

الاسم:
الرقم:

مسابقة في مادة الفيزياء
المدة: ثلاث ساعات

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

Exercice 1 (8 points) Détermination du moment d'inertie d'un vase de poterie

Le but de cet exercice est de déterminer le moment d'inertie d'un vase de poterie par rapport à deux axes de rotation distincts. Le vase a une masse $m = 2 \text{ kg}$ et un centre de masse G .

1- Moment d'inertie du vase par rapport à un axe horizontal

On suspend le vase au point O . Le vase est assimilé à un pendule pesant qui peut osciller librement, sans frottement, autour d'un axe horizontal (Δ) passant par O (Doc. 1). Le moment d'inertie du vase par rapport à (Δ) est I .

À l'équilibre, le centre de masse du vase est à la position G_0 sur la verticale passant par le point de suspension O ($OG = OG_0 = a = 24 \text{ cm}$).

Le vase est écarté de sa position d'équilibre stable d'un petit angle $\theta_m = 0,16 \text{ rd}$, puis il est lâché sans vitesse initiale.

Le document 2 est un schéma simplifié du pendule pesant à un instant t quelconque.

À l'instant t , l'abscisse angulaire de G est $\theta = (\overrightarrow{OG_0}, \overrightarrow{OG})$ et la valeur algébrique de sa

vitesse angulaire est $\theta' = \frac{d\theta}{dt}$.

Le plan horizontal passant par G_0 est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur. Négliger la résistance de l'air.

Données : $g = 10 \text{ m/s}^2$; Pour des angles faibles : $\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}$ et $\sin \theta = \theta$ (θ en radian).

1-1) Déterminer, à un instant t , l'expression de l'énergie mécanique du système (pendule - Terre) en fonction de I , a , g , m , θ et θ' .

1-2) Établir l'équation différentielle en θ qui régit le mouvement du pendule.

1-3) La solution de l'équation différentielle obtenue est : $\theta = \theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$ où ω_0 , θ_m et φ sont des constantes.

1-3-1) Déterminer l'expression de la pulsation propre ω_0 .

1-3-2) Déduire l'expression de la période propre T_0 des oscillations en fonction de I , m , g et a .

1-4) Le pendule effectue 9 oscillations en 25,2 secondes.

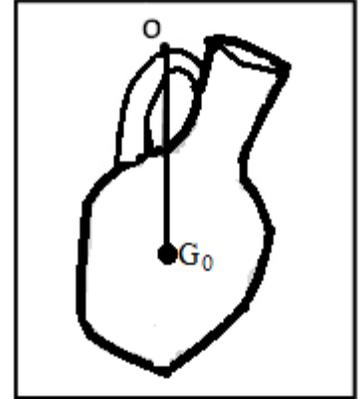
1-4-1) Calculer la période propre T_0 des oscillations.

1-4-2) Déduire la valeur de I .

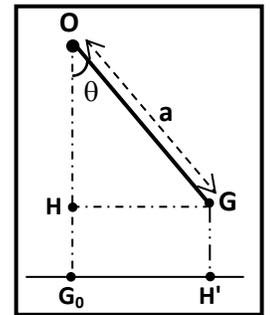
1-5) Un dispositif approprié mesure la vitesse angulaire du pendule. Lorsque le pendule passe par sa position d'équilibre, sa vitesse angulaire est $\theta'_{\text{eq}} = 0,36 \text{ rd/s}$. Appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique du système (pendule, Terre) pour déterminer de nouveau la valeur de I .

2- Moment d'inertie du vase par rapport à un axe vertical

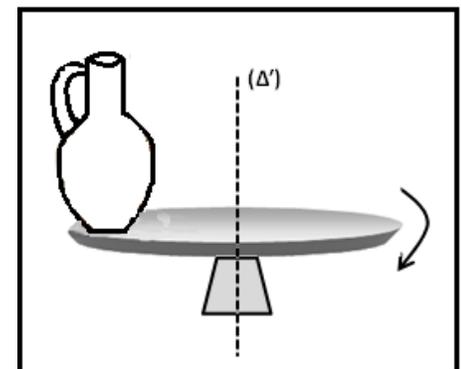
On considère un disque horizontal tournant dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre avec une vitesse angulaire $\theta'_d = 0,7 \text{ rd/s}$ autour d'un axe vertical (Δ') passant par son centre de masse. La masse du disque est $M = 20 \text{ kg}$ et son rayon est $R = 50 \text{ cm}$.



