Examen de physique des particules

Durée : 3h. Aucun document autorisé.

Le problème proposé repose sur quelques pages de la thèse d'Anne-Catherine LeBihan, *"Identification des leptons taus dans l'expérience D0 auprès du TeVatron et recherche de particules supersymétriques se désintégrant avec R-parité violée (couplage λ_{133})"* (Université Louis Pasteur, Strasbourg, 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.

Masses dans le modèle standard :

- bosons de jauge : $m_{W^\pm} = 80.4$ GeV, $m_Z = 91.2$ GeV, photon et gluons de masse nulle.
- quarks : $m_u \approx 2$ MeV, $m_d \approx 5$ MeV, $m_s \approx 95$ MeV, $m_c \approx 1.3$ GeV, $m_b \approx 4.2$ GeV, $m_t = 174.2$ GeV.
- leptons : $m_e = 0.511$ MeV, $m_\mu = 105.7$ MeV, $m_\tau = 1777$ MeV, neutrinos de masse nulle.

- quelques hadrons : $m_{\pi^\pm} = 139.6$ MeV, $m_{\pi^0} = 134.9$ MeV, $m_{D^\pm} = 1869.4$ MeV (le $D^\pm$ est le hadron charmé chargé le plus léger).

---

1 Désintégration du lepton τ

a) La désintégration $\tau^+ \to \nu_\tau c\bar{d}$ est-elle cinématiquement possible ? Pourquoi n'est-elle pas évoquée dans la section (5.1) ?

b) Quelle est la distance moyenne parcourue par un τ d'énergie $E = 35~GeV$ avant de se désintégrer. Sachant que la résolution spatiale du trajectographe de D0 est d'environ 40 μm, est-il envisageable d'identifier un τ grâce à son vertex de désintégration ? Quelle fraction des leptons τ serait concernée par cette méthode d'identification ?

2 Reconstruction des leptons τ

a) Résumez succinctement les différentes étapes de la reconstruction.

b) Expliquez le rôle des critères de masse et de charge introduits dans l'association traces/cône calorimétrique (section 5.2).

c) À partir de la figure 5.2, rappelez les principes de base des différents sous-détecteurs et leur rôle dans l'identification des désintégrations hadroniques des τ.

3 Variables discriminantes

a) Soit une particule a se désintégrant en deux particules b et c, de masses négligeables devant leur énergie. Dans le référentiel du laboratoire, les deux particules forment un angle β et ont respectivement l'énergie E_b et E_c. Montrez que la masse de a est donnée par $m_a = \sqrt{2E_bE_c(1-\cos\beta)}$. Justifiez alors que la variable $\delta\alpha$ utilisés dans cette étude est sensible à la masse du τ.

b) À partir des figures 5.5 à 5.15, justifiez l'intérêt de la séparation en types 1, 2 et 3.

c) On décide de considérer comme des τ tous les candidats τ type 1 pour lesquels $PRF > 0.3$. Que peut-on dire de ce critère de sélection ? Même question avec $RMS < 0.1$ pour les candidats τ de type 2.

d) Dessinez schématiquement les distributions pour le signal et le bruit de fond d'une variable fortement discriminante. Quel est le rôle du réseau de neurones qui est évoqué dans le texte (et qui fait l'objet de la suite de la thèse) ?

4 Dimension supplémentaire

Une extension possible du modèle standard est l'ajout de dimensions spatiales supplémentaires. On considère ici le modèle le plus simple à cinq dimensions. Les coordonnées à cinq dimensions seront notées avec un indice majuscule alors qu'on utilise des indices grecs pour les quadrivecteurs. Ainsi le quadrivecteur postion x^μ devient un objet à 5 composantes $x^M = (x^0, x^1, x^2, x^3, x^4)$. Cette nouvelle dimension n'a pas d'effet au niveau macroscopique : elle est repliée sur elle-même. La coordonnée x^4 est périodique : $x^4 = x$ et $x^4 = x + 2k\pi R$, k entier, sont équivalents. La longueur R est le rayon de compactification qui caractérise la taille de la dimension supplémentaire.

Le lagrangien de Klein-Gordon pour un champ scalaire réel de masse nulle en 5 dimensions s'écrit :

$$\mathcal{L}^{5D} = \frac{1}{2}\partial_M \varphi^{5D} \partial^M \varphi^{5D}$$

a) Justifiez que le champ à 5 dimensions peut s'écrire :

$$\varphi^{5D}(x^M) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \tilde{\varphi}_n^{5D}(x^M) \text{ avec } \tilde{\varphi}_n^{5D}(x^\mu, x^4) = \varphi_n^{4D}(x^\mu) e^{\frac{i2\pi n x^4}{R}}.$$

où les φ_n^{4D} sont des champs scalaires complexes dans l'espace usuel à 4 dimensions.

b) Explicitez les dérivées $\partial_N \tilde{\varphi}_n^{5D}(x^M)$, $N = 0, \ldots, 4$. En déduire l'expression de $\mathcal{L}^{5D}$ en fonction des champs φ_n^{4D}.

c) Le lagrangien effectif $\mathcal{L}^{4D}$ dans les 4 dimensions usuelles s'obtient en intégrant $\mathcal{L}^{5D}$ sur la cinquième dimension x^4. Montrez que

$$\mathcal{L}^{4D} = \frac{1}{2}\partial_\mu \varphi_0^{4D} \partial^\mu \varphi_0^{4D+} + \sum_{n=1}^{+\infty} \left(\partial_\mu \varphi_n^{4D} \partial^\mu \varphi_n^{4D+} + \frac{4\pi^2 n^2}{R^2} \varphi_n^{4D} \varphi_n^{4D+} \right).$$

indication : démontrez le résultat intermédiaire $\varphi_n^{4D+} = \varphi_{-n}^{4D}$.

d) Interprétez ce lagrangien en terme de particules. Les champs φ_n^{4D} sont les états de Kaluza-Klein du champ φ_0^{4D}.

e) Justifiez (sans calculs) que ce resulat s'applique de manière similaire à un champ vectoriel ($\mathcal{L}^{5D} = \frac{1}{4} F^{MN} F_{MN}, F_{MN} = \partial_M A_N - \partial_N A_M$).

f) Quel serait le rayon de compactification (en unités naturelles et SI) si le boson faible Z correspondait au premier état de Kaluza-Klein du photon.

g) Si cette hypothèse était correcte quelle serait schematiquement la distibution de la masse invariante $m_{\tau^+\tau^-}$ (nombres de paires $\tau^+\tau^-$ détectées en fonction de la masse reconstruite) observée lors de collisions $p\bar{p}$ à $\sqrt{s} = 1.96$ TeV. Ceci est-il effectivement observé ?