الدورة العادية للعام 2009	امتحانات الشهادة الثانوية العامة الفرع : علوم عامة	وزارة التربية والتعليم العالي المديرية العامة للتربية دائرة الامتحانات
الاسم: الرقم:	مسابقة في مادة الفيزياء المدة ثلاث ساعات	

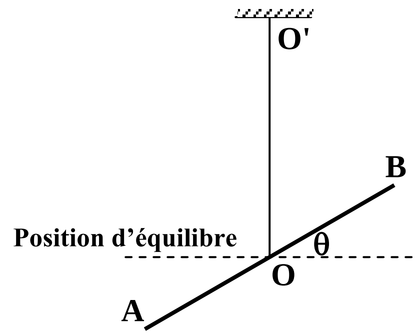
Cette épreuve est formée de quatre exercices répartis sur quatre pages numérotées de 1 à 4.
L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.

<u>Premier exercice :</u> (7,5 points)

Pendule de torsion

Le but de l'exercice est de déterminer le moment d'inertie I d'une tige homogène AB par rapport à un axe qui lui est perpendiculaire en son milieu et la constante de torsion C d'un fil OO' de masse négligeable.

La tige a une masse M et une longueur AB = ℓ = 60 cm.
Un pendule de torsion [P] est obtenu en fixant le point milieu de AB à l'extrémité O du fil tandis que l'autre extrémité O' est fixée à un support. La tige est écartée de sa position d'équilibre d'un angle faible θ_m dans le plan horizontal ; elle est lâchée sans vitesse à l'instant t_0 = 0. Ainsi, la tige peut tourner dans un plan horizontal autour d'un axe (Δ) passant par OO'.



À un instant t au cours du mouvement, l'abscisse angulaire de la tige est θ et sa vitesse angulaire est $\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$.

Le plan horizontal contenant la tige est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur. On néglige toute force de frottement et on prend $\pi^2 = 10$.

A – Étude théorique

1) Donner, à l'instant t, l'expression de l'énergie mécanique E_m du système [[P], Terre] en fonction de I, C, θ et $\dot{\theta}$.

2) a) Écrire l'expression de E_m quand $\theta = \theta_m$.
b) Déterminer, en fonction de I, C et θ_m, l'expression de la vitesse angulaire de [P] lors du passage par la position d'équilibre.

3) Établir l'équation différentielle du second ordre en θ qui régit le mouvement de [P].

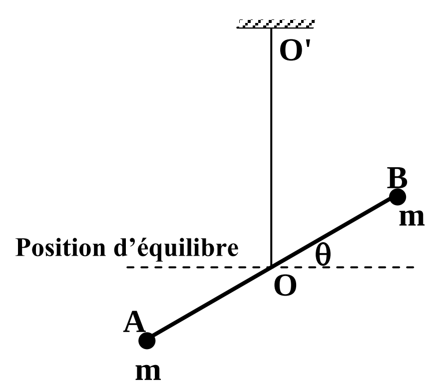
4) Déduire que le mouvement de [P] est sinusoïdal.

5) Déterminer l'expression de la période propre T_1 du pendule en fonction de I et C.

B – Étude expérimentale

1) À l'aide d'un chronomètre, on mesure la durée t_1 de 20 oscillations et on obtient t_1= 20 s. Déterminer la relation entre I et C .

2) À chaque extrémité de la tige est fixée une particule de masse m = 25 g . On obtient ainsi un nouveau pendule de torsion [P'] qui peut effectuer également un mouvement sinusoïdal de rotation de période propre T_2.



a) Déterminer le moment d'inertie I' du système (tige + particules) par rapport à l'axe (Δ) en fonction de I, m et ℓ.

b) Écrire l'expression de T_2 en fonction de I, C, m et ℓ.

