BURHAN

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Mathématiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/sciences-mathematiques/physique-chimie/particule-chargee-dans-un-champ-electrique/exercices/examen

Chapitre	Palier	Exercices
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme	Niveau examen	5

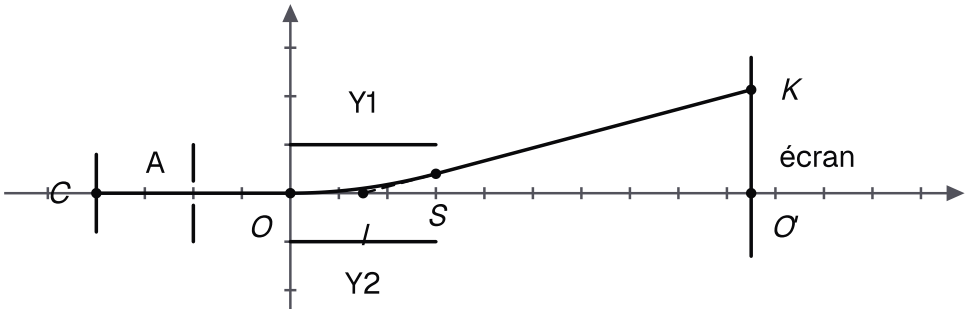
Exercice 1 6 pts

Canon et déviation verticale d'un oscilloscope analogique

Dans un oscilloscope analogique, un canon accélère des électrons, puis deux plaques horizontales Y_1 (en haut) et Y_2 (en bas) les dévient avant qu'ils ne frappent l'écran. Le tube est vide d'air.

Document. Schéma du tube, sans échelle : cathode C, anode A percée, plaques de déviation, écran. Le point O' est le centre de l'écran.

Données : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\text{C}$; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\,\text{kg}$; $g = 9{,}80\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Tube d'oscilloscope, schéma sans échelle

A.1. 0,5 pts

Partie A : le canon à électrons. Les électrons quittent la cathode C avec une vitesse négligeable. Entre C et l'anode A, distantes de $2{,}0\,\text{cm}$, la tension $U_0 = U_{AC} = 1{,}8\,\text{kV}$ crée un champ uniforme.

Préciser le sens du champ entre C et A et justifier que les électrons sont accélérés vers l'anode.

INDICE

Outil : le sens du champ selon le signe de U_{AC}, puis le sens de la force sur une charge négative.

CORRIGÉ

Champ. $U_{AC} = V_A - V_C > 0$: le champ va de A vers C.

Force. La charge $-e$ est négative : $\vec{F} = -e\,\vec{E}$ va de C vers A.

Conclusion. Le champ est dirigé de l'anode vers la cathode ; la force sur les électrons, de sens opposé, les accélère vers l'anode.

A.2. 0,75 pts

Établir l'expression de la vitesse v_0 des électrons à leur passage par l'ouverture de l'anode, en fonction de e, m_e et U_0.

INDICE

Outil : la deuxième loi de Newton, appliquée sur l'axe de C vers A.

CORRIGÉ

Système et forces. Un électron, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, soumis à la seule force électrique ; son poids est négligé, ce que justifie la question A.4.

Accélération. Sur l'axe $(C;\vec{i})$ orienté de C vers A, avec $CA = d_0$:

$$E_x = \frac{U_{CA}}{d_0}$$
$$E_x = -\frac{U_0}{d_0}$$

La deuxième loi donne $m_e\, a_x = -e\, E_x$, soit $a_x = \dfrac{e\, U_0}{m_e\, d_0} > 0$, constante.

Équations horaires. Avec $v_x(0) = 0$ et $x(0) = 0$: $v_x = a_x\, t$ et $x = \dfrac{1}{2}\, a_x\, t^2$, d'où $v_x^2 = 2\, a_x\, x$.

En A. Pour $x = d_0$:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2\, e\, U_0}{m_e}}$$

Conclusion. La vitesse à l'anode vaut $v_0 = \sqrt{\dfrac{2\, e\, U_0}{m_e}}$; elle ne dépend pas de la distance entre C et A.

A.3. 0,5 pts

Calculer v_0 et vérifier qu'elle reste inférieure au dixième de c.

INDICE

Outil : l'expression établie, la tension en volts.

CORRIGÉ

Calcul.

$$v_0 = \sqrt{\frac{2\, e\, U_0}{m_e}}$$
$$v_0 = \sqrt{\frac{5{,}76 \times 10^{-16}}{9{,}11 \times 10^{-31}}}$$
$$v_0 = 2{,}5 \times 10^{7}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Comparaison. $\dfrac{c}{10} = 3{,}0 \times 10^{7}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Conclusion. $v_0 = 2{,}5 \times 10^{7}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, inférieure au dixième de c : le modèle de Newton reste valable.

A.4. 0,5 pts

Justifier que le poids d'un électron est négligeable dans le canon.

INDICE

Outil : la valeur du champ entre C et A, puis le rapport du poids à la force électrique.

CORRIGÉ

Force électrique. $E = \dfrac{U_0}{d_0} = \dfrac{1{,}8 \times 10^{3}}{2{,}0 \times 10^{-2}} = 9{,}0 \times 10^{4}\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$, et $F = e\,E = 1{,}4 \times 10^{-14}\ \mathrm{N}$.

Poids. $P = m_e\, g = 8{,}93 \times 10^{-30}\ \mathrm{N}$.

Rapport. $\dfrac{P}{F} \approx 6 \times 10^{-16}$.

Conclusion. Le poids est environ 10^{15} fois plus petit que la force électrique : il est négligeable.

B.1. 0,5 pts

Partie B : déviation verticale du faisceau. On admet que les électrons entrent en O, à égale distance des plaques, avec une vitesse horizontale $\vec{v}_0$ de valeur $v_0 = 2{,}51 \times 10^{7}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Les plaques ont pour longueur $\ell = 1{,}8\ \mathrm{cm}$ et sont distantes de $d = 0{,}60\ \mathrm{cm}$; l'écran est à $L = 20\ \mathrm{cm}$ du milieu I des plaques. On note $U = U_{Y_1Y_2}$, de valeur $45\ \mathrm{V}$. Le poids est négligé.

Préciser le sens du champ et celui de la force électrique, puis le côté de l'écran où se forme le spot.

INDICE

Outil : la plaque au potentiel le plus élevé, puis le signe de la charge de l'électron.

CORRIGÉ

Champ. $U_{Y_1Y_2} > 0$: $\vec{E}$ est vertical, de Y_1 vers Y_2, donc vers le bas.

Force. $\vec{F} = -e\,\vec{E}$ est verticale vers le haut.

Conclusion. Les électrons sont déviés vers la plaque Y_1 : le spot se forme au-dessus du centre O'.