Doc. 1



Doc. 2



Doc. 3

On place lentement le vase sur le bord du disque tournant. Le système (disque - vase) tourne dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre avec une vitesse angulaire $\theta'_{\text{système}} = 0,45 \text{ rd/s}$.

Le moment d'inertie du disque par rapport à (Δ) est : $I_d = \frac{1}{2}MR^2$.

Le moment d'inertie du vase par rapport à (Δ) est I .

2-1) Nommer les forces extérieures agissant sur le système (disque - vase).

2-2) Montrer que le moment cinétique σ , par rapport à (Δ), du système (disque - vase) est conservé.

2-3) Déduire la valeur de I .

Exercice 2 (7,5 points) Atome de Sodium

Le document 1 représente quelques niveaux d'énergie de l'atome de sodium.

Données : $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$; $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$;

$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$; $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$.

Le but de cet exercice est d'étudier l'excitation et la désexcitation de l'atome de sodium.

1- Excitation de l'atome de sodium

On considère un échantillon d'atomes de sodium initialement à l'état fondamental.

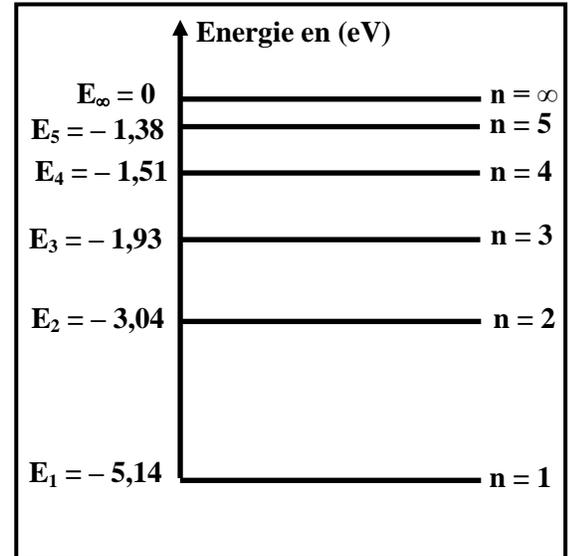
Cet échantillon est éclairé par une lumière blanche qui contient toutes les radiations visibles : $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda_{\text{visible}} \leq 0,8 \mu\text{m}$.

1-1) En utilisant le document 1, montrer que l'énergie de l'atome de sodium est quantifiée.

1-2) Déterminer, en eV, l'énergie maximale et l'énergie minimale des photons de la lumière blanche.

1-3) En utilisant le document 1, montrer que la lumière blanche n'est pas capable d'ioniser l'atome de sodium.

1-4) Déterminer, en nm, la longueur d'onde d'un photon absorbé par l'atome de sodium pour passer au premier niveau excité.



Doc. 1

2- Désexcitation de l'atome de sodium

Le spectre d'émission, obtenu de la lampe à vapeur de sodium à faible pression, contient deux raies jaunes très rapprochées de longueurs d'onde $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$. Ces deux raies sont appelées le doublet D du sodium.

2-1) L'atome de sodium se désexcite du niveau d'énergie E_n à l'état fondamental en émettant un photon de longueur d'onde $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$. Préciser, en eV, la valeur de E_n .

2-2) L'atome de sodium subit une transition du niveau d'énergie E_3 au niveau d'énergie E_1 . Durant cette transition il perd de l'énergie $E_{3 \rightarrow 1}$ et sa masse diminue de Δm .

2-2-1) Calculer, en MeV, la valeur de $E_{3 \rightarrow 1}$.

2-2-2) Déduire, en u, la valeur de Δm .

2-3) La puissance des radiations de longueur d'onde λ_1 et λ_2 émises par la lampe à vapeur de sodium est $P = 6 \text{ W}$. La puissance P_1 de la radiation de longueur d'onde λ_1 est deux fois plus grande que la puissance P_2 de la radiation de longueur d'onde λ_2 .

2-3-1) Montrer que $P_1 = 4 \text{ W}$.

