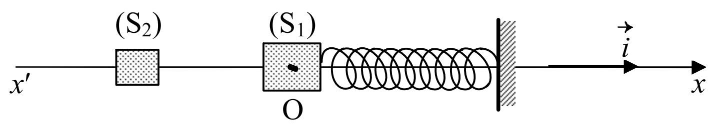
Cette épreuve est formée de trois exercices
répartis sur trois pages numérotées de 1 à 3
L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé

Premier exercice (7 pts) Étude d'un oscillateur mécanique

Le but de l'exercice est de déterminer la constante de raideur du ressort d'un oscillateur mécanique horizontal. Cet oscillateur comporte un solide (S_1) de masse M = 400 g et un ressort de masse négligeable et de raideur k. Le centre de gravité G de (S_1) peut se déplacer sur un axe rectiligne horizontal x′Ox. La position de G est repérée sur cet axe, à l'instant t, par son abscisse $x = \overline{OG}$, O correspondant à la position d'équilibre G_0 de G (figure).



A - Mise en mouvement de l'oscillateur

(S_1) est initialement au repos et G est en O. Pour le mettre en mouvement, on lance vers (S_1), le long de l'axe x′Ox, un solide (S_2) de masse $m = \frac{M}{2}$. Juste avant le choc, (S_2) a une vitesse $\vec{V_2} = V_2\,\vec{i}$ (V_2 = 0,75 m/s). (S_2), entrant en choc élastique avec (S_1), rebondit suivant x′Ox . Juste après le choc, (S_1) acquiert la vitesse $\overrightarrow{V_0} = V_0\,\vec{i}$.

1) Quelles sont les deux grandeurs physiques qui restent conservées durant ce choc ?
2) Écrire les équations qui expriment la conservation des grandeurs précédentes.
3) Déduire que V_0 = 0,5 m/s.

B- Étude énergétique de l'oscillateur

L'enregistrement graphique a montré que l'équation horaire du mouvement de G, après le choc, peut s'écrire sous la forme :

$$x = X_m \sin\left(\sqrt{\frac{k}{M}}\right)t \quad (x \text{ en m ; t en s}) \text{ où } X_m \text{ est une constante positive.}$$

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

1) **a-** Écrire l'expression de l'énergie potentielle élastique E_{Pe} de l'oscillateur en fonction de k, X_m, M et t.
b- Déterminer l'expression de l'énergie cinétique E_C de l'oscillateur en fonction de k , M ,X_m et t.
c- Trouver l'expression de l'énergie mécanique E_m du système (oscillateur, Terre) en fonction de k et X_m.
d- Déduire que (S_1) ne subit aucune force de frottement durant son mouvement.

2) **a-** Déterminer la valeur de E_m.
b- Au cours du mouvement de (S_1), G oscille entre deux positions extrêmes A et B distantes de 20 cm. Déterminer la valeur de k.

Deuxième exercice (6 ½ pts) Charge d'un condensateur

Le but de l'exercice est de déterminer la capacité d'un condensateur et d'étudier l'effet de certaines grandeurs physiques sur la durée de sa charge.

Le circuit de la figure (1) comporte :

- un générateur idéal présentant entre ses bornes une tension constante $u_{MN} = u_g = E$ réglable ;
- un conducteur ohmique de résistance R réglable ;
- un condensateur de capacité C ;
- un interrupteur K.

I- La valeur de E est réglée à E = 10 V et celle de R à R = 2 kΩ .
Le condensateur étant initialement neutre, on ferme l'interrupteur à la date $t_0 = 0$.

