

ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4

PRIMER CUATRIMESTRE DE 2014

PRÁCTICA 7: MODELO ELECTRODÉBIL

1. En la teoría de Fermi efectiva para el decaimiento beta el lagrangiano de interacción está dado por:

$$\mathcal{L} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \left(\bar{p}\gamma^\mu (C_V + C_A\gamma^5)n \bar{e}\gamma_\mu (1 - \gamma^5)v_e + h.c. \right)$$

donde C_V y C_A son constantes determinadas experimentalmente; y p , n , e y v_e son los espinores que representan protones, neutrones, electrones y neutrinos de electrón respectivamente.

- (a) Muestre que se pueden generar los decaimiento β^+ y β^- , y dibuje los diagramas de Feynman correspondientes.
- (b) A primera vista parece que en este lagrangiano sólo el neutrino tiene quiralidad definida *left*. Muestre que, además, del campo del electrón sólo interviene la parte *left*.
2. En la teoría de Fermi se define la corriente débil leptónica $J_\alpha^{(L)}$ como

$$J_\alpha^{(L)} = \bar{v}_e\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)e + \bar{v}_\mu\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)\mu + \bar{v}_\tau\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)\tau$$

y la corriente débil hadrónica (sin Cabibbo) como:

$$J_\alpha^{(H)} = \bar{u}\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)d + \bar{c}\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)s + \bar{t}\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)b$$

A partir de ellas se construye el lagrangiano de interacción corriente-corriente dado por:

$$\mathcal{L} = (J_\alpha^{(L)} + J_\alpha^{(H)})^\dagger (J_\alpha^{(L)} + J_\alpha^{(H)})$$

- (a) Muestre que $J_{(e)}^\alpha \dagger = \bar{e}\gamma^\alpha(1 - \gamma^5)v_e$
- (b) Halle y dibuje los posibles vértices de interacción de esta teoría.
- (c) Teniendo en cuenta este lagrangiano y también el lagrangiano de QED, dibuje los posibles canales de decaimiento del muón. O sea, si usted tiene un muón en reposo, ¿en qué partículas puede decaer y cómo? ¿Cómo detectaría experimentalmente que un muón decayó? ¿Cuál es un buen lugar para hallar muones?
3. Teniendo en cuenta el lagrangiano de Fermi dado en el problema anterior y el de QED, indique cuáles de los siguientes procesos son posibles y cuáles no. Justifique utilizando diagramas de Feynman y leyes de conservación.

- | | | |
|---|---|--|
| (a) $e^-e^+ \rightarrow \mu^-\bar{\nu}_\mu$ | (b) $e^-v_e \rightarrow \mu^-\bar{\nu}_\mu$ | (c) $e^- \rightarrow \mu^-\bar{\nu}_\mu v_e$ |
| (d) $\mu^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu$ | (e) $e^-e^- \rightarrow e^-e^-$ | (f) $\mu^+e^- \rightarrow \mu^+e^-$ |
| (g) $\tau^+e^- \rightarrow \nu_\tau v_e$ | (h) $\tau^+e^- \rightarrow \nu_\mu v_e$ | (i) $\mu^+e^- \rightarrow \gamma$ |
| (j) $\gamma\gamma \rightarrow v_e v_e$ | (k) $e^-\bar{\nu}_e \rightarrow \mu^-\bar{\nu}_\mu$ | (l) $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma\gamma$ |
| (m) $u\bar{u} \rightarrow d\bar{d}$ | (n) $s\bar{d} \rightarrow c\bar{c}$ | (o) $v_e s \rightarrow e^-c$ |
| (p) $c \rightarrow de^+v_e$ | (q) $\gamma\gamma \rightarrow v_e\bar{\nu}_e$ | (r) $e^-u \rightarrow sv_e$ |

4. Si, para simplificar, se consideran sólo las dos primeras generaciones de fermiones, incluir el ángulo de Cabibbo $\theta_c = 13^\circ$ modifica la corriente débil hadrónica de la siguiente manera:

$$J_\alpha^{(H)} = \bar{u}\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)(d \cos \theta_c + s \sin \theta_c) + \bar{c}\gamma_\alpha(1 - \gamma^5)(s \cos \theta_c - d \sin \theta_c)$$

A la luz de esta modificación de la teoría diga como cambian los resultados de los ítems (m) a (r) del problema anterior.

