



## Exame de Teoria do Campo

Curso de Física Tecnológica - 2009/2010

(Entregar até 26/07/2010 às 12 horas no meu cacifo no 3º Piso.)

Os problemas situam-se dentro do Modelo Standard (SM) das interações fracas e electro-magnéticas ou na sua restrição a QED. Os acoplamentos que não estão no livro de texto são dados no final do enunciado. Os valores das massas e das larguras que precisar pode encontrar no site do *Particle Data Group* em <http://pdg.lbl.gov/>.

### I

Considere o processo  $\gamma(k_1) + \gamma(k_2) \rightarrow e^-(p_1) + e^+(p_2)$  sem desprezar as massas dos fermiões.

a) Mostre que se tem

$$\frac{1}{4} \sum_{\text{spins}} \sum_{\lambda_1, \lambda_2} |M|^2 = 2e^4 \left[ -4 \left( \frac{m_e^2}{m_e^2 - t} + \frac{m_e^2}{m_e^2 - u} \right)^2 + 4 \left( \frac{m_e^2}{m_e^2 - t} + \frac{m_e^2}{m_e^2 - u} \right) + \frac{m_e^2 - t}{m_e^2 - u} + \frac{m_e^2 - u}{m_e^2 - t} \right] \quad (1)$$

com

$$\begin{aligned} s &= (k_1 + k_2)^2 = (p_1 + p_2)^2 \\ t &= (k_1 - p_1)^2 = (k_2 - p_2)^2 \\ u &= (k_1 - p_2)^2 = (k_2 - p_1)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

e escreva a expressão para a secção eficaz diferencial  $d\sigma/dt$ .

b) Encontre a expressão para a secção eficaz total. Escreva o resultado em termos de  $\alpha$ ,  $m_e$ ,  $s$ .

c) Mostre que no limite  $\sqrt{s} \gg m_e$  se obtém

$$\sigma_{\text{tot}} \simeq \frac{4\pi\alpha^2}{s} \left( \ln \frac{s}{m_e^2} - 1 \right) \quad (3)$$

d) Faça um gráfico da secção eficaz total em função de  $\sqrt{s} \in [1, 1000]$  GeV expressando o resultado em picobarns. Use o **CalcHEP** para calcular este mesmo processo e sobreponha os pontos do **CalcHEP** sobre a curva que calculou exactamente. Não esquecer de verificar se as constantes são as mesmas nos dois programas.

## II

Considere o processo  $H^0(p) \rightarrow W^-(k) + t(q_1) + \bar{b}(q_2)$  no modelo padrão (os vértices relevantes que não estão no livro de texto encontram-se no final do enunciado). **Em todos os cálculos despreze a massa do quark  $b$ , isto é, faça  $m_b = 0$ .**

- a) Escreva as amplitudes invariantes para este processo.
- b) Calcule a largura de decaimento do  $H$ . Faça um gráfico da largura para uma massa do bóson de Higgs no intervalo  $M_H \in [M_W + m_t, 700]$  GeV. Indique neste gráfico a importância relativa dos diferentes diagramas e da sua interferência.

---

### NOTAS

#### 1. Vértices

A dashed line labeled  $H$  enters from the left and splits into two solid lines labeled  $f$  exiting to the right. The vertex factor is  $-i \frac{g}{2} \frac{m_f}{m_W}$ .

A dashed line labeled  $H$  enters from the left and splits into two wavy lines labeled  $W_\mu^+$  and  $W_\nu^-$  exiting to the right. The vertex factor is  $i g m_W g_{\mu\nu}$ .

A dashed line labeled  $H$  enters from the left and splits into two wavy lines labeled  $Z_\mu$  and  $Z_\nu$  exiting to the right. The vertex factor is  $i \frac{g}{\cos \theta_W} m_Z g_{\mu\nu}$ .

2. O texto <http://porthos.ist.utl.pt/CTQFT/files/RealExample.pdf> pode ajudar a fazer as integrações de três partículas no estado final, com as adaptações necessárias.