar la carga de color de un cuark? La respuesta es que sí, ya que al ser los gluones mediadores y portadores de la fuerza nuclear fuerte, si un gluon con cierta carga de color interactúa, ya sea que un cuark emita o absorba un gluon, este cambiará su carga de color.

Problema 7

¿Podrían existir hadrones compuestos por una combinación cuark-anticuark-cuark-anticuark, o mesones formados por puros gluones? Desarrolla tu respuesta.

Solución

La respuesta corta es sí, ya que la teoría nos dice que no hay un límite de cuarks que formen un hadron, siempre y cuando su carga de color sea neutra, *i.e.*, que exista el mismo número de cuarks y anticuarks.

Para el caso de los hadrones, estas combinaciones se conocen como tetracuarks, que son mesones exóticos, cuya configuración tiene la forma $q\bar{q}Q\bar{Q}$, donde q representa cuarks ligeros (*up*, *down* o *strange*) y Q cuarks pesados (*charm* o *bottom*).

Algunos candidatos a tetracuarks son:

- X(3872)
- X(4274)
- X(4500)
- X(4700)
- Z(4430)
- Y(4140)
- Z_c (3900)

Estos hadrones de cuatro cuarks configurados de esta manera forman parte de los llamados mesones exóticos, así como los mesones formados por puros gluones, que se conocen como *gluonballs* o *gluonium*, que son partículas posibles de existir debido a la respuesta dada en el problema anterior.
