

**SUJET 1**

**EXERCICE 1 25 points**

La figure (1) ci-dessous représente une piste ABCD située dans un plan vertical :

- la partie (AB) est rectiligne de longueur  $\ell = 1 \text{ m}$  et inclinée d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  sur l'horizontale.
- la partie (BC) est un arc de cercle de centre O, de rayon  $r = \ell$  et telle que l'angle  $\theta_C = (\overrightarrow{OB}; \overrightarrow{OC}) = 10^\circ$ .
- la partie (CD) est un arc de cercle de centre O', de rayon  $r' = \ell$ .

Les parties (BC) et (CD) sont tangentes en C.

Sur la partie (AB), les forces de frottements sont équivalentes à une force  $\vec{f}$  parallèle à la piste et opposée à la vitesse d'intensité  $f$  constante.

Les frottements sont négligeables sur les autres parties de la piste. L'action de l'air sera négligée et on prendra  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .

Un solide S ponctuel de masse  $m = 200 \text{ g}$  part du point A sans vitesse initiale. Il reste sur la piste (ABCD) jusqu'en D et la quitte à partir du point D.

**Première partie :**

1.1. Exprimer la vitesse  $V_B$  du solide au point B en fonction de  $m$ ,  $g$ ,  $\ell$ ,  $f$  et  $\alpha$ .

1.2. Montrer que la vitesse  $V$  du solide au point M est donnée par la relation :

$$V = \sqrt{2gr \left[ \sin\alpha + \cos\alpha - \cos(\alpha + \theta) - \frac{f}{mg} \right]}.$$

1.3. Exprimer l'intensité  $R$  de la réaction de la piste sur le solide en fonction de  $m$ ,  $g$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $r$  et  $V$ . En déduire que  $R$  peut se mettre sous la forme :  $R = mg[3\cos(\alpha + \theta) - 2(\sin\alpha + \cos\alpha)] + 2f$ .

1.4. Trouver l'intensité  $f$  de la force de frottement sachant que la valeur l'intensité de la réaction en C est  $R_C = 0,132 \text{ N}$ . En déduire la valeur  $V_C$  de la vitesse en C.

**Deuxième partie :**

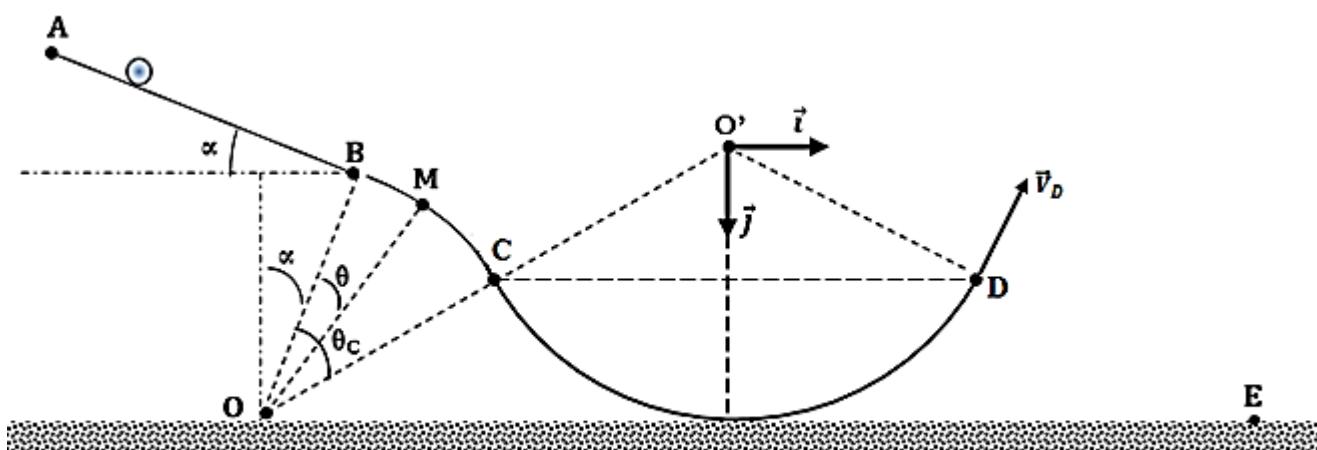
Le raccordement est tel que le solide quitte la piste au point D situé au même niveau que C avec la vitesse  $V_D = 2,65 \text{ m.s}^{-1}$ .

