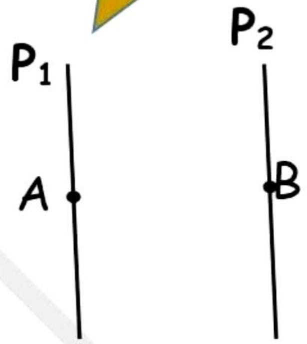
Série : Mouvement dans un champ électrique uniforme

$3^{ème}$ Sc+M+Tech

Exercice n°1 :



Un champ électrique uniforme E règne entre deux plaques verticales (P_1) et (P_2), distantes d'une distance d, portées respectivement aux potentiels électriques V_{P1} et V_{P2} . Un proton de charge q et de masse m pénètre d'un trou A de la plaque (P_1) avec une vitesse supposée nulle est accélère vers un trou B dans la plaque (P_2) .

On néglige l'effet du poids.

1) Préciser la charge du proton. En déduire le signe de charge de chacune des plaques.

2) a) Représenter la force électrostatique exercée sur la particule en mouvement.

b) Représenter sur la figure le vecteur champ électrostatique.

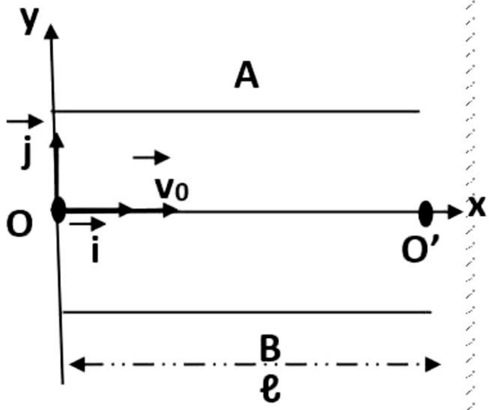
c) Calculer le travail de la force électrostatique de la plaque (P_1) a la plaque (P_2).

3) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique , exprimer la vitesse V_B du proton au point B en fonction de e ,U et m .Calculer sa valeur.

<u>On donne</u> : $|V_{P1}-V_{P2}|=U=500V$; $e=1.6.10^{-19}C$; $m=1.67.10^{-27}$ kg

Exercice n°2 :

Un faisceau de proton homocinétique horizontal de vitesse $V_0=6.10^{5}$ $m.s^{-1}$ pénètre en O origine du repère (O,i,j) entre les armatures horizontales A et B. Les armatures sont de longueur ℓ = 10cm et distantes l'une de l'autre d'une distance d = 8cm. On établit entre A et B une tension $U = V_A-V_B = 2KV$.



1) Indiquer le sens du champ électrique maintenu entre A et B.

2) Chercher les composantes du vecteur accélération de la particule dans le repère (O,i,j) en fonction de e, U , m et d.

3) Etablir les équations horaires du mouvement de la particule selon les axes x 'O x et y´Oy .

4) Etablir l'équation de la trajectoire de la particule dans le repère (O,i,j).

5)Montrer que le faisceau de protons ne heurte aucune plaque. Représenter L'allure de la trajectoire.

e) A quel instant l'électron sort du champ ? Déterminer a cet instant la valeur du vecteur vitesse et l'angle α que fait V avec l'axe x´ Ox

f) Quelles sont les coordonnées du point S de la sortie des électrons du champ.

3) le faisceau d'électrons arrive ensuite sur un écran fluorescent (E) située a la distance

L= 14 cm du centre de symétrie I des plaques .

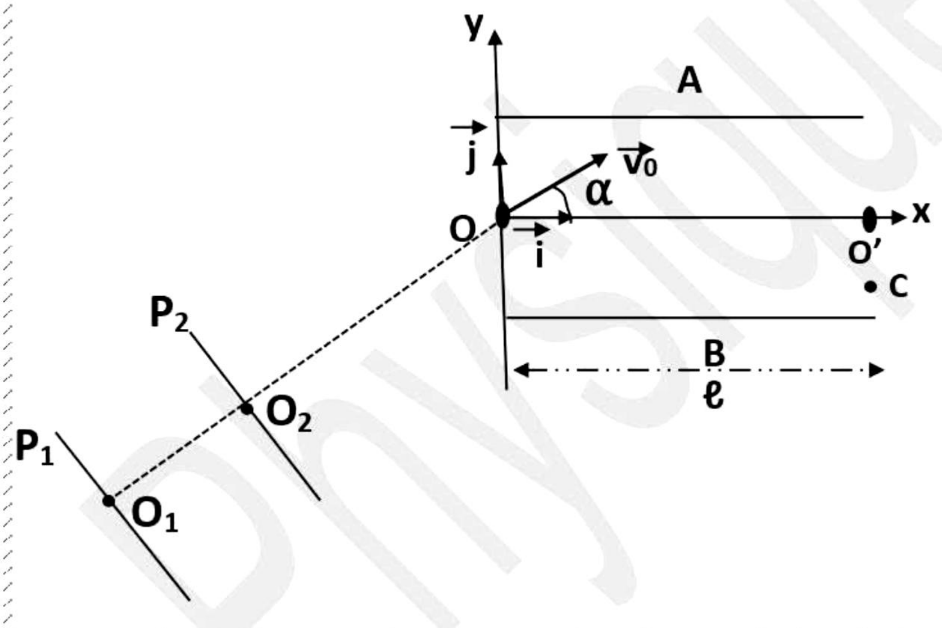
Calculer le déplacement Y= O´ B´ du spot sur l'écran. Préciser la position de B sur

