



BRANCHE	SECTION(S)	ÉPREUVE ÉCRITE
Physique	B, C	Durée de l'épreuve : 3 heures Date de l'épreuve : 24 septembre 2018

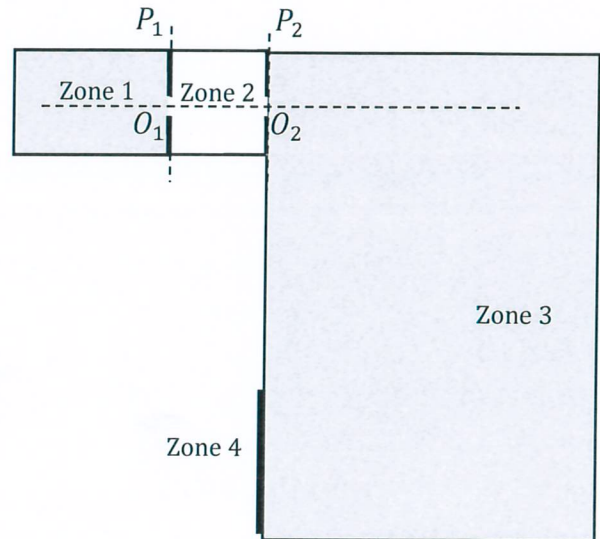
I. Le spectrographe de masse (17 points)

On dispose d'un mélange de deux types d'isotopes du potassium : $^{39}\text{K}^+$ et $^{41}\text{K}^+$. Le plus léger isotope $^{39}\text{K}^+$ est aussi le plus abondant. On utilise un spectrographe de masse pour séparer ces deux sortes d'ions.

Le mouvement des particules a lieu dans le vide, et on néglige le poids d'un ion devant la force électrique ou la force magnétique.

Les atomes de potassium sont ionisés en cations ($^{39}\text{K}^+$ et $^{41}\text{K}^+$) ; en fin de course, ils atteignent un écran luminescent.

- 1) Expliquez le rôle de chacune des composantes du spectrographe de masse ! (2 points)
- 2) Entre les plaques P_1 et P_2 , les ions sont accélérés par un champ électrique uniforme. Leur vitesse au point O_1 de la plaque P_1 est supposée nulle. Montrez que, arrivés en O_2 au niveau de la plaque P_2 , tous les ions potassium ont la même énergie cinétique, mais des vitesses différentes. Établissez l'expression littérale de cette vitesse en fonction de la tension accélératrice U entre les plaques. (2 points)
- 3) A partir de O_2 , les ions pénètrent dans la zone 3 avec des vitesses perpendiculaires à la plaque P_2 .
 - a) Quelle est la nature du mouvement de chaque type d'isotope dans la zone 3 ? (1 point)
 - b) Reproduisez la figure précédente du spectrographe de masse. En un point quelconque de l'une des trajectoires dans la zone 3, représentez la vitesse d'un ion potassium, la force magnétique qui s'exerce sur cet ion, et le champ magnétique régnant dans cette zone. (1 point)
 - c) Établissez l'expression littérale du rayon R_{39} de la trajectoire des ions $^{39}\text{K}^+$ ainsi que celui R_A des isotopes $^{41}\text{K}^+$ en fonction de la tension accélératrice U . Calculez numériquement R_{39} . (4 points / 1 point)
- 4) Les deux types d'isotopes rencontrent l'écran luminescent en deux points d'impact I_1 et I_2 . Le point d'impact I_1 est le plus lumineux.
 - a) Quel point d'impact correspond aux cations $^{39}\text{K}^+$, lequel aux ions $^{41}\text{K}^+$? Lequel des deux points d'impacts est le plus éloigné de O_2 ? Justifiez. (2 points)
 - b) Établissez l'expression littérale du rapport R_A/R_{39} des rayons des trajectoires des isotopes du potassium. (2 points)



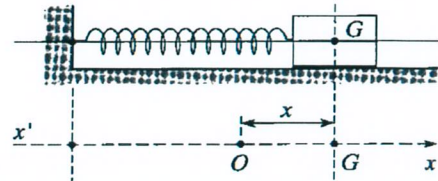
- c) La distance entre les deux points d'impact est $d = 1,44 \text{ cm}$. Déterminez la valeur du nombre de masse A de l'isotope ${}^A K^+$. (2 points)

Données :

La tension accélératrice U établie entre les plaques P_1 et P_2 a pour valeur $U = 1000 \text{ V}$.
L'intensité du champ magnétique régnant dans la zone 3 est $B = 100 \text{ mT}$.

