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	

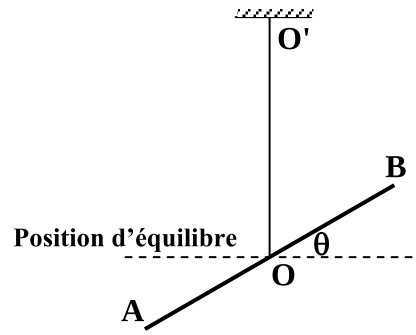
Cette épreuve est formée de quatre exercices répartis sur quatre pages numérotées de 1 à 4.
L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.

<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 $\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$.

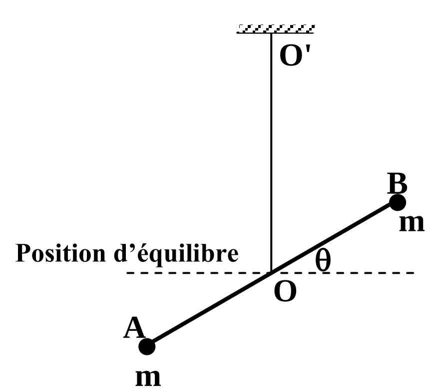
Le plan horizontal contenant la tige est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur. On néglige toute force de frottement et on prend $\pi^2 = 10$.

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

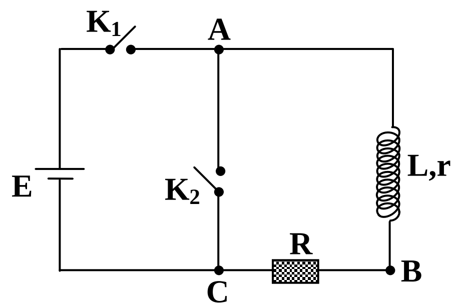
1) À l'aide d'un chronomètre, on mesure la durée t_1 de 20 oscillations et on obtient t_1= 20 s. Déterminer la relation entre I et C .
2) À chaque extrémité de la tige est fixée une particule de masse m = 25 g . On obtient ainsi un nouveau pendule de torsion [P'] qui peut effectuer également un mouvement 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.



<u>Deuxième exercice :</u> (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.

<u>Troisième exercice</u> (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.

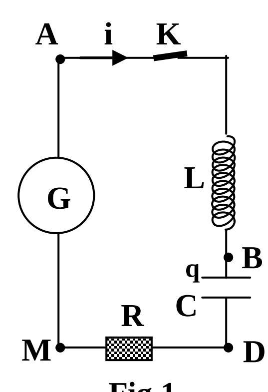


Fig.1

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.

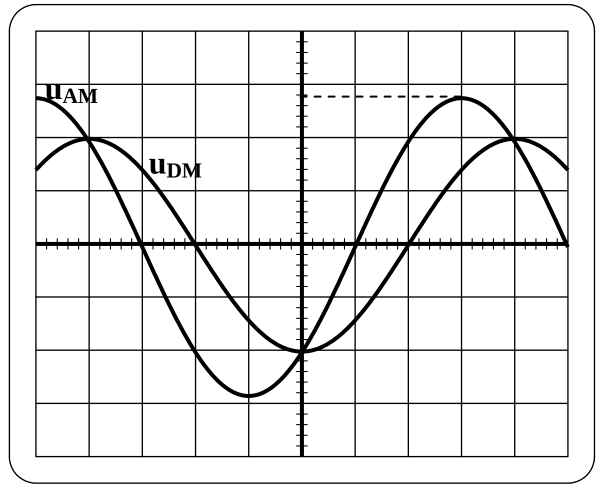


Fig.2

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.

Quatrième exercice (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 :

$E_n = -\dfrac{E_0}{n^2}$ 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 : $\dfrac{1}{\lambda_{p\to2}} = 1{,}096 \times 10^{-2}\left[\dfrac{1}{4} - \dfrac{1}{p^2}\right]$.
- **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: $\lambda = K\dfrac{p^2}{p^2 - 4}$ 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 $\Longrightarrow T_1 = 0{,}8$ 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) $i = Im\cos(2\pi f_1 \cdot t - \varphi_1)$; $u_{AB} = L\ di/dt = -LIm(2\pi f_1)\sin(2\pi f_1 t - \varphi_1)$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$\Longrightarrow C = 5.25 /(650 \times 2\pi \times 1250) = 10^{-6}$ 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 $E_1 = -E_0 \Rightarrow E_2 - E_1 = \dfrac{3E_0}{4} = \dfrac{hc}{\lambda_{2,1}}$

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

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

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