L'écran (en haut ou en bas de O) .

On donne : La masse de l'électron $m= 9.1.10^{-31}$ kg . La charge élémentaire $e= 1.6.10^{-19}$ C .

Exercice n°4 :

1) des électrons de masse $m=9.1.10^{-31}$ kg de vitesse initiale suppose nulle sont émis a travers un orifice O_1 d une plaque (P_1) . Les électrons arrivent ensuite a la plaque (P_2) et la traverse par l ouverture O_2 avec une vitesse V_0 telle que $V_0=5.10^6$ m.s^{-1} . On établit entre les plaques une tension U_0. On néglige l'effet du poids sur le mouvement .



a- Indiquer le signe des charges des plaques (P_1) et (P_2) .

b- Déterminer la nature du mouvement des électrons entre les plaques (P_1) et (P_2).

En déduire la valeur de U_0.

c- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer le travail de la force

électrostatique de la plaque (P_1) à la plaque (P_2).

d- Déduire la valeur de la tension U_0.

2) Le faisceau homocinétique d'électrons obtenu pénètre en O avec une vitesse V_0 inclinée

6) A quel instant le proton sort du champ ? Déterminer à cet instant la valeur du vecteur vitesse et l'angle α que fait V avec l'axe x´O x.

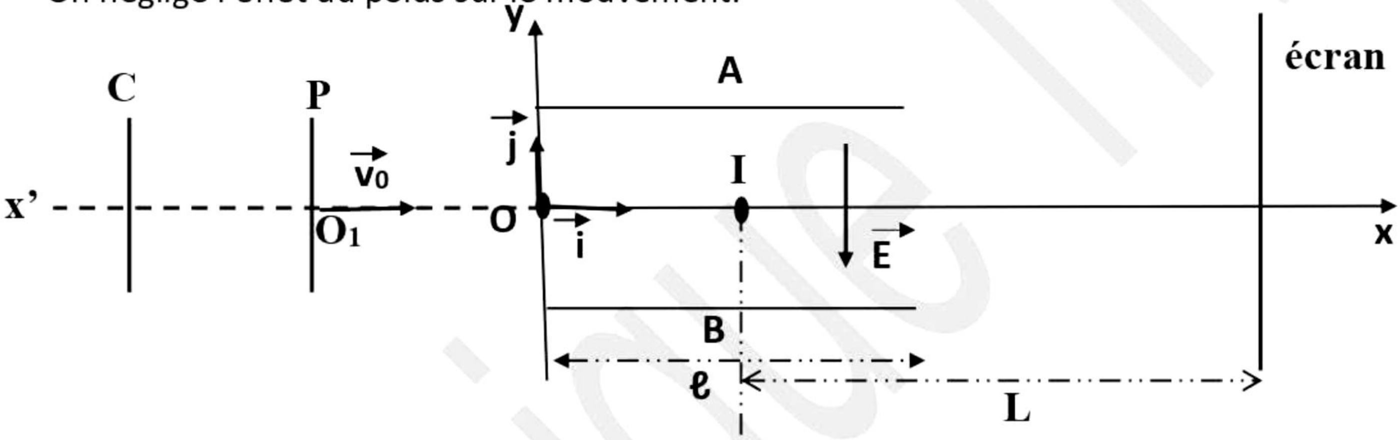
On donne : La masse d'un proton $m=1.67.10^{-27}$kg ; $e= 1.6.10^{-19}$ C

Exercice n°3 :

La cathode C d'un oscillographe électronique émet des électrons dont la vitesse V_C à la sortie du métal est supposée nulle. Les électrons arrivent ensuite sur l'anode (P) et la traverse par l'ouverture O_1 avec une vitesse V_0 telle que $||V0||=2.10^{7}$ $m.s^{-1}$.

