



## Exame de Teoria do Campo

Curso de Física Tecnológica - 2009/2010 (17/7/2010)

I (4 valores)

a) Considere a colisão  $K^+ + p \rightarrow X + p$ , no referencial do laboratório, onde o próton está em repouso. Sabendo que o momento do  $K^+$  inicial é 200 GeV/c e que o momento do próton final, na mesma direcção que o  $K^+$  inicial, é 50 GeV/c, determine a massa da partícula X. Dados:  $m_{K^+} = 493$  MeV,  $m_p = 938$  MeV.

b) Verifique que o spinor (escrito na representação de Dirac),

$$u(p) = N \begin{bmatrix} p_z + |\vec{p}| \\ p_+ \\ (p_z + |\vec{p}|) \frac{|\vec{p}|}{E + m} \\ p_+ \frac{|\vec{p}|}{E + m} \end{bmatrix}, \quad \text{com} \quad N = \sqrt{\frac{E + m}{2|\vec{p}|}} \frac{1}{\sqrt{|\vec{p}| + p_z}}$$

onde  $p_+ = p_x + ip_y$ , satisfaz a equação de Dirac para spinores de energia positiva,  $(\not{p} - m)u(p) = 0$ , é um estado próprio do operador helicidade  $\Sigma \cdot \vec{p}/|\vec{p}|$  com valor próprio +1 e está correctamente normalizado, isto é,  $\bar{u}(p)u(p) = 2m$ .

Os problemas **II**, **III**, **IV** e **V** situam-se no quadro do Modelo Standard. Os vértices relevantes para os problemas estão no final do enunciado.

II (3 valores)

Desenhe o(s) diagrama(s) de Feynman para os seguintes processos:

a)  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$    b)  $W^- \rightarrow e^- + \nu_e + \gamma$    c)  $H \rightarrow t + \bar{b} + W^-$

Não é para calcular nada, só desenhar os diagramas.

III (4.5 valores)

Considere o decaimento do bóson de Higgs,  $H \rightarrow W^- + W^+$  neste modelo.

a) Escreva a amplitude invariante para o processo.

b) Qual a velocidade do bóson  $W^+$  no referencial em que o Higgs está em repouso?

c) Calcule a expressão da largura de decaimento  $\Gamma(H \rightarrow W^- + W^+)$  em função dos parâmetros do modelo.

d) Sabendo que o vector de polarização longitudinal do bóson  $W$ , no referencial em que ele se move com velocidade  $\vec{\beta}$  é dado por  $\varepsilon_L^\mu = (\gamma\beta, \gamma\vec{\beta}/\beta)$ , mostre que a fracção dos decaimentos em que os dois  $W$  estão polarizados longitudinalmente é,

$$F_L(x) = \frac{4 + x^2(x^2 - 4)}{12 + x^2(x^2 - 4)}$$

onde  $x = M_H/M_W$ . Como interpreta o valor  $F_L(2) = 1/3$ ? Consegue explicar a razão porque  $F_L(x) \rightarrow 1$  quando  $x \gg 1$ ?

#### IV ( 4 valores)

Considere o processo  $Z(p) \rightarrow e^-(q_1) + e^+(q_2) + \gamma(k)$  no quadro do modelo acima descrito.

- a) Escreva a amplitude para o processo.
- b) Mostre que a amplitude é invariante de gauge, isto é, se  $\mathcal{M} \equiv \epsilon^\mu(k) \mathcal{M}_\mu$  onde  $k$  é o 4-momento do fóton, então temos  $k^\mu \mathcal{M}_\mu = 0$ .

#### V (4.5 valores)

Considere o processo  $\nu_\mu + e^- \rightarrow e^- + \nu_\mu$  no quadro do Modelo Padrão das interações electrofracas.

- a) Considere que todas as energias são muito inferiores à massa do  $Z$ . Escreva a expressão para a amplitude nessa aproximação.
- b) Calcule a secção eficaz diferencial  $d\sigma/d\Omega$  no referencial do centro de momento (CM), no limite em que se desprezam todas as massas dos fermiões (mas sendo ainda válida a aproximação da alínea anterior). Os ângulos em  $d\Omega$  são os que faz no CM a direcção do  $e^-$  difundido com a direcção do  $\nu_\mu$  incidente.
- c) Calcule a secção eficaz total  $\sigma$  no CM. Exprima o resultado em picobarn para  $\sqrt{s} = 5 \text{ GeV}$ .

#### Dados

- $M_W = 80.4 \text{ GeV}$ ,  $M_Z = 91.2 \text{ GeV}$ ,  $G_F = 1.166 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ ,  $g^2 = 8G_F M_W^2 / \sqrt{2}$ .
- $\hbar = c = 1$  implica,  $1 = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ,  $1 = 197.327 \text{ Mev fermi}$ ,  $1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m}$ .
- $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ .
- $\epsilon^{0123} = +1$ ,  $\gamma_5 = i \gamma^0 \gamma^1 \gamma^2 \gamma^3$ .
- No referencial do CM temos:

$$\frac{d\Gamma}{d\Omega} = \frac{1}{32\pi^2} \frac{|\vec{p}_{\text{CM}}|}{m^2} |\overline{M}|^2, \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{64\pi^2 s} \frac{|\vec{p}_{3\text{CM}}|}{|\vec{p}_{1\text{CM}}|} |\overline{M}|^2$$

respectivamente para uma partícula de massa  $m$  que decai, e para um processo  $p_1 + p_2 \rightarrow p_3 + p_4$ .

- Vértices

