

Examen de Physique des Particules II

Documents du cours autorisés

Exercice 1 : Désintégration du boson W

- a) Donnez le diagramme et l'amplitude de Feynman $i\mathcal{M}_{fi}$ pour la désintégration d'un boson W en paire lepton-neutrino.
- b) La largeur de désintégration du Z en leptons est donnée par :

$$\Gamma_{Z \rightarrow \ell - \ell^+} = \frac{G_F}{6\sqrt{2}\pi} (c_V^2 + c_A^2) M_Z^3$$

- En déduire l'expression de la largeur partielle $\Gamma_{W^- \rightarrow \ell \bar{\nu}_\ell}$ ($\ell = e, \mu, \text{ ou } \tau$) en fonction de G_F et M_W .
- c) Donnez l'expression des largeurs partielles $\Gamma_{W^- \rightarrow q_u \bar{q}_d}$ ($q_u = u, c, t, q_d = d, s, b$). Vous prendrez en compte les corrections radiatives QCD ($1 + \alpha_s/\pi$, avec $\alpha_s = 0.118$).
- d) Justifiez que la largeur totale ne dépend pas de la matrice CKM.
- d) Calculez la largeur totale et les rapports d'embranchement $\text{BR}(W^- \rightarrow e \bar{\nu}_e)$ et $\text{BR}(W^- \rightarrow \text{hadrons})$. Comparez aux valeurs expérimentales.
- e) En supposant qu'un quark top se désintègre à 100% en $W^+ b$, quel est le rapport d'embranchement de $t \rightarrow b \bar{c}$ (Vous justifierez pourquoi vous pouvez utiliser le résultat précédent).

Exercice 2 : Diffusion neutrino-électron

Calculez les sections efficaces différentielles et totales pour les processus $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_e + \mu^-$ et $\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-$ dans la limite où l'énergie échangée est faible ($q^2 \ll M_W^2$).

- a) Tracez les diagrammes de Feynman en théorie électrofaible. Que deviennent ces diagrammes quand l'impulsion du W devient négligeable devant sa masse.
- b) Déterminez l'amplitude \mathcal{M}_{fi} pour le processus $\nu_\mu(k) + e^-(p) \rightarrow \nu_e(k') + \mu^-(p')$ dans la limite basse énergie.
- c) Donnez la définition de $|\overline{\mathcal{M}_{fi}}|^2$.
- d) $|\overline{\mathcal{M}_{fi}}|^2 \propto T_{\lambda\alpha} T'^{\lambda\alpha}$ avec

$$\begin{aligned} T_{\lambda\alpha} &= \text{Tr}[\not{k}' \gamma_\lambda (1 - \gamma_5) (\not{p} + m_e) \gamma_\alpha (1 - \gamma_5)], \\ T'^{\lambda\alpha} &= \text{Tr}[(\not{p}' + m_\mu) \gamma^\lambda (1 - \gamma_5) \not{k} \gamma^\alpha (1 - \gamma_5)] \end{aligned}$$

- Calculez les traces. (Rem. : On peut déduire la deuxième trace de la première.)
- e) Montrez que le carré de l'élément matrice moyenné est donné par

$$|\overline{\mathcal{M}_{fi}}|^2 = 64 G_F^2 (p' \cdot k') (p \cdot k).$$

où G_F est la constante de Fermi.

Aide : $\epsilon_{\lambda\alpha\mu\nu} \epsilon^{\lambda\alpha\rho\sigma} = -2(\delta_\mu^\rho \delta_\nu^\sigma - \delta_\mu^\sigma \delta_\nu^\rho)$.

Tournez la page s.v.p.

- f) Calculez la section efficace différentielle dans le système du centre de masse, $d\sigma/d\Omega^*$ dans la limite $s \gg m_e^2$ en gardant $m \equiv m_\mu$.
- g) Calculez la section efficace totale.
- h) Trouvez $|\overline{\mathcal{M}_{fi}}|^2$ pour le processus $\bar{\nu}_e(k) + e^-(p) \rightarrow \bar{\nu}_\mu(k') + \mu^-(p')$. Vous pouvez utiliser la symétrie de croisement.
- i) Répétez f) et g) pour cette réaction.
- j) Comparez les sections efficaces dans la limite $s \gg m^2$.

Exercice 3 : Invariance de jauge

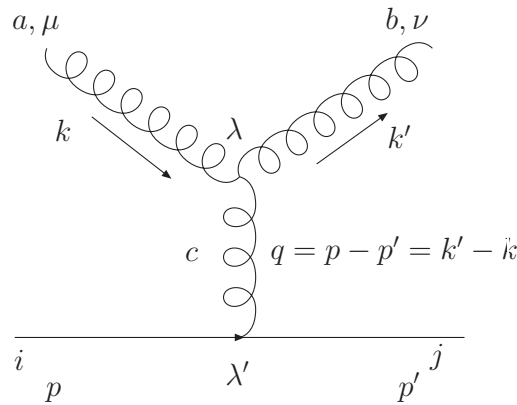
En cours, on a montré pour le processus QED-Compton à leading order que la substitution $\epsilon_\mu(k) \rightarrow k_\mu$ dans l'amplitude de Feynman donne $\mathcal{M}_{fi}(\epsilon_\mu(k) \rightarrow k_\mu) = 0$ à cause de l'invariance de jauge. On considère ici le cas analogue en QCD, le processus QCD-Compton $g(k) + q(p) \rightarrow g(k') + q(p')$.

- a) Tracez les diagrammes de Feynman contribuant au processus QCD-Compton à leading order en remplaçant les photons par les gluons dans les diagrammes du processus QED-Compton.
- b) On trouve pour ces amplitudes :

$$\mathcal{M}_{fi}(\epsilon_\mu(k) \rightarrow k_\mu) = g^2 \bar{u}(p') \not{\epsilon}(k') u(p) [T_b, T_a]_{ji} = -g^2 \bar{u}(p') \not{\epsilon}(k') u(p) i f_{abc} (T_c)_{ji}.$$

Quelle est la différence par rapport au processus QED-Compton ?

- c) Pour restaurer l'invariance de jauge il faut prendre en compte un troisième diagramme dans lequel le vertex à 3-gluons intervient :



Précisez l'élément matrice \mathcal{M}_{fi} pour ce diagramme en utilisant les indices de couleur donnés sur la figure.

- d) Calculez $\mathcal{M}_{fi}(\epsilon_\mu(k) \rightarrow k_\mu)$.

Quelques pistes :

- (i) $k^2 = k'^2 = 0, k \cdot q = k \cdot k' = -\frac{1}{2}q^2$.
- (ii) $\bar{u}(p') \not{k} u(p) = \bar{u}(p') \not{k}' u(p)$ en utilisant l'équation de Dirac.
- (iii) $k' \cdot \epsilon(k') = 0$ (condition de Lorentz).