مسابقة في مادة الفيزياء	الاسم:
المدة ثلاث ساعات	الرقم:

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.

Premier exercice : (7.5 points)

Oscillateur mécanique horizontal

Un oscillateur mécanique horizontal est formé d'un autoporteur (S), de masse m = 510 g, attaché à deux ressorts identiques à spires non jointives et dont les deux autres extrémités A et B sont reliées à deux supports fixes. Chaque ressort, de masse négligeable, a une constante de raideur k = 10 Nm^{-1} et une longueur à vide ℓ_o. (S) peut glisser sur une table à coussin d'air horizontale et son centre d'inertie G peut alors se déplacer sur un axe horizontal x'Ox.

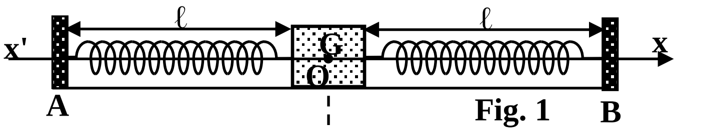


Fig. 1

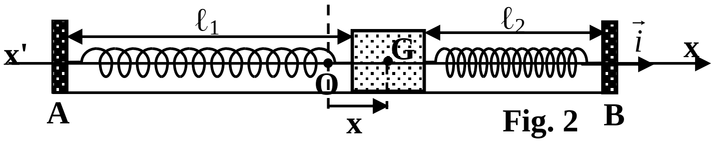


Fig. 2

À l'équilibre (figure 1) :

- G coïncide avec l'origine O de l'axe x'x ;
- chacun des deux ressorts est allongé de $\Delta\ell$ et sa longueur est $\ell = \ell_0 + \Delta\ell$.

Le plan horizontal passant par G est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

A- Étude théorique

On suppose que (S) est mis en oscillations libres non amorties. À un instant t, l'abscisse de G est $x = \overline{OG}$ et la mesure algébrique de sa vitesse est $v = \frac{dx}{dt}$ et les deux ressorts ont des longueurs ℓ_1 et ℓ_2 (figure 2).

1) **a)** En se référant à la figure 2, exprimer ℓ_1 et ℓ_2 en fonction de ℓ et x.
b) Montrer, à un instant t, que l'énergie potentielle élastique totale emmagasinée dans les deux ressorts est donnée par : $E_{Pé} = k\,[(\Delta\ell)^2 + x^2]$.

2) Écrire, à l'instant t, l'expression de l'énergie mécanique du système ((S), deux ressorts, Terre) en fonction de v, m, k, $\Delta\ell$ et x.

3) Établir l'équation différentielle du second ordre, en x, qui régit le mouvement de G.

4) La solution de cette équation différentielle est de la forme : $x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ où X_m, ω_0 et φ sont des constantes.
a) Déterminer, en fonction de k et m, l'expression de ω_0.
b) Déduire la valeur T_0 de la période propre des oscillations de G.

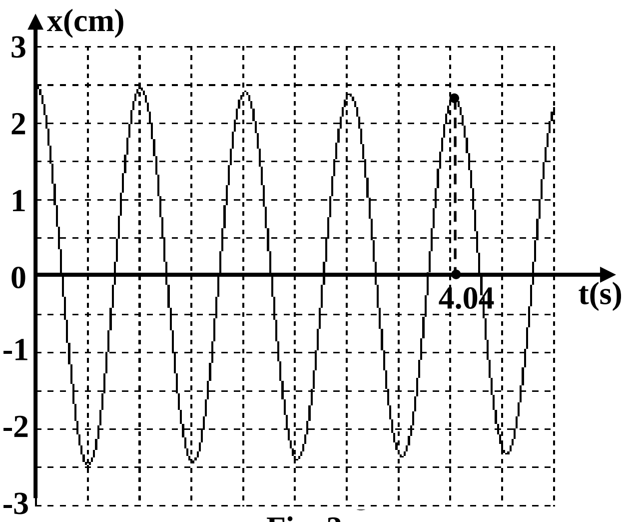


Fig. 3

B- Étude expérimentale

Un dispositif approprié permet d'enregistrer l'abscisse x de G en fonction du temps (figure 3).