2.1. Etablir, dans le repère  $(O' \vec{i}; \vec{j})$  indiqué sur la figure 1, les équations horaires  $x(t)$  et  $y(t)$  du mouvement de la sphère à partir du point D.

2.2. Trouver l'équation cartésienne de la trajectoire du solide.

2.3. Déterminer les coordonnées du point de chute E du solide au sol.

2.4. Le solide arrive au point E avec une vitesse  $\vec{V}_E$ . Donner les caractéristiques de  $\vec{V}_E$ .



**Figure 1**

## EXERCICE 2

**25 points**

Données :  $U_0 = IU_{AC}I = 300 \text{ V}$ ; masse de l'électron :  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ; charge élémentaire :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Des électrons, émis à la cathode C avec une vitesse négligeable sont accélérés sous une tension  $U_{AC}$  dans le domaine (I). Ils traversent l'anode A et pénètrent dans un domaine (II) où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  où ils sont déviés vers la plaque  $P_1$ . Les plaques  $P_1$  et  $P_2$  ont chacune une longueur  $\ell = 10,3 \text{ cm}$  et sont distantes de  $d = 4 \text{ cm}$ . À la sortie au point S d'ordonnée  $Y_s = 1,6 \text{ cm}$  du domaine (II) où règne le champ électrique  $\vec{E}$ , les électrons pénètrent dans le domaine (III) où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  où ils sont déviés vers la plaque sensible P (figure 2).

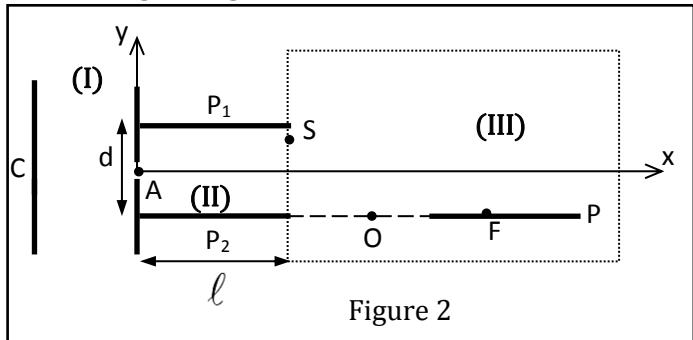


Figure 2

2.1. Déterminer le signe de la tension  $U_{AC}$  et l'expression de la vitesse  $V_A$  des électrons lorsqu'ils arrivent à l'anode A à l'instant de date  $t = 0$ . Calculer  $V_A$ .

2.2. Quel doit être le sens de  $\vec{E}$  pour que les électrons soient déviés vers la plaque  $P_1$  ?

2.3. Déterminer les équations horaires du mouvement des électrons soumis au champ électrique  $\vec{E}$  dans le repère  $(A ; \vec{i}; \vec{j})$ . En déduire l'équation de la trajectoire et sa nature.

2.4. Calculer la valeur de la tension  $U = U_{P1P2}$  aux bornes des plaques  $P_1$  et  $P_2$  puis exprimer la tension  $U_{AS}$  en fonction de  $Y_s$ ,  $d$  et  $U$ .

2.5. Montrer que la valeur  $V_s$  de la vitesse  $\vec{V}_s$  des électrons à la sortie, au point S peut se mettre sous la forme :

$$V_s = \sqrt{\frac{2e}{m_e}(U_0 + U_{SA})}$$

Calculer  $V_s$ . En déduire la valeur de l'angle  $\alpha$  entre la vitesse  $\vec{V}_s$  à la sortie S et l'axe des abscisses.

