وزارة التربية والتعليم العالي
المديريّة العامّة للتربية
دائرة الامتحانات الرسميّة

امتحانات الشهادة الثانوية العامة
فرع العلوم العامة

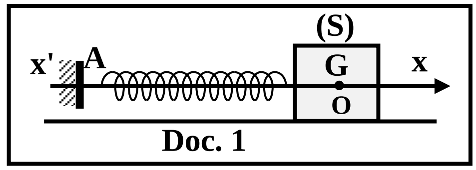
دورة العام 2019 العاديّة
الأثنين 24 حزيران 2019

مسابقة في مادة الفيزياء	الاسم:
المدة: ثلاث ساعات	الرقم:

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

Exercice 1 (8 points) Oscillations libres amorties

On considère un oscillateur mécanique formé d'un solide (S), de masse m, et d'un ressort horizontal de masse négligeable et de constante de raideur k. (S) est attaché à l'une des deux extrémités du ressort, l'autre extrémité étant reliée à un support fixe A. Le centre de masse G, de (S), peut se déplacer suivant un axe horizontal (x' x) (Doc. 1).



Doc. 1

À l'équilibre, G coïncide avec l'origine O de l'axe (x' x). On déplace (S) horizontalement, dans le sens positif, à partir de sa position d'équilibre. À l'instant $t_0 = 0$, l'abscisse de G est X_m et (S) est lâché sans vitesse initiale. À un instant t, l'abscisse de G est $x = \overline{OG}$ et la valeur algébrique de sa vitesse est $v = x' = \frac{dx}{dt}$. Durant son mouvement, (S) est soumis à plusieurs forces parmi lesquelles on a la tension $\vec{F} = -k\,x\,\vec{i}$ du ressort et la force de frottement $\vec{f} = -h\,\vec{v}$, où h est une constante positive appelée coefficient d'amortissement.

Prendre le plan horizontal contenant G comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

Le but de cet exercice est d'étudier l'effet du frottement sur les oscillations et de déterminer la valeur de h.

1) Étude théorique

1-1) Montrer, en appliquant la deuxième loi de Newton $\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$, que $m\frac{dv}{dt} + k\,x = -h\,v$.

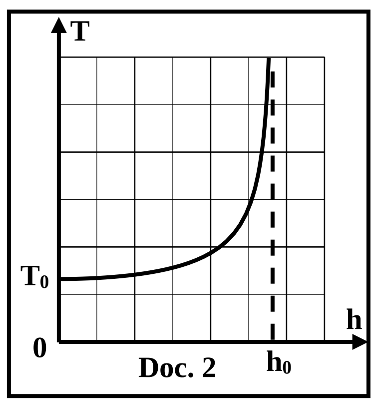
1-2) Écrire, à un instant t, l'expression de l'énergie mécanique E_m du système (Oscillateur, Terre) en fonction de m, k, x et v.

1-3) Déduire que $\frac{dE_m}{dt} = -h\,v^2$.

1-4) Établir l'équation différentielle, du second ordre en x, qui régit le mouvement de G.

1-5) Le centre de masse G oscille avec une pulsation $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{2m}\right)^2}$.
Déduire l'expression de la pseudo-période T.

1-6) Pour différentes valeurs de h, on obtient la courbe du document 2 représentant T en fonction de h, pour $0 \le h < h_0$.



Doc. 2

1-6-1) Comment varie T pour $0 \le h < h_0$?

1-6-2) T_0 représente la période propre des oscillations de G. Justifier en se référant au document 2.

1-7) Déduire l'expression de T_0 en fonction de m et k.

2) Étude expérimentale

Dans l'étude expérimentale, on prend : m = 0,5 kg et k = 100 N/m.

2-1) Calculer la valeur de T_0.

2-2) La courbe du document 3 représente x en fonction du temps t. En utilisant le document 3 :

2-2-1) déterminer la pseudo-période T ;

2-2-2) donner deux indicateurs montrant que (S) est soumis à une force de frottement.

