

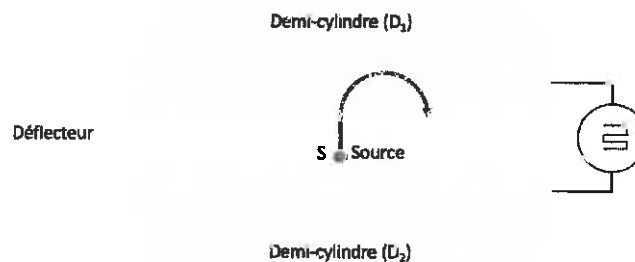


| | |
|--|-------------------------------|
| ÉPREUVE ÉCRITE <i>2016-2</i> | Branche : Physique |
| Section(s) : B & C | N° d'ordre du candidat : |
| Date de l'épreuve : <i>6 juin 2016</i> | Durée de l'épreuve : 3 heures |

A – Cyclotron (15 points)

Dans un cyclotron, composé de deux demi-cylindres en forme de « D » appelés « dés » et placés dans un champ magnétique ($B = 0,9 \text{ T}$) uniforme perpendiculaire au plan de la feuille, des protons sont accélérés à partir du repos. Les deux régions magnétiques sont séparées par une région dans laquelle le champ magnétique ne règne pas. L'amplitude de la tension appliquée aux bornes des demi-cylindres est $U = 75 \text{ kV}$. La polarité s'inverse chaque fois que les particules parcourent une demi-révolution.

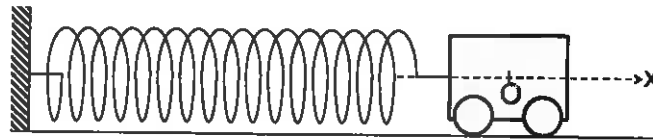
Au point S, entre les dés, se trouve une source de protons.



- 1) Montrer que le mouvement des protons dans un dé est plan, uniforme et circulaire. En déduire l'expression du rayon de la trajectoire. (7p)
- 2) Déterminer le sens du champ magnétique pour que les protons décrivent des demi-cercles dans le sens des aiguilles d'une montre (voir figure ci-dessus). (1p)
- 3) Déterminer l'expression du rayon de la trajectoire d'un proton en fonction de e , m , B et U
 - a) après une demi révolution,
 - b) après une première révolution complète,
 - c) après N révolutions. (4p)
- 4) En déduire le nombre de révolutions effectuées par les protons dans un cyclotron d'un rayon de 50 cm. (3p)

B – Oscillateur mécanique (16 points)

Un wagon de masse m , relié à une extrémité d'un ressort à spires non jointives, effectue des oscillations sans frottements dans une direction horizontale.



- 1) Etablir l'équation différentielle du mouvement de cet oscillateur par la méthode énergétique. (4p)
- 2) Proposer une solution et vérifier qu'il s'agit bien d'une solution de l'équation différentielle. (3p)
- 3) Les affirmations suivantes sont-elles vraies pour l'oscillateur décrit ici ? Donner une justification.
 - a) Les vecteurs accélération et vitesse du wagon ont à chaque instant le même sens. (1p)
 - b) Si on remplaçait le ressort par un ressort ayant une constante de raideur deux fois plus grande, la période des oscillations serait deux fois plus courte. (2p)
- 4) On considère maintenant que le wagon est soumis à une faible force de frottement lors de ses oscillations.
 - a) Décrire l'influence de ce faible amortissement sur le mouvement du wagon à l'aide d'un graphique. (2p)
 - b) On relie l'oscillateur faiblement amorti à un exciteur dont on peut choisir la fréquence de vibration. Décrire le mouvement du wagon en fonction de la fréquence de l'exciteur. (4p)

C – Expérience des muons revisitée (16 points)

On tente de répéter l'expérience des muons au sommet du Mont Blanc (altitude 4 810 m) et à Genève (altitude 370 m). Les muons sont des particules élémentaires produites dans la haute atmosphère qui se désintègrent spontanément d'après une loi exponentielle analogue à la loi de décroissance radioactive. Leur demi-vie dans un référentiel où ils sont au repos est $T = 1,5 \mu\text{s}$. Leur vitesse par rapport à un observateur terrestre est $v = 0,995 \cdot c$.

- 1) Etablir la loi de décroissance radioactive. (4p)

Au sommet du Mont Blanc, on détecte, grâce à un dispositif approprié, 6 254 ($= N_0$) muons en une heure. A Genève, on détecte N_1 muons en une heure.

- 2) Considérons les événements suivants :

E_1 – « Le muon passe le sommet du Mont Blanc »

E_2 – « Le muon passe Genève ».