B.2. 1 pts

Dans le repère $(O;\vec{i},\vec{j})$, $\vec{i}$ dans le sens de $\vec{v}_0$ et $\vec{j}$ vertical vers le haut, établir les équations horaires d'un électron entre les plaques, puis l'équation de sa trajectoire.

INDICE

Début : écris la coordonnée E_y avec son signe et projette la deuxième loi de Newton. **Ensuite :** deux primitives avec les conditions initiales en O.

CORRIGÉ

Accélération. $\vec{E}$ est vers le bas : $E_y = -E$, avec $E = \dfrac{U}{d}$. La deuxième loi s'écrit $-e\,\vec{E} = m_e\,\vec{a}$, d'où $a_x = 0$ et $a_y = \dfrac{e\,E}{m_e}$.

Vitesse. $v_x = v_0$ et $v_y = \dfrac{e\,E}{m_e}\,t$, car $\vec{v}(0) = v_0\,\vec{i}$.

Position. Avec O origine :

$$x(t) = v_0\,t$$
$$y(t) = \frac{e\,E}{2\,m_e}\,t^2$$

Trajectoire. Avec $t = \dfrac{x}{v_0}$:

$$y = \frac{e\,E}{2\,m_e\,v_0^2}\,x^2$$

Conclusion. Entre les plaques, l'électron décrit un arc de parabole tourné vers le haut, d'équation $y = \dfrac{e\,E}{2\,m_e\,v_0^2}\,x^2$.

B.3. 0,5 pts

Calculer l'ordonnée de sortie y_S et vérifier que le faisceau sort des plaques.

INDICE

Outil : l'équation de la trajectoire en $x = \ell$, comparée à la moitié de d.

CORRIGÉ

Champ. $E = \dfrac{45}{6{,}0 \times 10^{-3}} = 7{,}5 \times 10^{3}\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$.

Ordonnée de sortie.

$$y_S = \frac{e\,E\,\ell^2}{2\,m_e\,v_0^2}$$
$$y_S = \frac{3{,}89 \times 10^{-19}}{1{,}15 \times 10^{-15}}$$
$$y_S = 3{,}4 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}$$

Conclusion. $y_S = 3{,}4 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}$, inférieure à $\dfrac{d}{2} = 3{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$: le faisceau sort des plaques.

B.4. 0,75 pts

On admet que la droite de sortie passe par I. Établir l'expression de la déflexion $Y = O'K$ en fonction de U, e, m_e, ℓ, L, d et v_0, puis calculer Y.

INDICE

Début : l'angle de déviation au point S. **Ensuite :** le triangle rectangle de sommets I, O' et K.

CORRIGÉ

Angle de déviation. En S, $v_x = v_0$ et $v_y = \dfrac{e\,E\,\ell}{m_e\,v_0}$, donc $\tan\varphi = \dfrac{e\,E\,\ell}{m_e\,v_0^2}$.

Déflexion. Dans le triangle $IO'K$, rectangle en O' : $Y = L\,\tan\varphi$. Avec $E = \dfrac{U}{d}$:

$$Y = \frac{e\,\ell\,L}{m_e\,d\,v_0^2}\,U$$

Application numérique.

$$Y = \frac{2{,}59 \times 10^{-20}}{3{,}44 \times 10^{-18}}$$
$$Y = 7{,}5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

Conclusion. La relation est établie, et le spot se forme $7{,}5\ \text{mm}$ au-dessus de O'.

B.5. 0,5 pts

Sur l'écran gradué, on mesure $Y = 7{,}5\ \text{mm}$, à $0{,}5\ \text{mm}$ près. Cette mesure est-elle compatible avec le modèle ?

INDICE

Outil : l'intervalle de la mesure, comparé à la valeur calculée.

CORRIGÉ

Intervalle. La mesure place Y entre $7{,}0\ \text{mm}$ et $8{,}0\ \text{mm}$.

Comparaison. La valeur calculée, $7{,}5\ \text{mm}$, appartient à cet intervalle.

Conclusion. La mesure est compatible avec le modèle de la déflexion électrostatique.

B.6. 0,5 pts

Synthèse. Dans l'oscilloscope, la vitesse d'entrée vérifie $m_e\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$, où U_0 est la tension du canon. Montrer que la déflexion s'écrit $Y = \dfrac{\ell\,L}{2\,d\,U_0}\,U$, puis dire comment varie la déflexion si l'on augmente U_0.

INDICE

Outil : quelle grandeur de l'expression de Y la relation donnée permet-elle de remplacer ?

CORRIGÉ

Remplacement. $Y = \dfrac{e\,\ell\,L}{m_e\,v_0^2\,d}\,U$ et $m_e\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$, donc

$$Y = \frac{\ell\,L}{2\,d\,U_0}\,U$$

Interprétation. La charge et la masse ont disparu : la déflexion dépend seulement de la géométrie et des deux tensions.

Effet de U_0. Y est inversement proportionnelle à U_0 : des électrons plus rapides restent moins longtemps entre les plaques.

Conclusion. Si l'on augmente la tension du canon, la déflexion diminue pour une même tension U.

Exercice 2 6 pts

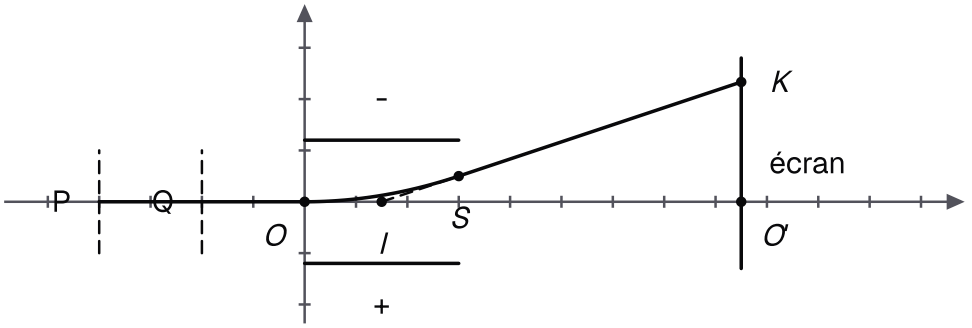
Deux isotopes du néon accélérés puis déviés

Un faisceau contient deux isotopes du néon ionisés une fois, $^{20}\mathrm{Ne}^{+}$ et $^{22}\mathrm{Ne}^{+}$, de même charge $+e$. Les ions sont accélérés depuis le repos entre deux grilles P et Q, puis déviés entre deux plaques horizontales avant d'atteindre un écran.

Document. Schéma du dispositif, sans échelle, et masses des ions.