1) **a)** La valeur expérimentale de la période T est légèrement différente de la valeur théorique T_0. Indiquer la cause de cette différence.
b) En se référant à la figure 3, déterminer la période T des oscillations de G.

2) À t = 4,04s, l'amplitude des oscillations est 2,36 cm.
a) Déterminer l'énergie mécanique perdue par le système

((S), deux ressorts, Terre) entre les instants $t_0 = 0$ et t = 4,04s.

b) Déduire la puissance moyenne perdue pendant cet intervalle de temps.

3) L'extrémité A du ressort de gauche est couplé à un excitateur (E) de fréquence « f » réglable (figure 4). Les forces de frottement étant maintenant appréciables, l'autoporteur est forcé à osciller avec une fréquence égale à celle de (E). Les variations, en fonction du temps, de l'abscisse x de G sont représentées, pour deux valeurs données de « f », par les figures 5 et 6.

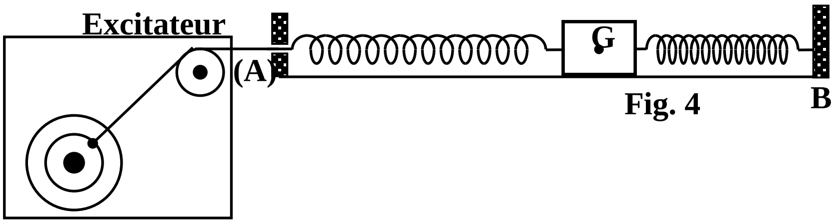


Fig. 4

a) Déterminer, dans chaque cas, l’amplitude et la période des oscillations de G.

b) L'amplitude des oscillations de la figure 6 est plus grande que celle des oscillations de la figure 5. Interpréter cette augmentation.

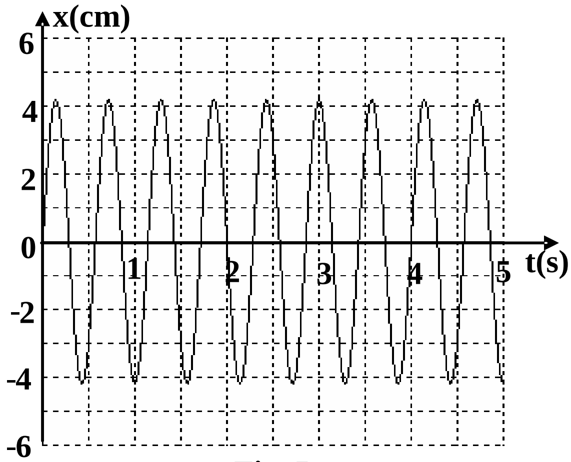


Fig. 5

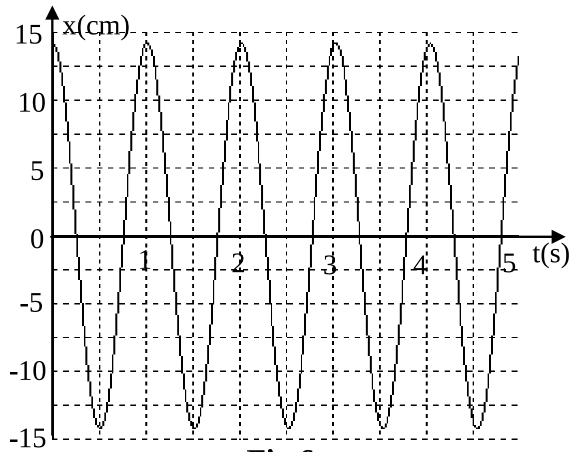


Fig.6

<u>Deuxième exercice</u> : (7.5 points)