II. Oscillateur mécanique non amorti (12 points)

Un oscillateur mécanique horizontal est constitué d'un mobile de masse m , placé sur un banc à coussin d'air horizontal, et fixé à un ressort à spires non jointives, de raideur k et de masse négligeable. Ce mobile oscille sans frottement, parallèlement à une direction $x'x$. A l'équilibre, le centre d'inertie G du mobile coïncide avec l'origine O du repère.



1) Modèle théorique

- a) Faites l'inventaire des forces extérieures qui agissent sur le mobile et représentez-les sur un schéma. (2 points)
- b) Etablissez l'équation différentielle qui régit le mouvement de G . (3 points)
- c) Donnez l'expression générale de l'équation horaire $x(t)$, et vérifiez sa validité. (2 points)
- d) Déduisez-en l'expression littérale de la période propre T_0 des oscillations du système. (1 point)

2) Application : Détermination de la masse d'un astronaute

Afin de mesurer la masse m_A d'un astronaute dans une navette spatiale, on utilise une chaise oscillante : un siège de masse $m = 25,2 \text{ kg}$, mobile sur un rail à coussin d'air est fixé à l'extrémité d'un ressort, l'autre extrémité est reliée à un point fixe de l'engin spatial. La période propre des oscillations de la chaise « à vide » est $T_0 = 1,28\text{s}$. Lorsque l'astronaute est arrimé sur la chaise, la période des oscillations est $T = 2,39\text{s}$. Calculez la masse m_A de l'astronaute, ainsi que la raideur k du ressort ! (3 points / 1 point)

III. Ondes progressives (9 points)

Partie A - Théorie

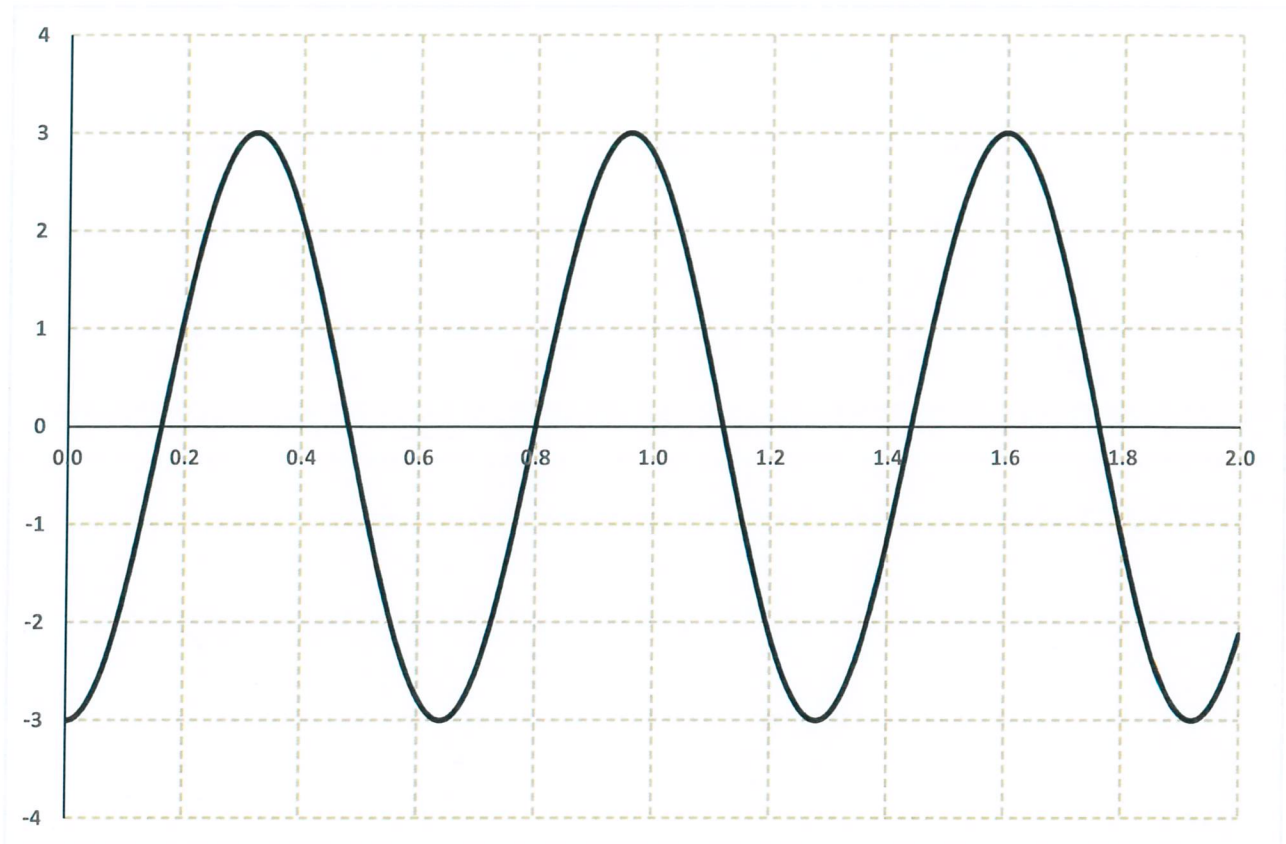
Établissez l'équation d'une onde harmonique progressive se propageant dans une corde tendue. (4 points)

