

## Vrai / Faux

1. Le champ magnétique qui s'exerce sur une particule chargée au repos la met en mouvement.

Vrai  Faux

2. Pour un électron, l'intensité de la force de Lorentz et de la pesanteur sont du même ordre de grandeur.

Vrai  Faux

3. Un champ magnétique permet de courber la trajectoire d'une particule chargée.

Vrai  Faux

4. Le champ électrique qui s'exerce sur une particule chargée l'accélère dans une direction parallèle à ce champ.

Vrai  Faux

5. La trajectoire d'une particule chargée dans un champ magnétique peut être une droite.

Vrai  Faux

## Pour bien démarrer

## Exercice n°1 - Analyse de mouvements (★)

On considère un point matériel de charge  $q > 0$  et de masse  $m$ , de vitesse initiale  $\vec{V}_0$  à l'entrée d'une zone où règnent un champ électrique  $\vec{E}$  ou un champ magnétique  $\vec{B}$ . On suppose ces champs uniformes et indépendants du temps, et on néglige toute autre force que celles provoquées par ces champs.

- La particule décrit une droite et possède une accélération constante  $a$ .
  - Déterminer la direction et la norme du ou des champs qui provoquent cette trajectoire.

(b) Déterminer la position du point matériel en fonction du temps.

2. La particule décrit une trajectoire circulaire de rayon  $R_0$  dans un plan  $(xOy)$ .

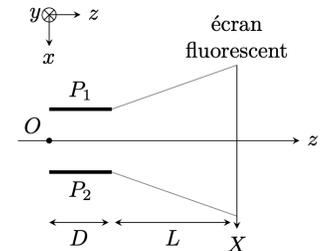
- Déterminer la direction du ou des champs qui provoquent cette trajectoire.
- Déterminer la norme du champ en fonction de  $V_0$  et  $R_0$ . Il est suggéré d'utiliser les coordonnées polaires.

## Exercices essentiels

## Exercice n°2 - Oscilloscope analogique (★★)

Les oscilloscopes analogiques exploitaient la déviation d'un faisceau d'électron sous l'effet d'une tension à imager sur un écran. Cet exercice propose de comprendre le principe de fonctionnement de ces anciens oscilloscopes. Dans tout l'exercice, on se place dans le référentiel terrestre, auquel est associé un repère  $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ .

Une zone de champ électrique uniforme est établie entre deux plaques  $P_1$  et  $P_2$ , le champ est supposé nul en dehors de cette zone et les effets de bord sont négligés. La distance entre les plaques est notée  $d$ , la longueur des plaques  $D$  et on note  $U$  la tension (supposée constante et positive) entre les plaques, égale à la tension d'entrée de l'oscilloscope.



On admet que le champ électrique entre les plaques s'écrit

$$\vec{E} = -\frac{U}{d}\vec{u}_x$$

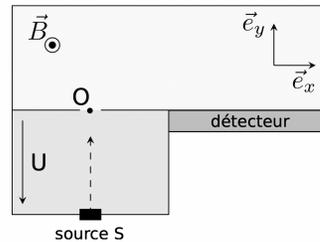
Des électrons accélérés au préalable pénètrent en O la zone où existe le champ avec une vitesse  $\vec{v}_0 = v_0\vec{u}_z$  selon l'axe  $Oz$ . On suppose leur poids négligeable devant la force électrique.

- Établir l'équation de la trajectoire  $x = f(z)$  de l'électron dans la zone du champ en fonction notamment de  $d$ ,  $U$  et  $v_0$ .
- Déterminer les coordonnées du point de sortie  $K$  de la zone de champ et les composantes de la vitesse en ce point.

- Montrer que dans la zone entre les plaques chargées et l'écran fluorescent le mouvement est rectiligne uniforme.
- On note  $L$  la distance entre la sortie de la zone de champ et l'écran fluorescent. Déterminer l'abscisse  $x_I$  du point d'impact  $I$  de l'électron sur l'écran en fonction de  $U$ ,  $v_0$ ,  $D$ ,  $d$  et  $L$ .
- À la lumière des questions précédentes, expliquer le principe de fonctionnement d'un oscilloscope analogique. Proposer une solution permettant d'obtenir un chronogramme sur l'écran et pas seulement un point.

### Exercice n°3 - Spectromètre de masse (★★)

Un spectromètre de masse est un appareil permettant d'identifier les éléments présents dans un échantillon de matière inconnu. Pour cela, l'échantillon est ionisé à l'entrée de l'appareil, si bien que des ions pénètrent en ligne droite à partir de l'entrée en S. Ces ions sont de vitesses négligeables en S. On note  $m$  leur masse et  $q$  leur charge. Ils sont accélérés entre S et O par l'application d'une différence de potentiel  $U$ . Ils pénètrent ensuite en O dans une chambre où règne un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme et stationnaire, sont déviés par ce champ et vont frapper un détecteur. On supposera que les ions sont chargés positivement.

