Terminale	Série 1 : Mouvement dans un champs électrique uniforme	OMRI Rafik

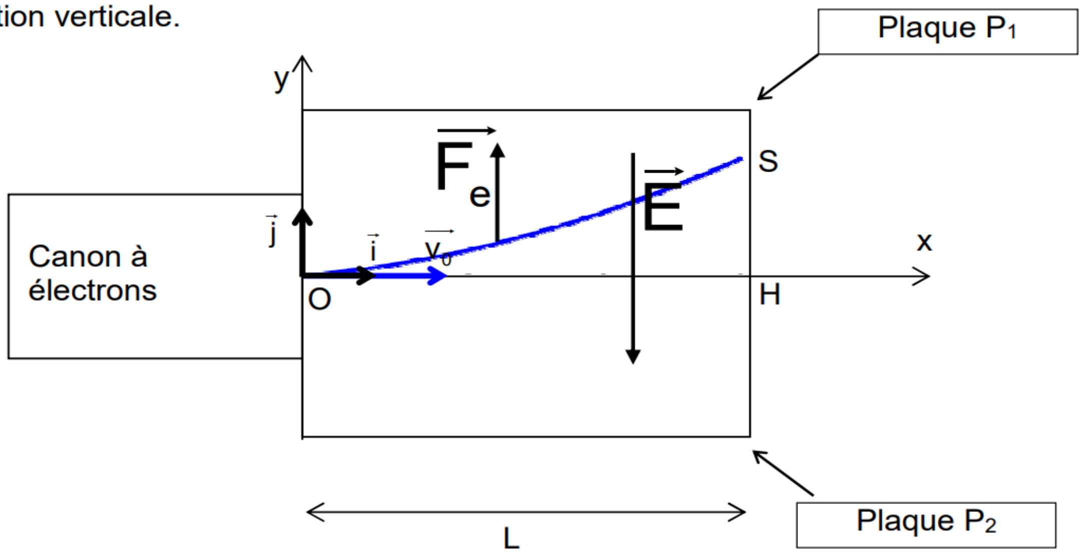
Exercice N°1 :

Correction

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

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

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

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

donc $P = f$

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

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

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

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

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

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

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 $v_1 = \dfrac{2}{9}.\dfrac{\rho.g.r^2}{\eta}$. 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 $r_5 = r_2 = 1{,}3\ \mu m$.

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.

Exercice N°2 :

1. Détecteur optique de fumées

1.1. $E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$

$$\lambda = h.\frac{c}{E}$$

$\lambda = 6{,}63\times10^{-34}\times\frac{3{,}00\times10^{8}}{1{,}4\times1{,}6\times10^{-19}}$ = $8{,}9\times10^{-7}$ m = $8{,}9\times10^{2}$ nm > 800 nm ce qui correspond à un rayonnement infrarouge.

1.2. Dans le cas des ondes électromagnétiques, le phénomène de **diffraction** de la lumière peut se produire lorsqu'elle rencontre des obstacles de taille allant jusqu'à *a* = 100. λ.
La longueur d'onde du rayonnement émis par la DEL vaut $\lambda = 8{,}9\times10^{2}$ nm = 0,89 µm.
Ainsi il y a diffraction pour des particules de taille allant jusqu'à 89 µm.
Ce qui est le cas avec les particules de fumée dont la taille est comprise entre 0,1 µm et 100 µm.

1.3. La figure 1 montre que la DEL émettrice n'est pas placée face au récepteur photosensible. De plus les parois de la cavité absorbent le rayonnement IR. Seule la présence de fumées en diffractant la lumière vers le récepteur permet de déclencher l'alarme.

2. Détecteur ionique de fumées

2.1. Poids de la particule α : $P = m_\alpha . g$
$P = 6{,}64\times10^{-27}\times 9{,}81 = 6{,}51\times10^{-26}$ N

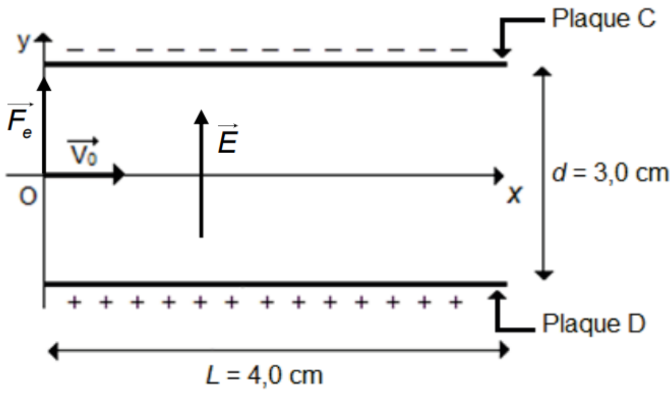
Force électrostatique : $F_e = q_\alpha.E = 2e.\frac{U}{d}$