On établit une différence de potentiel $U_0=V_P-V_C$ entre l'anode et la cathode.

On néglige l'effet du poids sur le mouvement.



1) a) Déterminer la nature du mouvement des électrons de la cathode C à l'anode P.

b) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique , déterminer le travail de la force électrostatique de la cathode (C) à l'anode (P).

c) Déduire la valeur de la tension U_0.

d) Quelle est la nature du mouvement des électrons après la sortie de l'orifice O_1 de l'anode .

2) Aprés la sortie de O_1, les électrons pénètrent en O a l'origine du temps entre les armatures horizontales A et B. Les armatures de longueur ℓ = 8cm et distantes l'une de l'autre de 5cm. On établit entre A et B une tension : $U= V_A-V_B = 450V$.

a) Déterminer la valeur du champ électrique maintenu entre A et B .

b) Chercher les composantes du vecteur accélération de la particule dans le repère (O,i,j).

c) Etablir les équations horaires du mouvement de la particule selon les axes x´ O x et y´ O y.

d) Etablir l'équation de la trajectoire de la particule dans le repère (O,i,j) d'un angle =30° par rapport à l'horizontale dans la région délimitée par les plaques horizontales A et B de longueur L=10cm .

a- Quel est le sens du champ électrostatique E entre les plaques A et B pour que le faisceau d'électrons passe par le point C situe à 2cm au-dessous de O´.

b- Déterminer dans le repère (O,i,j) les composantes de l'accélération a et du vecteur vitesse V du mouvement d'un électron entre les plaques A et B.

C- Etablir les expressions des équations horaires du mouvement suivant les axes x´ O x et y´ O y. En déduire l'équation de la trajectoire en fonction de V_0 , α , e, et E.

d- Calculer la valeur de E qui permet de réaliser la sortie de C.

3) Les particules sortent par le point C .

a- Déterminer la valeur de la vitesse au sommet S de la trajectoire dans le champ «le sommet est le point le plus haut de la trajectoire ».

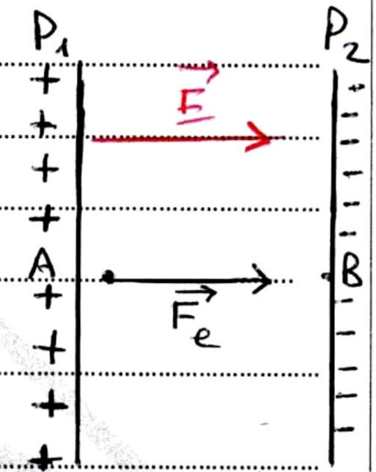
b- Déterminer les composantes normales $\mathbf{a_N}$ et tangentielle $\mathbf{a_T}$ de l'accélération d'un électron au sommet de la trajectoire.

c- Déduire le rayon de courbure de la trajectoire à ce point .

<u>On donne</u> : La charge élémentaire $e=1.6.10^{-19}$ C .

Exerc

Exercice 1 :



1) deux charges de signes contraires s'attirent, le proton de charge (+) est attiré par la plaque P_2 de charge (−)

P_1 est de charge (+).

2) a/ la vitesse initiale est nulle, le mouvement est de même sens que la force $\vec{F_e}$

$\vec{F_e}$ est dirigée de P_1 vers P_2.

b/ $\vec{F_e} = q.\vec{E}$ avec $q > 0$ alors $\vec{F_e}$ et $\vec{E}$ sont de même sens. le champ $\vec{E}$ est dirigé de P_1 vers P_2.

c/ $W_{A \to B}(\vec{F_e}) = q.(V_{P_1} - V_{P_2}) = q.U$

$= 1{,}6.10^{-19} \times 500 = 8.10^{-17}\ J$

3) Théorème d'énergie cinétique :

$$\Delta E_{C\,A \to B} = W_{A \to B}(\vec{F_e}) = q.U$$

$$\frac{1}{2} m V_B^2 - \frac{1}{2} m V_A^2 = q.U$$

$$V_A = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} m V_B^2 = q.U \Rightarrow V_B^2 = \frac{2q.U}{m}$$

$$V_B = \sqrt{\frac{2q.U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}6.10^{-19} \times 500}{1{,}67.10^{-27}}} = 3{,}09.10^{5}\ m.s^{-1}$$

