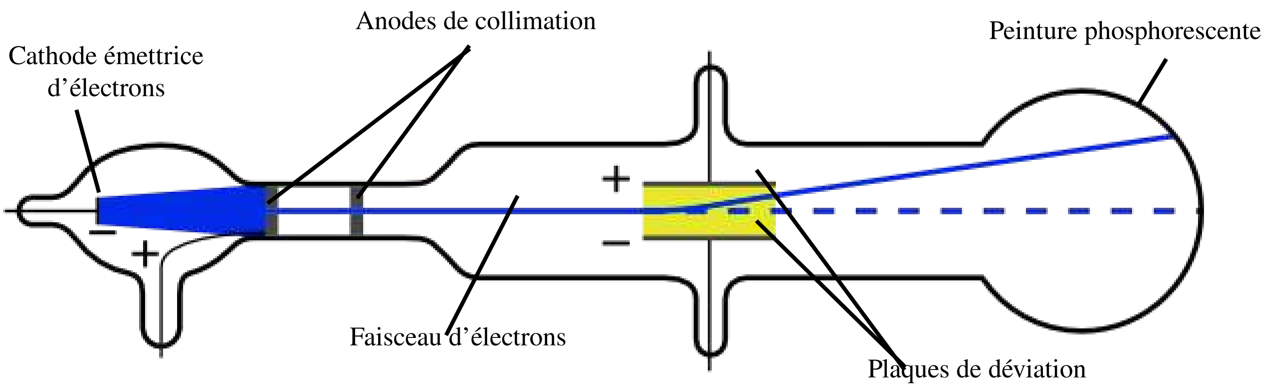
EXERCICES CHAPITRE : MOUVEMENT DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE

Exercice 1. DÉTERMINATION DU RAPPORT e / m POUR L'ÉLECTRON (40 minutes)

Document 1. La deuxième expérience de Thomson

Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre deux plaques métalliques de charges opposées. Les électrons, soumis à un nouveau champ électrostatique, sont alors déviés de leur trajectoire et viennent frapper un écran constitué d'une couche de peinture phosphorescente.

Tube utilisé par Thomson pour montrer la déviation de particules chargées par un champ électrostatique :



Document 2. Création d'un champ électrostatique

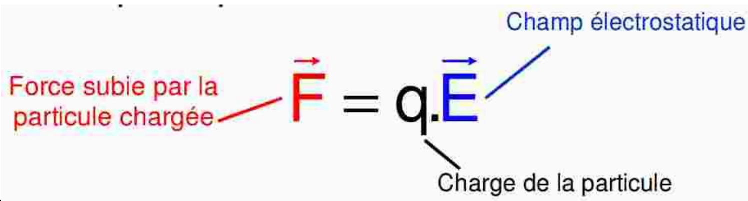
Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ caractérisé par :

- sa direction : perpendiculaire aux plaques
- son sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.

Joseph John Thomson (1856 -1940), physicien anglais

Document 3. Force électrostatique subie par une particule chargée dans champ électrique $\vec{E}$

Pour un électron : q = - e ; e étant la charge élémentaire.

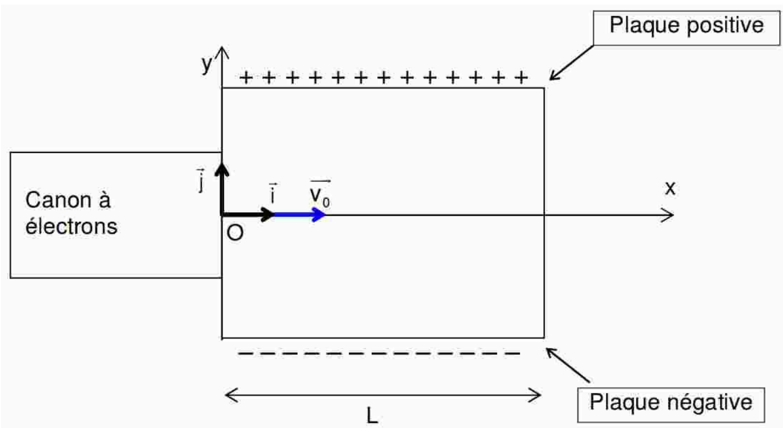


Document 4. Interactions entre particules chargées

Deux particules de charges de même signe se repoussent ; deux particules de charges opposées s'attirent.