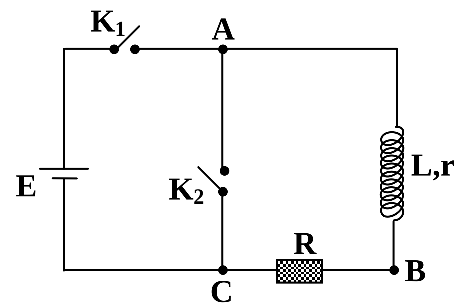
c) À l'aide d'un chronomètre, on mesure la durée t_2 de 20 oscillations et on obtient t_2 = 40 s. Trouver une nouvelle relation entre I et C.

3) Calculer les valeurs de I et C.

Deuxième exercice : (7,5 points)

Phénomène d'auto-induction

Le montage représenté par la figure ci-dessous est constitué d'un générateur idéal de tension de f.é.m. E =12V, d'une bobine de résistance r =10 Ω et d'inductance L = 40 mH, d'un conducteur ohmique de résistance R = 40 Ω et de deux interrupteurs K_1 et K_2 .



A – À l'instant $t_0 = 0$, on ferme l'interrupteur K_1 et on laisse K_2 ouvert. À une date t, le circuit est parcouru, en régime transitoire, par un courant d'intensité i_1.

1) Établir l'équation différentielle qui décrit l'évolution de i_1 en fonction du temps.
2) I_0 est l'intensité du courant en régime permanent. Déterminer l'expression de I_0 en fonction de E,r et R et calculer sa valeur.
3) La solution de l'équation différentielle est de la forme : $i_1 = I_0\,(1-e^{\frac{-t}{\tau}})$.
   a) Déterminer l'expression de τ en fonction de L, r et R et calculer sa valeur.
   b) Donner la signification physique de τ .
4) a) Déterminer l'expression de la f.é.m. d'auto-induction e_1 en fonction du temps.
   b) Calculer la mesure algébrique de e_1 à l'instant $t_0 = 0$.

B – Après quelques secondes, le régime permanent étant établi, on ouvre K_1 et on ferme au même instant K_2. On considère la date de la fermeture de K_2 comme une nouvelle origine des temps $t_0 = 0$. À une date t, le circuit (L,R,r) est alors parcouru par un courant induit d'intensité i_2 .

1) Déterminer le sens de i_2 .
2) Établir l'équation différentielle qui décrit l'évolution de i_2 en fonction du temps.
3) Vérifier que $i_2 = I_0\, e^{\frac{-t}{\tau}}$ est la solution de cette équation.
4) Calculer la mesure algébrique de la f.é.m. d'auto-induction e_2 à la date $t_0 = 0$.

C – Comparer e_1 et e_2 et déduire le rôle de la bobine dans chacun des deux circuits précédents.

Troisième exercice (7,5 points)

Caractéristiques d'un circuit (R, L, C)

Dans le but de déterminer les caractéristiques d'un circuit (R, L, C), on réalise le montage schématisé par la figure 1. Ce circuit comprend : un générateur G délivrant à ses bornes une tension alternative sinusoïdale u_g de la forme : $u_g = u_{AM} = U_m\cos(2\pi f)t$, un conducteur ohmique de résistance R= 650 Ω, une bobine d' inductance L et de résistance négligeable et un condensateur de capacité C.

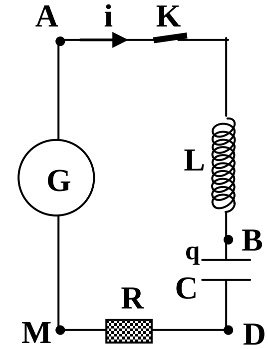


Fig.1

A – La fréquence f de la tension u_g est réglée à la valeur f_1.

On visualise, à l'aide d'un oscilloscope, les variations, en fonction du temps, de la tension u_{AM} aux bornes de G sur la voie (Y_1) et de la tension u_{DM} aux bornes du conducteur ohmique sur la voie (Y_2).
L'oscillogramme obtenu est représenté par la figure 2.

Sensibilité verticale pour les deux voies : 2 V/div.

Sensibilité horizontale : 0,1 ms/div.

