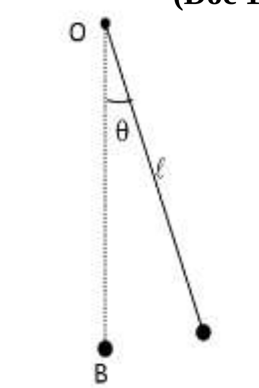
Cette épreuve comporte quatre exercices obligatoires. L'usage des calculatrices non programmables est autorisé.

Exercice 1 (8 points) Conservation de l'énergie mécanique

Un pendule simple (S) est constitué d'un fil inextensible, de masse négligeable et de longueur ℓ = 1,0 m, portant, à l'une de ses extrémités, une particule (M_1) de masse m = 0,10 kg, l'autre extrémité étant fixée, en O, à un support fixe (Doc 1). Soit B la position de (M_1) à l'équilibre. Négliger toute perte d'énergie et prendre le plan horizontal passant par B comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

Prendre : $g = 10\ m/s^2 = \pi^2\ m/s^2$; $\cos\theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$ pour des angles θ faibles, θ étant en radian.

(Doc 1)



1) Le pendule comme un oscillateur

On donne à (S), à partir de sa position d'équilibre, l'élongation angulaire $\theta_m = 10° = 0{,}175$ rad, puis on l'abandonne sans vitesse à la date $t_0 = 0$.

À une date t, l'élongation angulaire de (S) est θ.

1-1) Calculer l'énergie mécanique du système [(S), Terre] à la date $t_0 = 0$.

1-2) Déterminer la valeur absolue de la vitesse angulaire de (M_1) en B.

1-3) Établir l'équation différentielle qui décrit les oscillations de (S).

1-4) En déduire la valeur T_0 de la période propre des oscillations de (S).

1-5) La solution de l'équation différentielle est de la forme : $\theta = \theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$, (θ en rad et t en s). Déterminer la valeur de φ et écrire l'expression de θ.

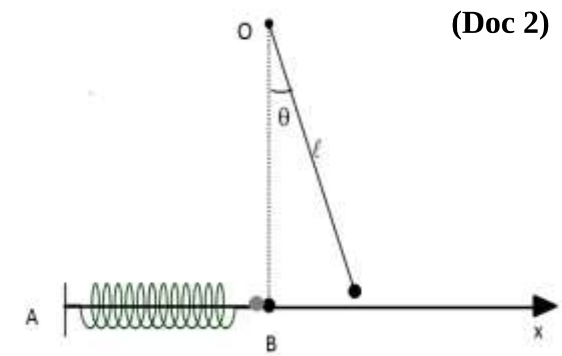
1-6) Déterminer la position et le module de la vitesse linéaire de (M_1) à la date $t = T_0/4$.

2) Collision

Le pendule (S) est tenu en équilibre au-dessus d'un support horizontal AB (Doc 2). Négliger toute perte d'énergie.

Une autre particule (M_2), de masse m' = m = 0,10 kg, accrochée à un ressort à spires non jointives, est placée contre (M_1), le ressort de raideur k, présentant, alors, sa longueur à vide. On fait dévier le pendule (S) d'un angle de 10° puis, on le lâche sans vitesse à la date $t_0 = 0$. Au passage par la position d'équilibre B, (M_1) entre en collision parfaitement élastique avec (M_2), toutes les vitesses étant portées par l'axe horizontal (Bx) (Doc 2).

(Doc 2)



2-1) Indiquer la date t_1 à laquelle aura lieu le premier choc entre (M_1) et (M_2).

2-2) Déterminer alors les valeurs algébriques V'_1 et V'_2 des vitesses $\overrightarrow{V'_1}$ et $\overrightarrow{V'_2}$ de (M_1) et (M_2), juste après la collision.

3) Chocs élastiques consécutifs

3-1) Exprimer la valeur de la compression maximale du ressort en fonction de m, k et V'_2.

3-2) Déduire la période propre T'_0 du pendule élastique horizontal sachant que les deux particules entrent de nouveau en choc en B à la date $t_2 = \frac{3}{4}T_0$.

3-3) Déduire la date t_3 à laquelle aura lieu le troisième choc.