Détermination des caractéristiques d’une bobine

Dans le but de déterminer les caractéristiques d’une bobine, on considère le circuit électrique représenté par la figure 1. Ce circuit comporte, en série, un condensateur de capacité C, une bobine d’inductance L et de résistance r, un conducteur ohmique de résistance R et un ampèremètre (A) de résistance négligeable. L'ensemble est branché aux bornes d’un GBF de fréquence f réglable et qui maintient entre ses bornes une tension alternative sinusoïdale $u = u_{AM} = U\sqrt{2}\sin(2\pi f t + \varphi)$.

Le circuit est alors parcouru par un courant alternatif sinusoïdal d’intensité $i = I\sqrt{2}\sin(2\pi f t)$ (Fig 1).

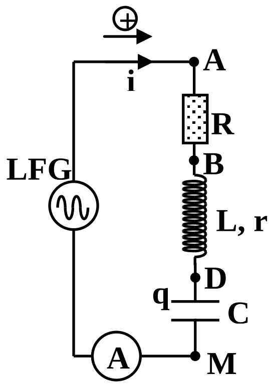


Fig. 1

A- 1) Écrire l'expression de la tension :

a) u_{AB} aux bornes du conducteur ohmique en fonction de R, I, f et t ;

b) u_{BD} aux bornes de la bobine en fonction de L, r, I, f et t.

2) Montrer que la tension aux bornes du condensateur est : $u_{DM} = -\dfrac{I\sqrt{2}}{2\pi f C}\cos(2\pi f t)$.

B- 1) En appliquant la loi d’additivité des tensions et en donnant à t deux valeurs particulières, montrer que :

a) l'intensité efficace I du courant est : $I = \dfrac{U}{\sqrt{(R+r)^2 + \left(2\pi f L - \dfrac{1}{2\pi f C}\right)^2}}$;

b) la différence de phase φ entre la tension u_{AM} et le courant i est :

$$\tan\varphi = \frac{2\pi f L - \dfrac{1}{2\pi f C}}{R + r}.$$

2) On maintient U constante et on fait varier f ; I varie et l'ampèremètre indique pour chaque valeur de f une valeur de I.

Un dispositif approprié permet de tracer la courbe représentant les variations de I en fonction de f (figure 2). Cette courbe met en évidence un phénomène physique pour $f = f_o = 110$ Hz.

a) Nommer ce phénomène.

b) Indiquer la valeur I_o de I correspondant à la valeur f_o de f.

c) Pour $f = f_0$, montrer que :

i) $4\pi^2 f_o^2 LC = 1$, en utilisant la relation donnée dans la question (B-1-b);

ii) le circuit est équivalent à un conducteur ohmique de résistance $R_t = R + r$, en utilisant la relation donnée dans la question (B-1-a).

d) Sachant que $C = 21\ \mu F$, calculer L.

e) Sachant que U = 8 V et R = 30 Ω, calculer r.

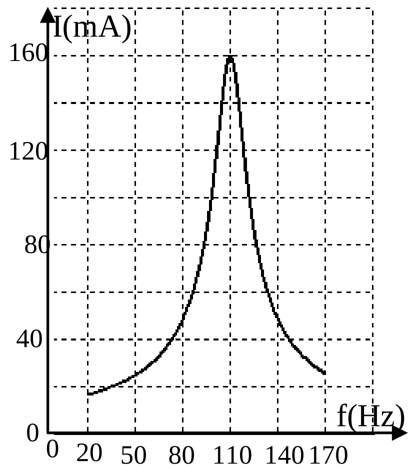


Fig. 2

<u>Troisième exercice</u> : (7.5 points)

Sous-marin nucléaire

Un sous-marin nucléaire est actionné par un réacteur fonctionnant à l'uranium 235. On désire déterminer le rendement du réacteur de ce sous-marin qui consomme 112 g d'uranium 235 par jour.