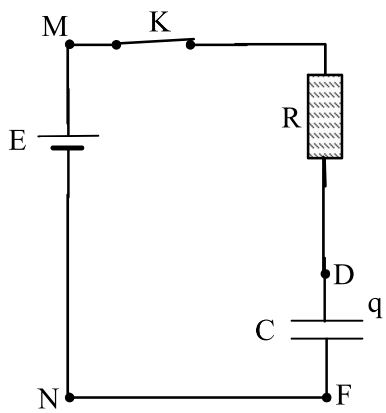


Figure 1

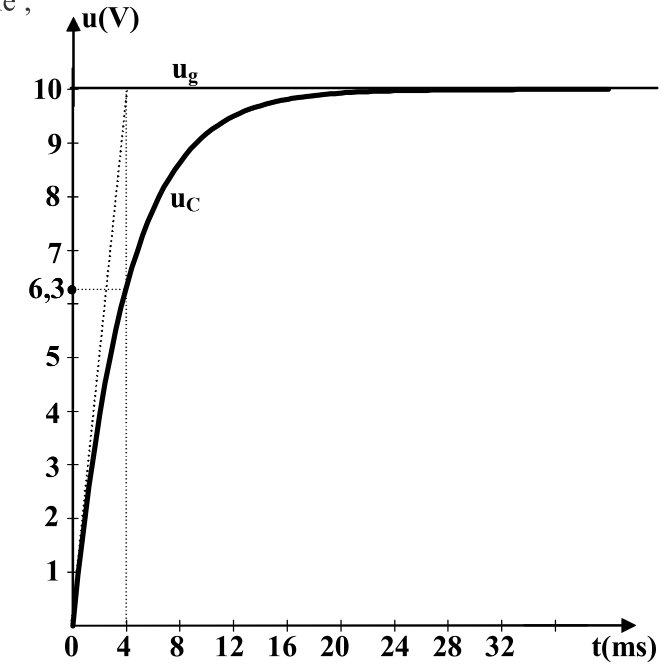


Figure 2

1) **a** -Établir l'équation différentielle donnant les variations de la tension $u_{DF} = u_C$ aux bornes du condensateur en fonction du temps.

b- Vérifier que la solution de cette équation différentielle est $u_C = E\,(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$.

2) Les tensions u_C et u_g sont visualisées à l'aide d'un oscilloscope (figure 2) .

a- Reproduire le montage de la figure (1) en indiquant les branchements de cet oscilloscope.

b- Donner la valeur maximale de u_C.

3) Une méthode de calcul de C consiste à déterminer la durée t_1 au bout de laquelle la tension u_C atteint 63 % de sa valeur maximale.

a- Montrer que t_1 est, à peu près, égale à RC.

b- En utilisant la figure (2), déterminer la valeur de la capacité C.

4) Une autre méthode permet de déterminer C à partir de la tangente à la courbe $u_C = f(t)$ en O (fig.2).

a- Trouver l'expression de $\frac{du_C}{dt}$, en O, en fonction de E , R et C.

b- Montrer que l'équation de cette tangente à la courbe est $u = \frac{E}{RC}\,t$.

c- Vérifier que cette tangente coupe l'asymptote à la courbe au point d'abscisse $t_1 = RC$.

d- Déterminer alors la valeur de la capacité C du condensateur.

II – La valeur de R est réglée à R = 1 kΩ .

1) Tracer, sur un même système d'axes, l'allure de la courbe u_C dans les deux cas suivants :

cas (1) : E =10 V, $C = 2\times10^{-6}$ F (courbe 1)
cas (2) : E = 5 V, $C = 2\times10^{-6}$ F (courbe 2)
Échelles : en abscisses :1div ↔ 4 ms ; en ordonnées :1 div ↔ 1 V .

2) Préciser, en le justifiant, laquelle des deux grandeurs E ou R influe sur la durée de charge du condensateur.

<u>Troisième exercice</u> (6 ½ pts) Interaction rayonnement-matière

I - Au début des années 1880, Balmer identifie, dans le spectre d'émission de l'hydrogène, les quatre raies visibles désignées par H_α, H_β, H_γ et H_δ .

En 1913, Bohr élabore une théorie de structure de l'atome et montre qu'on peut associer, à l'atome d'hydrogène, des niveaux d'énergie donnés par la formule :

$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ où E_0 est une constante positive exprimée en eV et n un nombre entier non nul.

Selon Bohr, chacune des raies de la série de Balmer est caractérisée par sa longueur d'onde λ dans l'air et la transition correspondante :

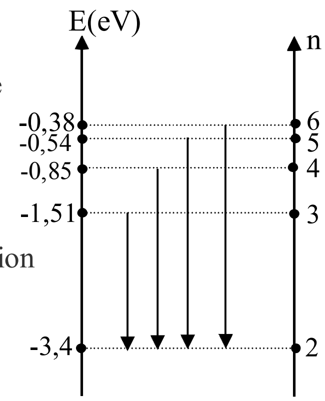
H_α (λ_α = 658 nm ; transition de n = 3 à n = 2) ;

H_β (λ_β = 487 nm ; transition de n = 4 à n = 2) ;

H_γ (λ_γ = 435 nm ; transition de n = 5 à n = 2) ;

H_δ (λ_δ = 412 nm ; transition de n = 6 à n = 2).

Le diagramme des niveaux d'énergie correspondant à cette série est schématisé par la la figure ci-contre.



1) Déterminer, en s'aidant du diagramme, la valeur de E_0 en eV.

2) **a) Spectre d'émission**

   i) Montrer, à partir du diagramme, que la raie H_β correspond à l'émission d'un photon d'énergie 2,55 eV.

   ii) Vérifier que la valeur de la longueur d'onde de la raie H_β est environ 487 nm.

   b) Spectre d'absorption

   Pour obtenir le spectre d'absorption de l'atome d'hydrogène, on doit éclairer de l'hydrogène à l'aide de la lumière blanche. Qu'observe-t-on dans le spectre d'absorption ?

