BURHAN

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

2ème Année Baccalauréat · Sciences Mathématiques · Physique-Chimie

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

Chapitre	Palier	Exercices
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme	Application	8

Exercice 1

Champ entre deux plaques horizontales

Deux plaques métalliques planes et parallèles A et B sont horizontales, la plaque A au-dessus de la plaque B. Elles sont distantes de $d = 2{,}6\,\text{cm}$. Une alimentation maintient entre elles la tension $U_{AB} = 810\,\text{V}$.

1.

Préciser la direction et le sens du champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques.

INDICE

Outil : le signe de U_{AB} indique la plaque qui est au potentiel le plus élevé.

CORRIGÉ

Signe de la tension. $U_{AB} = V_A - V_B > 0$: la plaque A est au potentiel le plus élevé.

Direction et sens. Entre deux plaques planes parallèles, le champ est perpendiculaire aux plaques. Il est orienté vers la plaque de plus bas potentiel.

Conclusion. Le champ $\vec{E}$ est vertical et dirigé vers le bas, de la plaque A vers la plaque B.

2.

Calculer la valeur E du champ.

INDICE

Outil : le champ entre deux plaques planes parallèles. **Point délicat :** d en mètres.

CORRIGÉ

Conversion. $d = 2{,}6\,\text{cm} = 2{,}6 \times 10^{-2}\,\text{m}$.

Calcul.

$$E = \frac{U_{AB}}{d}$$
$$E = \frac{810}{2{,}6 \times 10^{-2}}$$
$$E = 3{,}1 \times 10^{4}\,\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Conclusion. Le champ entre les plaques vaut $E = 3{,}1 \times 10^{4}\,\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.

3.

On rapproche les plaques jusqu'à la distance $d' = 1{,}3\,\text{cm}$, sans changer la tension. Calculer la nouvelle valeur E' du champ et la comparer à E.

INDICE

Début : la tension ne change pas, seule la distance change dans la même relation.

CORRIGÉ

Nouvelle valeur.

$$E' = \frac{U_{AB}}{d'}$$
$$E' = \frac{810}{1{,}3 \times 10^{-2}}$$
$$E' = 6{,}2 \times 10^{4}\,\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Comparaison. La distance est divisée par deux et E est inversement proportionnel à d : $E' = 2\,E$.

Conclusion. Le champ double : il vaut $6{,}2 \times 10^{4}\,\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ quand les plaques sont à $1{,}3\,\text{cm}$ l'une de l'autre.

Exercice 2

Forces sur un proton et un électron entre deux plaques verticales

Entre deux plaques verticales, le champ électrique est uniforme et horizontal. Il est orienté de la plaque de gauche vers la plaque de droite et vaut $E = 6{,}5 \times 10^{3}\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$. On y place successivement un proton, de charge $+e$, puis un électron, de charge $-e$.

Donnée : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$.

1.

Donner la direction et le sens de la force électrique exercée sur le proton, puis sur l'électron.

INDICE

Outil : la relation vectorielle entre la force, la charge et le champ ; regarde le signe de chaque charge.

CORRIGÉ

Proton. $q = +e > 0$: $\vec{F} = q\,\vec{E}$ a le sens de $\vec{E}$.

Électron. $q = -e < 0$: $\vec{F}$ est de sens opposé à $\vec{E}$.

Conclusion. Les deux forces sont horizontales : vers la plaque de droite pour le proton, vers la plaque de gauche pour l'électron.

2.

Calculer la valeur de chacune de ces deux forces.

INDICE

Outil : la valeur de la force fait intervenir la valeur absolue de la charge.

CORRIGÉ

Valeur. Les deux charges ont la même valeur absolue e :

$$\begin{aligned} F &= |q|\,E = e\,E \\ F &= 1{,}60 \times 10^{-19} \\ &\quad \times 6{,}5 \times 10^{3} \\ F &= 1{,}0 \times 10^{-15}\ \mathrm{N} \end{aligned}$$

Conclusion. Le proton et l'électron subissent des forces de même valeur, $1{,}0 \times 10^{-15}\ \mathrm{N}$, de sens opposés.

Exercice 3

Poids d'une particule alpha devant la force électrique

Une particule alpha est un noyau d'hélium, de charge $q = 2e$ et de masse $m = 6{,}64 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$. Elle se trouve entre deux plaques planes parallèles distantes de $d = 4{,}0\,\mathrm{cm}$, soumises à la tension $U = 1{,}6\,\mathrm{kV}$.

