DS n°7 Février 2019 TSVT 3

Le problème posé par la nature des « rayons cathodiques » à la fin du XIX^{ème} siècle fut résolu en 1897 par l'Anglais J.J. Thomson : il s'agissait de particules chargées négativement baptisées par la suite « électrons ». La découverte de l'électron valut à Thomson le prix Nobel de physique en 1906.Le défi pour les scientifiques de l'époque fut alors de déterminer les caractéristiques de cette particule : sa charge électrique et sa masse. Dans un premier temps, Thomson lui-même, en étudiant la déviation d'un faisceau d'électrons dans un champ électrique, put obtenir le « rapport e/m_e » de ces deux caractéristiques. C'est cependant l'Américain R. Millikan qui, réalisant de multiples expériences entre 1906 et 1913 sur des gouttelettes d'huile, détermina la valeur de la charge de l'électron.En 1927, G.P. Thomson, le fils de J.J. Thomson, réalise une expérience de diffraction des électrons par des cristaux. Actuellement, les valeurs admises de la masse et de la charge de l'électron sont :

$$m_e = 9{,}1093826\times10^{-31} \text{ kg} \quad \text{et} \quad e = 1{,}602176565\times10^{-19} \text{ C.}$$

Donnée : Constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J.s

1. L'expérience de J.J. Thomson

Lors de ses recherches dans son laboratoire de Cambridge, Thomson conçoit un dispositif dans lequel un faisceau d'électrons est dévié lors de son passage entre deux plaques où règne un champ électrique. La mesure de la déviation du faisceau d'électrons lui permet alors de déterminer le rapport e/m_e. L'étude suivante porte sur le mouvement d'un électron du faisceau qui pénètre entre deux plaques parallèles et horizontales P_1 et P_2, dans une zone où règne un champ électrique $\vec{E}$ supposé uniforme et perpendiculaire aux deux plaques. À l'instant $t = 0$ s, l'électron arrive en un point O avec une vitesse horizontale $\vec{v_0}$. La trajectoire de l'électron dans un repère (O,x,y) est fournie sur **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

L'électron de masse m_e et de charge $q = -e$, dont le mouvement étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen, est soumis à la seule force électrostatique $\vec{F_e}$.

1.1. (2 points) Sur le document de **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, représenter sans souci d'échelle et en justifiant les tracés :

- le vecteur force $\vec{F_e}$ en un point de la trajectoire de l'électron ;
- le vecteur champ électrique $\vec{E}$ en un point quelconque situé entre les plaques P_1 et P_2.

1.2. (1 point) Déterminer les coordonnées ou composantes (v_{ox} et v_{oy})du vecteur vitesse initial ainsi que les coordonnées initiales du vecteur position (x_o et y_o).

1.3 (2 points) En utilisant la deuxième loi de Newton, déterminer les équations horaires $a_x(t)$ $a_y(t)$

1.4 (2 points) En déduire les équations horaires $v_x(t)$, $v_y(t)$, $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de l'électron.

1.5 (1 point) Vérifier que la trajectoire de l'électron a pour équation : $y = \dfrac{e.E}{2.m_e.v_0^2}.x^2$.

1.6 (2 points) À la sortie de la zone entre les plaques P_1 et P_2, l'électron a subi une déviation verticale SH comme l'indique le schéma de **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. On mesure $SH = y_S = 2{,}0\times10^{-2}$ m. Déterminer, dans cette expérience, la valeur du rapport e/m_e de l'électron à l'aide de l'équation trouvée dans la question 1.5. Comparer ce rapport avec le rapport effectué avec les valeurs fournies dans l'énoncé. Conclusion.

Données : Longueur des plaques : $L = 9{,}0\times10^{-2}$ m
Vitesse initiale de l'électron : $v_0 = 2{,}4\times10^{7}$ m.s^{-1}
Valeur du champ électrique : $E = 1{,}6\times10^{4}$ V.m^{-1}

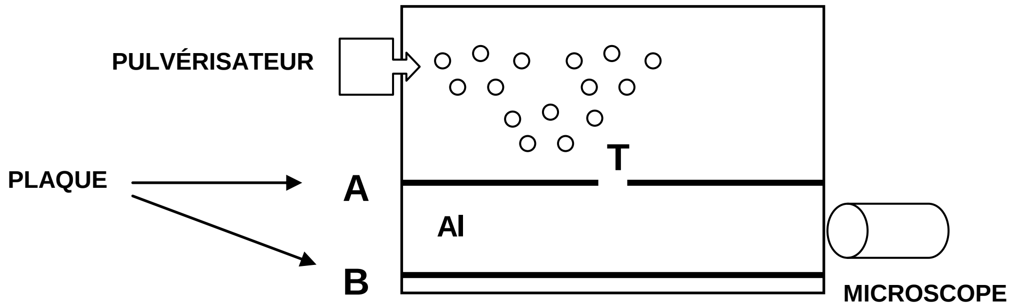
2. L'expérience de Millikan

L'objectif de Millikan est de montrer qu'un corps chargé ne peut porter qu'une charge électrique multiple d'une « charge élémentaire ».