3) L'atome d'hydrogène, pris dans son premier état excité (n = 2), subit l'impact d'un photon d'énergie 2,26 eV. Ce photon n'est pas absorbé par l'atome. Pourquoi ?

II- Une lampe à hydrogène éclaire maintenant une surface métallique de longueur d'onde seuil λ_s = 500 nm.

1) Quelles sont les radiations visibles susceptibles de provoquer l'émission photoélectrique ? Pourquoi?

2) **a)** Déterminer la radiation qui est capable d'arracher un électron possédant la plus grande énergie cinétique E_c .

   b) Calculer alors E_c .

III- Les spectres de raies atomiques et le phénomène de l'effet photoélectrique mettent en évidence une caractéristique concernant l'énergie d'une onde électromagnétique et l'échange énergétique entre la matière et les ondes électromagnétiques. Préciser cette caractéristique .

On donne :

- célérité de la lumière dans le vide $c = 3 \times 10^8$ m/s ;
- constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J ;
- 1 nm = 10^{-9} m.

Premier exercice (7 pts)

A- 1) La quantité de mouvement et l'énergie cinétique du système (S_1 , S_2) **(1/2 pt)**

2) $m\,\vec{V}_2 = m\vec{V_3} + M\vec{V_0}$ **(1/2pt)**

$\frac{1}{2}\,m\,V_2^2 = \frac{1}{2}\,m\,V_3^2 + \frac{1}{2}M\,V_0^2$ équ ....(1) **(1/2pt)**

3) Les vitesses étant colinéaires, l'expression vectorielle peut s'écrire algébriquement:

$m\,V_2 = mV_3 + MV_0$ ou $m(V_2 – V_3) = MV_0$ équ………(2) .

L'équation (1) peut s'écrire $m(V_2^2 - V_3^2) = M\,V_0^2$ équ……..(3)

Le système des équations (2) et (3) donne : $V_0 = \frac{2m}{m+M}V_2 = \frac{2}{3}\times 0{,}75 = 0{,}5$ m/s ; **(1 ½ pt)**

B- 1) a- $E_{Pe} = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kX_m^2\sin^2(\sqrt{\frac{k}{M}}t)$. **(1/2 pt)**

b- $E_c = \frac{1}{2}MV^2$; avec $V = x' = X_m\sqrt{\frac{k}{M}}\cos\sqrt{\frac{k}{M}}t$, on peut écrire :

$E_c = \frac{1}{2}M\,X_m^2\frac{k}{M}\cos^2(\sqrt{\frac{k}{M}}t) = \frac{1}{2}X_m^2 k\cos^2(\sqrt{\frac{k}{M}}t)$ **(3/4pt)**

c- $E_m = E_P + E_c = \frac{1}{2}k\,X_m^2\sin^2(\sqrt{\frac{k}{M}}t) + \frac{1}{2}X_m^2 k\cos^2(\sqrt{\frac{k}{M}}t)$

$E_m = \frac{1}{2}k\,X_m^2(\sin^2\sqrt{\frac{k}{M}}t + \cos^2\sqrt{\frac{k}{M}}t) = \frac{1}{2}k\,X_m^2$. **(3/4pt)**

d- k et X_m sont des constantes => E_m est constante => l'énergie mécanique se conserve au cours du temps ; le mouvement s'effectue alors sans frottement. **(1/2pt)**

2) a - $E_m(t=0) = E_m(t) \Rightarrow \frac{1}{2}MV_0^2 = ½\,k\,X_m^2 = \frac{1}{2}(0{,}4)(0{,}5)^2 = 0{,}05$ J. **(1/2pt)**

b- $AB = 2X_m \Rightarrow X_m = 0{,}1$ m , $k = \frac{2E_m}{(X_m)^2} = \frac{2\times 0{,}05}{0{,}01} = 10$ N/m.