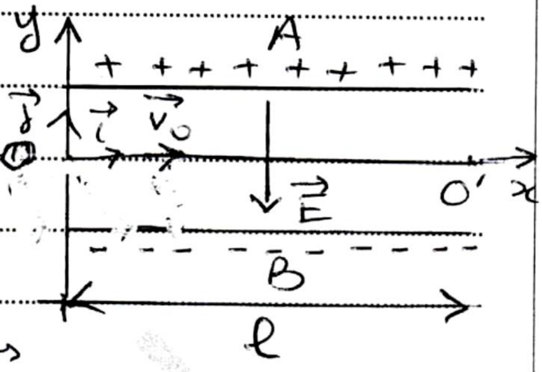
Exercice : 2

$V_0 = 6.10^5\ m.s^{-1}$; $\ell = 0{,}1\ m$; $d = 8\ cm = 0{,}08\ m$; $U = V_A - V_B = 2\ kV$

$m = 1{,}67.10^{-27}\ Kg$; $e = 1{,}6.10^{-19}\ C$ (charge du proton).

1) On a : $V_A - V_B > 0 \Rightarrow V_A > V_B$. Le sens de $\vec{E}$ est dirigé de la plaque (+) A vers la plaque (−) B.

2) D'après la relation fondamentale de la dynamique $\sum \vec{F} = m.\vec{a}$



$\vec{F} = m.\vec{a} \Rightarrow q.\vec{E} = m.\vec{a}$

$\vec{a} = \frac{q.\vec{E}}{m}$ avec $q = e$ et $\vec{E} = -\|\vec{E}\|\vec{j}$

car $\vec{E}$ et $\vec{j}$ sont de sens contraire

donc $\vec{a} = -\frac{e\|\vec{E}\|}{m} = -\frac{e.U}{m.d}\vec{j}$

$\Rightarrow \vec{a}\begin{cases} 0 \\ -\frac{eU}{m.d} \end{cases}$

3) $\vec{V}$ est la primitive de $\vec{a}$ donc $\vec{V}\begin{cases} V_x = cte_1 \\ V_y = -\frac{eU}{m.d}t + cte_2 \end{cases}$

à l'instant $t=0$; $\vec{V} = \vec{V_0} = V_0.\vec{i} + 0.\vec{j}$

$\Rightarrow cte_1 = V_0$ et $cte_2 = 0$ d'où :

$\vec{V}\begin{cases} V_x = V_0 \\ V_y = \frac{-e.U}{m.d}t \end{cases}$

$\vec{OM}$ est la primitive de $\vec{v}$ alors $\vec{OM}\begin{cases} x = V_0 t + cte_3 \\ y = -\frac{1}{2}\frac{eU}{m.d}t^2 + cte_4 \end{cases}$

à l'instant $t=0$, le proton est en $O(0,0)$ alors $cte_3 = cte_4 = 0$

$\vec{OM} = V_0 t.\vec{i} - \left(\frac{1}{2}\frac{e.U}{m.d}t^2\right)\vec{j} \Rightarrow \begin{cases} x = V_0 t \\ y = -\frac{1}{2}\frac{eU}{m.d}t^2 \end{cases}$

4°) $x = V_0 t \Rightarrow t = \frac{x}{V_0}$

$\Rightarrow y = -$

$y = -\frac{1}{2}\frac{e.U}{m.d}\left(\frac{x}{V_0}\right)^2 \Rightarrow y = -\frac{e.U.}{2m.d.V_0^2}x^2$

5°) à la sortie S du champ : $x_S = l = 0{,}1\,m$

$y_S = -\frac{1}{2}\frac{e.U}{mV_0^2 d}.l^2 = -\frac{1}{2} \times \frac{1{,}6.10^{-19} \cdot 2000 \times (0{,}1)^2}{1{,}67.10^{-27} \times 0{,}08 \times (6.10^5)^2} = -3{,}3.10^{-2}\,m$

$|y_S| < \frac{d}{2}$ alors le faisceau de protons ne heurte aucune plaque.

d/ $x = V_0 t \Rightarrow t = \frac{}{}$; $y = \frac{1}{2}\frac{e.U}{m.d}\frac{x^2}{V_0^2}$

$\Rightarrow y = \frac{1}{2}\frac{e.U}{m.d.V_0^2}x^2 = \frac{1 \times 1{,}6.10^{-19} \times 450}{2 \times 9{,}1.10^{-31} \times 0{,}05 \times (2.10^7)^2}x^2 = 1{,}98x^2$