Document 1 : Principe de l'expérience menée en 1910 par Millikan

Millikan pulvérise des gouttelettes d'huile chargées par irradiation entre deux plaques planes où règne un champ électrique et les observe à l'aide d'un microscope.Sa méthode consiste à immobiliser les gouttelettes en augmentant le champ électrique jusqu'à ce que le poids de la gouttelette soit compensé par la force électrostatique. Millikan parvint ainsi à obtenir une valeur approchée de la charge élémentaire $e = 1{,}591\times10^{-19}$ C, très proche de la valeur admise aujourd'hui.

Document 2 : Description d'une expérience menée de nos jours en laboratoire



Un pulvérisateur produit un nuage de gouttelettes d'huile chargées négativement qui tombent dans la chambre supérieure du dispositif. Lorsque l'une d'elles passe à travers le trou T, elle tombe verticalement à une vitesse constante v_1, son poids étant très vite compensé par la force de frottement exercée par l'air. Lors de cette première étape, la chute verticale de la gouttelette dans l'air en l'absence de champ électrique est observée à l'aide d'un microscope et permet de déterminer le rayon *r* de la gouttelette qui n'est pas mesurable directement. Lors d'une deuxième étape, lorsque la gouttelette parvient en bas du dispositif, un champ électrique uniforme est créé entre les plaques A et B. La gouttelette remonte alors verticalement à une vitesse constante v_2.La charge électrique portée par la gouttelette est ensuite déduite des mesures des vitesses v_1 et v_2.

Lors de l'expérience menée au laboratoire, une gouttelette de masse *m* et de charge *q* négative arrive entre les plaques A et B. La poussée d'Archimède est négligée. La gouttelette étudiée est soumise à son poids $\vec{P}$ et à la force de frottement $\vec{f}$ exercée par l'air s'exprimant par la relation $\vec{f} = -6.\pi.\eta.r.\vec{v}$ dans laquelle η est la viscosité de l'air, *r* le rayon de la gouttelette et $\vec{v}$ sa vitesse.

Données : Masse volumique de l'huile : $\rho = 890$ kg.m^{-3}
Valeur du champ de pesanteur : $g = 9{,}8$ N.kg^{-1}
Viscosité de l'air : $\eta = 1{,}8\times10^{-5}$ kg.m^{-1}.s^{-1}

2.1. Chute verticale de la gouttelette

2.1.1. (2 points) Lors de la chute de la gouttelette en l'absence de champ électrique, écrire la relation vectorielle entre la force de frottement et le poids lorsque la vitesse constante v_1 est atteinte. En déduire l'expression de v_1 en fonction de η, *r*, *m* et *g*.

$$\boxed{v_1 = \frac{m.g}{6.\pi.\eta.r}}$$

2.1.2. (2 points) La relation précédente peut également s'écrire $v_1 = \frac{2}{9}.\frac{\rho.g.r^2}{\eta}$ où ρ est la masse volumique de l'huile. Déterminer le rayon r de la gouttelette sachant qu'elle parcourt, lors de sa chute, une distance de 2,11 mm pendant une durée Δt =10,0 s.

2.1.3. (1 point) Afin de faciliter la mesure au microscope, la gouttelette ne doit pas être trop rapide. En déduire s'il est préférable de sélectionner une grosse gouttelette ou au contraire une petite gouttelette.

2.2. Remontée de la gouttelette (1 point)

Un champ électrique uniforme étant établi entre les plaques A et B, la gouttelette subit une force supplémentaire $\overrightarrow{F_e}$ verticale et remonte alors avec une vitesse constante v_2 atteinte presque instantanément. On peut montrer que la charge q de la gouttelette est donnée par la relation :

$$q = -\frac{6.\pi.\eta.r.(v_1 + v_2)}{E}$$

Plusieurs mesures ont été réalisées pour différentes gouttelettes et rassemblées dans le tableau du document 3.

