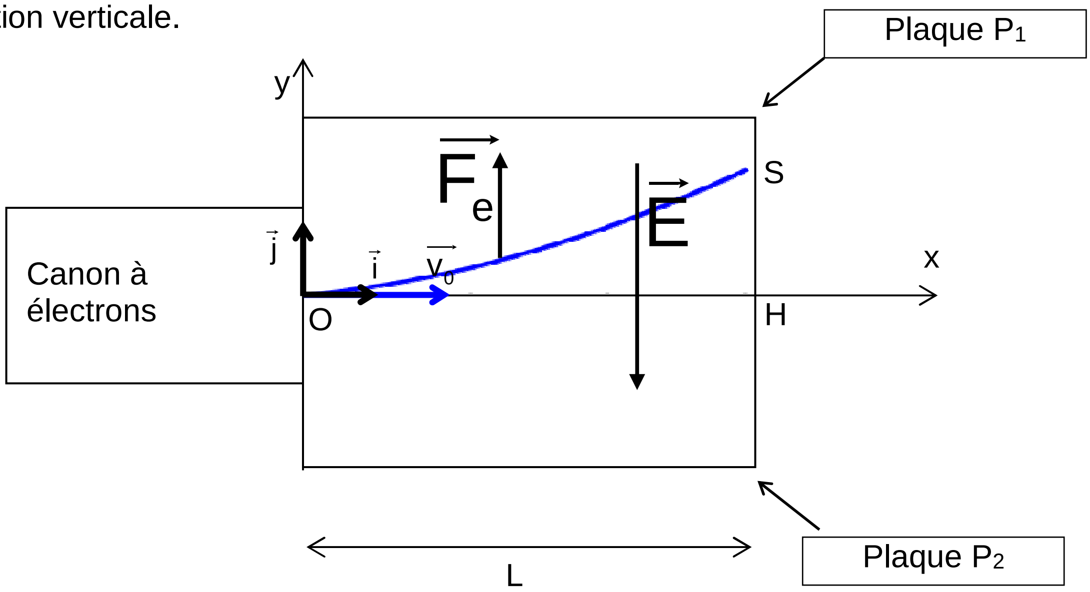
Bac S 2014 Liban EXERCICE II : LES DÉBUTS DE L'ÉLECTRON EN PHYSIQUE (9 points)
Correction © http://labolycee.org

1. L'expérience de J.J.Thomson

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

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

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

$\vec{a} = \frac{-e.\vec{E}}{m_e}$ Le vecteur accélération est de sens opposé au vecteur champ $\vec{E}$.

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

Comme $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, en primitivant on obtient $\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 + C_1 \\ v_y = \frac{e.E}{m_e}.t + C_2 \end{cases}$ 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 $\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{e.E}{m_e}.t \end{cases}$

Soit G le centre d'inertie de l'électron, $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$ donc $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ y = \frac{e.E}{2.m_e}.t^2 + C_4 \end{cases}$

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

1.3. 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.

1.4. 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 $\boxed{\dfrac{e}{m_e} = \dfrac{2.y_S.v_0^2}{E.L^2}}$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2\times 2,0\times 10^{-2}\times\left(2,4\times 10^{7}\right)^2}{1,6\times 10^4\times\left(9,0\times 10^{-2}\right)^2}$$ = $\mathbf{1{,}8\times10^{11}\ C.kg^{-1}}$

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

$\dfrac{e}{m_e} = \dfrac{1,602176565\times 10^{-19}}{9,1093826\times 10^{-31}}$ = $1,7588201\times10^{11}$ C.kg^{-1}.

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

2. L'expérience de Millikan

2.1. Chute verticale de la gouttelette

2.1.1. 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 $\vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$.

$$\vec{P} = -\vec{f} = 6.\pi.\eta.r.\overrightarrow{v_1}$$

donc P = f

m.g = $6.\pi.\eta.r.v_1$

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

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

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

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

$$r = \sqrt{\frac{2,11\times 10^{-3}\times 1,8\times 10^{-5}}{890\times 9,8\times 10,0}\times\frac{9}{2}}$$ = $1,4\times10^{-6}$ m = **1,4 µm**

2.1.3. 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. Remontée de la gouttelette

2.2.1. L'expression de la vitesse de descente est $v_1 = \frac{2}{9}.\frac{\rho.g.r^2}{\eta}$. 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 $q = -\frac{6.\pi.\eta.r.(v_1 + v_2)}{E}$, exprimons la vitesse v_2 de remontée : $-\frac{q.E}{6.\pi.\eta.r} = v_1 + v_2$

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

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.

2.2.2. Numéro de la gouttelette	Valeur absolue |q| de la charge q de la gouttelette	Rapport |q|/e
1	$6,4\times10^{-19}$	4
2	$8,0\times10^{-19}$	5
3	$9,6\times10^{-19}$	6
4	$1,6\times10^{-18}$	10
5	$9,6\times10^{-19}$	6

Le rapport |q|/e est toujours égal à un nombre entier, |q|/e = n soit |q| = n.e.
La charge électrique des gouttelettes est effectivement quantifiée.

2.3. Millikan a observé des gouttelettes chargées électriquement qu'il a immobilisées en faisant varier la valeur du champ électrique tandis que Thompson a observé la déviation d'un faisceau d'électron en maintenant la valeur du champ électrique constante.
On peut aussi remarquer que le protocole de Thompson néglige les effets de la gravitation ce qui ne permet de calculer que le rapport e/m ; tandis que celui de Millikan les prend en compte, ce qui permet de calculer la charge q.

3. Diffraction des électrons
3.1. Cette expérience montre le caractère **ondulatoire** des électrons (le phénomène de diffraction est caractéristique des ondes).

3.2. D'après la relation de de Broglie associant une onde de longueur d'onde λ à toute particule en mouvement : $p = \frac{h}{\lambda}$.
De plus p = m.v.
Alors $m.v = \frac{h}{\lambda}$, finalement $\boxed{\lambda = \frac{h}{m.v}}$

$\lambda = \frac{6,63\times10^{-34}}{9,1093826\times10^{-31}\times4,4\times10^{6}}$ = $\mathbf{1,7\times10^{-10}}$ **m**

3.3. Si les physiciens ont réussi à diffracter les électrons arrivant sur un arrangement régulier d'atomes de nickel, c'est que la distance entre les atomes est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde des électrons. Cette distance est donc d'environ 10^{-10} m.

Remarque : si les électrons avaient été « trop » rapides, la longueur d'onde de l'onde de matière aurait été trop faible pour que les espaces interatomiques diffractent les électrons.