

L3 LICENCE PHYSIQUE CHIMIE APPLICATION

Mention physique fondamentale

2L5PY21 RELATIVITÉ/PHYSIQUE NUCLEAIRE

Examen terminal du mardi 10 février

Durée : 2h

Tout document interdit

Questions de cours **6**

1. Les constituants fondamentaux de la matière se rangent en trois familles composées chacune de 2 quarks et 2 leptons. Donner la composition de ces 3 familles en précisant le nom des constituants.
2. On considère un modèle de goutte liquide décrivant un noyau de A nucléons, Z protons et N neutrons. Donner l'expression de l'énergie par nucléon E/A en fonction de A et Z (formule de Bethe-Weiszäcker). On donnera la valeur numérique des constantes.

Problèmes

1. Effet Doppler

On considère le dispositif schématisé sur la Fig. 1 ; il est constitué d'une source de lumière S et de deux miroirs plans M_1 et M_2 . L'ensemble est placé dans l'air qu'on assimilera au vide. On associe à ce dispositif le référentiel $\mathcal{R}' = O'x'y'z'$: S coïncide avec O' , M_1 est placé à une distance l de S sur l'axe $O'y'$ et M_2 est placé à une distance l de S sur l'axe $O'x'$; \mathcal{R}' est en translation rectiligne uniforme par rapport au référentiel du laboratoire $\mathcal{R} = Oxyz$ selon l'axe Ox à la vitesse $\vec{v}_e = v_e \vec{e}_x$. À l'instant choisi comme origine O et O' coïncident et la source S émet simultanément un signal S_1 vers M_1 et un signal S_2 vers M_2 .

On définit les événements suivants :

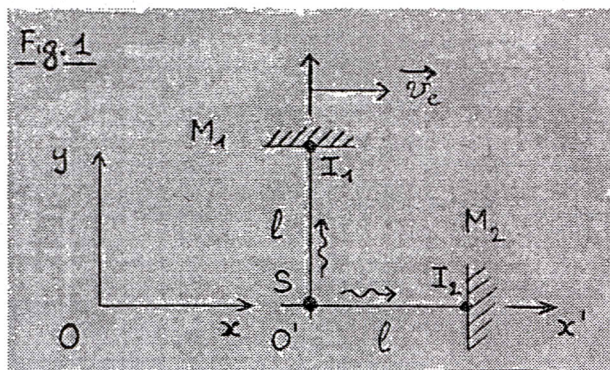
E_0 : émissions simultanées du signal S_1 vers M_1 et du signal S_2 vers M_2 .

E_1 : arrivée du signal S_1 au miroir M_1 .

E_2 : arrivée du signal S_2 au miroir M_2 .

E_3 : retour du signal S_1 en S après réflexion sur M_1 .

E_4 : retour du signal S_2 en S après réflexion sur M_2 .



15
1

1. Ecrire les coordonnées spatio-temporelles (x, y, z, ct) de E_0, E_1, E_2, E_3 et E_4 dans \mathcal{R}' et dans \mathcal{R} .

- 2. Calculer l'intervalle entre E_0 et E_1 . Préciser son genre et commenter. (0,5)
- 3. Dans la suite on considère que $l = 0,5$ m et $v_e = \sqrt{3}/2 c$. Calculer la durée en nanoseconde qui sépare E_1 et E_2 dans \mathcal{R}' et dans \mathcal{R} . Même question pour les événements E_3 et E_4 . Commenter. (1,5)
- 4. Calculer les durées dans \mathcal{R} des trajets $SI_1, I_1S, SI_2, I_2S, SI_1S$ et SI_2S . Application numérique en nanoseconde. (1)
- 5. Les signaux S_1 et S_2 ont même longueur d'onde $\lambda_S = 632,8$ nm. La longueur d'onde du signal S_1 mesurée dans \mathcal{R} après la réflexion sur le miroir M_1 est notée λ_1 et celle du signal S_2 mesurée dans \mathcal{R} après la réflexion sur le miroir M_2 est notée λ_2 . (0,5)
- (a) Quelles sont les composantes dans \mathcal{R}' des quadrivecteurs $4 - k_1$ et $4 - k_2$ des ondes en S après les réflexions sur les miroirs M_1 et M_2 ? (0,5)
- (b) Calculer λ_1 et λ_2 . Application numérique en nanomètre. Préciser le domaine spectral. (2,0)

2. Effet Cerenkov

- 1. Montrer qu'un électron libre en mouvement dans le vide ne peut émettre de photons. Dans un milieu matériel, l'interaction entre un photon et le milieu est déterminée, entre autre, par son énergie ainsi que par son impulsion \vec{P} telle que

$$|\vec{P}| = \frac{nE}{c}$$

L'énergie du photon vaut E , l'indice de réfraction - caractéristique du milieu - est n et la vitesse de la lumière dans le vide est c . Ces deux grandeurs physiques impulsion - énergie forment le quadrivecteur du même nom.

L'émission d'un photon par un électron en mouvement dans le milieu d'indice n constitue l'émission "Cerenkov", et c'est ce phénomène que nous nous proposons de caractériser dans la suite du problème.

- 2. Considérons un électron de masse m_e , qui a pour vitesse initiale \vec{V}_1 , supposée constante dans le référentiel du laboratoire avant l'émission Cerenkov. Cet électron est en outre caractérisé par \vec{P}_1 et E_1 . Après l'émission Cerenkov, l'électron est diffusé (avec les paramètres \vec{P}_2 et E_2) tandis que le photon (\vec{P}_γ et E_γ) est émis dans la direction φ par rapport à celle de l'électron incident. (2)
- (a) A l'aide de lois de conservation utilisées à bon escient, calculer dans le référentiel du laboratoire l'angle φ . (1)
- (b) Montrer que l'émission Cerenkov a lieu si la vitesse $v_1 = \frac{c^2 P_1}{E_1}$ de l'électron est supérieure à une vitesse minimale v_{min} que l'on précisera. Exprimer la condition équivalente pour l'énergie E_1 de l'électron incident en fonction de n, m_e et de c , et appliquer numériquement au cas de l'eau ($n=1,33$). (2,0)
- (c) On suppose que l'inégalité mentionnée au dessus est vérifiée. Montrer que l'angle d'émission φ est inférieur à un angle maximum φ_{max} que l'on exprimera en fonction de l'énergie E_1 , de n , de m_e et de c . (1)
- (d) Donner l'énergie maximale $E_{\gamma max}$ qui peut être communiquée au photon émis. (1)

On donne :

$$c = 2,997\,924 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} \approx 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$