UGA - Master 2 Physique Subatomique et Cosmologie 21 novembre 2018, durée 3h

Examen de Physique des Particules 1
Particle Physics Booklet et notes de cours/TD autorisés

Exercice 1 : La diffusion $e^-e^+ \to q\bar{q}$ polarisée

Nous étudions dans la suite le processus $e^-(p_1, h_1) + e^+(p_2, h_2) \to \gamma^* \to q(p_1') + \bar{q}(p_2')$.

Les fermions dans l'état initial sont polarisés avec une hélicité h_1, h_2 = fixe ($h_1, h_2 \in \{-1, +1\}$). Par conséquent, aucune somme/moyenne sur les spins initiaux n'est effectuée. Par contre, les quarks ne sont pas polarisés et il faut effectuer une somme sur les spins dans l'état final.

On utilise pour un (anti-)fermion polarisé avec impulsion p, masse m et helicité fixe $h = +1, -1$ les operateurs de projection suivants :

$$u(p,h)\bar{u}(p,h) = (\not{p} + m)\frac{1}{2}(1 - h\gamma_5)\,, \quad (1)$$

$$v(p,h)\bar{v}(p,h) = (\not{p} - m)\frac{1}{2}(1 + h\gamma_5)\,. \quad (2)$$

On retrouve les relations de fermeture usuelles lorsqu'on somme sur h :

$$\sum_h u(p,h)\bar{u}(p,h) = (\not{p} + m)\,, \quad (3)$$

$$\sum_h v(p,h)\bar{v}(p,h) = (\not{p} - m)\,. \quad (4)$$

Pour simplifier les calculs on **négligera les masses des électrons et quarks**.

a) Tracez le(s) diagramme(s) de Feynman (à leading order) en indiquant toutes les informations pertinentes et donnez l'élément de matrice M_{fi}.

b) Calculez le carré de l'élément de matrice $|M_{fi}|^2$ (en effectuant la somme sur les spins et couleurs des quarks) en fonction des variables de Mandelstam et des hélicités h_1, h_2.

c) Précisez alors la section efficace $d\sigma/dt$ en fonction de s, t, h_1, h_2.

d) Déterminez les variables de Mandelstam dans le referentiel du CMS et donnez la section efficace $d\sigma/d\Omega^*$ en fonction de s, θ^*, h_1, h_2 dans ce référentiel.

e) Utilisez le résultat en c) ou d) pour obtenir la section efficace totale $\sigma(h_1, h_2)$.

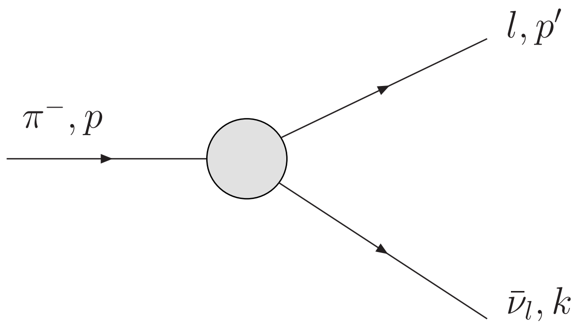
f) Comment peut-on utiliser le résultat en e) pour obtenir la section efficace non-polarisée σ ? Est-ce que le résultat pour σ ainsi obtenu correspond à vos attentes ? Comparez avec le processus $e^-e^+ \to e^-e^+$.

g) Trouvez la section efficace pour une expérience où 80% des électrons ont une hélicité gauche ($h_{e^-} = -1$), 20% une helicité droite ($h_{e^-} = +1$), 60% des positrons une hélicité droite ($h_{e^+} = +1$) et 40% une helicité gauche ($h_{e^+} = -1$).

Tournez la page s.v.p.

Exercice 2 : Désintégration du pion chargé

On considère la désintégration du pion chargé en leptons. L'amplitude de Feynman associée à ce processus est de la forme : $|\mathcal{M}_{fi}|^2 = Ak.p'$, où A est une constante et k est p' sont les quadri-impulsions sortantes (voir schéma).



a) Précisez tous les modes de désintégration du π^- à l'ordre le plus bas.
b) Rappelez la formule de l'espace de phase $d\Phi_2$ pour deux particules.
c) Donnez l'expression de la largeur partielle différentielle de désintégration $d\Gamma_{\pi^- \to l^- \bar{\nu}_l}$.
d) Démontrez que pour un quadri-vecteur $k = (k^0, \vec{k})$ avec $k^2 = 0$:

$$\int \frac{1}{2E} d^3\vec{k} = \int d^4k \; \delta(k^2)\theta(k^0) \equiv \int d^4k \; \delta_+(k^2)$$

avec $E \equiv \omega = |\vec{k}|$.
e) Déterminez les largeurs partielles de $\Gamma_{\pi^- \to l^- \bar{\nu}_l}$, en fonction de A et des masses du pion et du lepton. Vous pourrez utiliser le résultat de la question précédente pour faire disparaître l'énergie et l'impulsion du neutrino de l'expression obtenue en (b).
f) En déduire analytiquement et numériquement les rapports d'embranchement du pion en muon et en électron, en supposant que la constante A est identique pour les deux désintégrations.
g) Comparez aux valeurs expérimentales. D'où vient la différence observée ?

Bon courage !