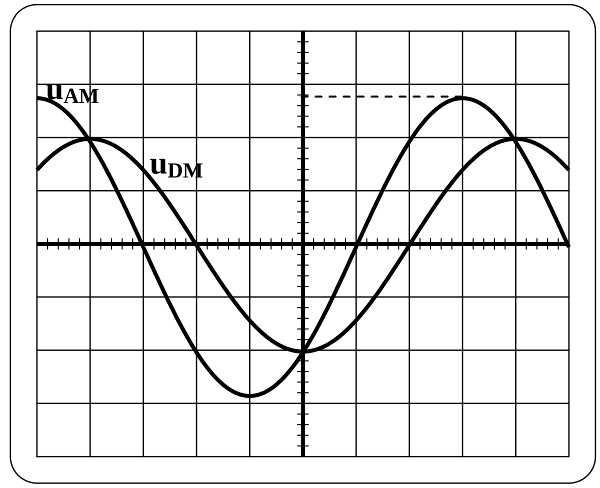


Fig.2

1) Reproduire la figure (1) en indiquant les branchements de l'oscilloscope.

2) En se référant à l'oscillogramme, déterminer:

- **a)** la valeur de la fréquence f_1;
- **b)** la valeur absolue φ_1 du déphasage entre u_{AM} et u_{DM}.

3) L'intensité i qui traverse le circuit s'écrit sous la forme: $i = I_m\cos(2\pi f_1 t - \varphi_1)$.

- **a)** Écrire, en fonction du temps, les expressions des tensions u_{AB}, u_{BD} et u_{DM}.
- **b)** La relation : $u_{AM} = u_{AB} + u_{BD} + u_{DM}$ est vérifiée quel que soit t. Montrer, en donnant à t une valeur particulière, que l'on a : $\tan\varphi_1 = \dfrac{L(2\pi f_1) - \dfrac{1}{C(2\pi f_1)}}{R}$

B – À partir de la valeur f_1, on diminue continuellement la fréquence f . On constate, que pour une valeur f_0 = 500 Hz de f, le circuit est le siège du phénomène de résonance d'intensité.

Déduire, de ce qui précède, la relation entre L, C et f_0.

C – On continue à diminuer la fréquence f . Pour la valeur f_2 de f , on trouve que le déphasage entre u_{AM} et u_{DM} est φ_2 tel que $\varphi_2 = -\varphi_1$.

1) Déterminer la relation entre f_1, f_2 et f_0.

2) En déduire la valeur de f_2.

D– Déduire de ce qui précède les valeurs de L et C.

<u>Quatrième exercice</u> (7,5 points)

Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

Les énergies des différents niveaux de l'atome d'hydrogène sont données par la relation :

$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ où E_0 est une constante positive et n un entier positif.

Données :
Constante de Planck : $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J.s
Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \times 10^8$ m/s ; 1 eV = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J; 1 nm = 10^{-9} m.

1) **a)** L'énergie de l'atome d'hydrogène est quantifiée. Qu'est-ce qu'on entend par « *énergie quantifiée* » ?
b) Expliquer pourquoi le spectre d'absorption ou d'émission de l'atome d'hydrogène est constitué de raies.

2) Un atome d'hydrogène, préalablement excité, se désexcite en passant du niveau d'énergie E_2 au niveau d'énergie E_1. Il émet alors la radiation de longueur d'onde dans le vide : $\lambda_{2\to1} = 1{,}216 \times 10^{-7}$ m.
Déterminer, en J, la valeur :
- **a)** de la constante E_0;
- **b)** de l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène pris dans son état fondamental.

