ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4

SEGUNDO CUATRIMESTRE DE 2017

PRÁCTICA 9: MODELO ELECTRODÉBIL PREVIO AL MECANISMO DE HIGGS

A fin de acercarnos al modelo estandar completo, en esta guía suponemos que todos los fermiones y bosones de gauge no tienen masa. La simetría de gauge no esta rota aún.

1. Escriba la parte del lagrangiano correspondientes a los campos de gauge W's y B asociados al grupo $SU(2) \otimes U(1)$

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

$$\begin{aligned} A_\mu &\equiv cos(\theta_W) B_\mu + sen(\theta_W) W_\mu^3 \\ Z_\mu &\equiv -sen(\theta_W) B_\mu + cos(\theta_W) W_\mu^3 \end{aligned}$$

en los términos de interacción asociados a la simetría U(1) de hipercarga y SU(2) de isospín débil, siendo θ_W un parámetro a determinar (el ángulo de Weinberg):

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

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

provisto que g' y g (las constantes de acoplamiento de $U(1)$ y $SU(2)_L$ respectivamente) estén relacionadas con el modulo de la carga electrica según

$$| \, q_e \, | = g \, sen(\theta_W) = g' cos(\theta_W)$$

lo que implica que $cos(\theta_W) = \frac{g}{\sqrt{g^2 + g'^2}}$

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

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

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

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

(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^-, siendo $W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}}(W_\mu^1 \mp i W_\mu^2)$ (ojo al signo!). .

3. Teniendo en cuenta el lagrangiano del modelo electrodebil, indique cuáles de los siguientes procesos son posibles y cuáles no. Justifique utilizando diagramas de Feynman y leyes de conservación.

$$\begin{array}{lrcl lrcl lrcl}
(a) & e^-e^+ & \to & \mu^-\bar{\nu}_\mu & (b) & e^-\nu_e & \to & \mu^-\bar{\nu}_\mu & (c) & e^- & \to & \mu^-\bar{\nu}_\mu\nu_e \\
(d) & \mu^- & \to & e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu & (e) & e^-e^- & \to & e^-e^- & (f) & \mu^+e^- & \to & \mu^+e^- \\
(g) & \tau^+e^- & \to & \nu_\tau\nu_e & (h) & \tau^+e^- & \to & \nu_\mu\nu_e & (i) & \mu^+e^- & \to & \gamma \\
(j) & \gamma\gamma & \to & \nu_e\nu_e & (k) & e^-\bar{\nu}_e & \to & \mu^-\bar{\nu}_\mu & (l) & e^+e^- & \to & \gamma\gamma\gamma \\
(m) & u\bar{u} & \to & d\bar{d} & (n) & s\bar{d} & \to & c\bar{c} & (o) & \nu_e s & \to & e^-c \\
(p) & c & \to & de^+\nu_e & (q) & \gamma\gamma & \to & \nu_e\bar{\nu}_e & (r) & e^-u & \to & s\nu_e
\end{array}$$

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 el modelo electrodébil. Justifique utilizando diagramas de Feynman y leyes de conservación.

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

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. En la teoría de Fermi se define la corriente débil leptónica $J_\alpha^{(L)}$ como

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

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:

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

   (a) Muestre que ${J_{(e)}^\alpha}^\dagger = \bar{e}\gamma^\alpha(1-\gamma^5)\nu_e$
   (b) Halle y dibuje los posibles vértices de interacción de esta teoría y comparelos con los del modelo electrodébil.

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

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

donde C_V y C_A son constantes determinadas experimentalmente; y p, n, e y ν_e son los espinores que representan protones, neutrones, electrones y neutrinos de electrón respectivamente. Muestre que se pueden generar los decaimiento β^+ y β^-, y dibuje los diagramas de Feynman correspondientes.