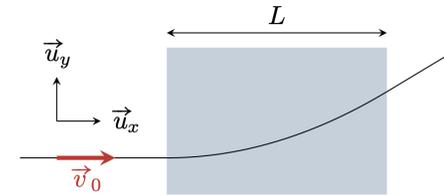


- Donner l'expression de la vitesse  $v_0$  de l'ion en O, en fonction de  $q$ ,  $m$  et  $U$ .
- Justifier que dans la chambre où règne le champ magnétique, la vitesse de l'ion ne varie pas.
- On admet que la trajectoire de l'ion dans la chambre où règne le champ magnétique est circulaire. Établir l'expression du rayon  $R$  de la trajectoire en fonction de  $B$ ,  $q$ ,  $m$  et  $U$ .
- On note P le point d'impact de l'ion sur le détecteur. Donner la valeur de la distance OP pour un ion hydrogène  $H^+$  et pour un ion deutérium  $D^+$  (le deutérium est un isotope de l'hydrogène, qui contient deux nucléons).

Données : Données :  $U = 10$  kV;  $m_p = 1,7 \times 10^{-27}$  kg;  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C;  $B = 200$  mT.

### Exercice n°4 - Détermination d'un champ électrique (★★)

Un électron de masse  $m$ , d'énergie cinétique  $E_{c0} = 80$  keV pénètre à une vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale dans une cavité de longueur  $L = 1$  m où règne un champ électrique uniforme de norme  $E_0$  constante.



- Déterminer la direction et le sens du champ électrostatique  $\vec{E}_0$ .
- Lors de sa traversée, l'énergie cinétique de l'électron varie de  $|\Delta E_c| = 10$  keV. Quel est le signe de  $\Delta E_c$  ?
- Déterminer la norme  $E_0$ .
- Évaluer l'angle de déviation  $\alpha$  de la trajectoire en sortie de la zone de champ.

Données :  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg ;  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  J.

Pour aller plus loin

### Exercice n°5 - Champ électrique et magnétique orthogonaux (★★★)

On considère une particule de masse  $m$  et de charge  $q$  initialement immobile dans un référentiel  $\mathcal{R}$  supposé galiléen. On note  $O$  sa position à  $t = 0$ . Il règne dans l'espace un champ électromagnétique uniforme et stationnaire :  $\vec{E} = E \vec{e}_y$  et  $\vec{B} = B \vec{e}_z$ . On introduit les quantités  $\omega = \frac{qB}{m}$  et  $A = \frac{E}{B\omega}$ .

- Appliquer le principe fondamental de la dynamique à la particule.
- Établir une équation différentielle portant sur la variable complexe  $\underline{v}(t) = v_x(t) + jv_y(t)$ .
- Déterminer la loi d'évolution de  $\underline{v}(t)$ . En déduire celles de  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$ .
- Déterminer les équations horaires du mouvement.

## Éléments de réponse

Vrai / Faux :

1. Faux 2. Faux 3. Vrai 4. Vrai 5. Faux

Exercice n°1 :

1. Champ  $\vec{E}$ , de même direction que  $\vec{V}_0$ , de norme  $E = \frac{m}{q}a$ .
2.  $\vec{OM} = \frac{q}{2m} \vec{E}t^2 + \vec{V}_0t$
3. Champ  $\vec{B}$ , perpendiculaire à  $\vec{V}_0$
4.  $B = \frac{mV_0}{qR_0}$

Exercice n°2 :

Trajectoire  $x = \frac{eU}{2mdv_0^2}z^2$ . Point d'impact  $x_I = \frac{eUd}{mdv_0^2}(L + D/2)$

Exercice n°3 :

1.  $v_0 = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$
2. La force de Lorentz magnétique ne travaille pas.
3.  $R = \sqrt{\frac{2mU}{qB^2}}$
4. Pour  $H^+$  :  $OP = 2R = 14,4$  cm  
Pour  $D^+$  :  $OP = 2R = 20,4$  cm.

Exercice n°4 :

1.  $\vec{E}_0$  orienté selon  $-\vec{u}_y$
2. Force motrice donc  $\Delta E_c > 0$
3.  $E_0 = \sqrt{\frac{E_{c0}\Delta E_c}{L^2e^2}} = 5,6 \times 10^4 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$
4.  $\tan \alpha = \frac{2eE_0L}{E_{c0}}$