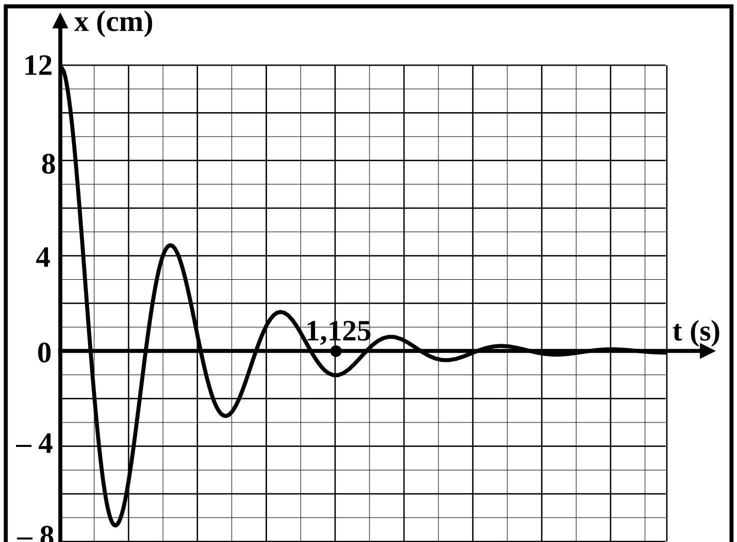
2-3) Calculer h.

2-4) Dans le but de déterminer de nouveau la valeur de h, un dispositif approprié est utilisé pour tracer les courbes de E_m et de l'énergie cinétique E_C de (S) en fonction du temps ainsi que la tangente à la courbe représentant E_m à t = 0,27 s (Doc. 4).

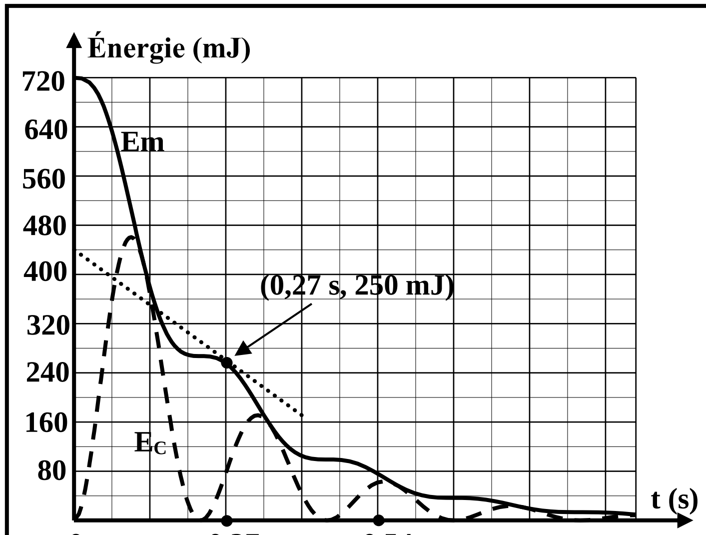
2-4-1) Déterminer la vitesse de G à t = 0,27 s en utilisant la courbe représentant E_C.

2-4-2) Déterminer $\frac{dE_m}{dt}$ à t = 0,27 s.

2-4-3) Déduire de nouveau la valeur de h.



Doc. 3



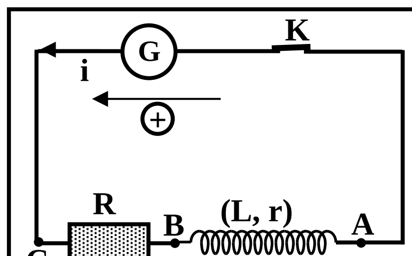
Doc. 4

Exercice 2 (8 points) **Caractéristiques d'une bobine**

Le but de cet exercice est de déterminer, par deux méthodes, les caractéristiques d'une bobine.

On réalise un montage comprenant en série : un générateur (G), un interrupteur K, un conducteur ohmique de résistance R = 90 Ω et une bobine d'inductance L et de résistance r (Doc.5).

À l'instant t_0 = 0, on ferme l'interrupteur K. À un instant t, le circuit est parcouru par un courant d'intensité i.