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

1.

Calculer la valeur E du champ, puis la valeur F de la force électrique subie par la particule.

INDICE

Outil : la relation du champ entre deux plaques, puis la valeur de la force électrique. **Point délicat :** la tension en volts et la distance en mètres.

CORRIGÉ

Champ. $U = 1{,}6 \times 10^{3}\,\mathrm{V}$ et $d = 4{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{m}$:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{1{,}6 \times 10^{3}}{4{,}0 \times 10^{-2}}$$
$$E = 4{,}0 \times 10^{4}\,\mathrm{V\cdot m^{-1}}$$

Force.

$$F = 2e\,E$$
$$F = 3{,}20 \times 10^{-19} \times 4{,}0 \times 10^{4}$$
$$F = 1{,}3 \times 10^{-14}\,\mathrm{N}$$

Conclusion. Le champ vaut $4{,}0 \times 10^{4}\,\mathrm{V\cdot m^{-1}}$ et la force électrique $1{,}3 \times 10^{-14}\,\mathrm{N}$.

2.

Calculer la valeur P du poids de la particule.

INDICE

Outil : $P = m\,g$, masse multipliée par l'intensité de la pesanteur.

CORRIGÉ

Calcul.

$$P = m\,g$$
$$P = 6{,}64 \times 10^{-27} \times 9{,}80$$
$$P = 6{,}51 \times 10^{-26}\,\mathrm{N}$$

Conclusion. Le poids de la particule alpha vaut $6{,}51 \times 10^{-26}\,\mathrm{N}$.

3.

Le poids est-il négligeable devant la force électrique ? Justifier par un calcul.

INDICE

Outil : le rapport des deux forces, comparé à 1.

CORRIGÉ

Rapport. Avec la valeur non arrondie de F :

$$\frac{P}{F} = \frac{6{,}51 \times 10^{-26}}{1{,}28 \times 10^{-14}}$$
$$\frac{P}{F} \approx 5{,}1 \times 10^{-12}$$

Comparaison. Ce rapport est très petit devant 1, bien en dessous de 10^{-2}.

Conclusion. Le poids de la particule alpha est négligeable devant la force électrique.

Exercice 4

Accélération d'un ion lithium

Un ion lithium Li^{+}, de charge $+e$ et de masse $m = 7{,}02\,\mathrm{u}$, se déplace dans le vide, dans une région où règne un champ électrique uniforme $\vec{E}$ de valeur $E = 5{,}0 \times 10^{4}\,\mathrm{V \cdot m^{-1}}$.

Données : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$; $1\,\mathrm{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$; $g = 9{,}80\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

1.

Exprimer la masse de l'ion en kilogrammes.

INDICE

Outil : la valeur de l'unité de masse atomique en kilogrammes.

CORRIGÉ

Conversion.

$$\begin{aligned} m &= 7{,}02 \\ &\quad \times 1{,}66054 \times 10^{-27} \\ m &= 1{,}17 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg} \end{aligned}$$

Conclusion. La masse de l'ion lithium vaut $1{,}17 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$.

2.

Calculer le poids P de l'ion et la valeur F de la force électrique, puis les comparer.

INDICE

Outil : le rapport $\dfrac{F}{P}$, à calculer avec la masse non arrondie.

CORRIGÉ

Poids.

$$\begin{aligned} P &= m\,g \\ P &= 1{,}1657 \times 10^{-26} \\ &\quad \times 9{,}80 \\ P &= 1{,}1 \times 10^{-25}\,\mathrm{N} \end{aligned}$$

Force électrique. $F = e\,E = 8{,}0 \times 10^{-15}\,\mathrm{N}$.

Rapport. $\dfrac{F}{P} \approx 7{,}0 \times 10^{10}$.

Conclusion. La force électrique est environ 7×10^{10} fois plus grande que le poids : le poids de l'ion est négligeable.

3.

Établir l'expression du vecteur accélération de l'ion, puis calculer sa valeur et préciser son sens.

INDICE

Outil : la deuxième loi de Newton, appliquée à l'ion.

CORRIGÉ

Système et référentiel. L'ion, de masse constante, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces. La force électrique $\vec{F} = e\,\vec{E}$ seule, le poids étant négligé d'après la question 2.