2.6. À leur sortie en S, les électrons entrent dans le domaine (III) où règne un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme.

2.6.1. Quel doit être le sens de  $\vec{B}$  pour que les électrons soient déviés vers la plaque sensible P ? Justifier la réponse en représentant  $\vec{B}$  dans le domaine où il existe, le vecteur vitesse  $\vec{V}_s$  et la force magnétique  $\vec{F}_m$  au point S.

2.6.2. Montrer alors que le mouvement des électrons dans le domaine (III) est plan, circulaire et uniforme. Exprimer littéralement R = OS rayon de la trajectoire des électrons en fonction de  $V_s$ ,  $B$ , de leur masse  $m_e$  et de leur charge q.

2.6.3. Pour  $V_s = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m.s}^{-1}$ , calculer le rayon R et en déduire la valeur du champ magnétique  $\vec{B}$ .

2.6.4. Dans le repère  $(A ; \vec{i}; \vec{j})$ , établir l'équation cartésienne de la trajectoire de l'électron dans le domaine (III).

2.6.5. Les électrons rencontrent la plaque P au point F. Trouver les coordonnées du point F dans le repère  $(A ; \vec{i}; \vec{j})$ .

## EXERCICE 3 **15 points**

Perméabilité magnétique du vide :  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ S.I.}$

On considère un solénoïde de longueur  $\ell = 60 \text{ cm}$  de résistance  $R = 4 \Omega$ , comprend N = 2000 spires.

3.1. Dans un premier temps, les extrémités du solénoïde sont branchées aux bornes d'un générateur  $G_0$  de f.e.m  $E_0 = 24 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 2 \Omega$ .

3.1.1. Calculer l'intensité du courant dans le circuit.

3.1.2. Faire un schéma du solénoïde et y indiquer clairement le sens du courant et le vecteur champ magnétique à l'intérieur. Préciser les caractéristiques du vecteur champ magnétique à l'intérieur du solénoïde.

3.1.3. On introduit à l'intérieur du solénoïde une bobine plate d'aire  $s = 5 \text{ cm}^2$  (par spire) comportant n = 50 spires. L'axe du solénoïde est orthogonal au plan de la bobine.

Calculer le flux d'induction magnétique à travers la bobine et l'inductance L de la bobine

**3.2.** On remplace le générateur  $G_0$  par un autre générateur G qui débite dans le solénoïde un courant d'intensité  $i$  périodique comme l'indique la figure 3.

On relie ensuite les extrémités de la bobine intérieure à un oscilloscophe.

**3.2.1.** Expliquer pourquoi la bobine est le siège d'un phénomène d'induction. Déterminer la f.e.m d'induction pour  $t \in [0 ; 0,5 \text{ ms}]$  et  $t \in [0,5 \text{ ms} ; 1,5 \text{ ms}]$ .

**3.2.2.** Représenter, pour  $t \in [0 ; 3,5 \text{ ms}]$ , la tension observée sur l'écran de l'oscilloscophe.

La base des temps est sur la graduation  $0,5 \text{ ms. cm}^{-1}$ . La sensibilité verticale est sur la graduation  $0,25 \text{ V. cm}^{-1}$ .

**3.3.** Cette fois-ci on considère une bobine plate formée de  $n' = 500$  spires. Chaque spire a une surface  $s' = 100 \text{ cm}^2$ . La bobine tourne à vitesse angulaire constante  $\omega$  autour d'un axe ( $\Delta$ ) diamétral et vertical dans un champ magnétique uniforme horizontal de vecteur  $\vec{B}$ .

Des contacts électriques mobiles permettent de relier les extrémités A et C du conducteur respectivement à l'entrée Y et à la masse M d'un oscilloscophe (figure 4). Le balayage horizontal étant réglé sur  $10 \text{ ms.div}^{-1}$  et la sensibilité verticale sur  $1 \text{ V.div}^{-1}$ , on observe la courbe de la figure 5 sur l'oscilloscophe.

