

Examen de Physique des Particules 1

Particle Physics Booklet et notes de cours/TD autorisés

Exercice 1 : La largeur du quark top

Nous allons calculer dans la suite la largeur de la désintégration suivante du quark top :

$$t(p) \rightarrow b(p_1) + W_\mu^+(p_2),$$

en négligeant la masse du quark b .

Rappel : Le vertex V_{tbW} prend la forme $\frac{ig}{\sqrt{2}}V_{tb}\gamma^\mu P_L$ avec $P_L = (1 - \gamma_5)/2$.

- Justifiez pourquoi la largeur totale $\Gamma_{\text{tot}} \simeq \Gamma(t \rightarrow bW^+)$.
- Donnez l'élément de matrice M_{fi} .
- Calculez le carré de l'élément de matrice $|\overline{M_{fi}}|^2$ (en effectuant la somme/moyenne sur les spins et couleurs) en fonction des invariants $p \cdot p_1, p \cdot p_2, p_1 \cdot p_2$.

Rappel : La relation de fermeture pour le boson W est donnée par :

$$\sum_\lambda \varepsilon^\mu(\lambda, p_2) \varepsilon^{\nu*}(\lambda, p_2) = \left(-g^{\mu\nu} + \frac{p_2^\mu p_2^\nu}{m_W^2} \right).$$

- Exprimez les invariants $p \cdot p_1, p \cdot p_2, p_1 \cdot p_2$ en fonction de m_t et m_W et trouvez alors le résultat final pour $|\overline{M_{fi}}|^2$.
Si vous n'avez pas trouvé la bonne solution vous pouvez supposer par la suite que $|\overline{M_{fi}}|^2$ est une constante.
- Précisez la définition de la largeur $\Gamma(t \rightarrow bW^+)$.
- Calculez l'espace de phase $\int dPS_{1 \rightarrow 2}$ en fonction de m_t et m_W .
- Montrez ainsi que la largeur peut être mise sous la forme :

$$\Gamma(t \rightarrow bW^+) = \frac{G_F}{8\pi\sqrt{2}} m_t^3 |V_{tb}|^2 \left(1 - \frac{m_W^2}{m_t^2} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{m_W^2}{m_t^2} \right).$$

- Donnez les valeurs numériques pour la largeur $\Gamma(t \rightarrow bW^+)$ en GeV et la durée de vie τ en secondes. Comparez la largeur avec la valeur dans le PDG booklet. Commentez pourquoi le quark top est spécial dans un certain sens.

Tournez la page s.v.p.

Exercice 2 : La production en paire du quark top

Nous étudions dans la suite le processus $q(p_1) + \bar{q}(p_2) \rightarrow t(p'_1) + \bar{t}(p'_2)$ (non-polarisé) où $q = u, d, s$ est un quark léger. On va négliger la masse du quark léger et m_t désigne la masse du quark top.

- Tracez le(s) diagramme(s) de Feynman à leading order pour l'interaction dominante en indiquant toutes les informations pertinentes et donnez l'élément de matrice M_{fi} .
- Calculez le carré de l'élément de matrice $|M_{fi}|^2$ (en effectuant la moyenne/somme sur les spins et couleurs des quarks à l'état initial/final). Donnez le résultat final en fonction des variables de Mandelstam s , $t_1 := t - m_t^2$ et $u_1 := u - m_t^2$.
- Précisez l'expression pour la section efficace $d\sigma/dt$ en fonction des variables de Mandelstam.
- Déterminez les variables de Mandelstam dans le référentiel du CMS et donnez la section efficace $d\sigma/d\Omega^*$ en fonction de s, θ^* dans ce référentiel.
- Utilisez le résultat en c) ou d) pour obtenir la section efficace totale $\sigma_{q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}}(s)$.
- Ce processus, $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$, était dominant au collisionneur $p - \bar{p}$ Tevatron (contribuant environ 90% à la section efficace). Par contre, au collisionneur $p - p$ LHC il y a un autre processus partonique qui domine (avec environ 90%). Lequel? Tracez les diagrammes de Feynman.
- Cherchez dans le PDG booklet les rapports de branchement pour les modes de désintégration dominants $t \rightarrow \ell\nu_l b$ ($\ell = e, \mu$) et $t \rightarrow q\bar{q}b$. Quels sont ainsi les trois canaux les plus importants pour la désintégration de la paire $t\bar{t}$? Donnez les rapports de branchement.

Bon courage!