3) Pour l'hydrogène, on définit plusieurs séries de raies spectrales auxquelles sont attribués les noms de chercheurs qui ont participé à leur étude. Parmi ces séries, on considère celle de Balmer, caractérisée par les transitions des niveaux d'énergie $E_P > E_2$ (p > 2) au niveau d'énergie E_2 (n = 2).
À chaque transition $p \to 2$ correspond une raie de longueur d'onde $\lambda_{p\to2}$ dans le vide.
- **a)** Montrer que $\lambda_{p\to2}$, exprimée en nm, est donnée par la relation : $\frac{1}{\lambda_{p\to2}} = 1{,}096 \times 10^{-2}\left[\frac{1}{4} - \frac{1}{p^2}\right]$.
- **b)** L'analyse du spectre d'émission de l'atome d'hydrogène révèle la présence des quatre raies visibles. On considère les trois raies H_α , H_β et H_γ de longueurs d'onde respectives dans le vide λ_α = 656,28 nm , λ_β = 486,13 nm et λ_γ = 434,05 nm.
À quelle transition correspond chacune de ces radiations ?
- **c)** Montrer que les longueurs d'onde des radiations correspondant tendent, lorsque $p \to \infty$, vers une limite λ_0 que l'on calculera .

4) Balmer, en 1885, ne connaissait que les raies de l'atome d'hydrogène appartenant au spectre visible. Il a pu écrire la formule: $\lambda = K\frac{p^2}{p^2 - 4}$ où K est une constante positive et p un entier positif .
Déterminer la valeur de K en tenant compte des données numériques et comparer sa valeur à celle de λ_0 .

Premier exercice (7.5 points)

A – 1) $E_m = E_C + E_{PP} + E_{Pe} = \frac{1}{2}I\theta'^2 + 0 + \frac{1}{2}C\theta^2$ **(¾)**

2) a) Pour la déviation maximale, $\theta = \theta_m$ et $\theta' = 0$.

ainsi $E_m = \frac{1}{2}C\theta^2_m$ **(½)**

b) Dans la position d'équilibre, $E_m = \frac{1}{2} I\theta'^2_m$

$\Rightarrow \theta' = \pm \theta_m\sqrt{\frac{C}{I}}$ **(¾)**

3) L'E_m est conservée car pas de frottement,
la dérivée par rapport au temps de E_m est ainsi nulle

$I\theta'\theta'' + C\theta\theta' = 0$; $\theta' \neq 0$ ainsi $\theta'' + \frac{C}{I}\theta = 0$ **(¾)**

4) L'équation a la forme: $\theta'' + \omega^2\theta = 0 \Rightarrow$ Mvt. sinusoïdal **(¼)**

5) Elle a une solution sinusoïdale avec $\omega^2 = \frac{C}{I}$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ ainsi $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}}$ **(¾)**

B – 1) $t_1 = 20T_1 = 20s$ ainsi $T_1 = 1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}}$

et $40\frac{I}{C} = 1$ alors $C = 40\, I$ **(1)**

2) a) $I' = I + 2m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = I + m\frac{\ell^2}{2} = I + 0{,}0045$ **(¾)**

b) Même loi de mouvement, alors $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I'}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{I + \frac{m\ell^2}{2}}{C}}$ **(½)**

c) $T_2 = 2$ ainsi $10\frac{I'}{C} = 1$ ou $C = 10\, I' = 10(I + 0{,}0045) = 10\, I + 0{,}045$ **(¾)**

3) $C = 40\, I = 10I + 0{,}045 \Rightarrow I = 1{,}5\times10^{-3}$ kg.m^2 et $C = 0{,}06$ N×m **(¾)**

Deuxième exercice (7.5 points)

A – 1) $E = ri_1 + L\frac{di_1}{dt} + Ri_1 \Rightarrow E = (r+R)\, i_1 + L\frac{di_1}{dt}$. **(½)**

2) Quand le régime permanent est établi, i_1 est constante et $\frac{di_1}{dt} = 0$;

l'intensité est alors I_0 telle que : $E = (r+R)\, I_0 \Rightarrow I_0 = \frac{E}{R+r}$.