Doc. 5

1) Première méthode

(G) est un générateur délivrant une tension constante u_{CA} = E.
Un système approprié trace les courbes $u_{CB} = u_R$ et $u_{BA} = u_{bobine}$ en fonction du temps (Doc. 6).

1-1) En utilisant les courbes du document 6 :

1-1-1) déterminer la valeur de E ;

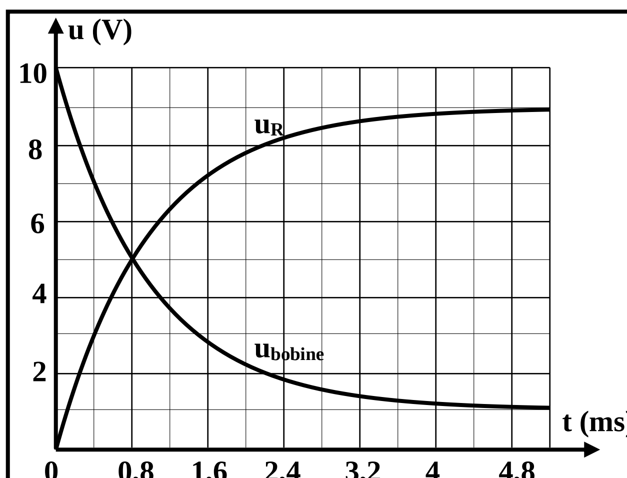
1-1-2) déterminer la valeur de l'intensité I_0 du courant en régime permanent ;

1-1-3) montrer que r = 10 Ω.

1-2) Établir, en appliquant la loi d'additivité des tensions, l'équation différentielle du premier ordre qui décrit l'évolution de i au cours du temps.

1-3) La solution de cette équation différentielle est

$$i = I_0\,(1 - e^{\frac{-(R+r)}{L}t}).$$



Doc. 6

Déduire les expressions des tensions u_R et u_{bobine} en fonction de R, r, L, I_0 et t.

1-4) À un instant t_1, $u_{bobine} = u_R$. Montrer que $t_1 = -\frac{L}{R+r}\ell n\left(\frac{R-r}{2R}\right)$.

1-5) Déduire la valeur de L en utilisant le document 6.

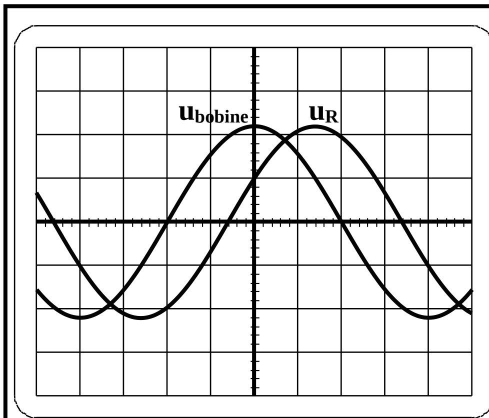
2) Deuxième méthode

Le générateur (G) délivre maintenant une tension alternative sinusoïdale de pulsation ω.

Un oscilloscope, convenablement branché dans le circuit, permet de visualiser $u_{CB} = u_R$ sur la voie 1 et $u_{BA} = u_{bobine}$ sur la voie 2 (Doc. 7). Les réglages de l'oscilloscope sont :

Sensibilité horizontale : S_h = 4 ms/div.

Sensibilité verticale : S_{V1} = 4 V/div pour la voie 1 ;
S_{V2} = 1 V/div pour la voie 2.



Doc. 7

2-1) Le circuit est parcouru par un courant alternatif sinusoïdal d'intensité $i = I_m \sin(\omega t)$ (S.I.).
Déterminer l'expression de u_{bobine} en fonction de L, I_m, r, ω et t.

2-2) L'expression de la tension aux bornes de la bobine s'écrit sous la forme : $u_{bobine} = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)$, avec A et B des constantes.
Déterminer A et B en fonction de r, L, I_m et ω.

2-3) En utilisant le document 7, calculer :

2-3-1) les valeurs de I_m et ω ;

2-3-2) la valeur maximale U_m de la tension aux bornes de la bobine ;

2-3-3) la différence de phase φ entre u_{bobine} et u_R.