**3.3.1.** Justifier qualitativement l'existence d'une tension entre A et C lors de la rotation de la bobine.

**3.3.2.** Montrer que la bobine est siège d'une f.e.m induite donnée par l'expression :

$e = e_{\max} \sin(\omega t + \theta_0)$  où  $e_{\max}$  et  $\theta_0$  sont des constantes ( $e_{\max} > 0$ ). Exprimer  $e_{\max}$  en fonction de  $\omega$ ,  $n'$ ,  $s'$  et  $B$ .

**3.3.3.** En déduire l'expression de la tension  $u_{AC}$ .

**3.3.4.** Déterminer alors, en utilisant l'oscillosgramme de la figure 5, la vitesse angulaire  $\omega$  de la bobine ainsi que l'intensité  $B$  du champ magnétique  $\vec{B}$ .

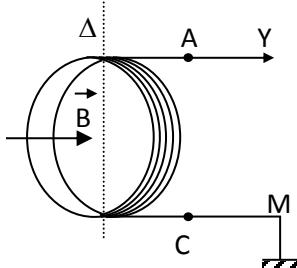
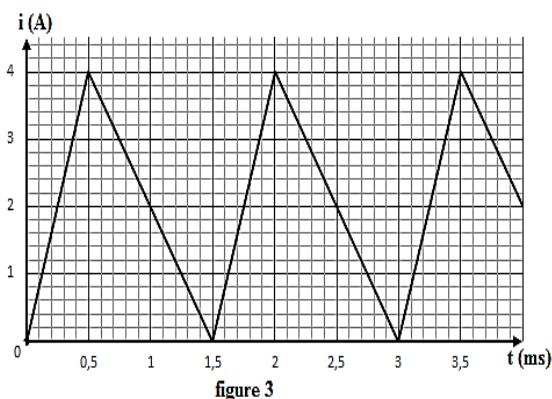


Figure 4

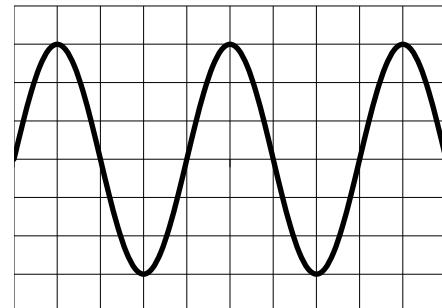


Figure 5

#### EXERCICE 4 15 points

Un circuit est composé d'un condensateur de capacité  $C = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ , d'un résistor de résistance  $R = 2000 \Omega$ , d'une bobine pure d'inductance  $L = 1 \text{ H}$  et d'un générateur qui fournit une tension sinusoïdale  $u(t)$ , de pulsation  $\omega$ .

**4.1.** Etablir l'équation donnant  $u(t)$  en fonction de  $i(t)$ ,  $\frac{di(t)}{dt}$  et  $q(t)$  où  $q(t)$  est

la charge de l'armature liée à la bobine.

**4.2.** On pose  $i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi)$  et  $u = U_m \cos(\omega t + \phi)$ . A partir de la construction de FRESNEL trouver l'expression de l'intensité efficace  $I$  en fonction de la tension efficace  $U$  et des caractéristiques du circuit.

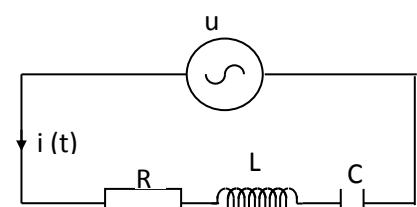


Figure 5

**4.3.** Montrer que l'intensité efficace  $I$  prend la valeur maximal  $I_0 = \frac{U}{R}$  pour une valeur  $\omega_0$  de  $\omega$  que l'on exprimera.