Prendre : $c = 3\times10^8$ m/s; 1 MeV = $1{,}6\times10^{-13}$ J ; masse d'un atome d'uranium 235 = $3{,}9\times10^{-25}$ kg.

1) Une des réactions nucléaires qui peut avoir lieu dans le réacteur est:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{91}_{36}Kr + ^{y}_{x}Ba + 3\,^{1}_{0}n$$

a) Déterminer les valeurs de x et y.

b) La réaction ci-dessus est-elle provoquée ou spontanée ? Justifier.

c) Donner la condition que le neutron projectile doit satisfaire pour que cette réaction ait lieu.

2) Le tableau ci-contre donne les énergies de liaison par nucléon E_ℓ/A pour chacun des noyaux impliqués.

Noyau	$^{235}_{92}U$	$^{91}_{36}Kr$	$^{A}_{Z}Ba$
E_ℓ/A (MeV/nucléon)	7,59	8,55	8,31

a) Calculer l'énergie de liaison E_ℓ de chacun de ces noyaux.

b) Écrire l'expression de l'énergie de liaison E_ℓ d'un noyau $^{A}_{Z}X$ en fonction de A, Z, m_X (masse du noyau), m_P (masse d'un proton) et m_n (masse d'un neutron).

c) Montrer que l'énergie libérée par cette réaction de fission peut être donnée par:

$$E_{libérée} = E_\ell(Kr) + E_\ell(Ba) - E_\ell(U).$$

d) Déduire la valeur de $E_{libérée}$ en MeV et en joule.

3) On suppose que chacune des autres réactions de fission, qui peuvent avoir lieu dans le réacteur, libère une énergie approximativement égale à celle obtenue dans la partie (2-d).

a) Calculer l'énergie libérée par la fission de 112 g d'uranium 235.

b) Déterminer le rendement du réacteur de ce sous-marin, sachant que la puissance électrique qu'il fournit est 25 MW.

<u>Quatrième exercice</u> : (7.5 points)

L'effet photoélectrique

Prendre : $c = 3\times10^{8}$ m/s; $1\ eV = 1{,}6\times10^{-19}$ J ; $h = 6{,}64 \times 10^{-34}$ J.s.

A- Émission de photoélectrons

Soient W_0 l'énergie minimale nécessaire pour extraire un électron de la surface d'un métal qui couvre la cathode d'une cellule photoélectrique et ν_0 la fréquence seuil de ce métal.

1) Définir la fréquence seuil ν_0.

2) Écrire la relation entre W_0 et ν_0.

3) Pour déterminer W_0 et par suite la nature du métal, on éclaire successivement la cathode de la cellule photoélectrique et à chaque fois séparément avec des radiations de différentes fréquences et on détermine l'énergie cinétique maximale (Ec_{max}) des photoélectrons émis pour chaque radiation de fréquence ν. On obtient les résultats regroupés dans le tableau 1.

Tableau 1				
ν ($\times 10^{14}$ Hz)	5,5	6,2	6,9	7,5
Ec_{max}(eV)	0,20	0,49	0,79	1,03

a) Tracer le graphique représentant les variations de Ec_{max} en fonction de ν.
Echelle : En abscisse : 1 cm $\rightarrow 10^{14}$ Hz et en ordonnée : 1 cm $\rightarrow$ 0,20 eV.

b) **i)** Le graphique obtenu est conforme à la relation d'Einstein concernant l'effet photoélectrique. Justifier.
ii) Nommer la constante physique que représente la pente du graphique.

c) En utilisant le graphique, déterminer la valeur de :
i) cette constante physique;
ii) la fréquence seuil ν_0.