Ion	Masse
$^{20}\mathrm{Ne}^{+}$	$m_1 = 3{,}32 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$
$^{22}\mathrm{Ne}^{+}$	$m_2 = 3{,}65 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$

Donnée : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$. Le poids des ions est négligé.



Accélération puis déviation des ions, schéma sans échelle

A.1. 0,5 pts

Partie A : accélération des deux isotopes. Les ions partent de la grille P sans vitesse et sont accélérés jusqu'à la grille Q sous une tension de valeur $U_0 = 4{,}00\,\mathrm{kV}$.

Quel est le signe de U_{PQ} ? Justifier.

INDICE

Outil : le signe de $q\,U_{PQ}$ pour une particule accélérée.

CORRIGÉ

Condition. Les ions sont accélérés de P vers Q si $q\,U_{PQ} > 0$. Ici $q = +e > 0$.

Conclusion. $U_{PQ} > 0$: la grille P est au potentiel le plus élevé, et $U_{PQ} = U_0 = 4{,}00\,\mathrm{kV}$.

A.2. 1 pts

Établir l'expression de la vitesse v d'un ion de masse m à la grille Q, en fonction de e, U_0 et m.

INDICE

Outil : la deuxième loi de Newton, appliquée sur l'axe de P vers Q.

CORRIGÉ

Système et forces. Un ion, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, soumis à la seule force électrique. Les grilles sont distantes de D.

Accélération. Sur l'axe orienté de P vers Q : $a_x = \dfrac{e\,U_0}{m\,D}$, constante.

Équations horaires. Depuis le repos en P : $v_x = a_x\,t$ et $x = \dfrac{1}{2}\,a_x\,t^2$, donc $v_x^2 = 2\,a_x\,x$.

En Q. Pour $x = D$:

$$v = \sqrt{\frac{2\,e\,U_0}{m}}$$

Conclusion. À la grille Q, un ion de masse m a la vitesse $v = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U_0}{m}}$.

A.3. 0,5 pts

Calculer les vitesses v_1 et v_2 des deux isotopes à la grille Q.

INDICE

Outil : l'expression établie, avec la tension en volts.

CORRIGÉ

Numérateur commun. $2\,e\,U_0 = 1{,}28 \times 10^{-15}\ \mathrm{J}$.

Néon 20.

$$v_1 = \sqrt{\frac{1{,}28 \times 10^{-15}}{3{,}32 \times 10^{-26}}}$$
$$v_1 = 1{,}96 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Néon 22.

$$v_2 = \sqrt{\frac{1{,}28 \times 10^{-15}}{3{,}65 \times 10^{-26}}}$$
$$v_2 = 1{,}87 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Conclusion. L'isotope le plus léger est le plus rapide : $v_1 = 1{,}96 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et $v_2 = 1{,}87 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

A.4. 0,5 pts

Montrer que $\dfrac{v_1}{v_2} = \sqrt{\dfrac{m_2}{m_1}}$ et calculer ce rapport.

INDICE

Outil : le quotient des deux expressions de la vitesse.

CORRIGÉ

Quotient. e et U_0 sont communs :

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

Valeur. $\dfrac{v_1}{v_2} = \sqrt{\dfrac{3{,}65}{3{,}32}} \approx 1{,}05$.

Conclusion. Les vitesses diffèrent d'environ $5\,\%$, dans le rapport inverse des racines des masses.

B.1. 1 pts

Partie B : déviation des ions. On admet qu'un ion de charge $+e$ et de masse m a été accéléré depuis le repos sous $U_0 = 4{,}00\,\mathrm{kV}$. Il entre en O entre les plaques avec une vitesse horizontale v_0 telle que $m\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$.

Les plaques ont pour longueur $\ell = 5{,}5\,\mathrm{cm}$ et sont distantes de $d = 1{,}9\,\mathrm{cm}$; la tension entre elles vaut $U = 200\,\mathrm{V}$.

Montrer que la valeur absolue de l'ordonnée de sortie s'écrit $|y_S| = \dfrac{U\,\ell^2}{4\,d\,U_0}$.

INDICE

Outil : l'ordonnée de sortie des plaques ; quelle grandeur la relation donnée permet-elle de remplacer ?

CORRIGÉ

Ordonnée de sortie. $|y_S| = \dfrac{e\,E\,\ell^2}{2\,m\,v_0^2}$ avec $E = \dfrac{U}{d}$.

Remplacement. $m\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$:

$$|y_S| = \frac{e\,U\,\ell^2}{2\,d \times 2\,e\,U_0}$$

Simplification. La charge e se simplifie.

Conclusion. $|y_S| = \dfrac{U\,\ell^2}{4\,d\,U_0}$: l'ordonnée de sortie ne dépend ni de la masse ni de la charge de l'ion.

B.2. 0,5 pts

Calculer $|y_S|$ et vérifier que les ions sortent des plaques.

INDICE

Outil : l'expression précédente, toutes les grandeurs en unités SI.

CORRIGÉ

Calcul.

$$|y_S| = \frac{0{,}605}{304}$$
$$|y_S| = 2{,}0 \times 10^{-3}\,\text{m}$$

Condition. $\dfrac{d}{2} = 9{,}5 \times 10^{-3}\,\text{m}$ et $|y_S| < \dfrac{d}{2}$.

Conclusion. Les deux isotopes sortent des plaques, à $2{,}0\,\text{mm}$ de l'axe.

B.3. 0,5 pts

L'écran est à $L = 30\,\text{cm}$ du milieu I des plaques. On admet que la déflexion vaut $Y = \dfrac{\ell\, L}{2\, d\, U_0}\, U$. Calculer Y.

INDICE

Outil : l'expression donnée, avec les longueurs en mètres et les tensions en volts.

CORRIGÉ

Calcul.

$$Y = \frac{\ell\, L\, U}{2\, d\, U_0}$$
$$Y = \frac{3{,}3}{152}$$
$$Y = 0{,}022\,\text{m}$$

Conclusion. Les ions frappent l'écran à $2{,}2\,\text{cm}$ de O', quelle que soit leur masse.

B.4. 0,5 pts

Sur l'écran, on n'observe qu'une seule tache, à $22\,\text{mm}$ de O', à $1\,\text{mm}$ près. Cette observation est-elle en accord avec les calculs ?

INDICE

Outil : la position calculée et la dépendance de Y en la masse.

CORRIGÉ

Position. La tache est observée entre 21 et $23\,\text{mm}$ de O' ; la valeur calculée, $22\,\text{mm}$, appartient à cet intervalle.

Une seule tache. Y ne dépend pas de la masse : les deux isotopes arrivent au même point.

Conclusion. L'observation est en accord avec les calculs : la déviation électrostatique ne sépare pas des ions de même charge accélérés sous la même tension.