$I_0 = \frac{12}{40+10} = 0{,}24$ A **(1)**

3) a) $\frac{di_1}{dt} = I_0/\tau\,(e^{\frac{-t}{\tau}}) \Rightarrow E = (r+R)\, I_0(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}) + L\, I_0/\tau\,(e^{\frac{-t}{\tau}})$

$\Rightarrow L/\tau = (r+R) \Rightarrow \tau = \frac{L}{R+r} = \frac{0{,}04}{50} = 0{,}8$ ms. **(1)**

b) La constante de temps caractérise la durée de l'établissement du courant dans un dipôle (R+r), L **(¼)**

4) a) $e_1 = -L\frac{di_1}{dt} = -L\, I_0/\tau\,(e^{\frac{-t}{\tau}}) = -E\, e^{\frac{-t}{\tau}}$. **(½)**

b) Pour t = 0, $e_1 = -E = -12$ V. **(¼)**

B – 1) D'après la loi de Lenz, La bobine est parcourue par un courant d'intensité i_2 de meme sens que celui de i_1. **(½)**

2) $u_{AC} = u_{AB} + u_{BC} \Rightarrow 0 = ri_2 + L\frac{di_2}{dt} + Ri_2$

$\Rightarrow L\frac{di_2}{dt} + (R+r)\, i_2 = 0$ **(¾)**

3) $\frac{di_2}{dt} = -I_0/\tau\, e^{\frac{-t}{\tau}} \Rightarrow -L\, I_0/\tau\, e^{\frac{-t}{\tau}} + (R+r)\, I_0\, e^{\frac{-t}{\tau}} = 0$ **(1)**

4) $e_2 = -L\frac{di_2}{dt} = -L(-I_0/\tau\, e^{\frac{-t}{\tau}}) = E\, e^{\frac{-t}{\tau}}$.

À t = 0, on a $e_2 = E = 12$ V. **(¾)**

C – $e_1 = -e_2$.

Quand on ferme K_1, la f.é.m. induite s'oppose à l'établissement du courant dans le circuit $\Rightarrow e_1 < 0$ (la bobine joue le rôle d'un générateur en opposition). Quand on ferme K_2, la f.é.m. induite s'oppose à l'annulation du courant dans le circuit $\Rightarrow e_2 > 0$ (la bobine joue le rôle d'un générateur). **(1)**

Troisième exercice (7.5 points)

A – 1) branchements de l'oscilloscope. **(¼)**

2) a) $T_1 \rightarrow$ 8 div $\Rightarrow T_1 = 0{,}8$ ms

$f_1 = 1/T_1 = 1/\,0{,}8 \times 10^{-3} = 1250$ Hz **(½)**

b) $|\varphi_1| = 2\,\pi\,1/8 = \pi/4$ rad. **(¼)**

3) a) $i = Im\cos(2\pi f_1 \cdot t - \varphi_1)$; $u_{AB} = L\,di/dt = -LIm(2\pi f_1)\sin(2\pi f_1 t - \varphi_1)$

$u_C = 1/C \int i\,dt = Im/C \int \cos(2\pi f_1 t - \varphi_1)\,dt$

$u_C = (Im / C.2\pi f_1)\sin(2\pi f_1 t - \varphi_1)$

$u_R = Ri = R\,Im\cos(2\pi f_1 t - \varphi_1)$ **(1)**

b) $Um\cos 2\pi f_1 t = R\,Im\cos(2\pi f_1 t - \varphi_1) + (Im / C.2\pi f_1)\sin(2\pi f_1 t - \varphi_1) - LIm(2\pi f_1)\sin(2\pi f_1 t - \varphi_1)$

$2\pi f_1 t = \pi/2 \Rightarrow 0 = RIm\sin\varphi_1 + (Im / C.2\pi f_1)\cos\varphi_1 - L\,Im(2\pi f_1)\cos\varphi_1$

$\Rightarrow R\sin\varphi_1 = [L(2\pi f_1) - 1/(C(2\pi f_1))]Im\cos\varphi_1$

$$\mathrm{tg}\varphi_1 = \frac{L(2\pi f_1) - \dfrac{1}{C(2\pi f_1)}}{R} \quad \textbf{(¾)}$$

B – Résonance d'intensité $\Rightarrow \varphi = 0 \Rightarrow \mathrm{tg}\varphi = 0 \Rightarrow L2\pi f_0 - 1/C(2\pi f_0) = 0$