2-3-2) Déterminer le nombre de photons, de la radiation de longueur d'onde λ_1 , émis par la lampe à vapeur de sodium en une seconde.

Exercice 3 (7 points) Interférences lumineuses

Le document 1 montre le dispositif des fentes d'Young. (OI) est la médiatrice à $[S_1S_2]$. Une source ponctuelle S, émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$ dans l'air, est placée devant S_1 et S_2 .

P est un point sur la figure d'interférence obtenue sur un écran (E) et a pour abscisse $x = \overline{OP}$ relativement à l'origine O de l'axe (Ox). La distance entre S_1 et S_2 est « a », et la distance entre le plan des deux fentes et l'écran (E) est D.

On donne : $SS_2P - SS_1P = \frac{ax}{D}$.

La différence de marche optique au point P est $\delta = SS_2P - SS_1P$.

Le but de cet exercice est de déterminer les valeurs de « a » et D.

1) S est placé sur (OI) comme le montre le document 1. Dans ce cas la différence de marche optique au point P

est $\delta = \frac{ax}{D}$.

1-1) Montrer que le point O est le centre de la frange brillante centrale.

1-2) Déterminer l'expression de l'abscisse du centre de la $k^{\text{ième}}$ frange sombre.

1-3) Déduire l'expression de l'interfrange i en fonction de a, λ et D.

1-4) Un dispositif approprié enregistre, en fonction de x, l'intensité de la lumière reçue de S sur l'écran (E). Le graphe du document 2 montre l'intensité en fonction de x entre deux points A et B.

En se référant au document 2 :

1-4-1) indiquer le nombre des franges brillantes entre A et B ;

1-4-2) donner l'expression de la distance AB en fonction de l'interfrange i ;

1-4-3) indiquer l'ordre et la nature de la frange dont le centre est B ;

1-4-4) donner l'abscisse du centre de la première frange sombre du côté positif de O.

1-5) Déduire que $D = 4000 a$ (SI).

2) La source ponctuelle S se trouve à une distance « d » du plan des deux fentes ;

S est déplacée d'une distance z du côté de S_1 , perpendiculairement à (IO) et normalement aux deux fentes.

On donne : $SS_2 - SS_1 = \frac{az}{d}$.

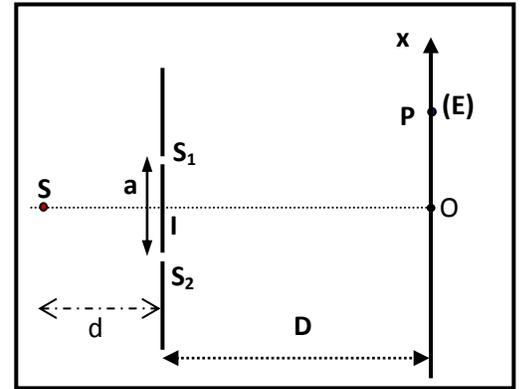
2-1) Montrer que la différence de marche optique au point P est : $\delta = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D}$.

2-2) Déduire l'expression de l'abscisse du centre de la frange brillante centrale.

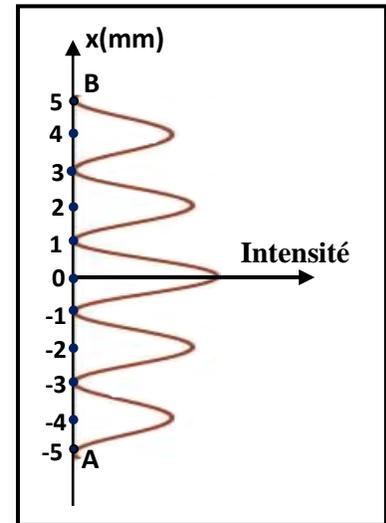
2-3) On remarque que le centre de la frange brillante centrale coïncide avec la position qu'occupait le centre de la $10^{\text{ème}}$ frange brillante, du côté négatif de O, avant le déplacement de (S).

On donne : $d = 40 \text{ cm}$ et $z = 0,4 \text{ cm}$.

Déterminer les valeurs de « a » et D.