Document 5. Expérience de laboratoire ; détermination du rapport e/m pour l'électron

Le montage ci-dessous reprend le principe de la deuxième expérience de Thomson. Il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié entre deux plaques de charges opposées. On mesure la déviation verticale du faisceau d'électrons lors de la traversée des plaques sur une longueur L, afin de déterminer la valeur du rapport e/m.



Document 6. <u>Données de l'expérience :</u>

Les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse $v_0 = 2{,}27 \times 10^7$ m.s^{-1}.

Le faisceau d'électrons passe entre les deux plaques chargées et est dévié d'une hauteur h quand il sort des plaques.

L'intensité du champ électrostatique entre les deux plaques est : E = 15,0 kV.m^{-1}.

La longueur des plaques est : L = 8,50 cm.

On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique $\vec{F}$.

1. <u>Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J.J. Thomson.</u>

1.1. À l'aide du **document 5 et 2**, représenter les plaques et le vecteur correspondant au champ électrostatique $\vec{E}$.
On prendra l'échelle suivante : 1,0 cm pour 5,0 kV.m^{-1}.

1.2. *J.J. Thomson a observé une déviation du faisceau d'électrons vers la plaque métallique chargée positivement (**voir document 1**).*
Expliquer comment J.J. Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

1.3. À l'aide du **document 3**, donner la relation entre la force électrostatique $\vec{F}$ subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ électrostatique $\vec{E}$. Montrer que le sens de déviation du faisceau d'électrons est cohérent avec le sens de $\vec{F}$.

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

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les relations donnant les coordonnées de son vecteur accélération sont : $a_x = 0$ et $a_y = \frac{eE}{m}$

2.2. On montre que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour équation : $y = \frac{eE}{2mv_0^2}x^2$

À la sortie des plaques, en x = L, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) a une valeur h = 1,85 cm.

2.2.1. En déduire l'expression du rapport e/m en fonction de E, L, h et v_0.

2.2.2. Donner la valeur du rapport e/m .

2.2.3. On donne ci-dessous les valeurs des grandeurs utilisées, avec les incertitudes associées :

$v_0 = (2{,}27 \pm 0{,}02)\ \ 10^7$ m.s^{-1} ;
$E = (15{,}0 \pm 0{,}1)$ kV.m^{-1} ;
L = (8,50 ± 0,05) cm ;
h = (1,85 ± 0,05) cm ;

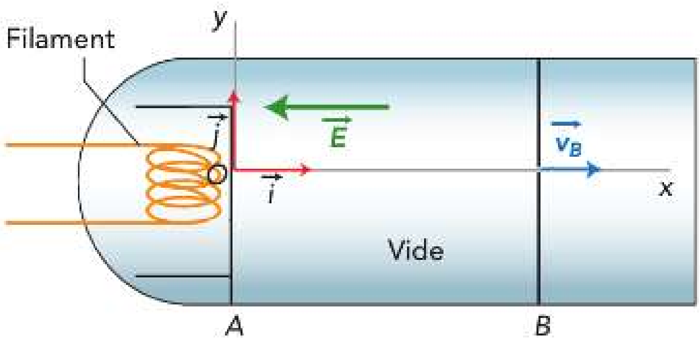
L'incertitude du rapport e/m , notée $U(\frac{e}{m})$, s'exprime par la formule suivante :

$$U(\frac{e}{m}) = \frac{e}{m}\sqrt{\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2}$$

Calculer l'incertitude $U(\frac{e}{m})$, puis exprimer le résultat de e/m avec cette incertitude.