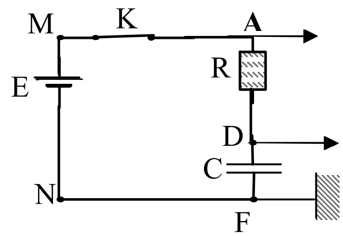
(ou $k = \frac{MV_0^2}{X_m^2}$) **(1pt)**

Deuxième exercice (6 ½ pts)

I-1) a- $E = Ri + u_C = RC\dfrac{du_C}{dt} + u_C$ **(1pt)**

b- $\dfrac{du_C}{dt} = \dfrac{E}{RC}e^{\frac{-t}{RC}}$,

ainsi : $E = RC\dfrac{E}{RC}e^{\frac{-t}{RC}} + E(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) = E$



(1/2pt)

2) a- Connexion **(1/4pt)**

b- $(u_C)_{max} = E = 10$ V **(1/4pt)**

3) a) $u_C = 0{,}63\,E = E(1 - e^{\frac{-t_1}{RC}})$ => $e^{\frac{-t_1}{RC}} = 0{,}37$ => $\ln 0{,}37 = -\dfrac{t_1}{RC}$ => $t_1 = RC$.**(1/2pt)**

b) A partir du graphe de la figure (2), on montre que la tension $u_C = 0{,}63 \times 10 = 6{,}3$ V est atteinte au bout d'une durée 4 ms ; cette durée est égale à RC. Ainsi $C = 2 \times 10^{-6}$ F. **(1/2pt)**

4) a) $\dfrac{du_C}{dt} = \dfrac{E}{RC}e^{\frac{-t}{RC}}$ => $\dfrac{du_C}{dt})_{t=0} = \dfrac{E}{RC}$ **(1/2pt)**

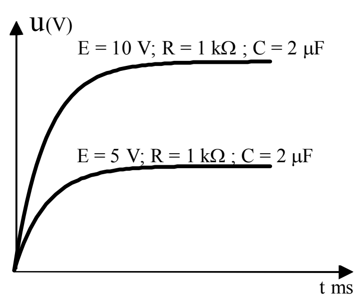
b) L'équation de la tangente à la courbe à l'origine est $u = a_0\,t = \dfrac{E}{RC}t$ **(1/2pt).**

c) Pour u = E , on a : $E = \dfrac{E}{RC}t_1$, d'où $t_1 = RC$. **(1/2 pt)**

d) L'abscisse du point d'intersection de la tangente avec l'asymptote est RC = 4 ms. **(1/2 pt)**

D'où : $C = \dfrac{4 \times 10^{-3}}{2000} = 2 \times 10^{-6}$ F. **(1/2pt)**

II – 1) Tracé **(1/2 pt)**



2) la durée de la charge est $t = 5RC \Rightarrow t$ dépend de R et ne dépend pas de E. **(1/2 pt)**

Troisième exercice (6 ½ pts)

I –1- Pour n = 2 , E_2 = -3,4 eV ; on peut écrire : $-3,4 = -\frac{E_0}{4}$ => E_0 = 13,6 eV. **(1/2 pt)**

2-a-i) E(photon) = $E_4 - E_2$ = -0,85 – (-3,4) = 2,55 eV **(1/4 pt)**

ii) $E(photon) = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E(photon)} = \frac{6,63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2,55\times1,6\times10^{-19}}$ = 487,5 nm.

(3/4pt)

b) On voit 4 raies noires. **………** ……………………………**(1/2pt)**

3) Si l'atome absorbe ce photon, on peut écrire E (photon) = $E_n - E_2$

$2,26 = -\frac{13,6}{n^2} - (-3,4)$ => n = 3,45 ; or n doit être entier => ce photon n'est pas absorbé…**……………………………………………………….(1pt)**

Ou : Pour passer du niveau n = 2 au niveau n = 3 , l'atome doit absorber un photon d'énergie $E_{2\text{--->}3}$ = -1,51 – (-3,4) = 1,89 eV

Pour passer du niveau n = 2 au niveau n = 4 , l'atome doit absorber un photon d'énergie $E_{2\text{--->}4}$ = -0,85 – (-3,4) = 2,55 eV.

1,89 < 2,26 < 2,55 => l'atome n'absorbe pas ce photon.

II-1) L'émission photoélectrique ne se produit qui si la longueur d'onde de la radiation incidente est plus petite ou égale à la longueur d'onde seuil du métal . Ainsi $\lambda(\alpha)$ > 500 nm => pas d'effet photoéctrique pour cette radiation.

Les autres radiations ont des longueurs d'onde < 500 nm => elles provoquent l'émission photoélectrique……………………………………………..**(1pt)**

2- a) L'énergie d'un photon est inversement proportionnelle à sa longueur d'onde et la relation d'Einstein donne : E(photon) = W + E_C => E_C croit avec E(photon) ; ainsi la radiation qui a la longueur d'onde la plus petite (H_δ) arrache l'électron le plus énergétique. ………………………**(1pt)**

b) $E_c = E(photon) - \frac{hc}{\lambda_{seuil}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{seuil}} = hc(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{seuil}}) \Rightarrow E_c = 8,5\times10^{-20}$ J. **(1pt)**

III- L'échange d'énergie est quantifié ; l'énergie d'une onde électromagnétique est quantifiée (ou la quantification, ou le quantum d'énergie). **(1/2pt)**