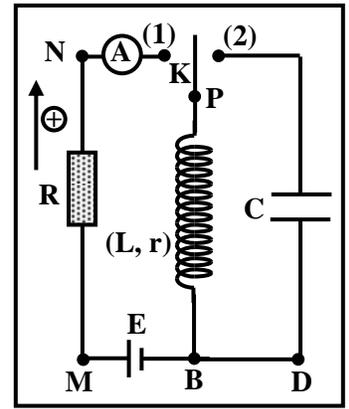
Doc. 1



Doc. 2

Exercice 4 (7,5 points) Caractéristiques d'une bobine

Le but de cet exercice est de déterminer les caractéristiques d'une bobine. Pour cela on considère le circuit du document 1 qui comprend : une bobine d'inductance L et de résistance r , un condensateur initialement neutre de capacité C , un générateur de tension idéal de f.é.m. E , un conducteur ohmique de résistance R , un commutateur K et un ampèremètre (A) de résistance négligeable.



Doc. 1

1- Première expérience

On place K à la position 1 à la date $t_0 = 0$. L'ampèremètre (A) indique un courant i qui augmente de zéro à sa valeur maximale $I_0 = 0,1$ A et le régime permanent est atteint.

1-1) Nommer le phénomène qui a lieu dans la bobine durant l'établissement du courant.

1-2) Déterminer, en appliquant la loi d'additivité des tensions, l'expression de I_0 en fonction de E , R et r .

1-3) Un dispositif approprié nous permet d'enregistrer la tension u_{PB} aux bornes de la bobine en fonction du temps comme l'indique la courbe du document 2.

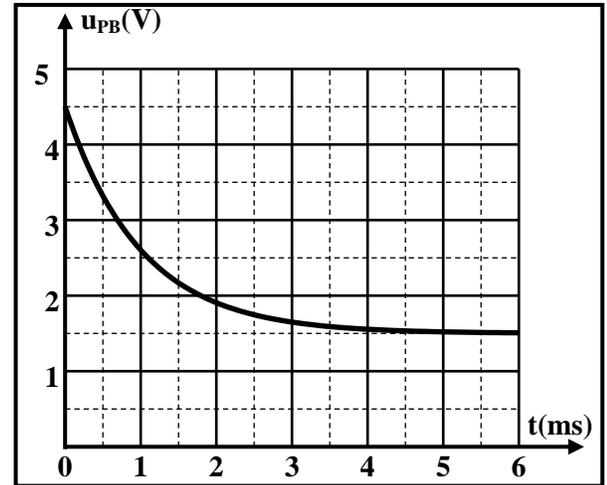
1-3-1) En appliquant la loi d'additivité des tensions et en utilisant la courbe du document 2, montrer que $E = 4,5$ V.

1-3-2) En utilisant la courbe du document 2, vérifier, sans calcul, que la valeur de la résistance r n'est pas nulle.

1-3-3) Déduire que $r = 15 \Omega$.

1-4) Montrer que $R = 30 \Omega$.

1-5) Établir, en appliquant la loi d'additivité des tensions, l'équation différentielle qui décrit l'évolution de l'intensité i du courant en fonction du temps.



Doc.2

1-6) La solution de l'équation différentielle est $i = I_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$, où τ est une constante.

1-6-1) Déterminer l'expression de τ en fonction de L , r et R .

1-6-2) Déterminer, à $t = \tau$, la valeur de la tension $u_R = u_{MN}$ aux bornes du conducteur ohmique.

1-6-3) Montrer qu'à $t = \tau$, la tension aux bornes de la bobine est $u_{PB} = u_{bobine} = 2,61$ V.

1-6-4) Déduire, en utilisant le document 2, la valeur de τ .

1-7) Calculer la valeur de L .

2- Deuxième expérience

Lorsque le régime permanent du courant dans la bobine est atteint ($i = I_0$), on bascule K rapidement de la position (1) à la position (2) à un instant $t_0 = 0$, pris comme nouvelle origine de temps.