$\Rightarrow LC4\pi^2 f_0^2 = 1.$ **(¾)**

C – 1) $\mathrm{tg}\varphi_1 = -\,\mathrm{tg}\,\varphi_2 \Rightarrow$
$$\frac{L(2\pi f_1) - \dfrac{1}{C(2\pi f_1)}}{R} = \frac{\dfrac{1}{C2\pi f_2} - L2\pi f_2}{R}$$

$\Rightarrow L2\pi f_1 + L2\pi f_2 = 1/C\,[1/(2\pi f_1) + 1/(2\pi f_2)]$

$LC = 1/\,4\pi^2 f_1 f_2 = 1/\,4\pi^2 f_0^2 \Rightarrow f_0^2 = f_1 f_2$ **(1½)**

2) $f_2 = (500^2)/\,1250 = 250000/1250 = 200$ Hz **(½)**

D – $\varphi_1 = \pi/4 \Rightarrow L2\pi(1250) - 1/(C \times 2\pi \times 1250) = 650$

$LC = 1/(4\pi^2 500^2) = 10^{-7} \Rightarrow LC \times 4\pi^2 \times 1250^2 - 1 = 650 \times C \times 2\,\pi \times 1250$

$\Rightarrow C = 5.25\,/(650 \times 2\,\pi \times 1250) = 10^{-6}$ F = 1 µF

$L = 10^{-7}/\,10^{-6} = 10^{-1}$ H = 0.1 H **(2)**

Quatrième exercice (7.5 points)

1) a) Les énergies de l'atome d'hydrogène ne peuvent pas prendre que des valeurs particulières (bien déterminées) **(½)**

b) Pour une transition électronique p $\rightarrow$ n le photon émis (ou absorbé) a un longueur d'onde : $\lambda_{p,n} = \dfrac{hc}{E_p - E_n}$.

Comme E_p et E_n sont quantifiées alors $(E_p - E_n)$ l'est aussi ; ce qui fait que $\lambda_{p,n}$.a un valeur bien déterminée, ce qui correspond à une raie. **(1)**

2) a) $E_2 = -\dfrac{E_0}{4}$ et $E_1 = -E_0 \Rightarrow E_2 - E_1 = \dfrac{3E_0}{4} = \dfrac{hc}{\lambda_{2,1}}$

$$\Rightarrow E_0 = \frac{4 \times 6{,}62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3 \times 1{,}216 \times 10^{-7}} = 2{,}177 \times 10^{-18} \text{ J.} \quad \textbf{(1½)}$$

b) $E_i = E_\infty - E_1 = E_0 = 2{,}177 \times 10^{-18}$ J. **(½)**

3) a)
$$\begin{cases} E_p - E_2 = -\dfrac{E_0}{p^2} + \dfrac{E_0}{4} = \dfrac{hc}{\lambda_{p,2}} \Rightarrow \dfrac{1}{\lambda_{p,2}} = \dfrac{E_0}{hc}\left(\dfrac{1}{4} - \dfrac{1}{p^2}\right) \\ = \dfrac{2{,}177 \times 10^{-18} \times 10^{-9}}{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}\left(\dfrac{1}{4} - \dfrac{1}{p^2}\right) = 1{,}096 \times 10^{-2}\left(\dfrac{1}{4} - \dfrac{1}{p^2}\right) \end{cases} \quad \textbf{(1½)}$$

b) $\lambda_\alpha = 656{,}28$ nm $\Rightarrow$ p= 3, donc c'est la transition $3 \rightarrow 2$.

λ_β ; $4 \rightarrow 2$ et λ_γ ; $5 \rightarrow 2$. **(¾)**

c) Quand p $\rightarrow \infty \Rightarrow \lambda \rightarrow \lambda_0 = \dfrac{4}{1{,}096 \times 10^{-2}} = 364{,}96$ nm **(½)**

4) Pour $\lambda_\alpha = 656{,}28$ nm, p = 3 d'où $K = \lambda\dfrac{p^2 - 4}{p^2} = 364{,}6$ nm, on trouve que $K \cong \lambda_0$ **(1¼)**