2-4) Déterminer de nouveau les valeurs de L et r, sachant que $\tan\varphi = \frac{L\omega}{r}$ et $U_m^2 = A^2 + B^2$.

Exercice 3 (7 points) Désintégration du radon 219

Le but de cet exercice est de déterminer les valeurs de la puissance et de l'énergie des radiations électromagnétiques γ émises durant la désintégration du radon 219. Le radionucléide radon ${}^{219}_{86}Rn$ se désintègre, en polonium ${}^{A}_{Z}Po$ avec émission d'une particule α et d'un rayonnement γ d'énergie E_γ suivant l'équation : ${}^{219}_{86}Rn \rightarrow {}^{A}_{Z}Po + \alpha + \gamma$

Données : m (${}^{219}_{86}Rn$) = 204007,3316 MeV/c^2 ; m (${}^{A}_{Z}Po$) = 200271,9597 MeV/c^2; m(α) = 3728,4219 MeV/c^2.

1 MeV = $1{,}602\times10^{-13}$ J ; Masse molaire de ${}^{219}_{86}Rn$: M = 219 g/mol ; $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

1) Calculer A et Z, en indiquant les lois utilisées.
2) Calculer, en MeV, l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de radon 219.
3) Déduire que l'énergie du rayonnement γ émis est E_γ= 0,195 MeV sachant que le noyau de radon est au repos, et que l'énergie cinétique de la particule α émise est 6,755 MeV et celle du noyau de polonium est négligeable.
4) À t_o = 0, la masse initiale de l'échantillon de radon est m_0 = 8 g. Montrer que le nombre initial N_0 des noyaux de radon présents dans l'échantillon à t_0 = 0 est $N_0 = 21{,}998 \times 10^{21}$ noyaux.
5) Calculer le nombre des particules α émises entre t_0 = 0 et t_1 = 10 s, sachant que le nombre des noyaux de radon restants à t_1 = 10 s est $N = 3{,}998 \times 10^{21}$ noyaux.
6) Calculer la valeur de la constante radioactive λ et celle de la demi-vie radioactive T du radon 219.
7) Calculer, en becquerel, l'activité A_1 de l'échantillon de radon 219 à l'instant t_1 = 10 s.
8) L'énergie du rayonnement γ émis entre l'instant t_0 = 0 et un instant t est : $E = N_d E_\gamma$ où N_d est le nombre des noyaux désintégrés de radon 219 entre ces deux instants.

   8-1) Montrer que $E = N_0 E_\gamma (1 - e^{-\lambda t})$.

8-2) Déduire la valeur de E durant l'intervalle de temps $[0, \infty[$.

9) La puissance p, à un instant t, des radiations γ émises, est donnée par : $p = \frac{dE}{dt}$.

9-1) Montrer que $p = \lambda N_0 E_\gamma e^{-\lambda t}$.

9-2) Déduire la puissance maximale P_{max} des radiations γ.

9-3) Déduire la puissance des radioations γ pour $t \to \infty$.

Exercice 4 (7 points) Interférence de la lumière

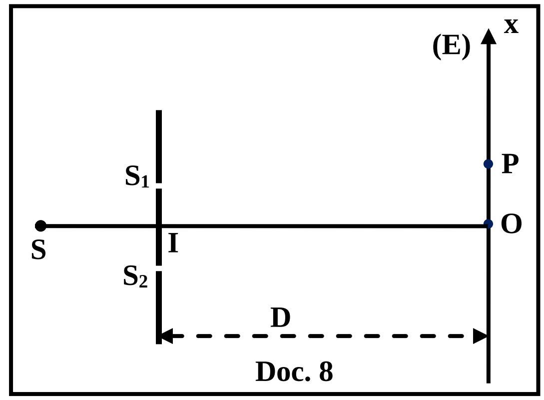
Le but de cet exercice est d'étudier le phénomène d'interférences lumineuses en utilisant le dispositif de Young.