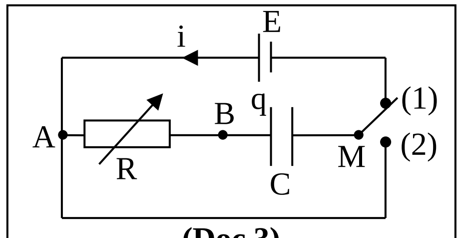
3-4) Que peut-on en conclure ?

Exercice 2 (7 points) Capteur d'humidité de l'air

En météorologie, on peut mesurer le taux d'humidité relative h de l'air, exprimé en (%HR), à l'aide d'un capteur capacitif constitué d'un condensateur dont la capacité peut varier avec l'humidité.

1) Étude théorique

On réalise le montage du circuit représenté au (Doc 3). Le circuit comporte un générateur idéal de tension constante E, un conducteur ohmique de résistance R réglable, un capteur capacitif représenté par un condensateur de capacité C variable et un commutateur K.



(Doc 3)

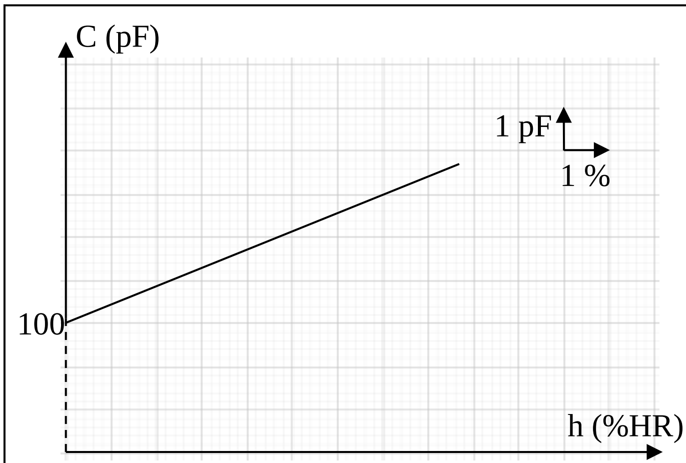
Le condensateur étant initialement non chargé, le commutateur K est placé en position (1) à la date $t_0 = 0$. À une date t, la tension aux bornes du condensateur est $u_C = u_{BM}$ et le circuit est parcouru par un courant d'intensité i. Un appareil approprié enregistre les variations de la tension u_C en fonction du temps.

1-1) Établir l'équation différentielle qui régit les variations de la tension u_C en fonction du temps.

1-2) La solution de cette équation différentielle est donnée par : $u_C = A + Be^{-t/\tau}$. Déterminer les expressions des constantes A, B et τ en fonction de E, R et C.

2) Mesure du taux d'humidité

La capacité C du capteur dans le circuit varie avec le taux d'humidité relative h de l'air suivant le graphe du (Doc 4).



(Doc 4)

2-1) Déterminer l'expression de C en fonction de h.

2-2) Dans une première mesure, on trouve $h = h_1 = 75$ (%HR).

2-2-1) Calculer la valeur C_1 de C.

2-2-2) Le document (Doc 5) montre l'évolution de u_C en fonction du temps t. La droite (OT) représente la tangente à la courbe $u_C(t)$ à la date $t_0 = 0$. Déterminer la valeur R_1 de R.

2-3) Dans une deuxième mesure, on trouve $h = h_2 = 50$ (%HR), C_2 étant la capacité du capteur. On règle la valeur de R de sorte que la constante de temps τ du circuit conserve la même valeur que celle dans la première mesure. R_2 est la valeur de R.