L'énergie électromagnétique dans le circuit est :

$$E_{\text{ém}} = E_{\text{électrique}} + E_{\text{magnétique}}$$

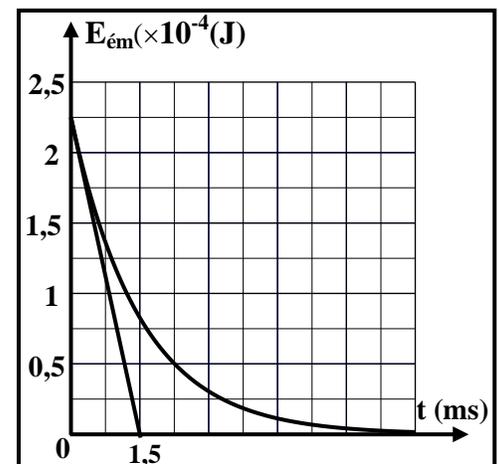
Un dispositif approprié permet de tracer la courbe de l'énergie électromagnétique $E_{\text{ém}}$ en fonction de t , et la tangente à la courbe à $t_0 = 0$ (Doc. 3).

2-1) En utilisant la courbe du document 3, indiquer la valeur de $E_{\text{ém}}$ à $t_0 = 0$.

2-2) Déduire la valeur de L .

2-3) Calculer la pente de la tangente.

2-4) Déduire la valeur de r , sachant que $\frac{dE_{\text{ém}}}{dt} = -ri^2$.



Doc. 3

أسس التصحيح	امتحانات الشهادة الثانوية العامة الفرع: علوم عامة - مادة الفيزياء	وزارة التربية والتعليم العالي المديرية العامة للتربية دائرة الامتحانات
-------------	--	--

Exercice 1 (8 points) Détermination du moment d'inertie d'un vase de poterie

Partie		Réponses	notes	
1	1-1	$E_{pp} = m g h_G$.mais $h_G = GH = a - a \cos\theta$, où $a = OG = OG_0$ Donc $E_{pp} = m g a (1 - \cos\theta)$. θ_m est petit , donc $\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}$, alors $E_{pp} = \frac{1}{2} m g a \theta^2$; $E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2} I \theta'^2 + \frac{1}{2} m g a \theta^2$	1	
	1-2	le pendule oscille sans frottement et résistance de l'air donc E_m du système est conservée. $E_m = \frac{1}{2} I \theta'^2 + \frac{1}{2} m g a \theta^2 = \text{constante}$, donc $\frac{dE_m}{dt} = 0$, alors $2 \left(\frac{1}{2} I \theta''\right) + 2 \left(\frac{1}{2} m g a \theta'\right) = 0$ $\theta' (I \theta'' + m g a \theta) = 0$. $\theta' \neq 0 \Rightarrow \theta'' + \frac{m g a}{I} \theta = 0$ équation différentielle de second ordre en θ .	1	
	1-3	1-3-1	$\theta = \theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$, donc $\theta' = \omega_0 \theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ et $\theta'' = -\omega_0^2 \theta_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 \theta$ remplaçons θ'' dans l'équation différentielle: $-\omega_0^2 \theta + \frac{m g a}{I} \theta = \theta \left(-\omega_0^2 + \frac{m g a}{I}\right) = 0$ $\theta = 0$ à rejeter , donc $\omega_0^2 = \frac{m g a}{I}$, par conséquent $\omega_0 = \sqrt{\frac{m g a}{I}}$	0,75
		1-3-2	$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$, $\Rightarrow T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m g a}}$	0,5
	1-4	1-4-1	$T_0 = \frac{25.2}{9}$, $\Rightarrow T_0 = 2,8$ s	0,5
1-4-2		$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m g a}}$, donc $T_0^2 = \frac{4 \pi^2 I}{m g a}$; $2.8^2 = \frac{4 \times 3.14^2 \times I}{2 \times 10 \times 0.24}$ alors $I = 0.95 \text{ kg.m}^2$	0,75	
1-5		$E_m = \frac{1}{2} I \theta_m'^2 = \frac{1}{2} m g a \theta_m^2$; $I \times 0.36^2 = 2 \times 10 \times 0.24 \times 0.16^2$; $I = 0.95 \text{ kg.m}^2$.	1	
2	2-1	Système: (disque - vase). Forces extérieures: poids $M\vec{g}$ du disque ; poids $m\vec{g}$ du vase ; réaction \vec{R} de l'axe de rotation	0,5	
	2-2	Moments par rapport à (Δ) : $M_{\vec{R}} = M_{M\vec{g}} = 0$; $M_{\vec{R}} = 0$ car \vec{R} rencontre (Δ) et $M_{m\vec{g}/\Delta} = 0$ car $m\vec{g} //$ à (Δ) . $\sum M = M_{m\vec{g}} + M_{\vec{R}} + M_{M\vec{g}} = 0$. mais $\sum M = \frac{d\sigma}{dt}$, $\Rightarrow \frac{d\sigma}{dt} = 0$. donc $\sigma = \text{constant}$.	1	
	2-3	$I_d = \frac{1}{2} M R^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 0,5^2 = 2,5 \text{ kg.m}^2$ Le moment cinétique du système est conserve $\Rightarrow \sigma_{\text{initiale}} = \sigma_{\text{finale}}$ $I_d \theta'_d + 0 = (I' + I_d) \theta'_{\text{système}}$, so $2.5 \times 0.7 = (I' + 2.5) (0.45)$, donc $I' = 1.39 \text{ kg.m}^2$	1	