Exercice 2. <u>Étude du canon à électrons</u>

Un canon à électrons est constitué d'un filament qui, lorsqu'il est porté à haute température, émet des électrons de vitesse initiale négligeable. Ces électrons sont ensuite accélérés à l'intérieur d'un condensateur plan dont les armatures A et B sont verticales et entre lesquelles règne un champ électrostatique uniforme de valeur E.



On négligera le poids de l'électron devant la force électrostatique. Le référentiel est supposé galiléen.

1. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ et vitesse $\vec{v}$ de l'électron au cours du mouvement entre les plaques A et B. On choisira le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) indiqué sur le schéma.

2. En déduire l'expression de la valeur de sa vitesse à chaque instant.

3. Établir les équations horaires de son mouvement.

4. Montrer que l'expression de la vitesse de l'électron lorsqu'il parvient à la plaque B du condensateur est v

$$v_B = \sqrt{\frac{2e.E}{m_e}.d}$$

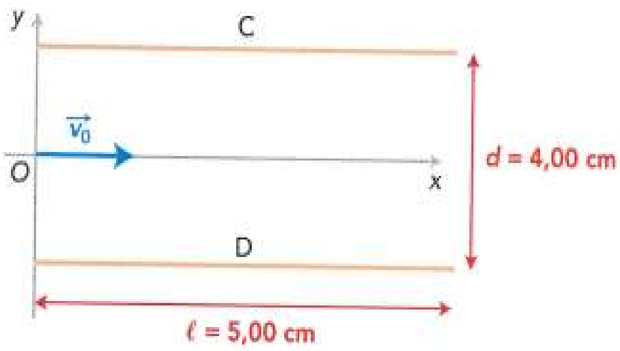
5. Calculer la valeur v_B de cette vitesse.

Données : e = 1,60 × 10^{-19} C ; m= 9,11 × 10^{-31} kg ; AB=d=3,00 cm ; E=6,00 × 10^4V.m^{-1}.

Exercice 3. Particule alpha dans un champ électrostatique uniforme.

Une particule α (noyau d'hélium $^{4}_{2}He$) arrive au point O dans un condensateur plan avec une vitesse $\vec{v_0}$ de direction parallèle aux armatures C et D du condensateur.
Une tension constante U est appliquée entre ces deux armatures longues de l = 5,00 cm et distantes de d= 4,00 cm. Le flux de particules est alors dévié vers le haut.

On négligera le poids de la particule α devant la force électrostatique.

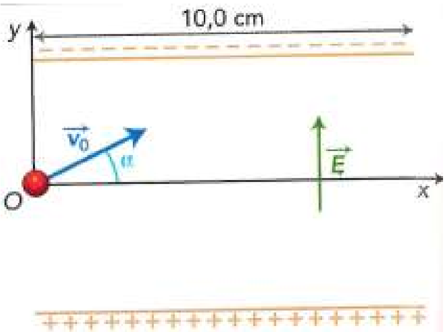


1. Quelle est la charge q de la particule α ?
2. Indiquer la polarité des plaques pour que la particule soit déviée vers le haut.
3. Recopier la figure en indiquant le champ électrostatique existant entre C et D, ainsi que la force électrostatique que subit la particule α en O.
4. Établir les équations horaires et l'équation de la trajectoire de la particule. On choisira le repère indiqué sur le schéma. Le référentiel associé est supposé galiléen.
5. Exprimer, à l'aide de l'équation de la trajectoire, la tension U en fonction des grandeurs m, e, v_0, d,x et y.
6. Calculer sa valeur pour que la particule sorte au point S d'ordonnée y_S = 1,00 cm.

On rappelle que pour un condensateur plan : Données : v = 5,00 × 10^5 m·s^{-1} ; e = 1,60 × 10^{-19} C ;
m, = 6,64 × 10^{-27} kg.