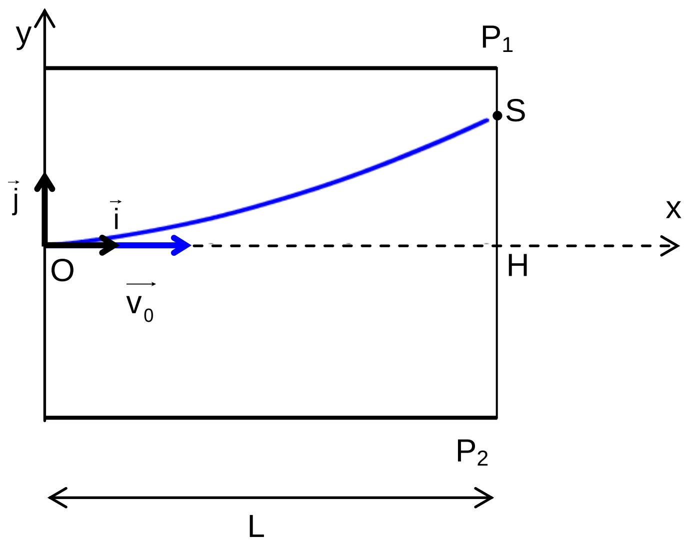
Document 3 : Mesures de v_1 et v_2 pour différentes gouttelettes

Numéro de la gouttelette	Rayon r de la gouttelette (µm)	Vitesse de descente v_1 ($\times 10^{-4}$ m.s^{-1})	Vitesse de remontée v_2 ($\times 10^{-4}$ m.s^{-1})	Charge q de la gouttelette (C)
1	1,2	1,55	1,59	$-6,4 \times 10^{-19}$
2	1,3	1,82	1,81	$-8,0 \times 10^{-19}$
3	1,5	2,42	1,35	$-9,6 \times 10^{-19}$
4	1,6	2,76	3,13	$-1,6 \times 10^{-18}$
5		1,82	2,53	$-9,6 \times 10^{-19}$

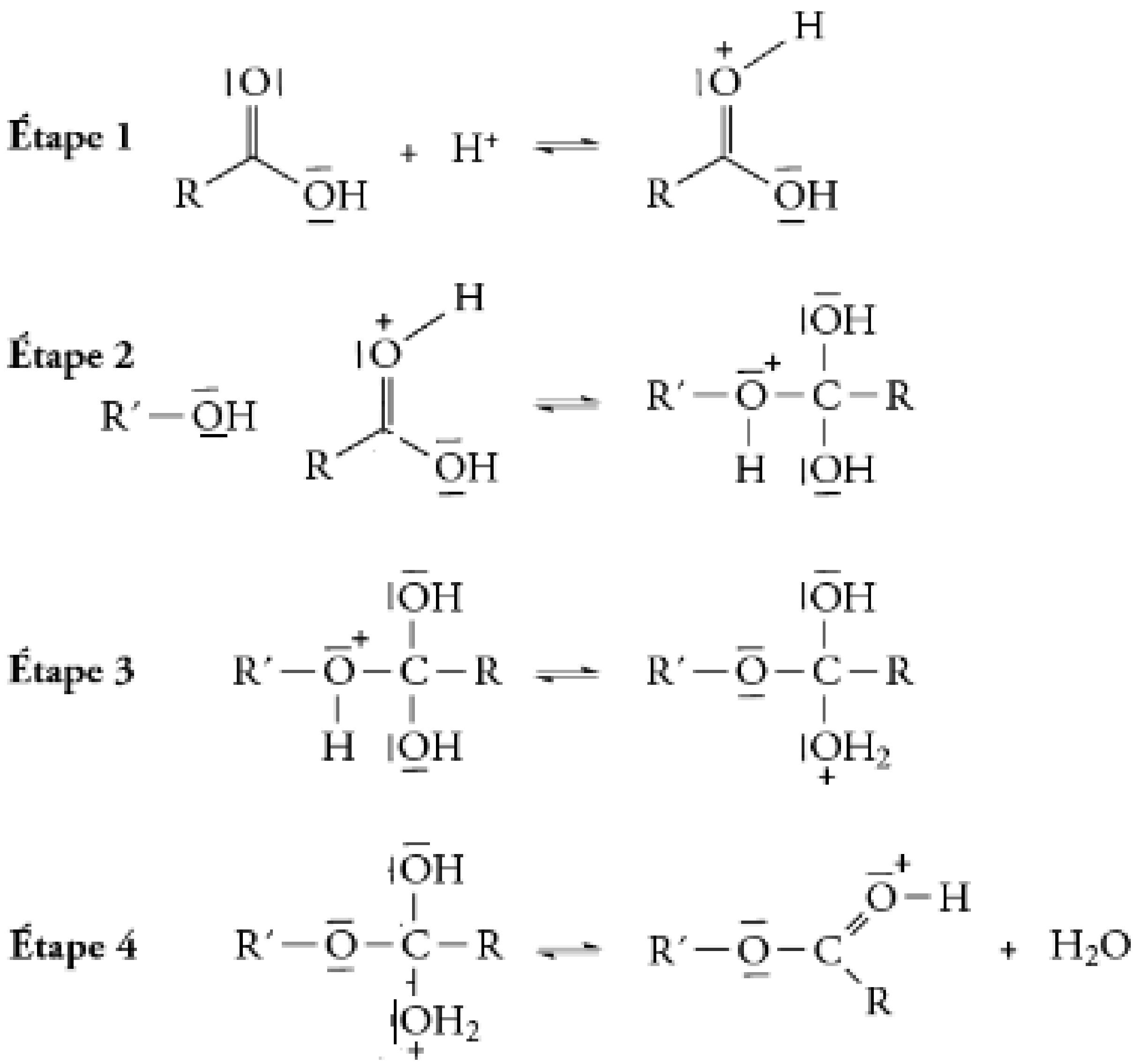
Les gouttelettes n°2 et n°5 du document 3 ont la même vitesse de descente v_1 mais des vitesses de remontée v_2 différentes.
Déterminer sans calcul le rayon de la gouttelette n°5. Justifier.
Pourquoi leurs vitesses de remontée sont-elles différentes ?