Le document 8 montre un dispositif de Young, qui est constitué de deux fentes S_1 et S_2 fines, parallèles, horizontales et distantes de a = 0,5 mm, et d'un écran d'observation (E) disposé parallèlement au plan des deux fentes et à une distance D = 2 m.

Une source ponctuelle S, située à égale distance de S_1 et de S_2, éclaire les deux fentes par une radiation monochromatique de longueur d'onde λ = 600 nm dans l'air. (OI) est la médiatrice du segment $[S_1S_2]$.

L'expression de la différence de marche optique en un point P situé dans la région d'interférence sur un axe vertical (Ox) est :

$$\delta = (SS_2 + S_2P) - (SS_1 + S_1P) = \frac{ax}{D} \text{ où } x = \overline{OP}.$$



Doc. 8

1) Décrire la figure d'interférence observée sur (E).

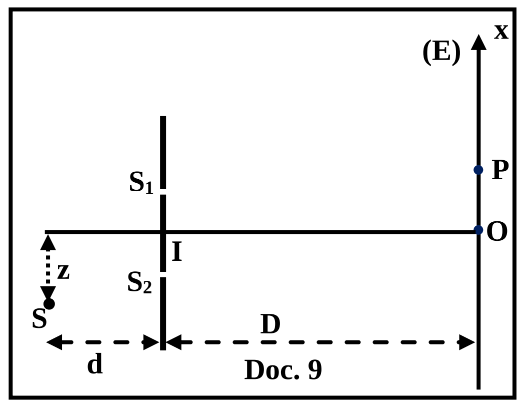
2) Montrer que O est le centre de la frange brillante centrale.

3) On suppose que P est le centre de la frange sombre d'ordre k, $k \in \mathbb{Z}$.

3-1) Donner l'expression de la différence de marche optique δ au point P en fonction de k et λ.

3-2) Déduire l'expression de l'abscisse x_k de P en fonction de k, λ, D et a.

3-3) Déterminer l'ordre de la frange sombre en P sachant que x_k = 6 mm.



Doc. 9

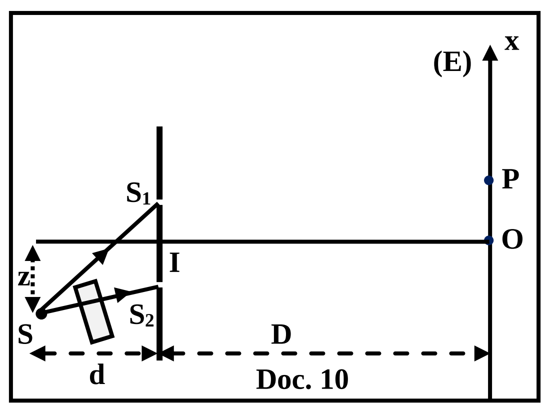
4) La source (S), située à la distance d du plan des fentes, est déplacée de z du côté de S_2, parallèlement à l'axe (Ox) dans le sens négatif (Doc. 9).

La différence de marche optique au point P devient :

$$\delta = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D}$$

4-1) Déterminer la position du centre O' de la frange centrale brillante en fonction de D, z et d.

4-2) Préciser si la frange brillante centrale est déplacée du côté de S_1 ou du côté de S_2.



Doc. 10

4-3) Une lame à faces parallèles, transparente, d'épaisseur e = 0,02 mm et d'indice de réfraction n = 1,5 est placée devant S_2 (Doc. 10). La différence de marche optique au point P devient : $\delta = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D} + e(n - 1)$.

On règle la distance d de façon que le centre de la frange brillante centrale revienne au point O.

Déterminer la valeur de d sachant que $|z|$ = 0,4 cm.