B.5. 1 pts

Synthèse. Les deux isotopes ont, à l'entrée des plaques, les vitesses $v_1 \approx 1{,}96 \times 10^{5}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ et $v_2 \approx 1{,}87 \times 10^{5}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Proposer une grandeur mesurable qui les distingue, puis calculer la différence de leurs durées de traversée des plaques.

INDICE

Début : la vitesse horizontale reste constante entre les plaques. **Ensuite :** compare les durées de parcours de la longueur ℓ.

CORRIGÉ

Grandeur. La déflexion est la même ; la vitesse, elle, dépend de la masse. La durée de parcours d'une longueur donnée distingue donc les isotopes.

Durées. Selon l'horizontale, le mouvement est uniforme : $t = \dfrac{\ell}{v_0}$.

$$t_1 = \frac{5{,}5 \times 10^{-2}}{1{,}96 \times 10^{5}}$$
$$t_1 = 2{,}8 \times 10^{-7}\,\mathrm{s}$$
$$t_2 = \frac{5{,}5 \times 10^{-2}}{1{,}87 \times 10^{5}}$$
$$t_2 = 2{,}9 \times 10^{-7}\,\mathrm{s}$$

Différence. Avec les valeurs non arrondies, $t_2 - t_1 \approx 1{,}4 \times 10^{-8}\,\mathrm{s}$.

Conclusion. Une mesure de durée de parcours, ou temps de vol, sépare les deux isotopes : l'ion le plus lourd met environ $14\,\mathrm{ns}$ de plus à traverser les plaques.

Exercice 3 6 pts

Quantification de la charge de gouttelettes d'huile

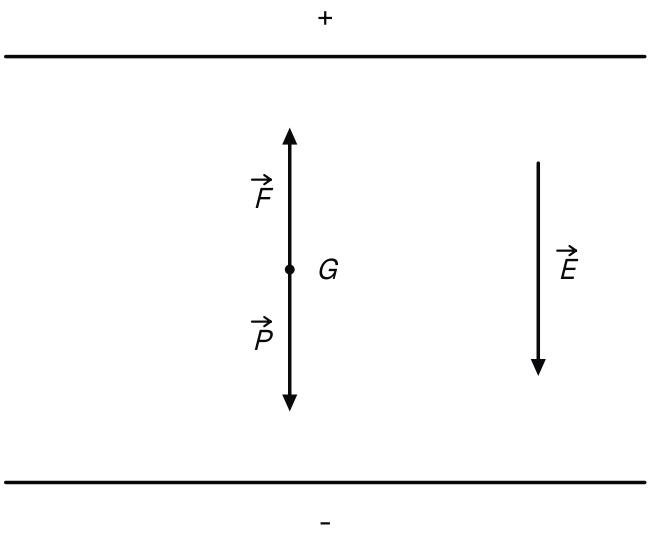
Une expérience historique de mesure de la charge élémentaire consiste à immobiliser de fines gouttelettes d'huile chargées entre deux plaques horizontales.

La plaque supérieure est positive ; les plaques sont distantes de $d = 0{,}800\,\text{cm}$. Les masses des gouttelettes sont déterminées par ailleurs ; la poussée de l'air est négligée.

Document. Gouttelettes immobiles : masse m et tension U d'équilibre.

Gouttelette	m (10^{-15} kg)	U (V)
1	2,45	604
2	1,84	896
3	3,06	377
4	3,55	347

Données : $g = 9{,}80\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $e = 1{,}60\times10^{-19}\,\text{C}$; $m_e = 9{,}11\times10^{-31}\,\text{kg}$.



Gouttelette immobile entre deux plaques horizontales

A.1. 0,5 pts

Partie A : charges des gouttelettes. Faire le bilan des forces exercées sur une gouttelette immobile et en déduire le signe de sa charge.

INDICE

Outil : la condition d'équilibre et le sens du champ entre les plaques.

CORRIGÉ

Bilan. Le poids $\vec{P}$, vertical vers le bas, et la force électrique $\vec{F} = q\,\vec{E}$. Immobile, la gouttelette vérifie $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$: $\vec{F}$ est verticale vers le haut.

Champ. La plaque supérieure est positive : $\vec{E}$ est vertical vers le bas.

Conclusion. $\vec{F}$ est opposée à $\vec{E}$: chaque gouttelette porte une charge négative.

A.2. 0,75 pts

Établir l'expression de la valeur absolue $|q|$ de la charge d'une gouttelette immobile en fonction de m, g, d et U.

INDICE

Outil : l'égalité des valeurs des deux forces, et le champ entre deux plaques.

CORRIGÉ

Équilibre. Les deux forces ont la même valeur : $|q|\,E = m\,g$.

Champ. $E = \dfrac{U}{d}$, donc $|q|\,\dfrac{U}{d} = m\,g$.

Conclusion. La charge vérifie $|q| = \dfrac{m\,g\,d}{U}$.

A.3. 1 pts

Calculer la valeur absolue de la charge de chacune des quatre gouttelettes.

INDICE

Outil : la relation précédente, avec d en mètres et m en kilogrammes.

CORRIGÉ

Facteur commun. $g\,d = 9{,}80 \times 8{,}00 \times 10^{-3} = 7{,}84 \times 10^{-2}\ \mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$.

Résultats.

| Gouttelette | $|q|$ (10^{-19} C) | | --- | --- | | 1 | $3{,}18$ | | 2 | $1{,}61$ | | 3 | $6{,}36$ | | 4 | $8{,}02$ |

Conclusion. Les charges valent environ $3{,}18$, $1{,}61$, $6{,}36$, $8{,}02$, en 10^{-19} C.

A.4. 0,75 pts

Montrer que ces charges sont des multiples entiers d'une même valeur, et en déduire une valeur de la charge élémentaire.

INDICE

Outil : compare les charges entre elles.

CORRIGÉ

Rapports. En divisant par la plus petite charge, $1{,}61 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$, on trouve environ $2{,}0$, $1{,}0$, $4{,}0$, $5{,}0$: des entiers 2, 1, 4, 5, aux erreurs de mesure près.

Valeur commune. Chaque charge divisée par son entier donne environ $1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$; la moyenne vaut $1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$.

Conclusion. Les charges sont quantifiées : ce sont des multiples de $e \approx 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$.

B.1. 0,5 pts

Partie B : inversion du champ. Une gouttelette est immobile entre les mêmes plaques, distantes de $0{,}800\,\mathrm{cm}$, sous la tension $U = 400\,\mathrm{V}$, la plaque supérieure étant positive. À la date $t = 0$, on inverse la polarité sans changer la valeur de la tension.

Les frottements de l'air et la poussée de l'air sont négligés à cet instant.