Deuxième loi de Newton. $e\,\vec{E} = m\,\vec{a}$, d'où $\vec{a} = \dfrac{e}{m}\,\vec{E}$, vecteur constant de même sens que $\vec{E}$.

Valeur. Avec la masse non arrondie :

$$a = \frac{e\,E}{m}$$
$$a = \frac{8{,}0 \times 10^{-15}}{1{,}1657 \times 10^{-26}}$$
$$a = 6{,}9 \times 10^{11}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

Conclusion. L'accélération de l'ion est constante, de même sens que $\vec{E}$, de valeur $6{,}9 \times 10^{11}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Exercice 5

Vitesse d'un proton accéléré depuis le repos

Un proton, de charge $+e$ et de masse $m_p = 1{,}00728\,\mathrm{u}$, sort sans vitesse d'une petite ouverture de la plaque A. Il est accéléré vers la plaque B, parallèle à A, par une tension de valeur $2{,}5\,\mathrm{kV}$ entre les plaques. Son poids est négligé.

Données : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$; $1\,\mathrm{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

1.

Quel doit être le signe de la tension U_{AB} pour que le proton soit accéléré de A vers B ?

INDICE

Outil : le signe du produit $q\,U_{AB}$ dans la relation de la vitesse acquise.

CORRIGÉ

Condition. La particule est accélérée si $q\,U_{AB} > 0$. Ici $q = +e > 0$.

Conclusion. Il faut $U_{AB} > 0$, soit $U_{AB} = +2{,}5\,\mathrm{kV}$: la plaque A est au potentiel le plus élevé.

2.

Calculer la vitesse v_B du proton quand il atteint la plaque B.

INDICE

Outil : la vitesse acquise depuis le repos le long d'une ligne de champ. **Point délicat :** la masse en kilogrammes.

CORRIGÉ

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

Vitesse.

$$v_B = \sqrt{\frac{2\,e\,U_{AB}}{m_p}}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{8{,}00 \times 10^{-16}}{1{,}673 \times 10^{-27}}}$$

$$v_B = 6{,}9 \times 10^{5}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

Conclusion. Le proton atteint la plaque B à la vitesse $6{,}9 \times 10^{5}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

3.

Comparer cette vitesse à la célérité c de la lumière. Le modèle utilisé reste-t-il valable ?

INDICE

Outil : le rapport $\frac{v_B}{c}$.

CORRIGÉ

Rapport.

$$\frac{v_B}{c} = \frac{6{,}9 \times 10^{5}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$
$$\frac{v_B}{c} \approx 2{,}3 \times 10^{-3}$$

Conclusion. La vitesse du proton est très petite devant c : la mécanique de Newton s'applique.

Exercice 6

Sortie et déviation d'un deutéron

Un deutéron, noyau formé d'un proton et d'un neutron, a pour charge $+e$ et pour masse $m = 3{,}34 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$. Il entre en O, à égale distance de deux plaques horizontales, avec une vitesse horizontale $v_0 = 6{,}0 \times 10^{5}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Les plaques ont pour longueur $\ell = 6{,}0\,\mathrm{cm}$; elles sont distantes de $d = 2{,}4\,\mathrm{cm}$ et soumises à la tension $U = 120\,\mathrm{V}$. Le poids est négligé, et on utilise les expressions de la sortie des plaques établies dans le cours.

Donnée : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$.

1.

Calculer la valeur du champ entre les plaques et l'accélération du deutéron.

INDICE

Outil : la relation du champ entre deux plaques, puis l'accélération d'une particule chargée.

CORRIGÉ

Champ.

$$E = \frac{U}{d} = \frac{120}{2{,}4 \times 10^{-2}}$$
$$E = 5{,}0 \times 10^{3}\,\mathrm{V\cdot m^{-1}}$$

Accélération.

$$a = \frac{e\,E}{m}$$
$$a = \frac{1{,}60 \times 10^{-19}}{3{,}34 \times 10^{-27}} \times 5{,}0 \times 10^{3}$$
$$a = 2{,}4 \times 10^{11}\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

Conclusion. Le champ vaut $5{,}0 \times 10^{3}\,\mathrm{V\cdot m^{-1}}$ et l'accélération du deutéron $2{,}4 \times 10^{11}\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

2.

Calculer l'ordonnée de sortie y_S en valeur absolue. Le deutéron sort-il des plaques ?

