

Examen de physique des particules

Durée : 3h. Aucun document autorisé.

Le problème proposé repose sur quelques pages de la thèse de Mathieu Agelou, "*Recherche de la production électrofaible du quark top dans l'expérience D0*" (Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, 2005).

Lisez attentivement l'ensemble du texte avant de répondre aux questions. Chaque réponse devra être argumentée à partir de votre connaissance du cours et/ou des informations du document fourni.

Données complémentaires (source : Particle Physics Booklet, W.-M. Yao *et al.*, 2006) :

- Masse des bosons de jauge : $m_{W^\pm} = 80.4 \text{ GeV}$, $m_Z = 91.2 \text{ GeV}$.
- Masse des de quelques hadrons : $m_{\pi^\pm} = 139.6 \text{ MeV}$, $m_{\pi^0} = 134.9 \text{ MeV}$, $m_{J/\psi} = 3097 \text{ MeV}$ (le J/ψ est le premier état lié $c\bar{c}$), $m_\Upsilon = 10579 \text{ MeV}$ (le Υ est le premier état lié $b\bar{b}$).
- Rapports d'embranchement du boson W^\pm : $BR(W \rightarrow l\nu_l) = 10.8\%$ par lepton, $BR(W \rightarrow q\bar{q}') = 67.6\%$.

1 Collisionneurs e^+e^-

- a) Donnez les diagrammes de Feynman pour la production de quarks tops en collisions électron positron ($e^+e^- \rightarrow t\bar{t}$) par interactions électromagnétique et faible. Discutez l'importance relative du chaque diagramme en fonction de l'énergie dans le centre de masse \sqrt{s} .
- b) Que se passe-t-il si $\sqrt{s} < m_t$, $\sqrt{s} = m_t$, $m_t < \sqrt{s} < 2m_t$, $\sqrt{s} = 2m_t$, $2m_t < \sqrt{s} < 3m_t$, $\sqrt{s} = 3m_t$ et $\sqrt{s} > 3m_t$?
- c) Justifiez la variation δR du rapport R donnée dans le paragraphe 2.1.2 . Ce résultat reste-il valable au LEP ?
- d) Pourquoi les résultats de TRISTAN et de LEP sont-ils des limites ? Justifiez les valeurs numériques obtenues.
- e) Rappelez les avantages et inconvénients d'un collisionneur électron-positron.
- f) On considère une production $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}$ au seuil :
 - i) Donnez le quadrivecteur de chaque quark top dans le référentiel du centre de masse. dans le référentiel du laboratoire.
 - ii) Déterminez l'impulsion (norme du vecteur impulsion, $p^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2$) dans le référentiel du laboratoire des quarks b produit dans la désintégration du chaque top (en approximant $m_b = 0$).
- g) Aurait-il été possible de découvrir le quark top avec le LEP, en augmentant l'énergie dans le centre de masse ? Quelle devrait être la longueur minimale d'un collisionneur linéaire utilisant les même cavité radiofréquence que le LEP (champ électrique de 3.5 MV.m^{-1}) pour créer des paires de quark top ? Conclusions ?

2 Collisionneurs proton-antiproton

- a) Donnez l'analogie du diagramme électromagnétique pour la production de quark top par interaction forte. Pourquoi y a-t-il d'autres diagrammes qui contribuent à la production de paires $t\bar{t}$?
- b) Donnez les diagrammes de production faible en voie t et en voie s .
- c) Sur les figures 2.5 et 2.6 :
 - i) Pourquoi la section efficace de production en voie s chute-t-elle à $m_t \approx 75$ GeV ?
 - ii) Pour un quark top lourd, comment évolue le rapport des sections efficaces en voie s et en voie t en fonction de l'énergie dans le centre de masse. Proposez une explication à partir de vos connaissances sur la structure du proton.
- d) Quelle est différence majeure dans l'état final recherché entre un quark top "lourd" et un quark top "léger" (vous préciserez à partir de quelle masse on parlera de top "lourd").
- e) Quelle est la probabilité de désintégration dans le canal électron-muon ? Pourquoi ce canal est-il plus avantageux que électron-électron ou muon-muon (deux raisons) ?
- f) Quelle sont les particules produites, au point d'interaction lors d'une désintégration d'une paire de quark top dans le canal leptonique électron-muon.
- g) Dans ce cas de figure, quels sont les objets effectivement détectés. Pour chacun vous préciserez le ou les sous détecteur impliqué, ainsi que leur principe de fonctionnement.
- h) A partir de la figure 2.8, estimez (en expliquant la méthode) la valeur de la masse du quark top ainsi que l'incertitude mesurée par CDF. Retrouvez-vous la valeur donnée dans le texte ?

3 Mesure indirecte de la masse du quark top

- a) Quel mécanisme permet de donner une masse au boson W dans le modèle standard ?
- b) La renormalisation conduit à des constantes de couplages qui dépendent de l'énergie. Pourquoi cela affecte-t-il la masse du W (ce sont les corrections radiatives) ?
- c) L'angle de mélange θ_W caractérise les différences de couplages entre les bosons faibles W et Z . Déterminez $\sin^2 \theta_W$ à partir des masses expérimentales des bosons W et Z .
- d) Calculez la masse du W sans les corrections radiatives (calcul à l'arbre). Comparez avec la masse mesurée. ($G_F = 1.116 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ est la constante de Fermi qui caractérise le couplage de l'interaction faible).
- e) En déduire la valeur du terme de correction radiative Δr .
- f) La correction sur la constante électromagnétique vaut $\Delta\alpha = 1 - \frac{\alpha_{EM}(0)}{\alpha_{EM}(M_W)} = 1 - \frac{128}{137}$. En négligeant les corrections dues à la masse du Higgs, donnez l'expression de la masse du quark top en fonction des paramètres connus du problème. Faites l'application numérique et comparez à la valeur mesurée.