5. Considere los siguientes decaimientos. Diga cuáles pueden ocurrir al tomar la teoría de Fermi junto con QED. Justifique utilizando diagramas de Feynman y leyes de conservación.

$$\begin{array}{lll} (a) \quad \Sigma^- \rightarrow \Lambda \pi^- & (b) \quad \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma & (c) \quad K^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \\ (d) \quad \Sigma^- \rightarrow n \pi^- & (e) \quad \Sigma^+ \rightarrow p \gamma & (f) \quad D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^- \end{array}$$

6. Muestre que para un ángulo de Cabibbo $\theta_c = 13^\circ$ se predice la siguiente relación entre los decaimientos del D^0 : $K^- \pi^+ : \pi^- \pi^+ : K^+ \pi^- \simeq 360 : 19 : 1$

7. A partir de la sustitución de los campos vectoriales W_μ^3 y B_μ por los campos A_μ y Z_μ

$$\begin{aligned} A_\mu &= \frac{1}{\sqrt{g_2^2 + g_1^2}} (g_1 W_\mu^3 + g_2 B_\mu) \\ Z_\mu &= \frac{1}{\sqrt{g_2^2 + g_1^2}} (g_2 W_\mu^3 - g_1 B_\mu) \end{aligned}$$

en los términos de interacción asociados a la simetría U(1) de hipercarga y SU(2) de isospín débil,

$$\mathcal{L}_{int}^{U(1)} = \frac{g_1}{2} [Y_L (\bar{\nu}_L \gamma^\mu \nu_L + \bar{e}_L \gamma^\mu e_L) + Y_R (\bar{e}_R \gamma^\mu e_R)] B_\mu$$

$$\mathcal{L}_{int}^{SU(2)} = \frac{g_2}{2} [\bar{\nu}_L \gamma^\mu \nu_L W_\mu^3 + \sqrt{2} \bar{\nu}_L \gamma^\mu e_L W_\mu^+ + \sqrt{2} \bar{e}_L \gamma^\mu \nu_L W_\mu^- - \bar{e}_L \gamma^\mu e_L W_\mu^3]$$

donde $W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}}(W_\mu^1 \mp iW_\mu^2)$ (ojo al signo!). Notación: $Q = T_3 + Y/2$

- (a) Muestre que el acoplamiento entre los electrones y el campo A_μ es el usual de QED

$$q_e \{ \bar{e}_L \gamma^\mu e_L + \bar{e}_R \gamma^\mu e_R \} A_\mu$$

provisto que g_1 y g_2 estén relacionadas con la carga eléctrica q_e según

$$q_e = g_1 \cos \theta_W$$

con

$$\cos \theta_W = \frac{g_2}{\sqrt{g_2^2 + g_1^2}}$$

- (b) Muestre que el Z^0 se acopla a las componentes right y left de la corriente de electrones con distintas constantes

$$\frac{q_e}{\cos \theta_W \sin \theta_W} \left\{ \left(-\frac{1}{2} + \sin^2 \theta_W \right) \bar{e}_L \gamma^\mu e_L + (\sin^2 \theta_W) \bar{e}_R \gamma^\mu e_R \right\} Z_\mu^0$$

y que el término de acoplamiento con los neutrinos es de la forma

$$\frac{q_e}{2 \cos \theta_W \sin \theta_W} \{ \bar{\nu}_L \gamma^\mu \nu_L \} Z_\mu^0$$

- (c) Interprete en términos de vértices de interacción, y de sus correspondientes diagramas de Feynman, los términos de acoplamiento entre las componentes left de los electrones, los neutrinos, y los bosones W^+ y W^- . Analice la conservación de la carga eléctrica y de la helicidad en cada vértice y deduzca a partir de ello la carga eléctrica y el spin de los bosones.