Faire le bilan des forces exercées sur la gouttelette juste après l'inversion.

INDICE

Outil : l'effet de l'inversion sur le sens du champ.

CORRIGÉ

Poids. Inchangé : vertical vers le bas, de valeur $m\,g$.

Force électrique. Le champ change de sens et garde sa valeur : $\vec{F}$ est désormais verticale vers le bas, de même valeur $m\,g$ qu'à l'équilibre.

Conclusion. Juste après l'inversion, la gouttelette subit son poids et une force électrique de même valeur, toutes deux vers le bas.

B.2. 1,25 pts

Montrer qu'à cet instant l'accélération de la gouttelette vaut $2\,g$, préciser son sens, puis la calculer.

INDICE

Outil : la deuxième loi de Newton dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

CORRIGÉ

Deuxième loi. $\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$, les deux forces étant verticales vers le bas et de même valeur $m\,g$.

Projection. Sur un axe vertical orienté vers le bas : $m\,g + m\,g = m\,a$, d'où $a = 2\,g$, quelles que soient la masse et la charge de la gouttelette.

Calcul.

$$a = 2\,g = 2 \times 9{,}80$$
$$a = 19{,}6\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

Conclusion. Juste après l'inversion, l'accélération vaut $2\,g = 19{,}6\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$, verticale vers le bas.

B.3. 1,25 pts

Synthèse. Un électron placé entre les mêmes plaques, sous $400\ \mathrm{V}$, subit la force électrique $e\,E$. Comparer, pour l'électron, le poids à cette force. Expliquer pourquoi le poids est gardé pour la gouttelette et négligé pour l'électron.

INDICE

Début : calcule le champ, puis les deux forces exercées sur l'électron. **Ensuite :** compare les rapports $\dfrac{P}{F}$ dans les deux cas.

CORRIGÉ

Champ. $E = \dfrac{400}{8{,}00 \times 10^{-3}} = 5{,}0 \times 10^{4}\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$.

Électron. $F = e\,E = 8{,}0 \times 10^{-15}\ \mathrm{N}$ et $P = m_e\,g = 8{,}93 \times 10^{-30}\ \mathrm{N}$, d'où $\dfrac{P}{F} \approx 1{,}1 \times 10^{-15}$.

Gouttelette. À l'équilibre, $P = F$: le rapport vaut 1.

Interprétation. La gouttelette est environ 10^{15} fois plus massive que l'électron, pour une charge de quelques e seulement.

Conclusion. Le poids de la gouttelette est du même ordre que la force électrique et doit être gardé ; celui de l'électron est négligeable.

Exercice 4 6 pts

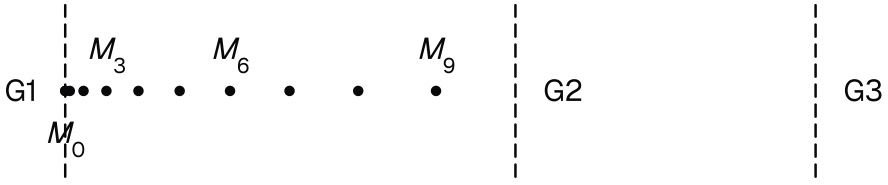
Accélérateur de protons à deux étages et déflecteur

Un petit accélérateur comporte trois grilles parallèles G_1, G_2 et G_3. Des protons partent de G_1 sans vitesse ; ils sont accélérés entre G_1 et G_2, distantes de $4{,}2\,\text{cm}$, sous $U_1 = 15\,\text{kV}$, puis entre G_2 et G_3 sous $U_2 = 25\,\text{kV}$. Le poids est négligé.

Document. Enregistrement des positions M_i d'un proton entre G_1 et G_2 par un détecteur rapide, toutes les $\tau = 5{,}0\,\text{ns}$; x_i est la distance G_1M_i, relevée à $0{,}1\,\text{mm}$ près.

Position	x_i (mm)
M_0	0
M_1	$0{,}4$
M_2	$1{,}7$
M_3	$3{,}9$
M_4	$6{,}8$
M_5	$10{,}7$
M_6	$15{,}4$
M_7	$20{,}9$
M_8	$27{,}3$
M_9	$34{,}6$

Données : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\text{C}$; $m_p = 1{,}00728\,\text{u}$; $1\,\text{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}\,\text{kg}$.



Positions du proton dans le premier étage

A.1. 0,5 pts

Partie A : les deux étages accélérateurs. Donner le signe des tensions $U_{G_1G_2}$ et $U_{G_2G_3}$ pour que les protons soient accélérés.

INDICE

Outil : le signe de $q\,U$ pour une particule accélérée.

CORRIGÉ

Condition. Un proton, de charge $+e$, est accéléré de G_1 vers G_2 si $e\,U_{G_1G_2} > 0$, puis de G_2 vers G_3 si $e\,U_{G_2G_3} > 0$.

Conclusion. $U_{G_1G_2} = +15\,\mathrm{kV}$ et $U_{G_2G_3} = +25\,\mathrm{kV}$: le potentiel décroît de G_1 à G_3.

A.2. 0,75 pts

À l'aide du document, montrer que le mouvement du proton entre G_1 et G_2 est rectiligne et uniformément accéléré, et en déduire la valeur de son accélération.

INDICE

Début : calcule les distances parcourues pendant chaque durée τ. **Ensuite :** regarde comment elles varient d'un intervalle au suivant.

CORRIGÉ

Distances successives. En millimètres : $0{,}4$, $1{,}3$, $2{,}2$, $2{,}9$, $3{,}9$, $4{,}7$, $5{,}5$, $6{,}4$, $7{,}3$.

Différences. D'un intervalle au suivant, elles augmentent d'environ $0{,}7$ à $1{,}0\,\mathrm{mm}$; en moyenne $\dfrac{7{,}3 - 0{,}4}{8} \approx 0{,}86\,\mathrm{mm}$. Cette augmentation constante, aux erreurs de relevé près, traduit une accélération constante ; les positions sont alignées.

Accélération. Pour un mouvement uniformément accéléré, cette différence vaut $a\,\tau^2$:

$$a \approx \frac{8{,}63 \times 10^{-4}}{(5{,}0 \times 10^{-9})^2}$$
$$a \approx 3{,}45 \times 10^{13}\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

Conclusion. Le mouvement est rectiligne uniformément accéléré, d'accélération $a \approx 3{,}45 \times 10^{13}\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

A.3. 0,5 pts

Calculer l'accélération prévue par la deuxième loi de Newton. Commenter l'écart avec la valeur tirée de l'enregistrement.

INDICE

Outil : l'accélération d'une particule chargée dans un champ uniforme, avec $E = \dfrac{U_1}{G_1 G_2}$.