Exercice 2 (7,5 points) Atome de Sodium

Partie		Réponses	Note	
1	1-1	les niveaux d'énergie possèdent des valeurs bien précis donc l'énergie de l'atome est alors quantifiée.	0,5	
	1-2	$E_{ph} = \frac{hc}{\lambda}$ donc ; E_{ph} max si λ est minimum ;	0,5	
		$E_{ph(max)} = \frac{6,6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0,4 \times 10^{-6}} = 4,95 \times 10^{-19} \text{ J} = 3,093 \text{ eV}$ $E_{ph(min)} = \frac{6,6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0,8 \times 10^{-6}} = 2,475 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,546 \text{ eV}$	0,5	
	1-3	$W_{ion} = E_{\infty} - E_1 = 0 - (-5,14) = 5,14 \text{ eV}$, $E_{ph(max)} = 3,093 \text{ eV} < W_{ion} = 5,14 \text{ eV}$ Donc il ne peut pas ioniser l'atome de sodium	1	
1-4	$E_{ph} = E_2 - E_1$ donc $\frac{hc}{\lambda} = -3,04 + 5,14 = 2,1 \text{ eV} = 3,36 \times 10^{-19} \text{ J}$ $\lambda = \frac{6,6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3,36 \times 10^{-19}} = 0,589 \times 10^{-6} \text{ m} = 589 \text{ nm}$.	1		
2	2-1	Puisque $\lambda_1 = 589 \text{ nm}$ donc elle correspond à l'excitation de l'atome du niveau d'énergie E_1 vers E_2 . Donc cette longueur d'onde est émise lorsque l'atome se désexcite de E_2 vers E_1 . Par suite $E_n = E_2 = -3,04 \text{ eV}$ Ou bien : $E_n - E_1 = E_{photon}$; $E_{photon} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} = 2,1 \text{ eV}$ $E_n - = E_{photon} + E_1 = 2,1 - 5,14 = -3,04 \text{ eV}$	1	
	2-2	2-2-1	$E_{3/1} = E_3 - E_1 = 3,21 \text{ eV} = 3,21 \times 10^{-6} \text{ MeV}$.	0,75
		2-2-2	$E_{3/1} = \Delta mc^2$ donc $\Delta m = \frac{3,21 \times 10^{-6}}{931,5} = 3,446 \times 10^{-9} \text{ u}$.	0,75
	2-3	2-3-1	$P = P_1 + P_2$ mais $P_1 = 2P_2$ donc $P = 3P_2$ alors $P_2 = 2W$ et $P_1 = 4W$.	0,5
2-3-2		$P_1 = \frac{nE_{2/1}}{t}$ alors $n = \frac{t \times P_1}{E_{2/1}} = \frac{1 \times 4}{3,36 \times 10^{-19}} = 1,19 \times 10^{19} \text{ photons/s}$	1	