Partie B - Application

L'extrémité O d'une corde tendue très longue est reliée à un vibreur harmonique transversal de fréquence $f = 25\text{Hz}$ et d'amplitude $Y_m = 3\text{cm}$. On suppose qu'il n'y a pas de réflexion à l'autre extrémité de la corde. La corde a une masse linéaire $\mu = 100 \frac{\text{g}}{\text{m}}$, et la célérité des ondes progressives le long de la corde vaut $16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

On définit un axe (Ox) d'origine O , parallèle à la corde, et orienté dans le sens de propagation des ondes.

- 1) Le graphique suivant montre l'aspect de la corde à l'instant $t = 100\text{ms}$. La distance x est donnée en mètres, l'élongation y est exprimée en centimètres.



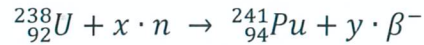
- a) Quelle est la longueur d'onde des ondes sur la corde ? **(1 point)**
 b) Établissez l'expression de l'élongation de la source O en fonction du temps. **(3 pts)**
- 2) Montrez qu'un point M d'abscisse $x_M = 1,6\text{m}$ est en opposition de phase avec la source O . **(1 point)**

IV. Relativité restreinte (8 points)

- 1) Décrivez l'expérience des muons, et donnez-en une explication en vous plaçant dans le référentiel terrestre ! **(4 points)**
 2) Calculez la vitesse acquise par un électron accéléré à partir du repos sous une tension de 300 kV . Faites le calcul classique et le calcul relativiste. Quelle conclusion peut-on en tirer ? **(4 points)**

V. Plutonium 241 (14 points)

Le plutonium n'existe pas dans la nature. Le plutonium 241 est un sous-produit obtenu, dans les réacteurs des centrales nucléaires, à partir d'uranium 238. On peut schématiser la formation d'un noyau de plutonium 241 par l'équation de réaction nucléaire suivante :



dans laquelle x et y sont des coefficients entiers à déterminer. Une fois formé, le plutonium 241 est lui-même fissile sous l'action d'un bombardement neutronique. De plus, il est émetteur β^{-} avec une demi-vie de l'ordre d'une dizaine d'années.

- 1) Déterminez les valeurs de x et de y dans l'équation de formation du noyau de plutonium 241. (1 point)
- 2) **Energie libérée par ces deux réactions** (6 points)
 - La fission du plutonium 241 produit du césium 141 et de l'yttrium 98. Ecrivez l'équation nucléaire correspondante, et déterminez en MeV la valeur de l'énergie libérée E_F lors de la fission du noyau de plutonium 241.
 - Le plutonium 241 est aussi émetteur β^{-} . Écrivez l'équation nucléaire correspondante, et déterminez en MeV la valeur de l'énergie libérée E_D lors de la désintégration d'un noyau de plutonium 241. On néglige l'énergie de la particule supplémentaire émise lors de cette désintégration β^{-} .
- 3) Comparez E_F et E_D . Quelle conclusion peut-on en tirer ? (1 point)
- 4) Etablissez la loi de décroissance radioactive ! (4 points)
- 5) Après une durée de 9 ans, le rapport du nombre de noyaux plutonium 241 non encore désintégrés N à la population initiale N_0 de noyaux a diminué de 38%. Calculez la valeur du temps de demi-vie du plutonium 241. (2 points)

Données :

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| • Masse du noyau de plutonium 241 : | $m(\text{Pu}) = 241,00514 u$ |
| • Masse du noyau d'américium 241 : | $m(\text{Am}) = 241,00457 u$ |
| • Masse du noyau d'yttrium 98 : | $m(\text{Y}) = 97,90070 u$ |
| • Masse du noyau de césium 141 : | $m(\text{Cs}) = 140,79352 u$ |
| • Masse du neutron : | $m_n = 1,00866 u$ |