CORRIGÉ

Masse. $m_p = 1{,}00728 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} = 1{,}673 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$.

Accélération prévue.

$$\begin{aligned} a &= \frac{e\,U_1}{m_p\,G_1G_2} \\ a &= \frac{2{,}40 \times 10^{-15}}{7{,}03 \times 10^{-29}} \\ a &= 3{,}42 \times 10^{13}\,\mathrm{m \cdot s^{-2}} \end{aligned}$$

Écart. $\dfrac{|3{,}45 \times 10^{13} - 3{,}42 \times 10^{13}|}{3{,}42 \times 10^{13}} \approx 1\,\%$; une erreur de $0{,}1\,\mathrm{mm}$ sur la dernière position décale déjà la moyenne de près de $1{,}5\,\%$.

Conclusion. La valeur prévue, $3{,}42 \times 10^{13}\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$, est en accord avec la valeur tirée de l'enregistrement, à la précision des relevés près.

A.4. 0,5 pts

Calculer la vitesse v_1 d'un proton à la grille G_2.

INDICE

Outil : la vitesse acquise depuis le repos sous une tension accélératrice.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\begin{aligned} v_1 &= \sqrt{\frac{2\,e\,U_1}{m_p}} \\ v_1 &= \sqrt{\frac{4{,}80 \times 10^{-15}}{1{,}673 \times 10^{-27}}} \\ v_1 &= 1{,}7 \times 10^{6}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}} \end{aligned}$$

Conclusion. À la grille G_2, le proton a la vitesse $1{,}7 \times 10^{6}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

A.5. 0,5 pts

Montrer que la vitesse v_3 à la grille G_3 vérifie $v_3^2 = \dfrac{2\,e\,(U_1+U_2)}{m_p}$, puis calculer v_3.

INDICE

Début : applique la relation de la vitesse acquise au second étage, avec une vitesse initiale non nulle.

CORRIGÉ

Second étage. Entre G_2 et G_3 : $v_3^2 = v_1^2 + \dfrac{2\,e\,U_2}{m_p}$.

Premier étage. $v_1^2 = \dfrac{2\,e\,U_1}{m_p}$, d'où

$$v_3^2 = \frac{2\,e\,(U_1+U_2)}{m_p}$$

Valeur. $U_1+U_2 = 4{,}0\times10^{4}\,\mathrm{V}$, donc $v_3 = \sqrt{\dfrac{1{,}28\times10^{-14}}{1{,}673\times10^{-27}}} = 2{,}8\times10^{6}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Conclusion. Tout se passe comme si le proton était accéléré sous U_1+U_2 : il sort à $2{,}8\times10^{6}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

B.1. 0,5 pts

Partie B : le déflecteur. On admet que les protons entrent en O, au milieu de deux plaques horizontales, avec une vitesse horizontale $v_0 = 2{,}77\times10^{6}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Les plaques ont pour longueur $\ell = 10\,\mathrm{cm}$ et sont distantes de $d = 0{,}70\,\mathrm{cm}$; on veut dévier les protons vers le bas.

Quelle plaque doit être positive ? Justifier.

INDICE

Outil : pour une charge positive, la force a le sens du champ.

CORRIGÉ

Force. Les protons doivent être déviés vers le bas : $\vec{F} = e\,\vec{E}$ doit être verticale vers le bas.

Champ. $\vec{E}$ a le sens de $\vec{F}$ et va de la plaque positive vers la plaque négative.

Conclusion. La plaque supérieure doit être positive.

B.2. 0,75 pts

Écrire la valeur absolue de l'ordonnée de sortie $|y_S|$ en fonction de la tension U entre les plaques et des données.

INDICE

Outil : l'ordonnée de sortie des plaques, avec le champ exprimé à partir de U et d.

CORRIGÉ

Expression. Avec $E = \dfrac{U}{d}$:

$$|y_S| = \frac{e\,U\,\ell^2}{2\,m_p\,d\,v_0^2}$$

Conclusion. L'ordonnée de sortie est proportionnelle à la tension : $|y_S| = \dfrac{e\,U\,\ell^2}{2\,m_p\,d\,v_0^2}$.

B.3. 0,5 pts

Déterminer l'expression de la tension maximale $U_{\max}$ pour laquelle les protons sortent du déflecteur, puis calculer sa valeur.

INDICE

Outil : la condition de sortie des plaques, résolue en U.

CORRIGÉ

Condition. $|y_S| < \dfrac{d}{2}$ s'écrit $\dfrac{e\,U\,\ell^2}{2\,m_p\,d\,v_0^2} < \dfrac{d}{2}$, soit

$$U < U_{\max} = \frac{m_p\,d^2\,v_0^2}{e\,\ell^2}$$

Valeur.

$$U_{\max} = \frac{6{,}29 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-21}}$$
$$U_{\max} = 3{,}9 \times 10^{2}\ \mathrm{V}$$

Conclusion. Les protons sortent du déflecteur tant que $U < 3{,}9 \times 10^{2}\ \mathrm{V}$.

B.4. 0,5 pts

L'opérateur règle la tension sur $250\ \mathrm{V}$. Calculer $|y_S|$, puis l'angle de déviation φ.

INDICE

Outil : l'expression de $|y_S|$, puis la position du point d'intersection de la droite de sortie avec l'axe.

CORRIGÉ

Sortie. $250\ \mathrm{V} < U_{\max}$: les protons sortent du déflecteur.

Ordonnée de sortie.

$$|y_S| = \frac{4{,}00 \times 10^{-19}}{1{,}80 \times 10^{-16}}$$
$$|y_S| = 2{,}2 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}$$

Angle. La droite de sortie coupe l'axe au milieu des plaques :

$$\tan\varphi = \frac{|y_S|}{\ell/2}$$
$$\tan\varphi = \frac{2 \times 2{,}23 \times 10^{-3}}{0{,}10}$$
$$\tan\varphi \approx 0{,}0445$$

Cette tangente, sans unité, donne l'angle de déviation.

Conclusion. Les protons sortent à $2{,}2\,\mathrm{mm}$ sous l'axe, déviés de $\varphi \approx 2{,}5°$.

B.5. 1 pts

Synthèse. La vitesse d'entrée dans le déflecteur vérifie $m_p\,v_0^2 = 2\,e\,U_t$, où U_t est la tension accélératrice totale. Montrer que $U_{\max} = \dfrac{2\,d^2}{\ell^2}\,U_t$, puis calculer la tension totale minimale qui permet de dévier les protons sous $480\ \mathrm{V}$ sans qu'ils heurtent une plaque.

INDICE

Outil : quelle grandeur de l'expression de $U_{\max}$ la relation donnée permet-elle de remplacer ? **Ensuite :** traduis la condition de sortie sous $480\ \mathrm{V}$.