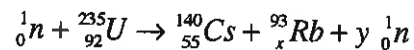
L'intervalle de temps entre ces deux événements est-il un temps propre ou un temps impropre pour un observateur terrestre ? Expliquer ! (1p)

- 3) Calculer le nombre de muons qu'il faudrait détecter à l'altitude de Genève, si on ne tenait pas compte des effets relativistes. (3p)
- 4) Calculer le nombre de muons qu'il faudrait détecter à Genève, si on tenait compte des effets relativistes. (4p)
- 5) Sachant que le muon a une masse de $105,66 \text{ MeV}/c^2$, calculer son énergie cinétique. (2p)
- 6) Préciser dans quel référentiel les événements E_1 et E_2 ont lieu au même endroit ! Ces deux événements peuvent-ils être simultanés dans un autre référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à ce référentiel ? Justifier ! (2p)

D – Centrale nucléaire (13 points)

- 1) Énoncer les lois de conservation valables pour les réactions nucléaires. (2p)
- 2) Définir l'énergie de liaison. (1p)
- 3) Définir la fission nucléaire. (1p)

Une des nombreuses réactions se produisant dans une centrale nucléaire est la suivante:



- 4) Déterminer x et y de manière à équilibrer cette réaction. (1p)
- 5) Calculer l'énergie libérée lors de cette réaction. (2p)
- 6) Calculer en GeV et en joules l'énergie libérée par 1 g d'uranium 235. (4p)
- 7) Si on suppose un rendement de 80%, pendant combien de temps la fission de 1 g d'uranium permet-elle de délivrer une puissance de 1 MW? (2p)

Données:

| Noyau | Masse atomique en u | Masse nucléaire en GeV/c ² | Énergie de liaison en MeV |
|-------------|------------------------|--|------------------------------|
| uranium 235 | 235,044 | 218,896 | 1 783,10 |
| césium 140 | 139,917 | 130,304 | 1 164,06 |
| rubidium 93 | 92,917 | 86,533 | 798,92 |

Relevé des principales constantes physiques

| Grandeur physique | Symbole usuel | Valeur numérique | Unité |
|--|------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Constante d'Avogadro | N_A (ou L) | $6,022 \cdot 10^{23}$ | mol^{-1} |
| Constante molaire des gaz parfaits | R | 8,314 | $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ |
| Constante de gravitation | K (ou G) | $6,673 \cdot 10^{-11}$ | $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$ |
| Constante électrique pour le vide | $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ | $8,988 \cdot 10^9$ | $\text{N m}^2 \text{C}^{-2}$ |
| Célérité de la lumière dans le vide | c | $2,998 \cdot 10^8$ | m s^{-1} |
| Perméabilité du vide | μ_0 | $4\pi \cdot 10^{-7}$ | H m^{-1} |
| Permittivité du vide | $\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$ | $8,854 \cdot 10^{-12}$ | F m^{-1} |
| Charge élémentaire | e | $1,602 \cdot 10^{-19}$ | C |
| Masse au repos de l'électron | m_e | $9,1094 \cdot 10^{-31}$ $5,4858 \cdot 10^{-4}$ 0,5110 | kg u MeV/c^2 |
| Masse au repos du proton | m_p | $1,6726 \cdot 10^{-27}$ 1,0073 938,27 | kg u MeV/c^2 |
| Masse au repos du neutron | m_n | $1,6749 \cdot 10^{-27}$ 1,0087 939,57 | kg u MeV/c^2 |
| Masse au repos d'une particule α | m_α | $6,6447 \cdot 10^{-27}$ 4,0015 3727,4 | kg u MeV/c^2 |
| Constante de Planck | h | $6,626 \cdot 10^{-34}$ | J s |
| Constante de Rydberg de l'atome d'hydrogène | R_H | $1,097 \cdot 10^7$ | m^{-1} |
| Rayon de Bohr | r_1 (ou a_0) | $5,292 \cdot 10^{-11}$ | m |
| Energie de l'atome d'hydrogène dans l'état fondamental | E_1 | -13,59 | eV |

| Grandeurs liées à la Terre et au Soleil (elles peuvent dépendre du lieu ou du temps) | | Valeur utilisée sauf indication contraire | |
|---|-------|---|-------------------|
| Composante horizontale du champ magnétique terrestre | B_h | $2 \cdot 10^{-5}$ | T |
| Accélération de la pesanteur à la surface terrestre | g | 9,81 | m s^{-2} |
| Rayon moyen de la Terre | R | 6370 | km |
| Jour sidéral | T | 86164 | s |
| Masse de la Terre | M_T | $5,98 \cdot 10^{24}$ | kg |
| Masse du Soleil | M_S | $1,99 \cdot 10^{30}$ | kg |

Conversion d'unités en usage avec le SI

| | | |
|---------------------------|---|--|
| 1 angström | $= 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ | |
| 1 électronvolt | $= 1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ | |
| 1 unité de masse atomique | $= 1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$ | |