Tableau 2			
metal	cesium	sodium	potassium
W_0 (eV)	2,07	2,28	2,30

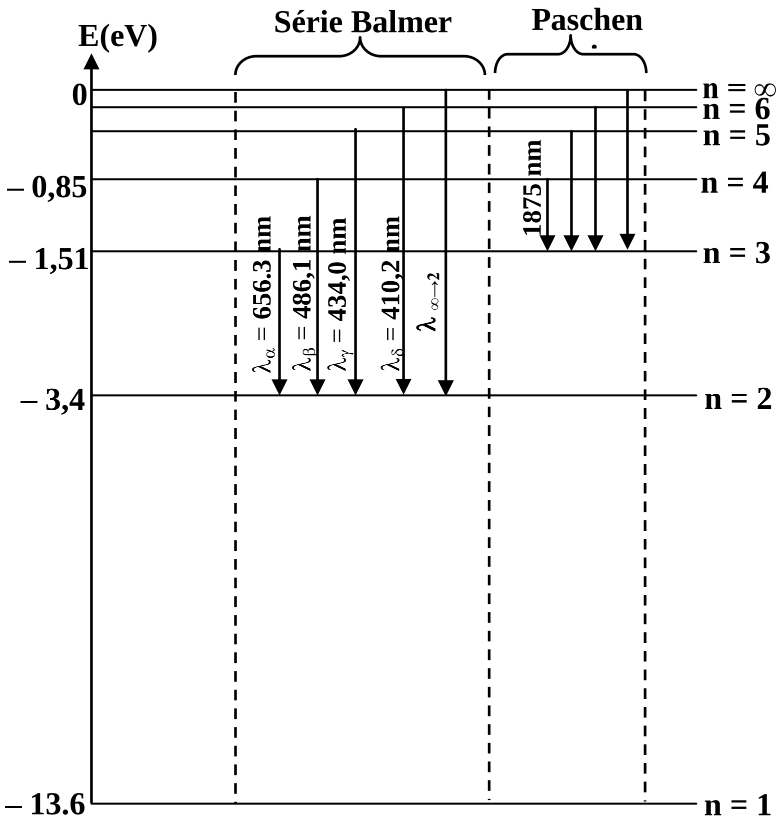
d) Déduire la valeur de W_0.

e) En se référant au tableau 2, indiquer la nature du métal utilisé.

B- L'atome d'hydrogène

Les radiations qui constituent le spectre de raies de l'atome d'hydrogène peuvent être classées en plusieurs séries ; chaque série correspond aux transitions électroniques qui aboutissent au même niveau énergétique. La figure ci-dessous montre quelques-unes de ces séries avec les longueurs d'onde de quelques raies émises.

Les radiations émises par une lampe à hydrogène éclairent la cathode de la cellule photoélectrique au césium.



1) Considérons la raie ayant la plus petite longueur d'onde de la série de Paschen.

a) À quelle transition cette raie correspond-elle ?

b) En déduire l'énergie du photon correspondant émis.

c) Est-ce que les photons de la série de Paschen sont capables de provoquer l'émission photoélectrique de la surface de césium ? Pourquoi ?

2) Considérons les raies correspondant aux radiations émises de longueurs d'onde λ_α et λ_β de la série de Balmer.

a) En se référant au diagramme énergétique, calculer les fréquences ν_α et ν_β correspondantes.

b) Une de ces deux radiations peut provoquer l'émission de photoélectrons de la surface de césium. Préciser laquelle de ces deux radiations.

Premier exercice (7.5 points)