أسس التصحيح – مادة الفيزياء - فرنسي

Exercice 1 (8 points) Oscillations libres amorties

Partie			Réponses	note
1	1-1		$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{f} + \vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$; par projection on aura : $0 + 0 + -hv - k\,x = m\frac{dv}{dt}$, alors $m\frac{dv}{dt} + k\,x = -hv$	0,75
	1-2		$E_M = ½\, m\, v^2 + ½\, k\, x^2$	0,25
	1-3		$\frac{dEM}{dt} = m\,v\frac{dv}{dt} + k\,x\frac{dx}{dt} = v\,(m\frac{dv}{dt} + k\,x)$ Or on a $m\frac{dv}{dt} + k\,x = -hv$ On aura $\frac{dEM}{dt} = v\,(-hv)$, alors $\frac{dEM}{dt} = -h\,v^2$	0,5
	1-4		$\frac{dEM}{dt} = v\,(m\frac{dv}{dt} + k\,x) = -h\,v^2$, donc $m\,x'' + h\,x' + k\,x = 0$	0,5
	1-5		$T = \frac{2\,\pi}{\omega} = \frac{2\,\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{2m}\right)^2}}$	0,25
	1-6	1	quand h augmente, T augmente	0,25
		2	T_0 correspond à h = 0 donc pas de frottement et la période est dite propre	0,25
	1-7		Pour h = 0 , $T = T_o = \frac{2\,\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - 0}}$ donc $T_o = 2\,\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	0,5
2	2-1		$T_o = 2\,\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \times 3{,}14\sqrt{\frac{0.5}{100}} = 0{,}444$ s	0,5
	2-2	1	2,5 T = 1,125 s , alors T = 0,45 s.	0,5
		2	X_m diminue avec le temps et T est supérieur à $T_o (T > T_o)$	0,5
	2-3		$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{2m}\right)^2}}$,alors $\frac{k}{m} - \frac{h^2}{4m^2} = \frac{4\,\pi^2}{T^2}$, alors $h^2 = 4mk - \frac{16\,m^2\pi^2}{T^2}$ par suite $h = \sqrt{4mk - \frac{16\,m^2\pi^2}{T^2}}$ $T = \sqrt{4(0{,}5)(100) - \frac{16(0.5^2)(\pi^2)}{0.45^2}} = 2{,}24$ kg/s	1
	2-4	1	pour t = 0.27 s, E_C = 80 mJ , alors $½\, m\, V^2 = 0.08$ et $V = \sqrt{\frac{2 \times 0.08}{0.5}} = 0{,}566$ m/s.	0,75
		2	$\frac{dEM}{dt} = \frac{\Delta\, EM}{\Delta t}$ pente $= \frac{0{,}25 - 0.440}{0{,}27 - 0} = -0{,}704$ J/s	0,75
		3	$\frac{dEM}{dt} = -0{,}704 = -h\,V^2$, alors $h = \frac{0{,}704}{0{,}566^2} = 2{,}2$ kg/s	0,75