$\Rightarrow y = 1{,}98x^2$

e/ On a : $t = \frac{x}{\|\vec{V_0}\|}$; à la sortie du champ $x = \ell$

$t_s = \frac{\ell}{\|\vec{V_0}\|} = \frac{8.10^{-2}}{2.10^7} = 4.10^{-9}$ s

on a $tg\alpha = \frac{V_y}{V_x}$; $V_x = \|\vec{V_0}\| = 2.10^7$ m.s^{-1}

$V_y = \frac{e.U}{m.d}t_s = \frac{1{,}6.10^{-19} \times 450}{9{,}1.10^{-31} \times 0{,}05} \times 4.10^{-9}$

$= 6{,}3.10^6$ m.s^{-1}

$tg\alpha = \frac{V_y}{V_x} = \frac{6{,}3.10^6}{2.10^7} = 0{,}315 \Rightarrow \alpha \simeq 17{,}5°$.

$\|\vec{V}\| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{(2.10^7)^2 + (6{,}3.10^6)^2} = 2{,}1.10^7$ m.s^{-1}

f/ à la sortie du champ $x_s = \ell = 8.10^{-2}$ m

$y = 1{,}98x_s^2 = 1{,}98.(8.10^{-2})^2 = 1{,}26.10^{-2}$ m $= 1{,}26$ cm

3.) $L = 14$ cm $= 14.10^{-2}$ m du centre de symétrie I des plaques à l'écran E.

la tangente à la courbe parabolique à l'abscisse $x = \ell$ coupe l'axe (x'Ox) au point I d'abscisse $\frac{\ell}{2}$.

$tg\alpha = \frac{O'B'}{IO'}$ avec $IO' = L = 14$ cm

$O'B' = L.tg\alpha = 14 \times 0{,}315 = 4{,}4$ cm.

B' est en haut de O'

6.) $x = V_0 t$ or à la sortie $x = \ell \Rightarrow \ell = V_0 t \Rightarrow t = \frac{\ell}{V_0}$

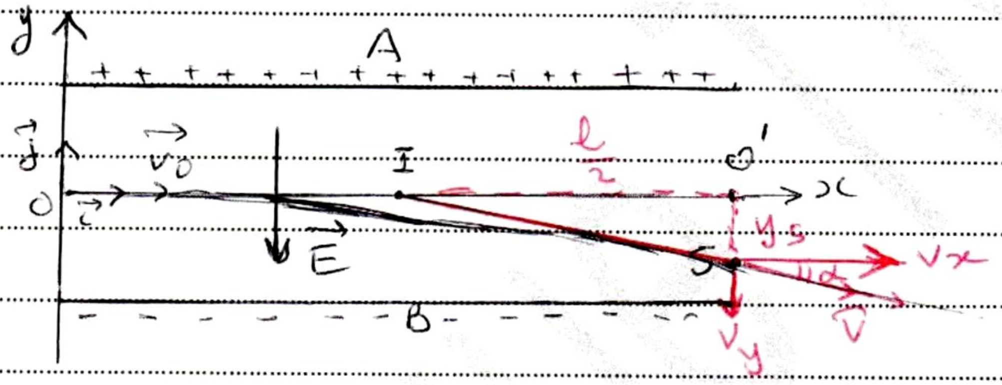
$t = \frac{0{,}1}{6.10^5} = 1{,}67.10^{-7}\,s$