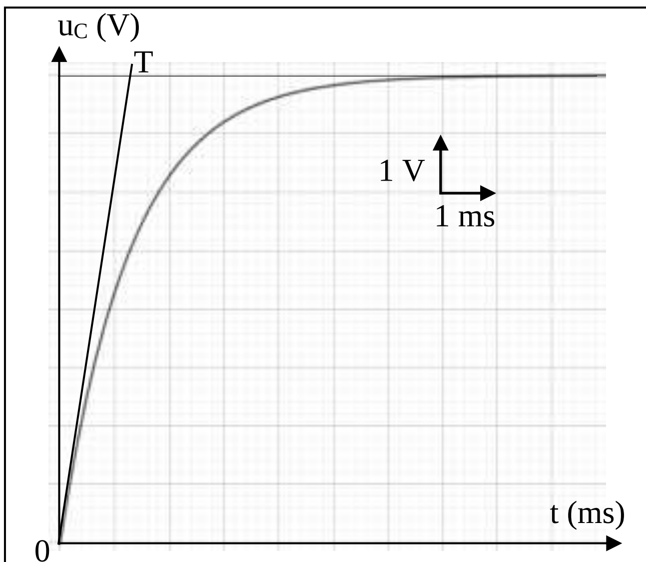
2-3-1) Déterminer R_2.

2-3-2) Tirer l'expression du rapport C_2/C_1 en fonction de R_1 et R_2.

2-3-3) La relation entre C et h étant linéaire, donc, en fixant la valeur de τ (celle du (Doc 5)), le taux d'humidité sera une fonction d'une seule variable R ; donc, en réglant R, on déduit h.

2-3-3-1) Montrer que : $h = \frac{1{,}3\times10^9 - 100R}{0{,}4R}$ (R en Ω et h en (%HR)).

2-3-3-2) Déduire la valeur de h pour $R = 10^7$ Ω.



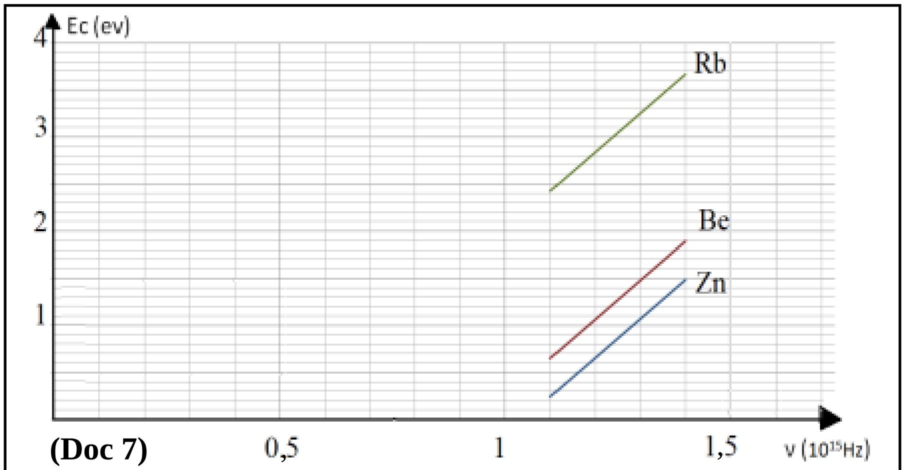
(Doc 5)

Exercice 3 (6½ points) Effet photoélectrique

Un expérimentateur utilise une source de radiation électromagnétique mono-énergétique de fréquence ν réglable pour éclairer, respectivement, trois plaques métalliques, une en Zinc (Zn), une autre en Béryllium (Be) et une troisième en Rubidium (Rb).
L'expérimentateur fait varier la fréquence ν de la radiation incidente et relève, pour chaque valeur de ν, la valeur de l'énergie cinétique maximale d'un électron émis par chacune des trois plaques dans le tableau (Doc 6).
Il obtient le graphe donnant $E_c = f(\nu)$ pour chacune des trois plaques, ces graphes étant représentés dans le document (Doc 7). Prendre : 1 eV $=1{,}60\times10^{-19}$ J ; $c = 3\times10^8$ m/s.