Exercice 4. Déterminer la trajectoire d'une particule dans un champ uniforme

Un électron, de masse m, pénètre au point O dans le champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ créé par deux plaques nommées également armatures parallèles et horizontales de longueur l = 10,0 cm. L'électron pénètre au milieu des deux armatures avec une vitesse de valeur v_0 = 3,00 x 10^7 m·s^{-1} faisant un angle a avec l'horizontale.



1. Établir les équations horaires du mouvement de l'électron.
2. Établir l'équation de sa trajectoire.
3. Déterminer les coordonnées du point de sortie S de l'électron hors de la zone entre les plaques.

Données : E = 4,43 x 10^4 V.m^{-1} ; e = 1,60 × 10^{-19} C ; m= 9,11 × 10^{-31} kg ; α = 30°.
On négligera le poids de l'électron devant la force électrostatique à laquelle il est souris.

CORRECTION DES EXERCICES DU CHAPITRE SUR LE MOUVEMENT DANS UN CHAMP.

Exercice 1. <u>DÉTERMINATION DU RAPPORT e / m POUR L'ÉLECTRON</u>

Correction manuscrite.

Exercice 2. <u>Étude du canon à électrons</u>

1. système d'étude : électron
référentiel terrestre supposé galiléen
bilan des forces : force électrique, le poids et les frottements sont négligés.

Détermination de l'accélération

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{a}$$
$$\vec{F_e} = m\vec{a}$$
$$q\vec{E} = m\vec{a} \quad \& \quad \vec{a}\begin{pmatrix} a_x = \dfrac{eE}{m} \\ a_y = 0 \end{pmatrix}$$
$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

2.

détermination de la vitesse

$$\vec{a}\begin{pmatrix} a_x = \dfrac{eE}{m} \\ a_y = 0 \end{pmatrix} \quad \underset{\rightarrow}{primitive} \quad \vec{v}\begin{pmatrix} v_x = \dfrac{eE}{m}.t + C_1 \\ v_y = C_2 \end{pmatrix}$$

conditions initiales, à t=0,

$$\vec{v}_0\begin{pmatrix} v_x = 0 \\ v_y = 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x = \dfrac{eE}{m}.0 + C_1 \\ v_y = C_2 \end{pmatrix}$$ donc $C_1=0$ et $C_2=0$

remplacement

$$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = \dfrac{eE}{m}.t \\ v_y = 0 \end{pmatrix}$$

3.

détermination de la position

$$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = \dfrac{eE}{m}.t \\ v_y = 0 \end{pmatrix} \quad \underset{\rightarrow}{primitive} \quad \overrightarrow{OG}\begin{pmatrix} x = \dfrac{eE}{2m}.t^2 + C_3 \\ y = C_4 \end{pmatrix}$$

conditions initiales, à t=0

$$\overrightarrow{OG}_0\begin{pmatrix} x = 0 \\ y = 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x = \dfrac{eE}{2m}.0^2 + C_3 \\ y = C_4 \end{pmatrix}$$ donc $C_3=0$ et $C_4=0$

remplacement

$$\vec{OG}\begin{pmatrix} x=\frac{eE}{2m}.t^2 \\ y=0 \end{pmatrix}$$

4. Pour $t=t_B$ l'électron est en B, donc il a parcouru une distance x=d.

$$x=d=\frac{eE}{2m}.t_B^2$$

$$d\times\frac{2m}{eE}=t_B^2$$ on remplace dans l'expression de la vitesse

$$t_B=\sqrt{\frac{d\times 2m}{eE}}$$

$$v_B=\frac{eE}{m}.t_B$$

$$v_B=\frac{eE}{m}.\sqrt{\frac{d\times 2m}{eE}}$$

$$v_B=.\sqrt{\left(\frac{eE}{m}\right)^2\times\frac{d\times 2\cancel{m}}{\cancel{eE}}}$$

$$v_B=.\sqrt{\frac{2e.E.d}{m}}$$

5. $$v_B=\sqrt{\frac{2e.E.d}{m}}=\sqrt{\frac{2\times 1{,}6\times 10^{-19}\times 6\times 10^{4.}\times 3{,}0\times 10^{-2}}{9{,}1\times 10^{-31}}}=2{,}5\times 10^7 m.s^{-1}$$

Exercice 3. __Particule alpha dans un champ électrostatique uniforme.__

1. ${}^4_2He$ particule α composé de 2 protons positifs, donc q=+2e.