on a : $V_x = \|\vec{V}_0\| = 6.10^5\,m.s^{-1}$

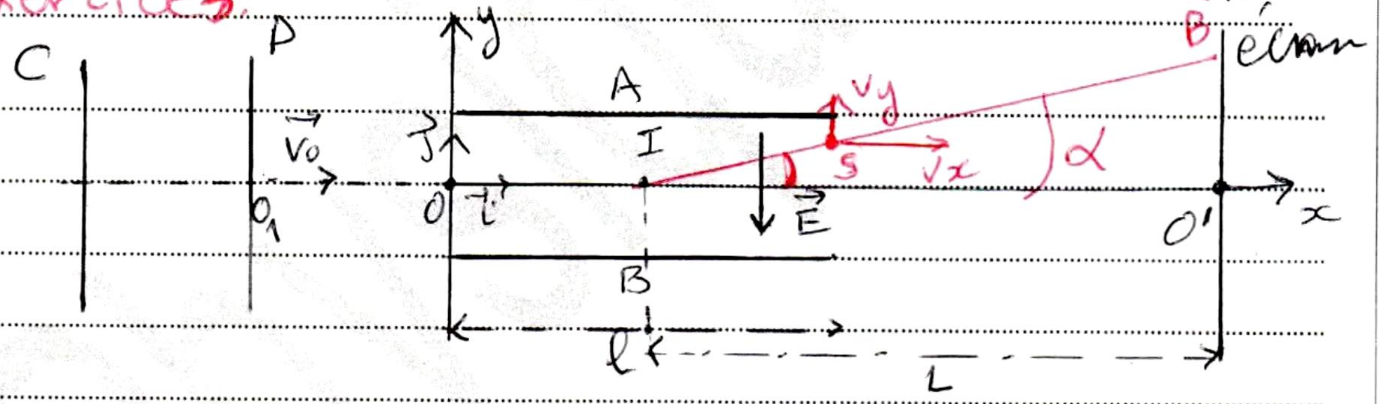
$V_y = -\frac{eU}{m.d}\,t = -\frac{1{,}6.10^{-19} \times 2000}{1{,}67.10^{-27} \times 0{,}08} \times 1{,}67.10^{-7} = 4.10^5\,m\,s^{-1}$

$\|\vec{V}\| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{(6.10^5)^2 + (4 \times 10^5)^2} = 7{,}2.10^5\,m.s^{-1}$

$tg\,\alpha = \frac{\|\vec{V}_y\|}{\|\vec{V}_x\|} = \frac{4.10^5}{6.10^5} = 0{,}66 \Rightarrow \alpha = 33°$



Exercice 3:



$\|\vec{V}_0\| = 2.10^7\,m.s^{-1}$; $U_0 = V_P - V_C$; $q = -e = -1{,}6.10^{-19}\,C$

$m = 9{,}1.10^{-31}\,Kg$.

1) a) L'électron est soumis à $\vec{F_e} = q.\vec{E}$

D'après la R.F.D ; $\vec{F} = m.\vec{a} \Rightarrow q.\vec{E} = m.\vec{a}$

$\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$ donc $\|\vec{a}\| = \frac{|q|}{m}.\|E\| = \frac{e.U_0}{m.d}$

l'accélération est constante, le mvt est uniformément variée

b) $\Delta E_c = W_{C\to O_1}(\vec{F_e}) \Rightarrow \frac{1}{2}mV_{O_1}^2 - \frac{1}{2}mV_C^2 = \frac{1}{2}mV_{O_1}^2$

$\Rightarrow W(\vec{F_e}) = \frac{1}{2}mV_{O_1}^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}1 \times 10^{-31} \times (2.10^7)^2 = \boxed{1{,}82.10^{-16}\,J}$.

c) $W(\vec{F_e}) = q(V_c - V_p) = -e(-U_0) = e.U_0$

$U_0 = \frac{W(\vec{F_e})}{e} = \frac{1,82.10^{-16}}{1,6.10^{-19}} = \underline{1137 V}$

d) Après la sortie du champ, les électrons ne sont pas soumis à des forces (le poids est négligeable).

$\Rightarrow$ Entre O_1 et O le mvt des électrons est rectiligne uniforme. (vitesse constante).

2°) $\ell = 8cm = 0,08m$; $d = 5cm = 0,05m$ $U = V_A - V_B = 450V$

a/ $\|\vec{E}\| = \frac{U}{d} = \frac{450}{5.10^{-2}} = 9000 V.m^{-1}$

b.)

d'après la R.F.D : $\vec{F_e} = m.\vec{a}$

$\Rightarrow q.\vec{E} = m.\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q.\vec{E}}{m}$; $q = -e$

$\vec{E} = -\|\vec{E}\|.\vec{j}$

$\Rightarrow \vec{a} = \frac{e\|\vec{E}\|}{m}\vec{j} \Rightarrow \vec{a}\begin{cases} 0 \\ \frac{e\|\vec{E}\|}{m} \end{cases}$

c/ $\vec{a}\begin{cases} 0 \\ \frac{e\|\vec{E}\|}{m} = \frac{eU}{md} \end{cases} \Rightarrow \vec{V}\begin{cases} \underline{\underline{cte}}_1 \\ \frac{eU}{md}t + \underline{\underline{cte}}_2 \end{cases}$

$\underline{\underline{cte}}_1 = \|\vec{V_0}\|$ et $\underline{\underline{cte}}_2 = 0 \Rightarrow \vec{V}\begin{cases} \|\vec{V_0}\| = V_x \\ \frac{eU}{md}t \end{cases}$