**4.4.** On pose  $x = \frac{\omega}{\omega_0}$  et  $Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0}$

**4.4.1.** Montrer que  $\frac{I}{I_0} = F(x) = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2(x-\frac{1}{x})^2}}$

**4.4.2.** On fait varier la pulsation  $\omega$  et on détermine les couples de valeurs  $[x ; F(x)]$ ; ce qui à permis de tracer le graphe de la figure 6:

**4.4.2.1**  $x_1$  et  $x_2$  étant les racines positives des équations

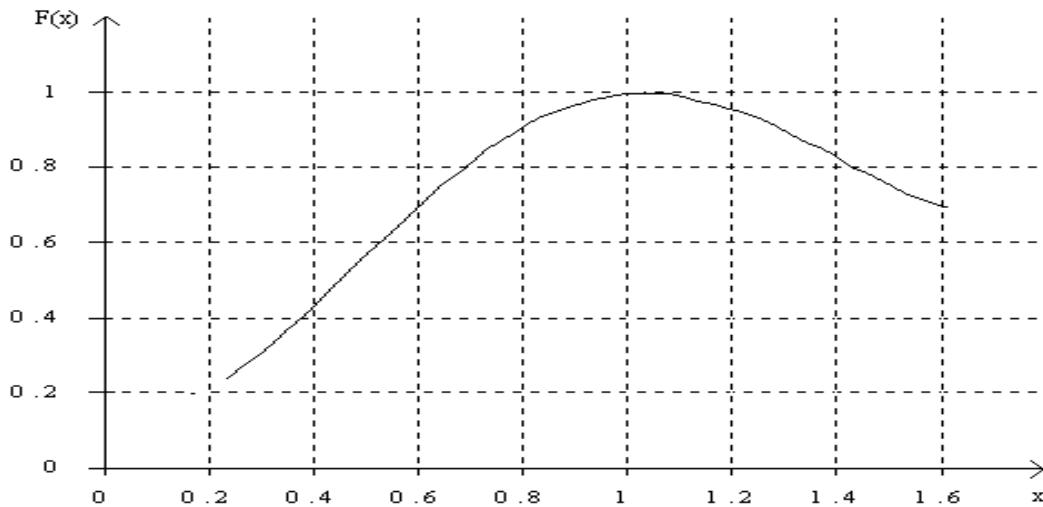
$$\begin{cases} x^2 + \frac{x}{Q} - 1 = 0 \\ x^2 - \frac{x}{Q} - 1 = 0 \end{cases}$$

Montrer que  $x_2 - x_1 = \frac{1}{Q}$  puis  $\omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}$ .

**4.4.2.2** On appelle bande passante pour  $I$ , le segment  $[x_1 ; x_2]$  ou  $[\omega_1 ; \omega_2]$  tel que  $F(x_1) = F(x_2) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

Déterminer graphiquement la bande passante et en déduire la valeur du facteur de qualité  $Q$ .

**4.4.2.3 :** Faire l'application numérique du facteur de qualité défini en 4-4 et comparer les deux valeurs de  $Q$ .



**Figure 6**

### EXERCICE 5 20 points

Il existe deux principaux isotopes stables du chlore (dont les nombres de masse sont 35 et 37) trouvés dans les proportions respectives de 3 pour 1 et qui donnent aux atomes en vrac une masse molaire atomique apparente de 35,5 g.mol<sup>-1</sup>.

Le chlore a 9 isotopes avec des nombres de masse s'étendant de 32 à 40. Seulement trois de ces isotopes existent à l'état naturel : le <sup>35</sup>Cl stable (75,77 %), le <sup>37</sup>Cl stable (24,23 %) et le <sup>36</sup>Cl radioactif.

Le rapport du nombre de noyaux de <sup>36</sup>Cl au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de  $7,0 \times 10^{-13}$  actuellement.

Le « chlore 36 » (<sup>36</sup>Cl) se désintègre essentiellement en « argon 36 » (<sup>36</sup>Ar). La demi-vie du <sup>36</sup>Cl est de  $301 \times 10^3$  ans. Cette valeur le rend approprié pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années.