Formules trigonométriques

| | | |
|--|---|---|
| $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ $\cos^2 x = \frac{1}{1 + \tan^2 x}$ | $\sin^2 x = \frac{\tan^2 x}{1 + \tan^2 x}$ | $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$ |
| $\sin(\pi - x) = \sin x$ $\cos(\pi - x) = -\cos x$ $\tan(\pi - x) = -\tan x$ | $\sin(\pi + x) = -\sin x$ $\cos(\pi + x) = -\cos x$ $\tan(\pi + x) = \tan x$ | $\sin(-x) = -\sin x$ $\cos(-x) = \cos x$ $\tan(-x) = -\tan x$ |
| $\sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cos x$ $\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin x$ $\tan\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cotan x$ | $\sin\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = \cos x$ $\cos\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\sin x$ $\tan\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\cotan x$ | |
| $\sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$ $\sin(x - y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$ | $\tan(x + y) = \frac{\tan x + \tan y}{1 - \tan x \tan y}$ | |
| $\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$ $\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$ | $\tan(x - y) = \frac{\tan x - \tan y}{1 + \tan x \tan y}$ | |
| $\sin 2x = 2 \sin x \cos x$ $\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$ | $2 \cos^2 x = 1 + \cos 2x$ $2 \sin^2 x = 1 - \cos 2x$ | |
| $\sin 2x = \frac{2 \tan x}{1 + \tan^2 x}$ | $\cos 2x = \frac{1 - \tan^2 x}{1 + \tan^2 x}$ | $\tan 2x = \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x}$ |
| $\sin 3x = 3 \sin x - 4 \sin^3 x$ | $\cos 3x = -3 \cos x + 4 \cos^3 x$ | |
| $\sin p + \sin q = 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$ $\sin p - \sin q = 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2}$ $\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$ $\cos p - \cos q = -2 \sin \frac{p+q}{2} \sin \frac{p-q}{2}$ | $\tan p + \tan q = \frac{\sin(p+q)}{\cos p \cos q}$ $\tan p - \tan q = \frac{\sin(p-q)}{\cos p \cos q}$ | |
| $\sin x \cos y = \frac{1}{2} [\sin(x+y) + \sin(x-y)]$ $\cos x \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$ $\sin x \sin y = \frac{1}{2} [\cos(x-y) - \cos(x+y)]$ | | |

Tableau périodique des éléments

| I | II | | | | | | | | | | III | IV | V | VI | VII | VIII | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|-------|
| 1,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,0 He 2 | | | | |
| 6,9 | 9,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,0 | 9,0 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | 20,2 | 19,0 | | | |
| | Li 3 | Be 4 | | | | | | | | | | | | | | | | F 8 | Ne 10 | | |
| 23,0 | 24,3 | Mg 12 | | | | | | | | | | | | | | | | 32,1 | 35,5 | 39,9 | |
| | Na 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | S 16 | Cl 17 | Ar 18 | |
| 39,1 | 40,1 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37,9 | 79,9 | 83,8 |
| | K 19 | Ca 20 | Sc 21 | Ti 22 | V 23 | Cr 24 | Mn 25 | Fe 26 | Co 27 | Ni 28 | Cu 29 | Zn 30 | Ga 31 | Ge 32 | As 33 | Se 34 | Br 35 | Kr 36 | | | |
| 85,5 | 87,6 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55,8 | 101,1 | 106,4 |
| | Rb 37 | Sr 38 | Y 39 | Zr 40 | Nb 41 | Mo 42 | Tc 43 | Ru 44 | Rh 45 | Pd 46 | Ag 47 | Cd 48 | In 49 | Sn 50 | Sb 51 | Te 52 | I 53 | Xe 54 | 55,8 | 101,1 | 106,4 |
| 132,9 | 137,3 | 138,9 | 178,5 | 183,9 | 186,2 | 190,2 | 192,2 | 195,1 | 197,0 | 200,6 | 204,4 | 207,2 | 209,0 | 210 | 212 | 216,9 | 222 | 238,1 | 238,0 | 238,0 | 238,0 |
| | Cs 55 | Ba 56 | La 57 | Hf 72 | Ta 73 | W 74 | Re 75 | Os 76 | Ir 77 | Pt 78 | Au 79 | Hg 80 | Tl 81 | Pb 82 | Bi 83 | Po 84 | At 85 | Rn 86 | 238,0 | 238,0 | 238,0 |
| (223) | 227,0 | 227,0 | 261 | 261 | (262) | (263) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fr 87 | Ra 88 | Ac 89 | Rf 104 | Ha 105 | Sg 106 | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 140,1 | 140,9 | 144,2 | 150,4 | 152,0 | 157,3 | 158,9 | 162,5 | 164,9 | 167,3 | 168,9 | 173,0 | 175,0 |
| Ce 58 | Pr 59 | Nd 60 | Pm 61 | Sm 62 | Eu 63 | Gd 64 | Dy 66 | Ho 67 | Er 68 | Tm 69 | Yb 70 | Lu 71 |
| 232,0 | 231,0 | 238,0 | 237,0 | (244) | (243) | (247) | (251) | (254) | (257) | (258) | (259) | (260) |
| Th 90 | Pa 91 | U 92 | Np 93 | Pu 94 | Am 95 | Cm 96 | Cf 98 | Es 99 | Fm 100 | Md 101 | No 102 | Lr 103 |