

# Introdução à Física de Partículas

Prof. Gustavo Burdman

## Lista 7

1. Dado um férmion de Dirac  $\psi$ , verifique que

$$P_{L,R} \equiv \frac{(1 \mp \gamma^5)}{2}$$

são operadores de projeção e que  $P_{L,R}\psi = \psi_{L,R}$ .

(a) Mostre então, que

$$\begin{aligned}\bar{\psi}\psi &= \bar{\psi}_L\psi_R + h.c. \\ \bar{\psi}\gamma_\mu\psi &= \bar{\psi}_L\gamma_\mu\psi_L + \bar{\psi}_R\gamma_\mu\psi_R\end{aligned}$$

(b) Mostre que

$$2\bar{\psi}_L\gamma_\mu\psi_L = \bar{\psi}\gamma_\mu(1 - \gamma_5)\psi$$

2. Mostre que as correntes fracas carregadas

$$j_\mu^+ \equiv \bar{\nu}_L\gamma_\mu e_L, \quad j_\mu^- \equiv \bar{e}_L\gamma_\mu \nu_L,$$

podem ser escritas como

$$j_\mu^\pm \equiv \bar{\chi}_L \sigma^\pm \chi_L,$$

onde  $\sigma^\pm = (\sigma^1 \pm i\sigma^2)/2$ ,  $\sigma^1$  e  $\sigma^2$  são as matrizes de Pauli, e definimos o dubleto de mão esquerda como

$$\chi_L \equiv \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L^- \end{pmatrix}.$$

3. Assumindo que existem bósons de gauge eletrofracos, 2 carregados  $W^\pm$ , e dois neutros,  $W^3$  e  $B$ , podemos tentar unificar as interações fracas com o eletromagnetismo. O  $W^3$  faz parte dos bósons de gauge da teoria  $SU(2)_L$ , enquanto que o  $B$  é o bóson de gauge do  $U(1)_Y$ .

- (a) Mostre que  $j_\mu^{\text{em}} = j_\mu^3 + j_\mu^Y$  resulta em  $Q = T_3 + Y$  onde  $Q$  é a carga elétrica do férmion,  $T_3$  é o seu autovalor do operador  $\sigma^3/2$  ( $\pm 1/2$ ), e  $Y$  é a sua hipercarga.
- (b) Calcule as hipercargas de todos os férmions (i.e. léptons e quarks de mão esquerda e direita).

4. O  $W^3$  e o  $B$  se misturam com um ângulo  $\theta$ , de forma que os auto-estados de massa são o fóton  $A$  e o  $Z$ . Sabendo que a mistura é dada por

$$\begin{aligned} W_\mu^3 &= Z_\mu \cos \theta + A_\mu \sin \theta \\ B_\mu &= -Z_\mu \sin \theta + A_\mu \cos \theta . \end{aligned}$$

Da derivada covariante de gauge dos férmions, podemos ver que as interações neutras tem a forma

$$-ig j_\mu^3 W^{3\mu} - ig' j_\mu^Y B^\mu ,$$

onde  $g$  e  $g'$  são os acoplamentos de  $SU(2)_L$  e de  $U(1)_Y$  respectivamente.

- (a) Obtenha o acoplamento do fóton aos férmions. Mostre que o acoplamento eletromagnético deve satisfazer

$$e = g \sin \theta = g' \cos \theta$$

- (b) Obtenha os acoplamentos do  $Z_\mu$  com todos os férmions.

5. Calcule as larguras dos decaimentos  $W^- \rightarrow e\bar{\nu}_e$ ,  $W^- \rightarrow \bar{u}d$ . Calcule também as larguras de  $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ ,  $Z^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ ,  $Z^0 \rightarrow d\bar{d}$  e  $Z^0 \rightarrow u\bar{u}$ .