INDICE

Début : calcule la durée de traversée t_S. **Ensuite :** compare $|y_S|$ à la moitié de d.

CORRIGÉ

Durée de traversée. $t_S = \dfrac{\ell}{v_0} = \dfrac{6{,}0 \times 10^{-2}}{6{,}0 \times 10^{5}} = 1{,}0 \times 10^{-7}\,\mathrm{s}$.

Ordonnée de sortie. Avec l'accélération non arrondie, $2{,}395 \times 10^{11}\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$:

$$|y_S| = \frac{1}{2}\,a\,t_S^2$$
$$|y_S| = 1{,}2 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$$

Condition de sortie. $\dfrac{d}{2} = 1{,}2 \times 10^{-2}\,\mathrm{m}$, dix fois plus que $|y_S|$.

Conclusion. $|y_S| = 1{,}2 \times 10^{-3}\,\mathrm{m} < \dfrac{d}{2}$: le deutéron sort des plaques sans les heurter.

3.

Calculer l'angle de déviation φ.

INDICE

Outil : la tangente de l'angle entre la vitesse d'entrée et la vitesse de sortie.

CORRIGÉ

Vitesse transversale. $|v_y| = a\,t_S = 2{,}40 \times 10^{4}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Angle.

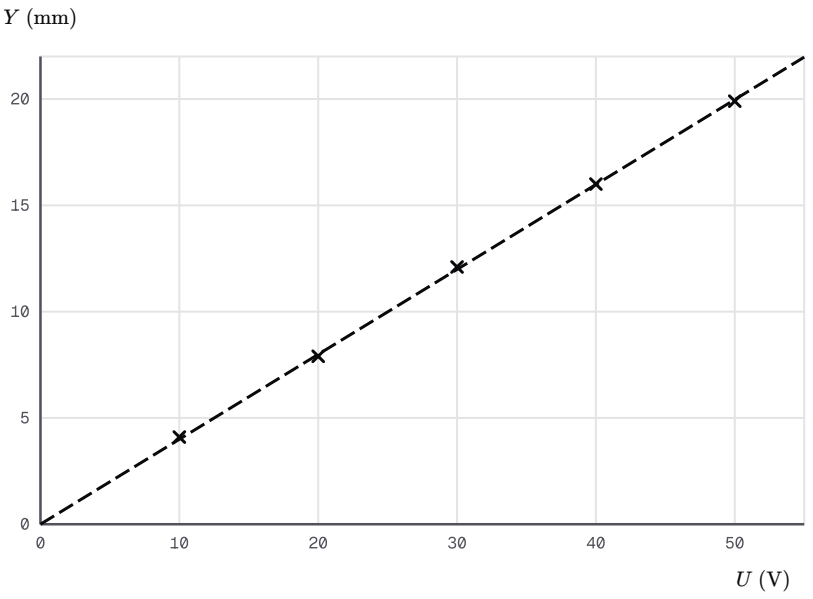
$$\tan\varphi = \frac{|v_y|}{v_0}$$
$$\tan\varphi = \frac{2{,}40 \times 10^{4}}{6{,}0 \times 10^{5}}$$
$$\tan\varphi \approx 0{,}040$$
$$\varphi \approx 2{,}3^{\circ}$$

Conclusion. L'angle de déviation vaut $\varphi \approx 2{,}3^{\circ}$.

Exercice 7

Lecture d'une droite de déflexion

Sur un banc de déviation, un faisceau d'ions argon, tous animés de la même vitesse, traverse deux plaques de déviation puis frappe un détecteur plan. On relève la déflexion Y pour plusieurs tensions U entre les plaques ; le document représente ces mesures.



× Points de mesure — — Droite de modélisation

Déflexion du faisceau en fonction de la tension

1.

Justifier que la déflexion Y est proportionnelle à la tension U, puis déterminer le coefficient k tel que $Y = k\,U$.

INDICE

Outil : la forme de la droite de modélisation ; un point éloigné de l'origine donne une pente précise.

CORRIGÉ

Proportionnalité. Les points s'alignent sur une droite issue de l'origine : Y est proportionnelle à U.

Pente. Le point $(50\,\mathrm{V} ; 19{,}9\,\mathrm{mm})$ est proche de la droite :

$$k \approx \frac{19{,}9\,\mathrm{mm}}{50\,\mathrm{V}}$$
$$k \approx 0{,}40\,\mathrm{mm\cdot V^{-1}}$$

Conclusion. $Y = k\,U$ avec $k \approx 0{,}40\,\mathrm{mm\cdot V^{-1}}$, soit $4{,}0\times10^{-4}\,\mathrm{m\cdot V^{-1}}$.