ν (10^{15} Hz)	E_c (eV)		
	Zn	Be	Rb
1,10	0,241	0,651	2,421
1,15	0,448	0,858	2,628
1,20	0,655	1,065	2,835
1,25	0,862	1,272	3,042
1,30	1,069	1,479	3,249
1,35	1,276	1,686	3,456
1,40	1,483	1,893	3,663

(Doc 6)



(Doc 7)

1) On remarque que l'effet photoélectrique ne se produit pas pour certaines radiations incidentes visibles et infrarouges quelles que soient l'intensité du rayonnement et la durée d'exposition. Pourquoi ce résultat met-il en défaut la théorie ondulatoire de la lumière ?
2) Indiquer l'aspect de la lumière que le phénomène de l'effet photoélectrique met en évidence.
3) Interpréter, en se basant sur l'hypothèse d'Einstein relative à l'effet photoélectrique, le fait que les trois graphes sont des segments de droites parallèles.
4) Calculer, en se référant au (Doc 6), la valeur de la constante de Planck.
5) Déterminer, en se référant aux graphes du (Doc 7), la fréquence seuil de chacune des plaques métalliques.
6) Déduire la valeur de l'énergie d'extraction correspondant à chacune des plaques métalliques.
7) L'expérimentateur éclaire chaque plaque par une radiation incidente de longueur d'onde, dans le vide, 333 nm.
7-1) Préciser, pour chaque plaque, s'il y a ou non une émission d'électrons.
7-2) Calculer, dans le cas où on a une émission d'électrons, l'énergie cinétique maximale d'un électron émis.

Exercice 4 (6 points) Datation au chlore

Le chlore possède plusieurs isotopes dont trois seulement existent à l'état naturel, le $^{35}_{17}Cl$, le $^{37}_{17}Cl$ et le $^{36}_{17}Cl$; les deux premiers sont stables alors que le chlore 36 est radioactif de demi-vie $T = 3{,}08\times10^5$ ans.
Dans les eaux de surface (mers, lacs), le chlore 36 est constamment renouvelé et, de ce fait, la teneur en chlore 36, qui est en général grande, reste constante au cours du temps. Cette constatation permet de nous donner une référence.
Dans la nappe de glace profonde, à plusieurs mètres en dessous de la surface, le renouvellement ne se fait plus et la proportion en chlore 36 diminue au cours du temps.
La glace contient également des bulles de dioxyde de carbone, ces dioxydes étant formés par des atomes de carbone qui sont les isotopes $^{12}_{6}C$ (stable) et $^{14}_{6}C$ (radioactif). Une fois piégés, les dioxydes de carbone ne se renouvellent pas, mais les géologues savent que la quantité de carbone 14 serait trop faible pour l'utiliser dans la datation, sa demi-vie T' = 5730 ans étant trop courte.

1) Le chlore radioactif $^{36}_{17}Cl$

1-1) Donner :

1-1-1) la composition du noyau de chlore 36 ;

1-1-2) la définition du terme "isotope" ;

1-1-3) la définition de la radioactivité.

1-2) Le noyau de chlore 36 subit une désintégration β^- et se transforme en un noyau d'argon stable $^{36}_{18}Ar$ avec émission de rayonnement γ.

1-2-1) Écrire l'équation de la désintégration d'un noyau de chlore 36 sachant que la désintégration β^- est toujours accompagnée par l'émission d'une antiparticule.

1-2-2) À quoi est due l'émission du rayonnement γ ?

2) Datation géologique des nappes glaciales profondes par le chlore 36

On cherche à déterminer l'âge t_1 d'un échantillon de glace de masse m prélevé d'une profondeur de plusieurs mètres dans l'antarctique et pour lequel il y a 60% de noyaux de chlore 36 par rapport à un échantillon récent de même masse. Soient N_0 et N les nombres de noyaux de chlore 36 présents dans l'échantillon, respectivement aux dates $t_0 = 0$ et t, λ étant la constante radioactive du chlore 36.

2-1) Donner la valeur du rapport $\frac{N(t_1)}{N_0}$ pour le morceau de glace étudié.

2-2) Montrer que l'âge de l'échantillon est exprimé par : $t_1 = -\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{N(t_1)}{N_0}\right)$.

2-3) Calculer t_1.

2-4) Calculer le rapport $\frac{N(t_1)}{N_0}$ pour le carbone 14 et justifier la cause pour laquelle les géologues choisissent la datation au chlore 36.