Partie de la Q.	Corrigé	Note
A.1.a	$\ell_1 = \ell + x$ et $\ell_2 = \ell - x$.	0.25
A.1.b	L'énergie potentielle élastique emmagasinée dans les deux ressorts sont : $E_{pé} = ½\, k(\Delta\ell + x)^2 + ½\, k(\Delta\ell - x)^2 = k[(\Delta\ell)^2 + x^2]$	1.00
A.2	L'énergie mécanique du système : $E_m = ½\, m\, v^2 + k[(\Delta\ell)^2 + x^2]$	0.50
A.3	Frottement négligeable, E_m = constante. Dérivons par rapport au temps : $0 = mv\dot{v} + 2kx\dot{x} \Rightarrow m\ddot{x} + 2kx = 0$ ($v = \dot{x}$ et $\dot{v} = \ddot{x}$) $\Rightarrow \ddot{x} + \frac{2k}{m}x = 0$.	0.75
A.4.a	$x' = -\omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$ et $x'' = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$. En remplaçant dans l'équation différentielle : $\omega_0^2 = \frac{2k}{m}$. $\omega_0 = \sqrt{\frac{2k}{m}}$	0.50
A.4.b	La valeur de la période propre T_0 est : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,51}{2\times10}} = 1,003\text{ s} \approx 1\text{ s}$.	0.50
B.1.a	T légèrement plus grande que T_0 à cause des frottements.	0.25
B.1.b	T = 4,04/4 = 1,01 s.	0.50
B.2.a	Variation de l'énergie mécanique : $Em_0 = k\,(\Delta\ell^2 + x_0^2)$ à t = 0s $Em_{4T} = k\,(\Delta\ell^2 + x_4^2)$ à t = 4T $\Rightarrow \Delta ME = k[\,x_4^2 - x_0^2] = 10[5.57\times10^{-4} - 6.25\times10^{-4}\ ] = -6.8\times10^{-4}$ J. Alors l'énrgie mécanique perdue est 6.8×10^{-4} J.	0.75
B.2.a	La puissance moyenne perdue : $\frac{\lvert\Delta E_m\rvert}{\Delta t} = \frac{6.8\times10^{-4}}{4.04} = 1.68\times10^{-4}$ W	0.50
B.3.a	Figure 5 : X_m = 4,1 cm et T = 4/7 = 0,57 s. Figure 6 : $X_m \approx$ 14 cm et T = 1,01 s.	1.00
B.3.b	Dans le cas (figure 5) on est loin de la résonance $T < T_0$ et dans le cas (figure 6) on est à la résonance $T = T_0$, car l'amplitude est la plus grande seulement à la résonance.	1.00

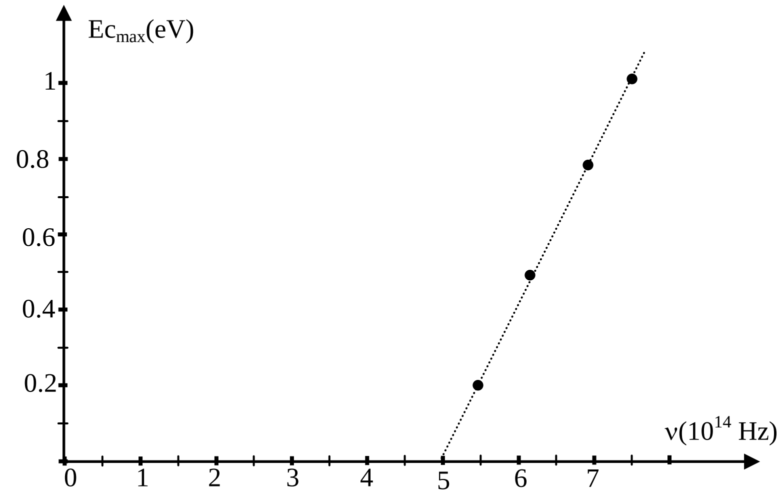
Deuxième exercice (7.5 points)