$\vec{OM}\begin{cases} x \\ y \end{cases}$ est la primitive de $\vec{V} \Rightarrow \vec{OM}\begin{cases} \|\vec{V_0}\|t + \underline{\underline{cte}}_3 \\ \frac{1}{2}\frac{eU}{md}t^2 + \underline{\underline{cte}}_4 \end{cases}$

à $t = 0$; l'électron est en $O(0,0)$ $\Rightarrow \vec{OM}\begin{cases} x = V_0 t \\ y = \frac{1}{2}\frac{e.U}{m.d}t^2 \end{cases}$

Exercice 4 :

1) $m = 9{,}1.10^{-31}$ Kg $\|\vec{V_0}\| = 5.10^{6}\ m.s^{-1}$

a) La plaque (P_1) est chargée négativement et la plaque P_1 est chargée (+) car les charges (−) sont attirées par la plaque positive (+).

b) D'après la R.F.D $\sum \vec{F} = m.\vec{a}$

$\vec{F} = m.\vec{a} = q.\vec{E} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}.\vec{E} \Rightarrow \|\vec{a}\| = \frac{|q|}{m}.\|\vec{E}\|$

$\Rightarrow \|\vec{a}\| = \frac{|q|.U_0}{m.d} = \frac{e.U_0}{m.d}$

L'accélération est constante, le mvt est uniformément varié.

c) D'après le théorème d'énergie cinétique :

$\Delta E_{c(O_1-O_2)} = W_{/\vec{F}(O_1-O_2)}$

$W(\vec{F})_{O_1 \to O_2} = \frac{1}{2} m V_{O_2}^2 - \frac{1}{2} m V_{O_1}^2 = \frac{1}{2} m V_{O_2}^2 - 0$

$= \frac{1}{2} \times 9{,}1.10^{-31} \times (5.10^{6})^2 = 1{,}14.10^{-17}$ J.

d) $W(\vec{F}) = |q|.U_0 = e.U_0$

$\Rightarrow U_0 = \frac{W(\vec{F})}{e} = \frac{1{,}14.10^{-17}}{1{,}6.10^{-19}} = 71\ V$

2) a) La force électrostatique $\vec{F'}$ doit être orientée vers le bas alors le champ $\vec{E'}$ est orienté vers le haut (de B vers A) car $\vec{F'}$ et $\vec{E'}$ sont de sens contraire puisque la charge de l'électron est négative (−).

b) $\vec{F'} = m.\vec{a} = q.\vec{E'} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}.\vec{E'} = \frac{q}{m}\|\vec{E'}\|.\vec{j}$

$= \frac{-e}{m}\|\vec{E'}\|.\vec{j}$

$\Rightarrow \vec{a} \begin{cases} 0 \\ \frac{-e\,\|\vec{E'}\|}{m} \end{cases}$

$\vec{V}$ est la primitive de $\vec{a}$ alors $\vec{V}\begin{cases} cte_1 \\ \dfrac{-e\|\vec{E'}\|}{m}t + cte_2 \end{cases}$

à $t=0$; $\vec{V_0}\begin{cases}\|\vec{V_0}\|\cos\alpha \\ \|\vec{V_0}\|\sin\alpha\end{cases}$ alors $\vec{V}\begin{cases}\|\vec{V_0}\|\cos\alpha \\ -\dfrac{e\|\vec{E'}\|}{m}t + \|\vec{V_0}\|\sin\alpha\end{cases}$

c- $\vec{OM}$ est la primitive de $\vec{V}$:

$$\vec{OM}\begin{cases}\|\vec{V_0}\|\cos\alpha\, t + cte_3 \\ -\dfrac{1}{2}\dfrac{e\|\vec{E'}\|}{m}t^2 + \|\vec{V_0}\|\sin\alpha\, t + cte_4\end{cases}$$