المادة: الفيزياء – لغة فرنسية الشهادة: الثانوية العامّة الفرع: العلوم العامّة نموذج رقم: 1 / 2019 المدّة: ثلاث ساعات	الهيئة الأكاديميّة المشتركة قسم: العلوم	المركز التربوي للبحوث والإنماء

أسس التصحيح

Exercice 1 (8 points) Conservation de l'énergie mécanique

Question	Réponse	Note
1-1	$Em_0 = Ec_0 + Ep_0 = 0 + mgh_0 = mg\ell(1 - \cos\theta_0) = 0{,}015$ J ($Ec_0 = 0$ car $V_0 = 0$)	½
1-2	Le système [(S), Terre] est conservatif (absence de perte d'énergie), donc : $Em_B = Em_0$; $Ec_B + Ep_B = Em_0$, or $Ep_B = 0$ d'où : $\frac{1}{2} mV_B^2 = Em_0$ Sachant que $V_B = \ell\theta'_B$, on aura : $\frac{1}{2} m\ell^2\theta'^2_B = Em_0$; $\lvert\theta'_B\rvert = 0{,}548$ rad/s	¾
1-3	$Em = Ec + Ep = \frac{1}{2} m\ell^2\theta'^2 + mg\ell(1-\cos\theta)$; avec θ faible d'où $Em = \frac{1}{2} m\ell^2\theta'^2 + mg\ell\theta^2/2$ $Em = cte$; $\frac{dE_m}{dt} = 0$; $m\ell^2\theta'\theta'' + mg\ell\theta'\theta = 0$ avec θ' n'est pas toujours nulle Alors : $\theta'' + \frac{g}{\ell}\theta = 0$ (θ en rad et t en s)	¾
1-4	Cette équation est de la forme : $\theta'' + \omega_0^2\theta = 0$ Le mouvement de (S) est alors harmonique simple de pulsation propre ω_0 tel que $\omega_0^2 = \frac{g}{\ell}$; Par suite $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 2$ s	¾
1-5	$\theta = \theta_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$; $\theta' = -\omega_0\theta_m\sin(\omega_0 t + \varphi)$; $\theta'' = -\omega_0^2\theta_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$ à $t_0 = 0$; $\theta'_0 = -\omega_0\theta_m \sin(\varphi) = 0$ Or $\omega_0\theta_m \neq 0$ donc $\sin\varphi = 0$; $\varphi = 0$ ou $\varphi = \pi$ rad D'autre part $\theta_0 = 0{,}175$ rad > 0 donc $\theta_0 = \theta_m\cos(\varphi) > 0$ avec $\theta_m > 0$ Par suite $\cos\varphi > 0$ alors $\varphi = 0$ $\theta_m = \theta_0 = 0{,}175$ rad et $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}} = \pi$ rad/s D'où la solution : $\theta = 0{,}175\cos(\pi t)$ (θ en rad et t en s)	¾
1-6	À $t = T_0/4$, (M_1) sera en B car $\theta(T_0/4) = 0$ $\lvert\theta'_B\rvert = 0{,}548$ rad/s ; par suite $\lvert V_B\rvert = \ell\lvert\theta'_B\rvert = 0{,}548$ m/s	¾
2-1	Le premier choc se fait à $t_1 = T_0/4 = 0{,}5$ s	¼
2-2	Le choc étant élastique, on a la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique du système [(M_1), (M_2)]. Le système [(M_1), (M_2)] est mécaniquement isolé (lors du choc) car on néglige toutes les forces extérieures par rapport à celles dues au choc. Donc $\sum\vec{F}_{ex} = \vec{0}$; $\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{0}$; $\vec{P}_{avant} = \vec{P}_{après}$; $m\vec{V}_1 = m\vec{V}'_1 + m\vec{V}'_2$; $\vec{V}_1 = \vec{V}'_1 + \vec{V}'_2$; les trois vecteurs portés par (Bx) sont colinéaires. Algébriquement : $V_1 = V'_1 + V'_2$ et $V_1 = -\lvert V_B\rvert$ (1) (le mouvement de (M_1) se fait dans le sens négatif) Le choc étant élastique : $Ec_{avant} = Ec_{après}$; $\frac{1}{2} mV_1^2 = \frac{1}{2} mV'^2_1 + 1/2mV'^2_2$ $V_1^2 = V'^2_1 + V'^2_2$ (2) La résolution du système (1) et (2) donne $V'_1 = 0$ et $V'_2 = -0{,}548$ m/s	1½