Exercice 2 (8 points) Caractéristiques d'une bobine

Partie			Réponses	Notes
1	1-1	1	Loi d'additivité des tensions : $u_{CA} = u_{CB} + u_{BA}$ en régime permanent $u_{CB} = u_R = 9V$ et $u_{BA} = u_{bobine} = 1V$; donc $u_{CA} = E = 9+1 = 10V$ **Ou bine** : $E = u_{bobine} + u_R$. A t = 0, i = 0 donc $u_R = 0$ alors $E = u_{0bobine} = 10V$	**0,75**
		2	En régime permanent $u_{CB} = u_R = 9 = R \times I_0$ donc $9 = 90 \times I_0$; $I_0 = 0,1$ A	**0,5**
		3	$u_{BA} = u_{bobine} = ri + L\frac{di}{dt}$; en régime permant $u_{BA} = 1V$ et $\frac{di}{dt} = 0$ donc $1 = r I_0$; $r = \frac{1}{0.1} = 10\ \Omega$ **Ou bien** : En régime permanent $I_0 = E/(R+r)$ donc $r = 10\ \Omega$	**0,5**
	1-2		Loi d'additivité des tensions : $u_{CA} = u_{CB} + u_{BA}$; $E = Ri + ri + L\frac{di}{dt} = (R+r)i + L\frac{di}{dt}$	**0,5**
	1-3		$u_{bobine} = ri + L\frac{di}{dt} = r I_0(1 - e^{\frac{-(R+r)}{L}t}) + L(R+r)\frac{I_0}{L} e^{\frac{-(R+r)}{L}t} = r I_0 + RI_0 e^{\frac{-(R+r)}{L}t}$ $u_R = Ri = RI_0(1 - e^{\frac{-(R+r)}{L}t})$	**0,5** **0,25**
	1-4		$u_{bobine} = u_R$; $r I_0 + RI_0 e^{\frac{-(R+r)}{L}t} = RI_0\left(1 - e^{\frac{-(R+r)}{L}t}\right)$; $(R-r) I_0 = 2 RI_0 e^{\frac{-(R+r)}{L}t}$; $e^{\frac{-(R+r)}{L}t} = \frac{R-r}{2R}$; $-\frac{(R+r)t1}{L} = \ln(\frac{R-r}{2R})$ $t_1 = -\frac{L}{R+r} \times \ell n\left(\frac{R-r}{2R}\right)$	**0,75**
	1-5		$L = \frac{-(R+r)\times t1}{\ell n\left(\frac{R-r}{2R}\right)} = \frac{-(90+10)\times 0.0008}{\ell n(\frac{90-10}{180})} = 0,099$ H	**0,75**
2	2-1		$u_{bobine} = ri + L\frac{di}{dt} = rI_m\sin(\omega t) + L\ \omega\ I_m\cos(\omega t)$	**0,5**
	2-2		$u_{bobine} = rI_m\sin(\omega t) + L\ \omega\ I_m\cos(\omega t) = A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t)$ donc $A = rI_m$ et $B = L\ \omega\ I_m$	**0,5**
	2-3	1	$U_{Rm} = 4V/div \times 2,2div = 8,8$ V ; $I_m = \frac{URm}{R} = \frac{8,8}{90} = 0,098A$ $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{8\times4\times10^{-3}} = 62.5\pi rd/s = 196,35 rd/s$	**0,5** **0,5**
		2	Um = 2.2div × 1V/div = 2,2V	**0,25**
		3	$\varphi = \frac{2\pi\times1,4\ div}{8div} = \frac{7\pi}{20}$ rd=1.099rd	**0,5**
	2-4		$\tan\varphi = \frac{L\omega}{r}$; $\tan 1,099 = \frac{L\times62,5\pi}{r}$ donc $\frac{L}{r} = \frac{\tan 1,099}{62,5\pi}$; $L = \frac{\tan 1.099}{62,5\pi}\times r$. ① $U_m^2 = A^2 + B^2$; $9 = (rI_m)^2 + (L\ \omega I_m)^2$② En remplaçant ① dans ② : $2,2^2 = r^2 \times I_m^2\ (1 + \omega^2 \times \left(\frac{\tan 1,099}{62,5\pi}\right)^2)$; donc $r = 9,998\ \Omega$ et $L = 0,0998$ H **ou bien** : $U_m^2 = A^2 + B^2$ alors $U_m^2 = (L\omega)^2 I_{max}^2 + r^2 I_{max}^2$ mais $\tan\varphi = \frac{L\omega}{r}$; $L\ \omega = r\tan\varphi$; Alors $U_m^2 = r^2 I_{max}^2\ (1 + tan^2\varphi)$ on aura : $r = \frac{U_m}{I_m\sqrt{1+(tan\varphi)^2}} = 10,3\ \Omega$ alors $L = 0,1$ H	**0,75**