CORRIGÉ

Remplacement. $U_{\max} = \dfrac{d^2}{e\,\ell^2}\,m_p\,v_0^2$ et $m_p\,v_0^2 = 2\,e\,U_t$, donc

$$U_{\max} = \frac{2\,d^2}{\ell^2}\,U_t$$

Condition. Il faut $\dfrac{2\,d^2}{\ell^2}\,U_t > 480\ \mathrm{V}$, soit $U_t > \dfrac{480\,\ell^2}{2\,d^2}$.

Valeur.

$$U_t > \frac{480 \times (0{,}10)^2}{2 \times (7{,}0 \times 10^{-3})^2}$$
$$U_t > 4{,}9 \times 10^{4}\ \mathrm{V}$$

Conclusion. Il faut une tension accélératrice totale d'au moins $49\ \mathrm{kV}$ environ, supérieure aux $40\ \mathrm{kV}$ de l'accélérateur à deux étages : des protons plus rapides supportent une tension de déviation plus grande.

Exercice 5 6 pts

Trajectoire et déflexion d'un faisceau d'électrons en TP

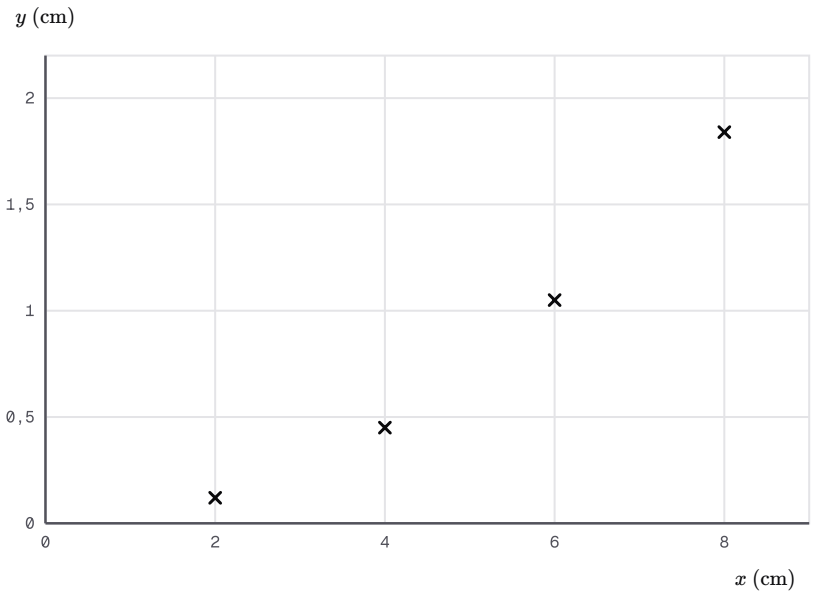
En travaux pratiques, on étudie des faisceaux d'électrons sur deux montages à vide. Dans le premier, un petit écran mobile, déplacé entre deux plaques horizontales, repère le point d'impact du faisceau pour plusieurs abscisses.

Dans le second, le faisceau dévié par deux autres plaques frappe un écran gradué.

Document. Relevé de la trajectoire dans le premier montage : ordonnée y du point d'impact pour plusieurs abscisses x, comptées depuis le point d'entrée O.

x (cm)	y (cm)
$2{,}0$	$0{,}12$
$4{,}0$	$0{,}45$
$6{,}0$	$1{,}05$
$8{,}0$	$1{,}84$

Données : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C}$; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$; $g = 9{,}80\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.



× Points de mesure

Ordonnée du point d'impact en fonction de l'abscisse

A.1. 0,5 pts

Partie A : forme de la trajectoire. Dans le premier montage, les électrons, accélérés sous $U_0 = 2{,}4\,\text{kV}$, entrent en O avec une vitesse horizontale v_0 telle que $m_e\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$. Les plaques sont distantes de $d_1 = 5{,}4\,\text{cm}$, sous la tension $U = 1{,}5\,\text{kV}$; la plaque supérieure est positive.

Faire le bilan des forces exercées sur un électron entre les plaques, en justifiant que le poids est négligé.

INDICE

Outil : le champ entre les plaques, la force électrique, puis le rapport du poids à cette force.

CORRIGÉ

Force électrique. $E = \dfrac{U}{d_1} = \dfrac{1{,}5\times10^{3}}{5{,}4\times10^{-2}} = 2{,}8\times10^{4}\,\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$; $F = e\,E = 4{,}4\times10^{-15}\,\text{N}$, verticale vers le haut, vers la plaque positive.

Poids. $P = m_e\,g = 8{,}93\times10^{-30}\,\text{N}$, soit $\dfrac{P}{F} \approx 2\times10^{-15}$.

Conclusion. L'électron n'est soumis qu'à la force électrique, verticale vers le haut ; son poids est négligeable.

A.2. 0,75 pts

Dans le repère $(O;\vec{i},\vec{j})$, $\vec{i}$ dans le sens de $\vec{v}_0$ et $\vec{j}$ vertical vers le haut, établir l'équation de la trajectoire de l'électron.

INDICE

Début : la deuxième loi de Newton projetée, avec $E_y = -E$. **Ensuite :** deux primitives, puis l'élimination du temps.

CORRIGÉ

Accélération. $-e\,\vec{E} = m_e\,\vec{a}$ avec $E_y = -E$: $a_x = 0$ et $a_y = \dfrac{e\,E}{m_e}$.

Équations horaires. Avec $\vec{v}(0) = v_0\,\vec{i}$ et O origine : $x = v_0\,t$ et $y = \dfrac{e\,E}{2\,m_e}\,t^2$.

Trajectoire. Avec $t = \dfrac{x}{v_0}$:

$$y = \frac{e\,E}{2\,m_e\,v_0^2}\,x^2$$

Conclusion. La trajectoire est un arc de parabole tourné vers le haut : $y = \dfrac{e\,E}{2\,m_e\,v_0^2}\,x^2$.

A.3. 0,75 pts

Montrer que le relevé du document confirme la forme de la trajectoire, et déterminer le coefficient C tel que $y = C\,x^2$, en $\mathrm{m^{-1}}$.

INDICE

Outil : quelle grandeur faut-il porter en abscisse pour obtenir une droite si la trajectoire est une parabole ? **Point délicat :** le passage des $\mathrm{cm^{-1}}$ aux $\mathrm{m^{-1}}$.

CORRIGÉ

Choix de la représentation. Si $y = C\,x^2$, la courbe de y en fonction de x^2 est une droite passant par l'origine. En $\mathrm{cm^2}$, x^2 vaut $4{,}0$, 16, 36, 64.