3-1	Le système [(M_2), ressort, Terre] est conservatif (absence de perte d'énergie), entre l'instant initial juste après le choc et l'instant final correspondant à la compression maximale. $Em(x_0 = 0) = Em(X_m)$; $Ec_0 + Epe_0 = Ec_m + Epe_m$; $\frac{1}{2} mV'^2_2 = \frac{1}{2} kX_m^2$ (car à la compression maximale, la vitesse est nulle) $\lvert X_m \rvert = \lvert V'_2 \rvert \sqrt{\frac{m}{k}}$	¾
3-2	La durée entre les deux premiers chocs est ½ T'_0 (durée d'une demi-oscillation du pendule élastique) ; par suite $t_2 - t_1 = \frac{3}{4} T_0 - \frac{1}{4} T_0 = = \frac{1}{2} T_0 = \frac{1}{2} T'_0$; $T'_0 = T_0 = 2$ s	½
3-3	La durée séparant le deuxième choc du troisième choc est : ½ T_0 donc $t_3 = t_2 + \frac{1}{2} T_0 = \frac{3}{4} T_0 + \frac{1}{2} T_0 = 5/4\ T_0$	½
3-4	Les chocs se répètent régulièrement (périodiquement) à chaque $T_0/2$.	¼

Exercice 2 (7 points) Capteur d'humidité de l'air

Question	**Réponse**	**Note**
1-1	$u_{AM} = u_{AB} + u_{BM}$; $E = Ri + u_C$ avec $i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_c}{dt}$; $E = RC\frac{du_c}{dt} + u_C$	**1**
1-2	$u_C = A + Be^{-\frac{t}{\tau}}$ $\frac{du_C}{dt} = -\frac{B}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$; alors $E = -RC\frac{B}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + A + Be^{-\frac{t}{\tau}} \quad \forall t$ $B\, e^{-\frac{t}{\tau}}\left(-\frac{RC}{\tau} + 1\right) + A - E = 0\ \forall t$ Par identification : $-\frac{RC}{\tau} + 1 = 0$ et $A - E = 0$ $\tau = RC$ et $A = E$ et à la date $t_0 = 0$; $u_{C0} = 0 = A + B$ donc B = -A = -E	**1**
2-1	C est une fonction linéaire de h : C = ah + b ; pour h = 0 ; C = b = 100 pF (d'après le graphe) $a = \frac{\Delta C}{\Delta h} = \frac{2}{5} = 0{,}4\ \text{pF}/(\%\text{HR})$ D'où $C = 0{,}4h + 100$ (h en (%HR) et C en pF)	**1**
2-2-1	$C_1 = 0{,}4 \times 75 + 100 = 130$ pF	¼
2-2-2	D'après le graphe, la tangente (OT) rencontre l'asymptote en un point d'abscisse τ ; donc τ = 1,3 ms ; $\tau = R_1C_1$; $R_1 = \tau/C_1 = 10^7\ \Omega$	**1**
2-3-1	$C_2 = 0{,}4h_2 + 100 = 0{,}4 \times 50 + 100 = 120$ pF $R_2 = \frac{\tau}{C_2} = \frac{1{,}3\times10^{-3}}{120\times10^{-12}} = 1{,}08 \times 10^7\Omega$	¾
2-3-2	$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\frac{\tau}{R_2}}{\frac{\tau}{R_1}} = \frac{R_1}{R_2}$	½
2-3-3-1	$C = (0{,}4h + 100) \times 10^{-12}$ (h en (%HR) et C en F) or $C = \frac{\tau}{R} = \frac{1{,}3 \times 10^{-3}}{R} = (0{,}4h + 100) \times 10^{-12}$ $h = \frac{1{,}3\times10^9 - 100R}{0{,}4R}$ (h en (%HR) et R en Ω)	**1**
2-3-3-2	Pour $R = 10^7\ \Omega$; $h = \frac{1{,}3\times10^9 - 100\times10^7}{0{,}4\times10^7} = 75$ (%HR)	½