Exercice 3 (7 points) **Désintégration du radon 219**

Partie		réponses	notes
1		Loi de conservation de nombre de masse A : 219 = A + 4 + 0 donc A = 215. Loi de conservation de nombre de charge Z : 86 = Z + 2 + 0 donc Z = 84.	**1**
2		$E_{lib} = \Delta m \times c^2$ $E_{lib} = [(m\ {}^{219}_{86}Rn) - (m\ {}^{A}_{Z}Po + m\alpha)]\ c^2 = 204007{,}3316 - (200271{,}9597 + 3728{,}4219)$ $E_{lib} = 6{,}95 MeV$	**0,75**
3		$E_{lib} = Ec_{(\alpha)} + E_\gamma$; $E_\gamma = 6{,}95 - 6{,}755 = 0{,}195 MeV$	**0,5**
4		$N_o = \frac{m_0}{M} N_A = \frac{8}{219} \times 6{,}022 \times 10^{23} = 21{,}998 \times 10^{21}$ noyaux.	**0,5**
5		$N_\alpha = N_d = N_o - N = 21{,}998 \times 10^{21} - 3{,}998 \times 10^{21} = 18 \times 10^{21}$ noyaux.	**0,5**
6		$N = N_o e^{-\lambda t}$, donc $\lambda t = -\ln\frac{N}{N_o} = -\ln\left(\frac{3{,}998 \times 10^{21}}{21{,}998 \times 10^{21}}\right)$ donc $\lambda = \frac{-1}{10} \times \ln\left(\frac{3{,}998 \times 10^{21}}{21{,}998 \times 10^{21}}\right) = 0{,}1705\ s^{-1}$. $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda} = \frac{0{,}693}{0{,}1705} = 4{,}06$ s.	**1**
7		$A = \lambda N = 0{,}1705 \times 3{,}998 \times 10^{21} = 68{,}1659 \times 10^{19}$ Bq.	**0,5**
8	**8-1**	$E = N_d E\gamma = (N_o - N) E\gamma = \left(N_o - N_o\ e^{-\lambda t}\right) E\gamma$, donc $E = N_o\ E\gamma\ (1 - e^{-\lambda t})$	**0,25**
	8-2	Pour $t \to \infty$, $E = N_o\ E_\gamma (1 - 0) = 21{,}998 \times 10^{21} \times 0{,}195 \times 1{,}602 \times 10^{-13}$ Donc, $E = 6{,}87 \times 10^8$ J	**0,5**
9	**9-1**	$P = \frac{dE}{dt} = \frac{d(N_o\ E_\gamma\ (1 - e^{-\lambda t}))}{dt} = \lambda\ N_o\ E_\gamma\ e^{-\lambda t}$	**0,5**
	9-2	Pour t = 0 ; $p = p_{max} = \lambda\ N_o\ E_\gamma\ e^{-\lambda(0)} = \lambda\ N_o\ E_\gamma$ $p = 0{,}1705 \times 21{,}998 \times 10^{21} \times 0{,}195 \times 1{,}602 \times 10^{-13} = 11{,}72 \times 10^7$ W	**0,75**
	9-3	Pour $t \to \infty$, $P_\infty = \lambda\ N_o\ E_\gamma\ e^{-\lambda(\infty)} = 0$	**0,25**

Exercice 4 (7 points) **Interférence de la lumière**

Partie		Réponses	notes
1		On observe des franges rectilignes, alternativement brillantes et sombres, équidistantes et parallèles entre eux et aux fentes	**1**
2		$x_O = 0$ donc $\delta_o = \frac{a\,x}{D} = 0$	**0,5**
3	3-1	$\delta = (2K+1)\,\frac{\lambda}{2}$ avec $k \in Z$	**0,5**
	3-2	$(2K+1)\,\frac{\lambda}{2} = \frac{a\,x}{D}$, donc $x_k = (2k+1)\,\frac{\lambda D}{2a}$ avec $k \in Z$	**1**
	3-3	$x_k = (2k+1)\,\frac{\lambda D}{2a}$ donc $6 \times 10^{-3} = (2k+1)\,\frac{600\times10^{-9}\times 2}{2\times 0{,}5\times 10^{-3}}$, on aura $k = 2$	**1**
4	4-1	$\delta_{O'} = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D} = 0$, donc $x_{O'} = \frac{-zD}{d}$	**1**
	4-2	$Z < 0$ et $D > 0$; $d > 0$ donc $x_{O'} > 0$, par suite la frange central est déplacée du côté de S_1.	**0,75**
	4-3	$\delta_O = 0$ et $x_O = 0$, mais $\delta = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D} + e\,(n-1)$ $d = \frac{-\,a\,Z}{e\,(n-1)} = \frac{-\left(0{,}5\times10^{-3}\right)\left(-0{,}4\times10^{-2}\right)}{\left(0{,}02\times10^{-3}\right)(1{,}5-1)}$, donc $d = 0{,}2$ m	**1,25**