$F_e = 2\times1{,}6\times10^{-19}\times\frac{9{,}0}{3{,}0\times10^{-2}} = 9{,}6\times10^{-17}$ N

On vérifie que la force électrique est très largement supérieure à la force poids.

2.2. Dans un condensateur plan, le champ électrique $\vec{E}$ a une direction perpendiculaire aux plaques, et un sens orienté vers la plaque chargée négativement.
Pour la force électrostatique, comme $\vec{F_e} = 2.e.\vec{E}$, elle possède les mêmes sens et direction que $\vec{E}$.

Remarque : $\vec{E}$ et $\vec{F_e}$ sont représentés sans soucis d'échelle, et chaque vecteur possède sa propre échelle.



2.3. On applique la **deuxième loi de Newton** au système {particule α}, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

$\vec{F_e} = \dfrac{d\vec{p}}{dt} = \dfrac{dm_\alpha.\vec{v}}{dt} = \dfrac{dm_\alpha}{dt}.\vec{v} + m_\alpha.\dfrac{d\vec{v}}{dt}$ comme m_α = Cte alors $\dfrac{dm_\alpha}{dt} = 0$

et il vient $\vec{F_e} = m_\alpha.\dfrac{d\vec{v}}{dt}$ = $m_\alpha.\vec{a}$

$$2.e.\vec{E} = m_\alpha.\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{2.e.\vec{E}}{m_\alpha}$$

Le vecteur accélération a même sens et même direction que le vecteur champ $\vec{E}$.

Par projection suivant les axes du repère, on obtient $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \dfrac{2.e.E}{m_\alpha} = \dfrac{2.e.U}{m_\alpha.d} \end{cases}$

Comme $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$, en primitivant on obtient $\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 + C_1 \\ v_y = \dfrac{2.e.U}{m_\alpha.d}.t + C_2 \end{cases}$ 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 $\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \dfrac{2.e.U}{m_\alpha.d}.t \end{cases}$

Soit G le centre d'inertie de la particule α, $\vec{v} = \dfrac{d\vec{OG}}{dt}$ donc $\vec{OG}\begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ y = \dfrac{2.e.U}{2.m_\alpha.d}.t^2 + C_4 \end{cases}$,

ainsi $\vec{OG}\begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ y = \dfrac{e.U}{m_\alpha.d}.t^2 + C_4 \end{cases}$.

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

Ainsi $\vec{OG}\begin{cases} x = v_0.t & (1) \\ y = \dfrac{e.U}{m_\alpha.d}.t^2 & (2) \end{cases}$

2.4. D'après l'équation horaire (1), $t = \dfrac{x}{v_0}$. Avec $x = L$, on a $t = \dfrac{L}{v_0}$.

On remplace t par cette expression dans l'équation horaire (2) : $y_L = \frac{e.U}{m_\alpha.d}.\left(\frac{L}{v_0}\right)^2$.

$y_L = \frac{1{,}6\times10^{-19}\times9{,}00}{6{,}64\times10^{-27}\times3{,}0\times10^{-2}}.\left(\frac{4{,}0\times10^{-2}}{1{,}6\times10^{7}}\right)^2$ = $4{,}5\times10^{-8}$ m

La valeur de y_L est très proche de zéro, ainsi la particule n'a quasiment pas été déviée. On peut considérer que sa trajectoire est une droite et donc que le mouvement est rectiligne.

2.5. $E_C = \frac{1}{2}.m_\alpha.v_0^2$

$E_C = \frac{1}{2}\times6{,}64\times10^{-27}\times(1{,}6\times10^7)^2 = 8{,}5\times10^{-13}$ J, on convertit en électron-volt en divisant par $1{,}6\times10^{-19}$, ainsi $E_C = 5{,}3\times10^6$ eV = 5,3 MeV >> 12 eV.

Cette énergie cinétique est largement supérieure à l'énergie nécessaire pour ioniser les molécules de dioxygène.