2. Pour que la particule soit déviée vers le haut, elle doit être attirée par la plaque négative. L'armature négative est donc en haut.

3. Schéma

4. système d'étude : particule a

référentiel terrestre supposé galiléen

bilan des forces : force électrique, le poids et les frottements sont négligés.

Détermination de l'accélération

$$\sum \vec{F_{ext}}=m\vec{a}$$

$$\vec{F_e}=m\vec{a}$$

$$q\vec{E}=m\vec{a} \quad \& \quad \vec{a}\begin{pmatrix} a_x=0 \\ a_y=\frac{2eE}{m} \end{pmatrix}$$

$$\vec{a}=\frac{q\vec{E}}{m}$$

détermination de la vitesse

$$\vec{a}\begin{pmatrix} a_x=0 \\ a_y=\frac{2eE}{m} \end{pmatrix} \xrightarrow{primitive} \vec{v}\begin{pmatrix} v_x=C_1 \\ v_y=\frac{2eE}{m}.t+C_2 \end{pmatrix}$$

conditions initiales, à t=0,

$$\vec{v_0}\begin{pmatrix} v_x=V_0 \\ v_y=0 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} v_x=C_1 \\ v_y=\frac{2eE}{m}.0+C_2 \end{pmatrix}$$ donc $C_1=v_0$ et $C_2=0$

remplacement

$$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = v_0 \\ v_y = \dfrac{2eE}{m}.t \end{pmatrix}$$

détermination de la position

$$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = v_0 \\ v_y = \dfrac{2eE}{m}.t \end{pmatrix} \quad \overset{primitive}{\rightarrow} \quad \overrightarrow{OG}\begin{pmatrix} x = v_0.t + C_3 \\ y = \dfrac{2eE}{2m}.t^2 + C_4 \end{pmatrix}$$

conditions initiales, à t=0

$$\overrightarrow{OP}_0\begin{pmatrix} x=0 \\ y=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x = v_0.0 + C_3 \\ y = \dfrac{2eE}{2m}.0^2 + C_4 \end{pmatrix}$$ donc $C_3=0$ et $C_4=0$

remplacement

$$\overrightarrow{OP}\begin{pmatrix} x = v_0.t \\ y = \dfrac{2eE}{2m}.t^2 \end{pmatrix}$$

détermination de la trajectoire

$x = v_0.t \rightarrow t = \dfrac{x}{v_0}$ donc dans $y = \dfrac{2eE}{2m}.t^2$ on a

$$y = \frac{2eE}{2m}.\left(\frac{x}{v_0}\right)^2$$

$$y = \frac{2eEx^2}{2mv_0^2}$$

5. On sait que la valeur du champ électrique se calcule par $E = \dfrac{U}{d}$ en remplaçant cette expression dans la trajectoire, on obtient :

$$y = \frac{2e.U/d.x^2}{2mv_0^2}$$

$$y = \frac{2e.U.x^2}{2mv_0^2.d}$$

.

isolons U dans l'expression précédente :

$$y = \frac{2e.U.x^2}{2mv_0^2.d}$$

$$y \times (2mv_0^2.d) = 2e.x^2 \times U$$

$$\frac{y \times (\cancel{2}mv_0^2.d)}{\cancel{2}e.x^2} = U$$

$$U = \frac{y \times (mv_0^2.d)}{e.x^2}$$

6. la particule sort lorsque x=l et y=y_S.

$$U = \frac{y_S \times (mv_0^2.d)}{e.l^2} = \frac{1{,}00 \times 10^{-2} \times 6{,}64 \times 10^{-27} \times (5{,}00 \times 10^5)^2 \times 4 \times 10^{-2}}{1{,}6 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^{-2}} = 8{,}3 \times 10^5\,V$$

Exercice 4. <u>Déterminer la trajectoire d'une particule dans un champ uniforme</u>

1. système d'étude : électron
référentiel terrestre supposé galiléen
bilan des forces : force électrique, le poids et les frottements sont négligés.