2.

Prévoir la déflexion pour une tension de $35\,\mathrm{V}$.

INDICE

Outil : la relation de proportionnalité avec le coefficient trouvé.

CORRIGÉ

Calcul.

$$Y = k\,U \approx 0{,}40 \times 35$$
$$Y \approx 14\,\mathrm{mm}$$

Conclusion. Pour $35\,\mathrm{V}$, la déflexion vaut environ $14\,\mathrm{mm}$.

3.

Quelle tension faut-il appliquer pour obtenir une déflexion de $10\,\mathrm{mm}$?

INDICE

Début : isole U dans la relation de proportionnalité.

CORRIGÉ

Calcul.

$$U = \frac{Y}{k} \approx \frac{10}{0{,}40}$$
$$U \approx 25\,\mathrm{V}$$

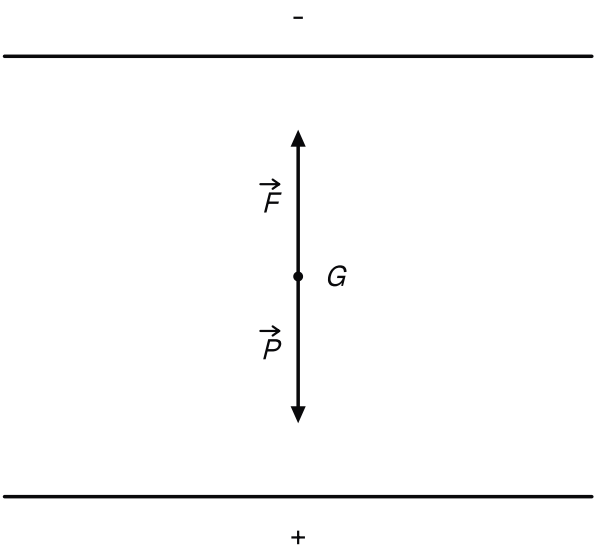
Conclusion. Une tension d'environ $25\,\mathrm{V}$ donne une déflexion de $10\,\mathrm{mm}$.

Exercice 8

Charge d'une bille de latex immobile

Un banc d'essai sert à contrôler la charge de petites billes de latex. Une bille de masse $m = 2{,}36 \times 10^{-15}\,\mathrm{kg}$ reste immobile entre deux plaques horizontales distantes de $d = 0{,}900\,\mathrm{cm}$. La plaque inférieure est positive ; la tension entre elles vaut $U = 217\,\mathrm{V}$. La poussée de l'air est négligée.

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



Bille de latex immobile entre les plaques

1.

Faire le bilan des forces exercées sur la bille, puis en déduire le signe de sa charge q.

INDICE

Outil : l'équilibre impose deux forces opposées ; le sens du champ dépend de la plaque positive.

CORRIGÉ

Bilan. Le poids $\vec{P}$, vertical vers le bas, et la force électrique $\vec{F} = q\,\vec{E}$. La bille est immobile : $\vec{F} = -\vec{P}$, donc $\vec{F}$ est verticale vers le haut.

Sens du champ. $\vec{E}$ va de la plaque positive vers la plaque négative : il est vertical vers le haut.

Conclusion. $\vec{F}$ a le sens de $\vec{E}$: la charge de la bille est positive.

2.

Calculer la valeur de la charge de la bille.

INDICE

Outil : l'égalité des valeurs des deux forces, avec le champ exprimé à partir de U et d.

CORRIGÉ

Équilibre. $q\,\dfrac{U}{d} = m\,g$, donc

$$q = \frac{m\,g\,d}{U}$$
$$q = \frac{2{,}08 \times 10^{-16}}{217}$$
$$q = 9{,}59 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$$

Conclusion. La charge de la bille vaut $q = 9{,}59 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$.

3.

Combien d'électrons la bille a-t-elle perdus ?

INDICE

Outil : le quotient de q par la charge élémentaire.

CORRIGÉ

Quotient.

$$n = \frac{q}{e} = \frac{9{,}59 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}}$$
$$n \approx 6{,}00$$

Conclusion. La bille a perdu 6 électrons.