Partie de la Q.	Corrigé	Note
A.1.a	$u_{AB} = Ri = RI\sqrt{2}\sin(2\pi f t)$	**0.50**
A.1.b	$u_{BD} = L\dfrac{di}{dt} + ri = 2\pi f L I\sqrt{2}\cos(2\pi f t) + rI\sqrt{2}\sin(2\pi f t)$	**0.50**
A.2	$u_{DM} = \dfrac{q}{C}$ or $dq = i\,dt = I\sqrt{2}\sin(2\pi f t)dt \Rightarrow q = -\dfrac{I\sqrt{2}}{2\pi f}\cos(2\pi f t)$. $u_{DM} = -\dfrac{I\sqrt{2}}{2\pi f C}\cos(2\pi f t)$.	**1.00**
B.1.a	$u_{AM} = u_{AB} + u_{BD} + u_{DM}$ $U\sqrt{2}\sin(2\pi f t + \varphi) = RI\sqrt{2}\sin(2\pi f t) + 2\pi f L I\sqrt{2}\cos(2\pi f t) +$ $rI\sqrt{2}\sin(2\pi f t) - \dfrac{I\sqrt{2}}{2\pi f C}\cos(2\pi f t)$ $U\sqrt{2}\sin(2\pi ft + \varphi) = (2\pi fL - \dfrac{1}{2\pi f C})I\sqrt{2}\cos(2\pi ft) + (R + r)I\sqrt{2}\sin(2\pi ft)$ Pour $2\pi f t = 0$ $U\sin\varphi = I(2\pi f L - \dfrac{1}{2\pi f C})$ (1) Pour $2\pi f t = \dfrac{\pi}{2}$ $U\cos\varphi = I(R+r)$ (2) élevons au carré et additionnant (1) + (2) : $U^2 = [(R+r)^2 + (2\pi f L - \dfrac{1}{2\pi fC})^2] I^2$ $I = \dfrac{U}{\sqrt{(R+r)^2 + (2\pi fL - \dfrac{1}{2\pi fC})^2}}$	**2.00**
B.1.b	Divisons $\dfrac{(1)}{(2)} \Rightarrow \tan\varphi = \dfrac{2\pi fL - \dfrac{1}{2\pi fC}}{R + r}$	**0.50**
B.2.a	Résonance d'intensité	**0.25**
B.2.b	$I = I_o = 160$ mA .Cette valeur est maximale	**0.50**
B.2.c.i	À la résonance u et i sont en phase , d'après (B-1-b) $\Rightarrow \varphi = 0 \Rightarrow \tan\varphi = 0 \Rightarrow 2\pi f_0 L - \dfrac{1}{2\pi f_0 C} = 0 \Rightarrow 4\pi^2 f_0^2 LC = 1$	**0.75**
B.2.c.ii	La relation (B-1-a) devient alors : $U = (R + r)I$. Le circuit est alors équivalent à un conducteur ohmique de résistance $R_t = R + r$.	**0.50**
B.2.d	La relation $4\pi^2 f_o^2 LC = 1$ donne $L = 0{,}1$ H	**0.50**
B.2.e	La relation $U = (R + r)I \Rightarrow (R + r) = 50 \Rightarrow r = 20\ \Omega$.	**0.50**

Troisième exercice (7.5 points)