Détermination de l'accélération

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{a}$$
$$\vec{F_e} = m\vec{a}$$
$$q\vec{E} = m\vec{a} \quad \& \quad \vec{a}\begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_y = \dfrac{-eE}{m} \end{pmatrix}$$
$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

détermination de la vitesse

$$\vec{a}\begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_y = \dfrac{-eE}{m} \end{pmatrix} \quad \underset{\rightarrow}{primitive} \quad \vec{v}\begin{pmatrix} v_x = \dfrac{eE}{m}.t + C_1 \\ v_y = C_2 \end{pmatrix}$$

conditions initiales, à t=0,

$$\vec{v_0}\begin{pmatrix} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = v_0 \sin\alpha \end{pmatrix} = \vec{v}\begin{pmatrix} v_x = C_1 \\ v_y = \dfrac{-eE}{m}.0 + C_2 \end{pmatrix}$$ donc $C_1 = v_0 \cos\alpha$ 0 et $C_2 = v_0 \sin\alpha$

remplacement

$$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = \dfrac{-eE}{m}.t \\ v_y = 0 \end{pmatrix}$$

2.

détermination de la position

$$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = \dfrac{eE}{m}.t + v_0 \sin\alpha \end{pmatrix} \quad \underset{\rightarrow}{primitive} \quad \overrightarrow{OG}\begin{pmatrix} x = \dfrac{eE}{2m}.t^2 + C_3 \\ y = C_4 \end{pmatrix}$$

conditions initiales, à t=0

$$\overrightarrow{OG_0}\begin{pmatrix} x = 0 \\ y = 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x = \dfrac{eE}{2m}.0^2 + C_3 \\ y = C_4 \end{pmatrix}$$ donc $C_3=0$ et $C_4=0$

remplacement

$$\overrightarrow{OG}\begin{pmatrix} x = v_0 \cos\alpha . t \\ y = \dfrac{eE}{2m}.t^2 + v_0 \sin\alpha . t \end{pmatrix}$$

détermination de la trajectoire

$x = v_{0.}\cos\alpha . t \rightarrow t = \dfrac{x}{v_{0.}\cos\alpha}$ donc dans $y = \dfrac{eE}{2m}.t^2 + v_0 \sin\alpha . t$

$$y = \frac{eE}{2m}.\left(\frac{x}{v_{0.}\cos\alpha}\right)^2 + \cancel{v_0}\sin\alpha . \frac{x}{\cancel{v_{0.}}\cos\alpha}$$

on sait que $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$

$$y = \frac{eE}{2m}.t^2 + v_0 \sin\alpha . t$$

$$y = \frac{eE}{2m}.\left(\frac{x}{v_{0.}\cos\alpha}\right)^2 + \cancel{v_0}\sin\alpha . \frac{x}{\cancel{v_{0.}}\cos\alpha}$$

on remplace les grandeurs par leur valeur dans la trajectoire et on prend x=10,0 cm.

$$y = \frac{eE}{2m}.\left(\frac{x}{v_{0.}\cos\alpha}\right)^2 + \tan\alpha . x$$

$$y = \frac{1{,}6\times10^{-19}\times4{,}43\times10^4}{2\times9{,}11\times10^{-31}}.\left(\frac{10\times10^{-2}}{3\times10^7\times\cos 30}\right)^2 + \tan 30\times10\times10^{-2} = 0{,}063\,m = 6{,}3\,cm$$