INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Exame de Teoria do Campo

Curso de Física Tecnológica - 2012/2013 1ª Época (6/6/2013)

I (4 valores)

a) Considere o processo

$$A + B \to C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

O feixe de partículas A tem energia E_A no referencial do **Lab**, onde a partícula B está em repouso. Escreva a expressão para a energia mínima, $E_A^{\min}$, necessária para que a reacção possa ter lugar, em função de m_A, m_B e $M \equiv m_{C_1} + m_{C_2} + \cdots m_{C_n}$.

b) Demonstre a relação,

$$\text{Tr}\left[\not{p}_1 \not{p}_2 \ldots \not{p}_n\right] = \text{Tr}\left[\not{p}_n \not{p}_{n-1} \ldots \not{p}_1\right]$$

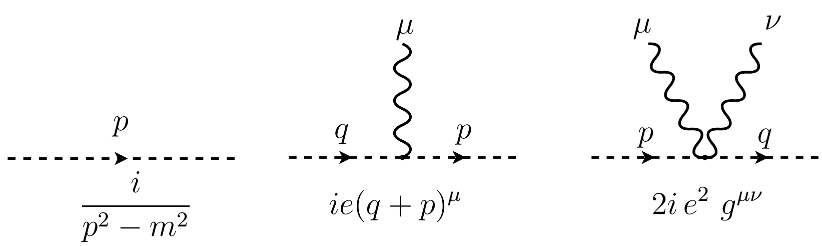
c) Considere a igualdade

$$\gamma_\alpha \sigma^{\mu\alpha} \gamma^\nu \gamma_5 = A g^{\mu\nu} + B g^{\mu\nu}\gamma_5 + C\sigma^{\mu\nu} + D\epsilon^{\mu\nu\alpha\beta}\, \sigma_{\alpha\beta}$$

Determine A, B, C e D.

II (4 valores)

Considere a interacção do fotão com uma partícula escalar de carga negativa ϕ^- (esta teoria designa-se por vezes *Electrodinâmica Escalar*). O propagador e os vértices são



Dentro deste modelo considere o processo *equivalente* ao efeito de Compton, $\gamma(k) + \phi^-(p) \to \gamma(k') + \phi^-(p')$ onde k, p, k' e p' são os momentos das partículas.

a) Desenhe o(s) diagrama(s) que contribuem para o processo em ordem mais baixa.

b) Escreva a amplitude para o processo.

c) Mostre que a amplitude é invariante de gauge, isto é, se $\mathcal{M} \equiv \epsilon^\mu(k)\,\epsilon^\nu(k')\,\mathcal{M}_{\mu\nu}$, então temos $k^\mu \mathcal{M}_{\mu\nu} = 0$ e $k'^\nu \mathcal{M}_{\mu\nu} = 0$ (basta mostrar para um dos casos).

III (4.5 valores)

Considere o processo $\overline{\nu}_e + e^- \to \overline{\nu}_\mu + \mu^-$ no quadro do modelo padrão.

a) Desenhe o(s) diagrama(s) que contribuem para o processo em ordem mais baixa.

b) Escreva a amplitude para o processo.

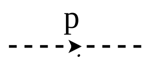
c) Quando se desprezam as massas dos leptões e se considera que a energia no `CM`, $\sqrt{s}$, é muito inferior às massas do bosões W e Z, a secções eficaz pode-se escrever na forma

$$\sigma = \frac{\lambda}{\pi} G_F^2\, s$$

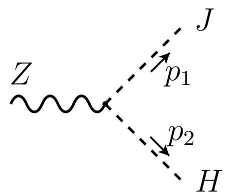
Determine λ.

IV (4.5 valores)

Considere o processo $H \to Z + J$ numa teoria que é o modelo padrão das interações electrofacas mas que para além do Higgs normal H tem um campo pseudo-escalar J, neutro, sem massa e com o propagador e único acoplamento dados por



$$\frac{i}{p^2}$$



$$\frac{g}{2\cos\theta_W}\,(p_1 - p_2)^\mu$$

a) Escreva a amplitude para o processo. Notar que $M_H > M_Z$.

b) Calcule a expressão para largura de decaimento em função das massas M_Z, M_H e de G_F.

V (3 valores)

Considere as correcções a um *loop* no quadro do modelo do problema IV. Considere só diagramas irredutíveis de 1 partícula. **Não é para fazer contas**.

a) Desenhe o(s) diagrama(s) para a auto energia do J a um *loop*. Discuta o grau superficial de divergência, isto é, conte as potências do momento.

b) Desenhe o(s) diagrama(s) para a correcção do vértice HZJ a um *loop*. Discuta o grau superficial de divergência, isto é, conte as potências do momento.

c) Será a teoria renormalizável? Justifique a resposta.

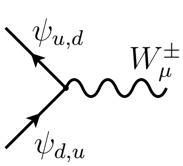
Alguns dados

- No referencial do CM temos:

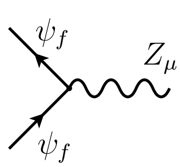
$$\frac{d\Gamma}{d\Omega} = \frac{1}{32\pi^2}\frac{|\vec{p}_{\rm CM}|}{m^2}\,\overline{|M|}^2, \qquad \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{64\pi^2\, s}\frac{|\vec{p}_{3\rm CM}|}{|\vec{p}_{1\rm CM}|}\,\overline{|M|}^2$$

para uma partícula de massa m que decai em duas, ou para um processo $p_1 + p_2 \to p_3 + p_4$.

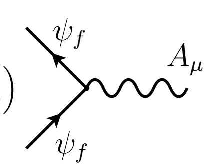
- $\mathrm{Tr}[\not{a}\not{b}\not{c}\not{d}\gamma_5] = -4i\,\epsilon^{\alpha\beta\gamma\delta}a_\alpha b_\beta c_\gamma d_\delta, \qquad \epsilon^{\mu\nu\alpha\beta}\epsilon_{\mu\nu}{}^{\gamma\delta} = -2g^{\alpha\gamma}g^{\beta\delta} + 2g^{\alpha\delta}g^{\beta\gamma}$
- No modelo padrão $M_W = M_Z\cos\theta_W$, $g_V^f = \frac{1}{2}T_3^f - Q_f\sin^2\theta_W$, $g_A^f = \frac{1}{2}T_3^f$ e $G_F = \sqrt{2}\,g^2/(8M_W^2)$.



$$i\frac{g}{\sqrt{2}}\gamma_\mu\frac{1-\gamma_5}{2}$$



$$i\frac{g}{\cos\theta_W}\gamma_\mu\left(g_V^f - g_A^f\gamma_5\right)$$



$$-ieQ_f\gamma_\mu$$