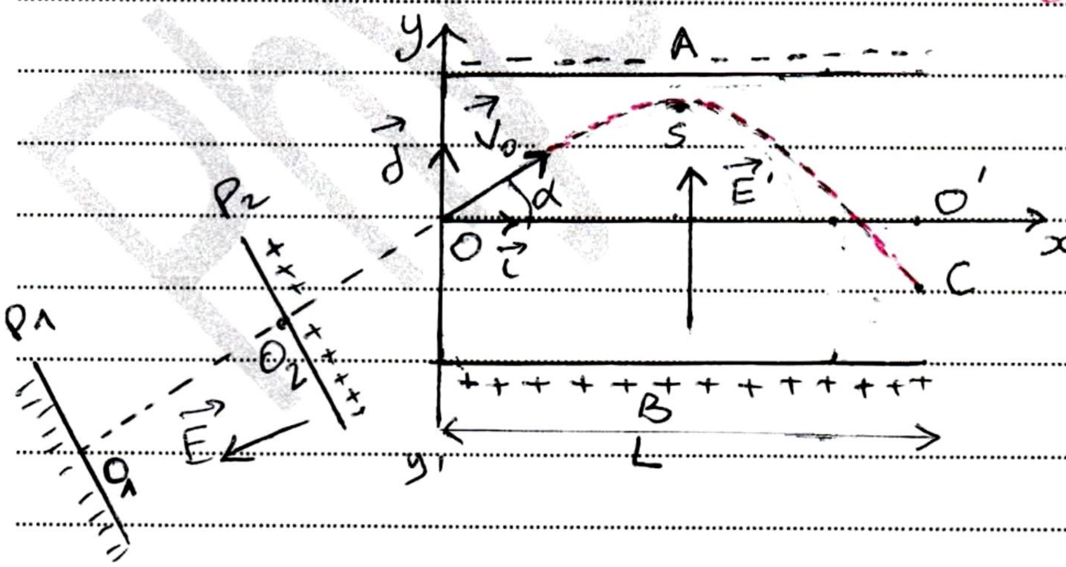
à $t=0$, l'électron est en $O(0,0)$ $\Rightarrow$

$$\vec{OM}\begin{cases}x = \|\vec{V_0}\|\cos\alpha\, t & (1) \\ y = -\dfrac{1}{2}\dfrac{e\|\vec{E'}\|}{m}t^2 + \|\vec{V_0}\|\sin\alpha\, t\end{cases}$$

$(1) \Rightarrow t = \dfrac{x}{\|\vec{V_0}\|\cos\alpha}$

$$y = -\frac{1}{2}\frac{e\|\vec{E'}\|}{m}\left(\frac{x}{\|\vec{V_0}\|\cos\alpha}\right)^2 + \|\vec{V_0}\|\sin\alpha\left(\frac{x}{\|\vec{V_0}\|\cos\alpha}\right)$$

$$y = -\frac{1}{2}\frac{e\|\vec{E'}\|}{m V_0^2\cos^2\alpha}\cdot x^2 + x\,\mathrm{tg}\,\alpha$$ équation du trajectoire



d) Au point C ; $y_C = -\frac{1}{2}\frac{e\|\vec{E}'\|}{m}\frac{x_C^2}{\|\vec{v}_0\|^2\cos^2\alpha} + x_C\, tg\,\alpha$

$x_C = L = 0{,}1\,m$ $\quad y_C = -2\,cm = -0{,}02\,m$

(données)

$\Rightarrow x_C\, tg\,\alpha - y_C = \frac{1}{2}\frac{e\|\vec{E}'\|}{m}\frac{x_C^2}{\|\vec{v}_0\|^2\cos^2\alpha}$

$\Rightarrow (x_C\, tg\,\alpha - y_C)\, m\|\vec{v}_0\|^2\cos^2\alpha = \frac{1}{2} e\, x_C^2\, \|\vec{E}'\|$

$$\|\vec{E}'\| = \frac{2(x_C\, tg\alpha - y_C)\cdot m\|\vec{v}_0\|^2\cdot\cos^2\alpha}{e\, x_C^2}$$

$$= \frac{2(0{,}1\times 0{,}577 + 0{,}02)\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\times(5\cdot 10^6)^2\times(0{,}866)^2}{1{,}6\cdot 10^{-19}\times(0{,}1)^2}$$

$= 1657\ V\cdot m^{-1}$

3) a/ Au sommet S la vitesse est horizontale

$v_S = \|\vec{v}_0\|\cdot\cos\alpha = 5\cdot 10^6\times 0{,}866 = 4{,}33\cdot 10^6\ m\cdot s^{-1}$

b/ Au sommet S, la vitesse est $\perp$ à l'accélération $\vec{a}$

$a_N = \|\vec{a}\| = \frac{e\|\vec{E}'\|}{m} = \frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\times 1657}{9{,}1\cdot 10^{-31}} = 2{,}9\cdot 10^{14}\ m\cdot s^{-2}$

la composante tangentielle $a_t = 0$

c/ $a_N = \frac{V_S^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V_S^2}{a_N} = \frac{(4{,}33\cdot 10^6)^2}{2{,}9\cdot 10^{14}} = 6{,}46\cdot 10^{-2}\,m$

$R = 0{,}065\ m = 6{,}5\ cm$