Exercice 3 (6½ points) Effet photoélectrique

Question	Réponse	Note
1	Suivant la théorie ondulatoire, l'onde donne de l'énergie de façon continue ce qui veut dire que quelle que soit la fréquence de la radiation incidente, un éclairage continu et prolongé du métal doit produire une émission photoélectrique ce qui n'est pas le cas.	½
2	L'aspect corpusculaire.	¼
3	D'après l'hypothèse d'Einstein : $E_{photon} = h\nu = W_S + Ec(e^-)$ $Ec = h\nu - W_S$; $Ec(e^-)$ est une fonction linéaire de ν de pente h pour tout métal. (L'énergie d'extraction W_S, qui dépend du métal, n'est autre que l'ordonnée à l'origine).	**1**
4	$h = \frac{\Delta E_c}{\Delta \nu} = \frac{(1{,}483-0{,}241)\times 1{,}6\times 10^{-19}}{1{,}4\times 10^{15}-1{,}1\times 10^{15}} = 6{,}624\times 10^{-34} J.s$	**1**
5	La fréquence seuil correspond à une extraction sans énergie cinétique ; Ec(e-) = 0 En prolongeant chaque segment du graphe, l'intersection avec l'axe des ν correspond à ν_s Pour le Zinc : $\nu_s = 1{,}05\times 10^{15}$ Hz Pour le Béryllium : $\nu_s = 0{,}95\times 10^{15}$ Hz Pour le Rubidium : $\nu_s = 0{,}50\times 10^{15}$ Hz	**1¼**
6	$W_S = h\nu_s$ Pour le Zinc : $W_S = 6{,}96\times 10^{-19}$ J Pour le Béryllium : $W_S = 6{,}29\times 10^{-19}$ J Pour le Rubidium : $W_S = 3{,}31\times 10^{-19}$ J	**1**
7-1	$\nu = c/\lambda = 0{,}9\times 10^{15}$Hz ; Pour qu'il y ait extraction, la fréquence ν de l'onde incidente doit vérifier la condition : $\nu > \nu_s$ Donc, il n'y a pas d'extraction pour les plaques de Zn et Be mais il y en a pour celle de Rb	**1**
7-2	Pour le Rb : $h\nu = W_S + Ec(e-)$; $Ec(e^-) = h\nu - W_S = 2{,}66$ J	½

Exercice 4 (6 points) Datation au chlore

Question	Réponse	Note
1-1-1	17 protons ; 36 – 17 = 19 neutrons	½
1-1-2	Des isotopes sont des noyaux, d'un même élément, de même nombre de charge mais de nombres de masse différents.	½
1-1-3	La radioactivité est la transformation spontanée d'un noyau instable en un autre plus stable.	½
1-2-1	${}^{36}_{17}Cl \longrightarrow {}^{36}_{18}Ar + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu} + \gamma$	½
1-2-2	Le noyau fils ${}^{36}_{18}Ar$ est obtenu dans un état excité et il peut y rester pour une très courte durée. Après cela, il se désexcite en émettant ainsi un rayonnement γ.	½
2-1	$\frac{N(t_1)}{N_0} = \frac{60}{100} = 0{,}60$	½
2-2	La loi de décroissance radioactive s'écrit : $N = N_0 e^{-\lambda t}$ $\ln(N) = \ln(N_0 e^{-\lambda t}) = \ln(N_0) - \lambda t$ $\ln(N) - \ln(N_0) = -\lambda t$; $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$ $t = -\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$; $t_1 = -\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{N(t_1)}{N_0}\right)$	**1**
2-3	La constante radioactive s'écrit : $\lambda = \frac{\ln(2)}{T} = 2{,}25\times 10^{-6}$ an^{-1} L'âge de l'échantillon : $t_1 = -\frac{\ln(0{,}6)}{2{,}25\times 10^{-6}} = 2{,}27\times 10^{5}$ ans	**1**
2-4	Pour les noyaux de carbone présent à la date t_1, le rapport s'écrit : $\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln(2)t}{T}} = e^{-\frac{0{,}693\times 2{,}27\times 10^{5}}{5730}} = 1{,}19\times 10^{-12}$ Ce rapport est très faible, donc le nombre de noyaux de carbone restant dans l'échantillon est très faible.	**1**