

## ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4

### PRIMER CUATRIMESTRE DE 2017

#### PRÁCTICA 7: MODELO ELECTRODÉBIL PREVIO AL MECANISMO DE HIGGS

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  $W_\mu^3$  y  $B_\mu$  por los campos  $A_\mu$  y  $Z_\mu$

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

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

- (a) Muestre que el acoplamiento entre los electrones y el campo  $A_\mu$  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  $g'$  y  $g$  (las constantes de acoplamiento de  $U(1)$  y  $SU(2)_L$  respectivamente) estén relacionadas con el modulo de la carga electrica según

$$|q_e| = g \sin(\theta_W) = g' \cos(\theta_W)$$

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

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

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

3. Teniendo en cuenta el lagrangiano del modelo electrodébil, 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) $e^- \nu_e \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$	(c) $e^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_e$
(d) $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$	(e) $e^- e^- \rightarrow e^- e^-$	(f) $\mu^+ e^- \rightarrow \mu^+ e^-$
(g) $\tau^+ e^- \rightarrow \nu_\tau \nu_e$	(h) $\tau^+ e^- \rightarrow \nu_\mu \nu_e$	(i) $\mu^+ e^- \rightarrow \gamma$
(j) $\gamma \gamma \rightarrow \nu_e \nu_e$	(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) $\nu_e s \rightarrow e^- c$
(p) $c \rightarrow d e^+ \nu_e$	(q) $\gamma \gamma \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$	(r) $e^- u \rightarrow s \nu_e$

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 el modelo electrodébil. 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. 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:

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

- (a) Muestre que  $J_{(e)}^\alpha \dagger = \bar{e}\gamma^\alpha(1 - \gamma^5)\nu_e$
- (b) Halle y dibuje los posibles vértices de interacción de esta teoría y compárelos con los del modelo electrodébil.
8. En la teoría de Fermi efectiva para el decaimiento beta el lagrangiano de interacción está dado por:

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

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