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 1.1.



Exercice 2: (4 points) Le mécanisme réactionnel modélisant la réaction de synthèse du propanoate d'éthyle comporte cinq étapes. 4 seulement sont représentées sur la figure ci-dessous. Représenter pour chacune d'elles la ou les flèches correspondant au déplacement des doublets d'électrons.

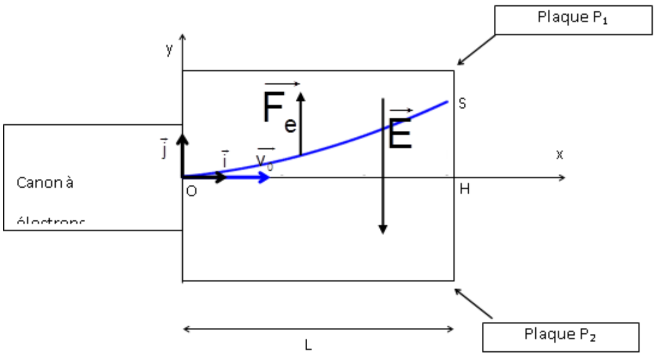


BAC S – Liban 2014

http://labolycee.org

EXERCICE II : LES DÉBUTS DE L'ELECTRON EN PHYSIQUE (9 points)

1.1. (2 points) La trajectoire de l'électron est courbée vers la plaque P_1 à cause de l'effet de la force électrostatique $\vec{F_e}$. On en déduit que cette force a pour sens vers la plaque P_1. Il est indiqué que le champ électrique $\vec{E}$ est perpendiculaire aux deux plaques et on sait que $\vec{F_e} = -e.\vec{E}$. Ainsi le champ $\vec{E}$ a un sens opposé à celui de la force $\vec{F_e}$ et la force $\vec{F_e}$ est également de direction verticale.



1.2. (1 point)

À t = 0, $\overrightarrow{OM_0}\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$ $\quad \vec{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases}$

1.3 (2 points)

On applique la deuxième loi de Newton au système électron, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

$\vec{F_e} = \dfrac{d\vec{p}}{dt} = \dfrac{dm_e.\vec{v}}{dt} = \dfrac{dm_e}{dt}.\vec{v} + m_e.\dfrac{d\vec{v}}{dt}$ comme m_e = Cte alors $\dfrac{dm_e}{dt} = 0$ et il vient $\vec{F} = m_e.\dfrac{d\vec{v}}{dt}$ = $m_e.\vec{a}$

$-e\vec{E} = m_e.\vec{a}$

$\vec{a} = \dfrac{-e\vec{E}}{m_e}$

Le vecteur accélération est de sens opposé au vecteur champ $\vec{E}$.

Par projection suivant les axes du repère, on obtient $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \dfrac{e.E}{m} \end{cases}$

1.4 (2 points) Comme $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$, en primitivant on obtient $\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 + C_1 \\ v_y = \dfrac{e.E}{m_e}.t + C_2 \end{cases}$ où C_1 et C_2 sont des constantes d'intégration qui dépendent des conditions initiales.