Partie de la Q.	Corrigé	Note
1.a	Conservation du nombre de masse : 1 + 235 = 91 + A + 3 $\Rightarrow$ A = 142; Conservation du nombre de charge: 0 + 92 = 36 + Z + 0 $\Rightarrow$ Z = 56.	**1.00**
1.b	La réaction nucléaire est provoquée et non spontanée, car on elle est produite par une intervention extérieure : bombardement par un neutron	**0.50**
1.c	Le neutron doit être thermique (neutron lent)	**0.50**
2.a	Puisque $E_{\ell(X)} = A\,\dfrac{E_{\ell(X)}}{A}$, alors: $E_\ell(U) = 235\times7{,}59 = 1783{,}65$ MeV; $E_\ell(Kr) = 91\times8.55 = 778{,}05$ MeV; Et $E_\ell(Ba) = 142\times8{,}31 = 1180{,}02$ MeV.	**1.00**
2.b	$E_\ell = [Z\times m_P + (A-Z)m_n - m(X)]\cdot c^2$	**0.50**
2.c	$m_X = [Z\times m_P + (A-Z)m_n] - \dfrac{E_{\ell(X)}}{c^2}$ $E_{lib} = \Big\{[m_n + (92\,m_P + (235-92)m_n - \dfrac{E_{\ell(U)}}{c^2}\;]$ $-[(36\,m_P + (91-36)m_n - \dfrac{E_{\ell(Kr)}}{c^2})\,]$ $-[(56\,m_P + (142-56)m_n - \dfrac{E_{\ell(Ba)}}{c^2})]$ $-(3m_n)\Big\}c^2$ $E_{lib} = E_\ell(Kr) + E_\ell(Ba) - E_\ell(U)$	**1.50**
2.d	$E_{lib} = 1180{,}02 + 778{,}05 - 1783{,}65 = 174{,}42$ MeV. $E_{lib} = 174{,}42\times1{,}6\times10^{-13} = 2{,}79\times10^{-11}$ J	**0.75**
3.a	1 réaction de fission $\rightarrow 3.9\times10^{-25}$ kg $\rightarrow 2.79\times10^{-11}$ J 0.112 kg $\rightarrow$? L'énergie libérée par la fission de 112 g est: 8.0123×10^{12} J.	**0.75**
3.b	$P = \dfrac{E}{t} = \dfrac{8.0123\times10^{12}}{24\times3600} = 9.2735\times10^{7}$ watt Le rendement du réacteur est : $\eta = \dfrac{25\times10^{6}}{92.735\times10^{6}} = 0.269 = 26.9\%$	**1.00**

Quatrième exercice (7.5 points)

Partie de la Q.	Corrigé	Note
A.1	La fréquence seuil ν_0 d'un métal est la fréquence minimale d'une onde électromagnétique qui peut provoquer l'émission d'un photoélectron lorsqu'elle éclaire le métal.	**0.50**
A.2	$W_0 = h\,\nu_0$.	**0.25**
A.3.a	Voir figure 	**1.50**
A.3.b.i	L'énergie d'un photon doit être égale à l'énergie W_0 + L'énergie cinétique maximale des photoélectrons émis: $h\nu = W_0 + E_{cmax} \Rightarrow E_{cmax} = h\nu - h\nu_0$ qui est une fonction linéaire de la fréquence ν.	**0.50**
A.3.b.ii	La pente du graphique est h (constante de Planck)	**0.25**
A.3.c.i	$h = \Delta(Ec_{max})/\Delta(\nu)$ $h = \frac{(1,03-0,2)\cdot 1,6\cdot 10^{-19}}{(7,5-5,5)\cdot 10^{14}} = 6,64\times10^{-34}$ SI.	**1.00**
A.3.c.ii	$\nu_0 = 5\times10^{14}$ Hz,	**0.25**
A.3.d	$W_0 = h\nu_0 = 6,64\times10^{-34}\times5\times10^{14} = 3,32\times10^{-19}$ J ; $W_0 = 3,32\times10^{-19}/1,6\times10^{-19} = 2,075$ eV	**0.50**
A.3.e	Le métal utilisé est le césium	**0.25**
B.1.a	La plus petite longueur d'onde dans la série Paschen correspond à la transition de $n = \infty$ à $n = 3$.	**0.50**
B.1.b	Ainsi l'énergie du photon correspondant est: $E_\infty - E_3 = 1,51$ eV.	**0.50**
B.1.c	Non, car la plus grande énergie de la série de Paschen est 1.51 ev < 2.075 ev	**0.50**
B.2.a	On sait que $\nu = c/\lambda \Rightarrow$ $\nu_\alpha = 3\times10^{8}/656,3\times10^{-9} = 4,57\times10^{14}$ Hz.; $\nu_\beta = 3\times10^{8}/486,10\times10^{-9} = 6,17\times10^{14}$ Hz	**0.50**
B.2.b	la radiation de fréquence $\nu_\alpha < \nu_0$ n'émet pas de photoélectrons; tandis que $\nu_\beta > \nu_0$ émet des photoélectrons.	**0.50**