TS3 - Physique-Chimie
Devoir en classe n°5 - Durée : 2h
Proposition de correction

EXERCICE I : PROTONS ÉNERGÉTIQUES (10 points)

1. Le proton

1.1. L'interaction forte doit compenser les répulsions électrostatiques entre protons de façon à assurer la cohésion des noyaux. Ainsi, il s'agit d'une force attractive et plus intense que l'interaction électrique.

1.2. Soit e la charge d'un proton, constitué de deux quarks up de charge q_u et d'un quark down de charge q_d. On a alors : $e = 2 \cdot q_u + q_d$. Or $q_d = -\dfrac{e}{3}$ d'où $e = 2 \cdot q_u - \dfrac{e}{3}$ soit $2 \cdot q_u = \dfrac{4}{3}e$ et enfin la charge d'un quark up est : $q_u = \dfrac{2}{3}e$.

2. Les protons cosmiques

2.1. Pour une vitesse égale à $0,10 \cdot c$, on peut encore tout juste utilise la relation du document IV :
$E_c = \dfrac{m \cdot v^2}{2} = \dfrac{1,673 \cdot 10^{-27} \times (0,10 \times 3,00 \cdot 10^8)^2}{2} = 7,5 \cdot 10^{-13}\ \text{J} = 4,7\ \text{MeV}$

2.2. D'après la question précédente, les protons les plus rapides qui ne soient pas relativistes ont une énergie de $4,7$ MeV. Or les protons cosmiques ont une énergie très supérieure à cette valeur : entre 100 MeV et 10 GeV. Ainsi, les protons cosmiques sont tous relativistes.

2.3. Longueur d'onde des protons

2.3.1. Valeur de la quantité de mouvement p d'un proton dont la vitesse vaut $0,10 \cdot c$:
$p = m \cdot v = 1,673 \cdot 10^{-27} \times (0,10 \times 3,00 \cdot 10^8) = 5,0 \cdot 10^{-20}\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

2.3.2. Longueur λ associée à un tel proton : $\lambda = \dfrac{h}{p} = \dfrac{6,62 \cdot 10^{-34}}{5,0 \cdot 10^{-20}} = 1,3 \cdot 10^{-14}\ \text{m} = 130\ \text{pm}$

3. Les muons

3.1. Les muons ont une vitesse égale à $0,9997 \cdot c$ largement supérieure à 10% de c donc ces particules sont relativistes (vitesse proche de celle de la lumière dans le vide).

3.2. Soit Δt la durée de vie d'un muon dans le référentiel terrestre et Δt_0 la durée de vie de ce muon dans son référentiel propre. D'après le document V, $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{0,9997^2 \cdot c^2}{c^2}}} = 40,83$ et la durée de vie d'un tel muon dans le référentiel terrestre est $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0 = 40,83 \times 2,2 = 90$ µs.
Or, toujours d'après le document V, il faut 67 µs aux muons pour traverser l'atmosphère : leur durée de vie dans le référentiel terrestre étant supérieure à cette durée, les muons arrivent bien au niveau du sol où ils peuvent être détectés.

4. La protonthérapie

4.1. La tumeur doit se situer là où les protons déposent le maximum d'énergie donc là où la dose relative est maximale. C'est donc au niveau du pic de Bragg, soit à une profondeur de 16 cm, que doit se situer la tumeur pour une efficacité maximale de la protonthérapie.

4.2. L'« art de la radiothérapie » consiste à déposer le maximum d'énergie dans une zone la plus localisée possible et à préserver les cellules saines en évitant que les rayons utilisés ne déposent trop d'énergie sur leur trajet. Ainsi, c'est la protonthérapie qui respecte le mieux ces conditions, les protons déposant relativement peu d'énergie au début de leur parcours dans l'organisme alors qu'ils déposent une énergie conséquente dans une zone très limitée autour du pic de Bragg.

EXERCICE II : PENDULE SIMPLE (10 points)

1. Les pendules de Galilée

1.1. Deux expressions de Galilée pour désigner les oscillations : « allées et venues » et « vibrations ».

1.2. La position d'équilibre est désignée par Galilée par l'expression « la position perpendiculaire ».

1.3. Exploitation du document 1 :

1.3.1. La masse m de la boule suspendue n'a pas d'influence sur la période du pendule : les périodes du corps pesant (boule de plomb) et du corps léger (boule de liège) coïncident parfaitement.

1.3.2. Le pendule en plomb est moins sensible aux frottements que le pendule en liège : l'action du milieu ralentit bien davantage les vibrations du liège.

1.3.3. La période des oscillations ne dépend pas des frottements : l'action du milieu ralentit bien davantage les vibrations du liège sans toutefois modifier leur fréquence.

1.4. Ces pendules sont assimilables à des pendules simples car la longueur des fils utilisés est de 4 coudées, soit $4 \times 0,57 = 2,3$ m, ce qui est sans aucun doute largement supérieur au diamètre des boules utilisées. Ainsi, la condition pour avoir des pendules simples est remplie.

1.5. Valeur de la période des pendules : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{2,3}{9,81}} = 3,0$ s

2. Un pendule dans un champ magnétique

2.1. L'énoncé indique que la bille est soumise à une force magnétique verticale. Cette force, selon qu'elle est dirigée vers le haut ou vers le bas, va donc se soustraire ou s'ajouter au poids dû au champ de pesanteur vertical. Ainsi, le dispositif permet en quelque sorte de simuler un poids apparent variable et donc une intensité de la pesanteur variable.

2.2. Pour simuler un accroissement de la pesanteur, la force magnétique exercée sur la bille doit être orientée vers le bas afin de s'ajouter au poids $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, lui aussi vertical, vers le bas.

2.3. Pour simuler un affaiblissement de la pesanteur, il faut changer le sens du courant dans les bobines de Helmholtz afin d'inverser le sens de la force magnétique qui sera alors dirigée vers le haut.

2.4. D'après l'expression de la période du pendule, si ℓ est constante et si g augmente, alors la période du pendule diminue (elle est inversement proportionnelle à $\sqrt{g}$).

2.5. Autour du protocole utilisé

2.5.1. Pour obtenir une mesure la plus précise possible de la période, il faut mesurer la durée Δt d'un grand nombre N de périodes puis calculer la période par $T = \dfrac{\Delta t}{N}$.

2.5.2. Période du pendule en l'absence de force magnétique : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{0,50}{9,81}} = 1,4$ s, ce qui est inférieur à la période mesurée en présence de la force magnétique. Ainsi, si la période est plus grande alors que la longueur du fil est restée inchangée, c'est que la pesanteur apparente est moins intense que sans force magnétique. Le dispositif simule donc une diminution de la pesanteur.

2.5.3. Calcul de la pesanteur apparente : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g_{app}}}$ donc $T^2 = 4\pi^2\dfrac{\ell}{g_{app}}$ et $g_{app} = 4\pi^2\dfrac{\ell}{T^2}$.

Ainsi, $g_{app} = 4\pi^2\dfrac{0,50}{1,5^2} = 8,8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$, ce qui est cohérent avec la question précédente : $g_{app} < g$ et le dispositif simule bien une diminution de la pesanteur.