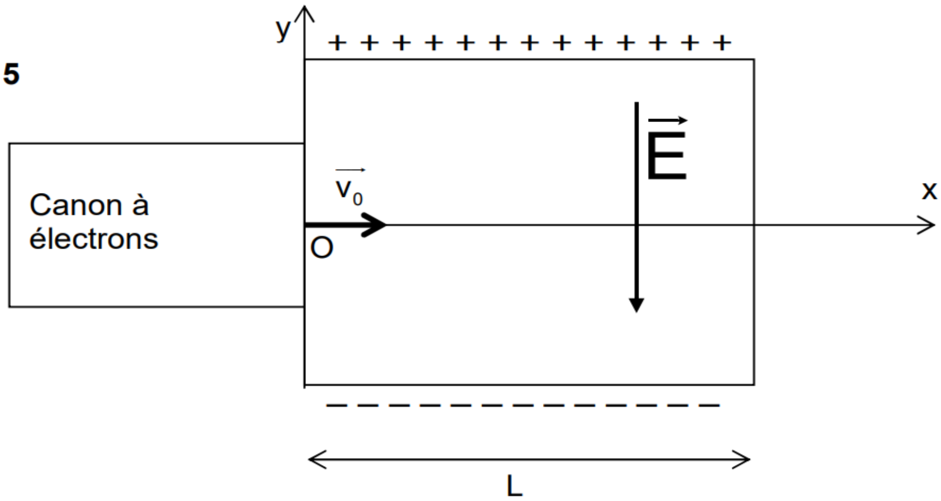
Exercice N°3 :

1. Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J.J.Thomson.

1.1. D'après l'échelle de 1,0 cm pour 5,0 kV.m^{-1}, et comme E = 15,0 kV.m^{-1}, on en déduit que $\vec{E}$ sera représenté par une flèche de 3,0 cm.

(0,5 pt)

Annexe 5



1.2. (0,5 pt) *(Lire la question suivante avant de répondre)* Le document 4 indique que des particules de charges opposées s'attirent. Le faisceau d'électrons étant attiré par la plaque chargée positivement, c'est que les électrons sont porteurs d'une charge négative.

1.3. (0,5 pt) $\vec{F} = -e.\vec{E}$

Entre les plaques, l'électron n'est soumis qu'à la force électrostatique qui le dévie vers la plaque chargée positivement. Cette force est donc de sens opposé au champ électrostatique, et comme $\vec{F} = q.\vec{E}$, cela impose que q < 0.

2. Détermination du rapport e/m pour l'électron.

2.1. (1,5 pt) On applique la deuxième loi de Newton au système électron, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

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

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

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

Par projection suivant les axes du repère défini dans le document 5, on obtient $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{e.E}{m} \end{cases}$

2.2.1. (0,5 pt) y(x=L) = h

$$h = \frac{e.E}{2.m.v_0^2}.L^2$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2.v_0^2.h}{E.L^2}$$

2.2.2. (0,5 pt) $\frac{e}{m} = \frac{2\times(2,27\times10^7)^2\times1,85\times10^{-2}}{15,0\times10^3\times(8,50\times10^{-2})^2}$ = $1,76\times10^{11}$ C.kg^{-1}

2.2.3. (0,5 pt) $U\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m}.\sqrt{\left[\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2\right]}$

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = 1,76\times10^{11}\times\sqrt{\left[\left(\frac{0,05}{1,85}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{15,0}\right)^2 + 4\left(\frac{0,02}{2,27}\right)^2 + 4\left(\frac{0,05}{8,50}\right)^2\right]}$$

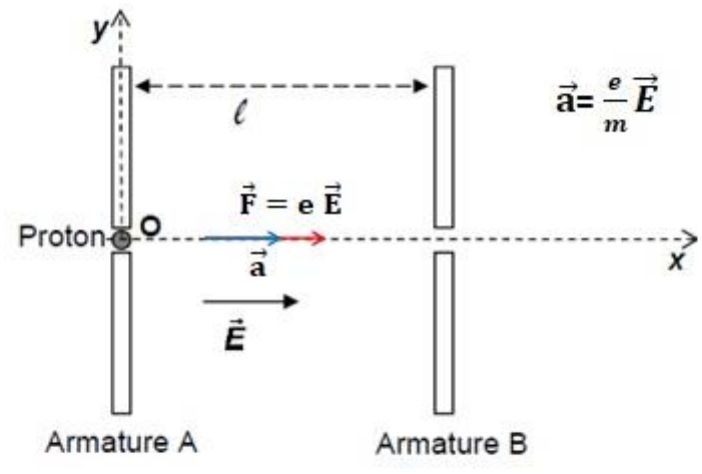
$$U\left(\frac{e}{m}\right) = 6\times10^9 \text{ C.kg}^{-1} = 0,06\times10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$$