**Données :**

- 1 an =  $3,156 \times 10^7$  s.
- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3 \times 10^8$  m.s $^{-1}$
- Masse molaire atomique du chlore :  $M(Cl) = 35,5$  g.mol $^{-1}$
- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,022 \times 10^{23}$  mol $^{-1}$
- Masse et numéro atomique de quelques particules et noyaux :

Particule ou noyau	Proton	Neutron	Le « chlore 36»	« Argon 36 »
Masse en $10^{-27}$ kg	1,67262	1,67492	59,71128	xxxxxxxxxxxxxx
Numéro atomique Z	1	0	17	18

**5.1.** Définir le terme « isotopes ».

**5.2.** Donner le symbole complet du noyau de « chlore 36 » et sa composition.

**5.3.** Qu'appelle-t-on l'énergie de liaison  $E_L$  d'un noyau ? Calculer, en MeV, l'énergie de liaison  $E_L$  d'un noyau de « chlore 36 ».

**5.4.** Le texte évoque la réaction de désintégration d'un noyau de « chlore 36 ». Écrire l'équation de cette réaction, en indiquant le type de radioactivité mise en jeu et les lois utilisées.

**5.5.** Donner la définition du temps de « demi-vie »  $t_{1/2}$  d'un noyau. Etablir la relation entre le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  et la constante radioactive  $\lambda$ . Calculer la constante radioactive de l'isotope de « chlore 36 ».

**5.6.** Une bouteille contient un volume  $V = 1,5$  L d'eau minérale. Sa teneur en ions chlorure est indiquée sur l'étiquette et vaut  $C_m = 13,5$  mg.L $^{-1}$ .

**5.6.1.** Déterminer la quantité de matière d'ions chlorure contenue dans l'eau de cette bouteille.

**5.6.2.** On suppose que le rapport du nombre de noyaux de « chlore 36 » au nombre total de noyaux de chlore présents dans cette eau minérale est celui donné dans l'énoncé. Calculer le nombre N de noyaux de « chlore 36 » présents dans cette bouteille.

**5.6.3.** Montrer que la relation entre l'activité A d'un échantillon et le nombre moyen de noyaux N présent dans cet échantillon, à une date t donnée est :  $A = \lambda.N$ . En déduire la valeur de l'activité en « chlore 36 » de l'eau que contient cette bouteille pour  $C_m = 13,5$  mg.L $^{-1}$ .

**5.6.4.** En déduire la valeur du nombre de désintégrations de noyaux de « chlore 36 » par jour.

**5.7.** L'étude des isotopes radioactifs apporte des informations concernant la durée du transit souterrain d'une eau c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique. Les ions chlorure Cl $^-$  sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles et ne sont que rarement impliqués dans les interactions eaux - rochers. Dans les eaux de surface, le « chlore 36 » est renouvelé et la teneur en « chlore 36 » peut être supposée constante, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines des nappes phréatiques. Le « chlore 36 », de demi vie  $3,01 \times 10^5$  ans, est donc un traceur particulièrement à l'étude des eaux souterraines. Pour dater des eaux, on peut utiliser le « carbone 14 », de demi-vie  $5,73 \times 10^3$  ans, présent dans les ions carbonate CO $_3^{2-}$  dissous par exemple.

**5.7.1.** Entre le « carbone 14 » et le « chlore 36 », l'un est adapté pour la datation d'une eau souterraine ancienne et l'autre à une eau souterraine plus récente. Attribuer à chaque isotope le type d'eau pour lequel il est adapté en justifiant la réponse.

**5.7.2.** On considère un échantillon, de volume V donné, d'eau issue d'une nappe phréatique.

On note :

- $N_0$  le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans cet échantillon à l'instant de date  $t_0 = 0$  s de la constitution de la nappe.
- $N(t)$  le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe et donc non renouvelée en « chlore 36 ».

On admet que  $N_0$  est égal au nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans un échantillon de même volume V d'eau de surface.

Trouver l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de « chlore 36 » trouvée dans les eaux de surface.

**FIN DE L'EPREUVE**