Forme. Les rapports $\dfrac{y}{x^2}$ valent $0{,}030$, $0{,}028$, $0{,}029$, $0{,}029$ en $\mathrm{cm^{-1}}$, presque égaux : les points $(x^2 ; y)$ sont alignés sur une droite passant par l'origine, et la trajectoire est une parabole.

Coefficient. Le point $(64\,\mathrm{cm^2} ; 1{,}84\,\mathrm{cm})$ est sur la droite :

$$\begin{aligned} C &\approx \frac{1{,}84}{64} \\ C &\approx 0{,}0288\,\mathrm{cm^{-1}} \\ C &\approx 2{,}9\,\mathrm{m^{-1}} \end{aligned}$$

Conclusion. Le relevé confirme la trajectoire parabolique, avec $C \approx 2{,}9\,\mathrm{m^{-1}}$.

A.4. 0,75 pts

Montrer que la théorie prévoit $C = \dfrac{E}{4\,U_0}$, calculer cette valeur et la comparer au relevé.

INDICE

Outil : quelle grandeur de l'équation de la trajectoire la relation donnée permet-elle de remplacer ?

CORRIGÉ

Remplacement. $C = \dfrac{e\,E}{2\,m_e\,v_0^2}$ et $m_e\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$, donc $C = \dfrac{E}{4\,U_0}$.

Valeur.

$$\begin{aligned} C &= \frac{2{,}78 \times 10^{4}}{4 \times 2{,}4 \times 10^{3}} \\ C &= 2{,}9\,\mathrm{m^{-1}} \end{aligned}$$

Conclusion. La valeur prévue, $2{,}9\,\mathrm{m^{-1}}$, est en accord avec le relevé.

B.1. 1 pts

Partie B : déflexion sur l'écran. Dans le second montage, les électrons entrent entre deux plaques de longueur $\ell = 7{,}0\,\text{cm}$, distantes de $d_2 = 1{,}7\,\text{cm}$; l'écran est à $L = 22\,\text{cm}$ du milieu I des plaques. Leur vitesse d'entrée v_0 est inconnue.

Proposer un protocole pour vérifier que la déflexion Y est proportionnelle à la tension U entre les plaques et pour mesurer le coefficient k tel que $Y = k\,U$: montage, réglages fixes, mesures, exploitation.

INDICE

Début : ce qui doit rester constant pour que k le soit. **Ensuite :** les appareils de mesure, puis la représentation graphique.

CORRIGÉ

Montage. Une alimentation continue réglable relie les plaques ; un voltmètre en dérivation mesure U ; l'écran est gradué en millimètres.

Réglages fixes. La tension du canon, donc v_0, et la position des plaques et de l'écran.

Mesures. On repère d'abord le spot O' à tension nulle. Pour une dizaine de valeurs de U, on lit la distance Y du spot à O'.

Exploitation. On trace Y en fonction de U et on modélise par une droite passant par l'origine.

Conclusion. Si les points s'alignent sur une droite passant par l'origine, Y est proportionnelle à U, et la pente de cette droite donne k.

B.2. 0,75 pts

Donner l'expression de k en fonction de e, m_e, ℓ, L, d_2 et v_0.

INDICE

Outil : la déflexion électrostatique sur un écran, pour une charge de valeur absolue e.

CORRIGÉ

Déflexion. Pour un électron, $|q| = e$: $Y = \dfrac{e\,\ell\,L}{m_e\,d_2\,v_0^2}\,U$.

Coefficient.

$$k = \frac{e\,\ell\,L}{m_e\,d_2\,v_0^2}$$

Conclusion. Le coefficient de la droite vaut $k = \dfrac{e\,\ell\,L}{m_e\,d_2\,v_0^2}$.

B.3. 0,5 pts

Le protocole donne les mesures ci-dessous. En déduire la valeur de k.

U (V)	Y (mm)
10	3,2
20	6,7
30	9,8
40	13,2
50	16,4

INDICE

Outil : le rapport $\dfrac{Y}{U}$ pour chaque mesure. **Point délicat :** Y en mètres.

CORRIGÉ

Rapports. En $\text{mm}\cdot\text{V}^{-1}$: $0{,}32$, $0{,}34$, $0{,}33$, $0{,}33$, $0{,}33$, presque égaux : Y est proportionnelle à U.

Coefficient. Le dernier point, le plus éloigné de l'origine, donne la valeur la plus précise :

$$k \approx \frac{16{,}4\times10^{-3}}{50}$$
$$k \approx 3{,}3\times10^{-4}\,\text{m}\cdot\text{V}^{-1}$$

Conclusion. Le coefficient de la droite de modélisation vaut $k \approx 3{,}3\times10^{-4}\,\text{m}\cdot\text{V}^{-1}$.

B.4. 1 pts

Synthèse. Le canon du second montage est réglé sur $1{,}40\,\mathrm{kV}$, et la vitesse d'entrée vérifie $m_e\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$. Montrer que $U_0 = \dfrac{\ell\,L}{2\,d_2\,k}$, calculer la tension du canon déduite des mesures et la comparer à ce réglage.

Dans le premier montage, le champ valait $E = 2{,}8 \times 10^{4}\ \mathrm{V\cdot m^{-1}}$. Expliquer enfin en quoi le mouvement entre les plaques ressemble à celui d'un projectile lancé horizontalement, et en quoi il en diffère.

INDICE

Outil : quelle grandeur de l'expression de k la relation donnée permet-elle de remplacer ? **Ensuite :** compare les accélérations dans les deux situations.

CORRIGÉ

Expression. $k = \dfrac{e\,\ell\,L}{d_2\,m_e\,v_0^2}$ et $m_e\,v_0^2 = 2\,e\,U_0$, donc $k = \dfrac{\ell\,L}{2\,d_2\,U_0}$, soit $U_0 = \dfrac{\ell\,L}{2\,d_2\,k}$.

Tension déduite. Avec k non arrondi :

$$U_0 = \frac{0{,}0154}{1{,}12 \times 10^{-5}}$$
$$U_0 \approx 1{,}38 \times 10^{3}\ \mathrm{V}$$

Comparaison. L'écart au réglage est d'environ $1{,}4\,\%$: les mesures sont cohérentes.

Analogie. Comme un projectile lancé horizontalement, l'électron a une accélération constante perpendiculaire à sa vitesse initiale : sa trajectoire est une parabole.

Différence. L'accélération vaut $\dfrac{e\,E}{m_e}$ au lieu de g ; dans le premier montage, elle est environ 5×10^{14} fois plus grande que g, et dirigée selon la force électrique.

Conclusion. La tension déduite, $1{,}38\,\mathrm{kV}$, est proche du réglage ; le mouvement est celui d'un projectile, avec $\dfrac{e\,E}{m_e}$ à la place de g.