Exercice 3 (7 points) Interférences lumineuses

Partie		Réponses	note	
1	1-1	En O, $x = 0$, donc $\delta_O = 0$, alors O est le centre de la frange brillante centrale	0,5	
	1-2	Frange sombre : $\delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$, $k \in \mathbb{Z}$, donc $(2k + 1)\frac{\lambda}{2} = \frac{ax}{D}$ alors $x = \frac{(2k + 1)\lambda D}{2a}$	0,75	
	1-3	$i = x_{K+1} - x_K = (2(k+1)+1)\frac{\lambda D}{2a} - (2k+1)\frac{\lambda D}{2a} = \frac{\lambda D}{a}$ $i = \frac{\lambda D}{a}$	0,5	
	1-4	1-4-1	5 franges brillantes	0,5
		1-4-2	$AB = 5 i$	0,5
		1-4-3	B est le centre de la troisième frange sombre (d'ordre 2) du côté positif de O.	0,5
1-4-4		Première frange brillante $x_1 = 1 \text{ mm}$	0,5	
1-5	$x_1 = \frac{(2k+1)\lambda D}{2a}$, $k = 0$, donc $D = \frac{2x_1}{\lambda} a = \frac{2 \times 1 \times 10^{-3}}{500 \times 10^{-9}} a$, alors $D = 4000 a$. Ou bien : $x_B = \frac{(2k+1)\lambda D}{2a}$, $k = 2$, donc $D = \frac{2x_B}{5\lambda} a = \frac{2 \times 5 \times 10^{-3}}{5 \times 500 \times 10^{-9}} a$, alors $D = 4000 a$.	0,75		
2	2-1	$\delta = SS_2P - SS_1P = (SS_2 - SS_1) + (S_2P - S_1P) = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D}$.	0,5	
	2-2	Frange brillante centrale : $\delta = 0$, donc $0 = \frac{az}{d} + \frac{ax}{D}$. Alors $x = -\frac{zD}{d}$	0,5	
	2-3	10 ^{ème} frange brillante, donc : $x = -10i = -10 \frac{\lambda D}{a} = -\frac{zD}{d}$ Alors : $a = \frac{10\lambda d}{z} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$ Or $D = 4000a = 2\text{m}$	1,5	

Exercice 4 (7,5 points) Caractéristiques d'une bobine

Partie		Réponses	notes	
1	1-1	Phénomène d'auto-induction électromagnétique	0,25	
	1-2	La loi d'addition des tensions : $u_{MB}=u_{MN} + u_N$ donc $r i + L \frac{di}{dt} + Ri = E$	0,75	
		En régime permanent : $i=I_0=cte$ donc $\frac{di}{dt} = 0$ par suite $I_0 = \frac{E}{r + R_0}$		
	1-3	1-3-1	A $t = 0 : i = 0$ donc $u_R = 0$ donc $E = u_{R+} + u_{bobine}$ par suite $E = 4,5V$ (graphe)	0,5
		1-3-2	En régime permanent : $\frac{di}{dt} = 0$ donc $u_{bobine} = 0 + rI_0$; graphiquement : $u_{bobine} \neq 0$ donc ; $r \neq 0$	0,5
		1-3-3	$rI_0 = 1,5 V$ donc $r = 15 \Omega$.	0,5
	1-4	$I_0 = \frac{E}{r + R_0}$ donc $R_0 = -r + E/I_0 = 30 \Omega$.	0,5	
	1-5	$u_{MB}=u_{MN} + u_N$ donc $r i + L \frac{di}{dt} + Ri = E$; $(r+R) i + L \frac{di}{dt} = E$	0,5	
	1-6	1-6-1	$\frac{di}{dt} = \frac{I_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow E = (r + R_0) \left(I_0 - I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + L \frac{I_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$ Par suite : $\tau = \frac{L}{r + R_0}$	0,75
		1-6-2	À $t = \tau : i = 0,63 I_0 = 0,063 A$ donc $u_R = R.i = 1,89 V$	0,75
		1-6-3	$u_{bobine} = E - u_R = 2,61 V$	0,25
		1-6-4	Graphiquement $\tau = 1 ms$	0,25
	1-7	$L = \tau(r + R_0) = 0,045H$.	0,5	
2	2-1	$E_{ém} = 2,25.10^{-6} J$	0,25	
	2-2	$\frac{1}{2} L I_0^2 = 2,25.10^{-4}$ donc $L = 0,045H$	0,5	
	2-3	Pente = $-2,25.10^{-4} / 1,5.10^{-3} = -0,15 J/s$	0,5	
	2-4	Pente = $-r I_0^2$ donc $r = 15 \Omega$.	0,25	

