PHQ638 : DEVOIR no 1
remettre le 26 septembre 2022

Problème 1 : Questions portant sur l'introduction historique tirée de Griffiths

A Quand et par qui la particule de Yukawa fut-elle «découverte» expérimentalement ? Quels problèmes remirent ensuite en question cette découverte ?

B Quelle observation (ou expérience) finit par convaincre la communauté scientifique de l'aspect corpusculaire de la lumière ? En quelle année ?

C Peu après la découverte de ce qu'on pensait être le méson de Yukawa en 1937, on se rendit compte que cette particule n'avait pas toutes les propriétés attendues. En quelle année finit-on par réaliser qu'il y avait deux particules différentes qu'on appelait «mésons» et par qui cette découverte fut-elle réalisée ?

D Quel nom Pauli voulait-il initialement donner à la particule non observée lors de la désintégration bêta ?

E Quand et à quel endroit commença-t-on à produire des particules étranges dans un laboratoire ?

F Qui a introduit la notion de *nombre leptonique* et en quelle année ?

G Quelle prédiction, suivie d'une confirmation expérimentale, convainquit la communauté scientifique de la véracité de la théorie de Gell-Mann (*eight-fold way*) ?

H Que proposa Greenberg in 1964 ? Pour pallier quelle difficulté ?

I Qu'est-ce qui rend la particule J/ψ si inhabituelle d'un point de vue expérimental ? D'ailleurs, pourquoi a-t-elle deux symboles ?

J Quelle découverte importante eut lieu en 1983 ?

Problème 2 : Espace des phases
Considérons une collision de deux particules (1 et 2) qui mène à un état final formé de trois particules (numérotées 3, 4 et 5). Le problème est de déterminer la distribution de la masse invariante $m = \sqrt{(p_4+p_5)^2}$ des deux dernières particules. Autrement dit, quelle est la densité d'états finaux $\rho(m)$ pour lesquels la masse invariante M_{45} est égale à m ? La réaction $p\pi^- \to n\pi^+\pi^-$ est un exemple de ce processus. Dans ce cas, les masses sont (en MeV) $m_1 = 938$, $m_3 = 939$ et $m_2 = m_4 = m_5 = 140$. Considérez cependant que les masses m_i des particules sont des paramètres généraux, comme la masse invariante $s = (p_1+p_2)^2$ des réactants.
La distribution $\rho(m)$ s'obtient en faisant la somme sur tous les états finaux possibles, avec la contrainte que l'énergie et la quantité de mouvement sont conservées et que la masse invariante des particules 4 et 5 vaut m. D'où l'expression

$$\rho(m) = \int \frac{\mathrm{d}^3 p_3}{(2\pi)^3 2E_3}\frac{\mathrm{d}^3 p_4}{(2\pi)^3 2E_4}\frac{\mathrm{d}^3 p_5}{(2\pi)^3 2E_5}(2\pi)^4\delta^4(p_1+p_2-p_3-p_4-p_5)\delta(m-\sqrt{(p_4+p_5)^2}) \tag{1}$$

A Pour des valeurs données de s et des masses, quelle est la valeur maximale que m peut admettre ? Justifiez votre réponse sans calcul complexe.

B Quelle est sa valeur minimale ? Justifiez votre réponse sans calcul complexe.

C Démontrez que

$$\rho(m) = \frac{1}{32\pi^3}\frac{\sqrt{[m^2-(m_4+m_5)^2][m^2-(m_4-m_5)^2]}}{m\sqrt{s}}\sqrt{\left(\frac{s+m_3^2-m^2}{2\sqrt{s}}\right)^2-m_3^2} \tag{2}$$

Indice : commencez par évaluer l'intégrale sur $\mathbf{p}_4$ et $\mathbf{p}_5$, pour une valeur fixe de $\mathbf{p}_3$, et pour ce faire placez-vous dans le référentiel où $\mathbf{p}_1+\mathbf{p}_2-\mathbf{p}_3 = 0$. Une fois cette partie de l'intégrale effectuée, il faut exprimer le résultat de manière invariante de Lorentz en fonction des variables restantes ($\mathbf{p}_3$) et procéder à l'intégrale sur $\mathbf{p}_3$. Cette dernière intégrale se fait facilement dans le référentiel où $\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = 0$. Aucune évaluation de primitive (c.-à-d. dintégrale indéfinie) n'est requise dans ce calcul. Tout se fait par le jeu des fonctions delta et l'invariance par rotation dans des référentiels bien choisis.

D Portez cette fonction $\rho(m)$ en graphique (à l'aide de Mathematica, par exemple) en utilisant les masses ci-haut pour la réaction $p\pi^- \longrightarrow n\pi^+\pi^-$ et une valeur d'énergie initiale de $E = 1\ 950$ MeV dans le référentiel du centre de masse des particules 1 et 2.