À t = 0, $\vec{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases}$, on en déduit que $C_1 = v_0$ et C_2 = 0.

Donc $\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \dfrac{e.E}{m_e}.t \end{cases}$

Soit G le centre d'inertie de l'électron, $\vec{v} = \dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$

donc $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ y = \dfrac{e.E}{2.m_e}.t^2 + C_4 \end{cases}$

À t = 0, le point G est confondu avec l'origine du repère $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \end{cases}$, on en déduit que $C_3 = C_4 = 0$.

Ainsi $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = v_0.t & (1) \\ y = \dfrac{e.E}{2.m_e}.t^2 & (2) \end{cases}$

1.5 (1 point)

D'après (1), on a $t = \dfrac{x}{v_0}$ que l'on reporte dans (2). Il vient $\boxed{y = \dfrac{e.E}{2.m_e}.\dfrac{x^2}{v_0^2}}$ comme indiqué dans le sujet.

1.6 (2 points)

On remplace x et y par les coordonnées du point S (x_S = L ; y_S), alors $y_S = \dfrac{e.E}{2.m_e}.\dfrac{L^2}{v_0^2}$.

On en déduit que $\boxed{\dfrac{e}{m_e} = \dfrac{2.y_S.v_0^2}{E.L^2}}$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \times 2{,}0 \times 10^{-2} \times \left(2{,}4 \times 10^{7}\right)^2}{1{,}6 \times 10^{4} \times \left(9{,}0 \times 10^{-2}\right)^2} =$$

1,8×10^11 C.kg^–1

Calculons la valeur de ce même rapport avec les valeurs admises actuellement :

$$\frac{e}{m_e} = \frac{1{,}602176565 \times 10^{-19}}{9{,}1093826 \times 10^{-31}} =$$

$1{,}7588201 \times 10^{11}$ C.kg^{-1}.

Les deux valeurs sont parfaitement concordantes, seul le nombre de chiffres significatifs change.

2.1.1 (2 points) La gouttelette possède un mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel du laboratoire. D'après la première loi de Newton (principe d'inertie), les forces exercées sur la gouttelette se compensent alors $\vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$.

$\vec{P} = -\vec{f} = 6.\pi.\eta.r.\vec{v_1}$ donc $P = f = m.g = 6.\pi.\eta.r.v_1$

$$\boxed{v_1 = \frac{m.g}{6.\pi.\eta.r}}$$

2.1.2 (2 points)

$$v_1 = \frac{2}{9}.\frac{\rho.g.r^2}{\eta} = \frac{d}{\Delta t}$$

$$r^2 = \frac{d.\eta}{\rho.g.\Delta t}.\frac{9}{2}$$

$$r = \sqrt{\frac{d.\eta}{\rho.g.\Delta t}.\frac{9}{2}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2{,}11 \times 10^{-3} \times 1{,}8 \times 10^{-5}}{890 \times 9{,}8 \times 10{,}0} \times \frac{9}{2}} = 1{,}4 \times 10^{-6}\ \text{m} = \mathbf{1{,}4\ \mu m}$$

2.1.3 (1 point) D'après l'expression $v_1 = \dfrac{2}{9}.\dfrac{\rho.g.r^2}{\eta}$, pour diminuer la vitesse v_1 il faut diminuer le rayon de la gouttelette sachant que les autres paramètres ρ, g et η sont considérés constants.Il est préférable de sélectionner une petite gouttelette.

2.2 (1 point) L'expression de la vitesse de descente est $v_1 = \dfrac{2}{9}.\dfrac{\rho.g.r^2}{\eta}$. Elle montre que deux gouttelettes qui possèdent la même vitesse de descente ont forcément le même rayon, puisque ρ, g et η sont constantes dans les conditions de l'expérience.

La gouttelette 5 possède donc un rayon $r_5 = r_2 = 1{,}3$ µm.En utilisant l'expression de la charge q de la gouttelette $q = -\dfrac{6.\pi.\eta.r.(v_1 + v_2)}{E}$, exprimons la vitesse v_2 de remontée : $-\dfrac{q.E}{6.\pi.\eta.r} = v_1 + v_2$

$$v_2 = -\frac{q.E}{6.\pi.\eta.r} - v_1$$

On remarque alors que si les gouttelettes n'ont pas la même vitesse de remontée, c'est qu'elles possèdent des charges électriques q différentes.

exercice 2 (4 points)