On ne conserve qu'un seul chiffre significatif pour l'incertitude

(0,5 pt) $\frac{e}{m} = (1,76 \pm 0,06)\times10^{11}$ C.kg^{-1}

Exercice N°4 :

1.1. Représenter sans souci d'échelle, la force électrique F appliquée au proton ainsi que le vecteur accélération a de celui-ci..



1.2. Vitesse et énergie du proton.

1.2.1.a. Montrer que $v_x(t)$ s'écrit : eE / m t + v_0.

Le vecteur vitesse est une primitive du vecteur accélération.

$v_x(t)$ = eE / m t + constante.

A t= 0, la vitesse vaut v_0 ; $v_x(t)$ = eE / m t + v_0.

1.2.1.b Déterminer l'équation horaire $v_y(t)$ et justifier le nom d'accélérateur linéaire.

Le poids étant négligeable devant la force électrique, la composante a_y de l'accélération est nulle. La vitesse initiale étant horizontale, $v_y(t)$ = 0.

Le mouvement du proton s'effectue suivant l'axe Ox ; le proton est accéléré, d'où le nom accélérateur linéaire.

1.2.2. Le proton atteint B à $t_1 = 3,7\ 10^{-7}$ s. Quelle est alors sa vitesse v_1 ?
$m=1,7\ 10^{-27}$ kg ; $e = 1,6\ 10^{-19}$ C.
$v_1 = 1,6\ 10^{-19} \times 1,00\ 10^4 /(1,7\ 10^{-27}) \times 3,7\ 10^{-7} +2,0\ 10^3 =3,5\ 10^5$ m /s.
1.2.3. Déterminer l'équation du second degré qui permet d'obtenir t_1. Retrouver la valeur de t_1.
La position est une primitive de la vitesse ; le proton est initialement à l'origine O de l'axe Ox.
$x(t) = ½\ at^2 +v_0t$; $x(t) = ½e\ E / m\ t^2 +v_0t$.
$x(t) =0,5 \times 1,6\ 10^{-19} \times 1,00\ 10^4 /(1,7\ 10^{-27})t^2 + 2,0\ 10^3\ t$.
$x(t) =4,7\ 10^{11}\ t^2 + 2,0\ 10^3\ t$.
Au point B : $6,5\ 10^{-2} =4,7\ 10^{11}\ t_1^2 + 2,0\ 10^3\ t_1$.
$4,7\ 10^{11}\ t_1^2 + 2,0\ 10^3\ t_1 -6,5\ 10^{-2} = 0$.
Discriminant $\Delta = (2,0\ 10^3)^2+4 \times 4,7\ 10^{11} \times 6,5\ 10^{-2} =1,2236\ 10^{11} \sim(3,498\ 10^5)^2$.
$t_1 = (-2,0\ 10^3 +3,498\ 10^5) / (2 \times 4,7\ 10^{11}) \sim 3,7\ 10^{-7}$ s.
1.2.4. Calculer l'augmentation d'énergie cinétique de ce proton entre les armatures A et B. Comparer avec l'énergie attendue dans le $½mv_1^2-½mv_0^2 =0,5 \times 1,7\ 10^{-27}[(3,5\ 10^5)^2-4\ 10^6)] \sim 1,04\ 10^{-16}$ J soit $1,04\ 10^{-16} / (1,6\ 10^{-19}) \sim 6,5\ 10^2$ eV.
Le LHC est constitué d'un anneau de 27 km de circonférence. Le proton effectue plusieurs tours dans l'anneau.
1.3.1 Ce dispositif peut-il fonctionner avec des neutrons ?
Non, le neutron ne possède pas de charge électrique.
1.3.2. Que faut-il modifier si l'on souhaite accélérer un électron ?
L'électron possède une charge $q = -e$. Il faut donc changer le sens du champ électrique E, c'est à dire appliquer une tension opposée à la précédente entre les armatures A et B.