TD n° 15 de Physique
Mécanique - Mouvements des particules chargées dans un champ électromagnétique

Applications directes du cours

1 Électron et proton dans un champ magnétique

On considère un électron et un proton, de même énergie cinétique initiale, soumis à un même champ magnétostatique uniforme, normal à la vitesse initiale. Ils décrivent des trajectoires circulaires. On rappelle que $m_{\text{proton}} \approx 2000\, m_{\text{electron}}$. Montrer que leur énergie cinétique reste constante et comparer leur vitesse, le rayon de leur trajectoire et leur période.

2 Champs électrostatique et magnétostatique parallèles

On considère une particule de masse M et de charge q soumise à l'action simultanée d'un champ électrostatique uniforme et constant $\overrightarrow{E} = E_0\,\overrightarrow{e_z}$, et d'un champ magnétostatique uniforme et constant $\overrightarrow{B} = B_0\,\overrightarrow{e_z}$. La particule est initialement à l'origine du repère et sa vitesse initiale est $\overrightarrow{v_0} = v_{0,x}\,\overrightarrow{e_x} + v_{0,z}\,\overrightarrow{e_z}$.
Étudier le mouvement. On pourra le décomposer suivant l'axe $\overrightarrow{e_z}$ et le plan orthogonal à cet axe.

3 Distance minimale d'approche

Une charge ponctuelle Q est maintenue immobile au point O. Une autre charge Q, de masse m, est lancée depuis l'infini avec une vitesse radiale $v_\infty = -v_0\,\overrightarrow{u_r}$ en direction de O ($v_0 > 0$).
Que peut-on dire de la trajectoire de la charge mobile ? Déterminer la distance minimale d'approche.

Exercices

1 Équilibre de masses chargées électriquement

Deux particules ponctuelles P_1 et P_2 de même masse $m = 10\,\text{g}$ et de même charge q en valeur absolue sont suspendues à deux fils de longueur $L = 30\,\text{cm}$. Les points d'ancrage A et B des fils sont distants également de L. À l'équilibre la distance entre les deux particules est $d = 20\,\text{cm}$.

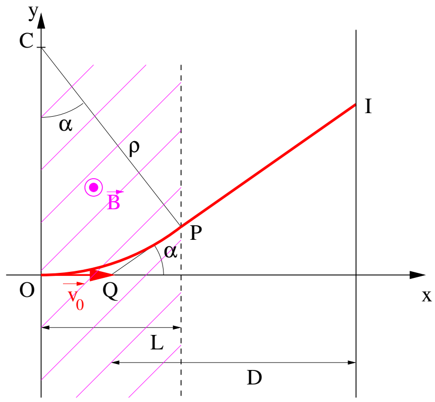
1. Établir le bilan des forces s'exerçant sur chaque charge.
2. Que peut-on dire du signe des deux charges ?
3. Déterminer numériquement la valeur de l'angle α entre chaque fil et la verticale.
4. En déduire l'expression de q en fonction des données du problème. La calculer.
5. Déterminer et calculer la tension des fils.

2 Mouvement avec frottements

On considère une particule chargée positivement q, de masse M, en mouvement par rapport à un référentiel $\mathcal{R}$ dans un champ magnétique uniforme et constant $\overrightarrow{B} = B_0\,\overrightarrow{e_z}$. La particule se situe initialement en O, avec une vitesse $\overrightarrow{v_0} = v_{0,x}\,\overrightarrow{e_x} + v_{0,y}\,\overrightarrow{e_y}$. Elle est en outre soumise à une force de frottement de sens opposé à $\overrightarrow{v}$ et de norme $F = k\,v^2$, où k est une constante positive.

1. Montrer que la norme de la vitesse de la particule décroît au cours du temps.
2. Déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution de la vitesse. La résoudre, en utilisant la méthode de séparation des variables. Tracer l'évolution de la vitesse au cours du temps.
3. Quel est le rôle joué par la force de Lorentz dans ce mouvement ?

3 Déflexion magnétique



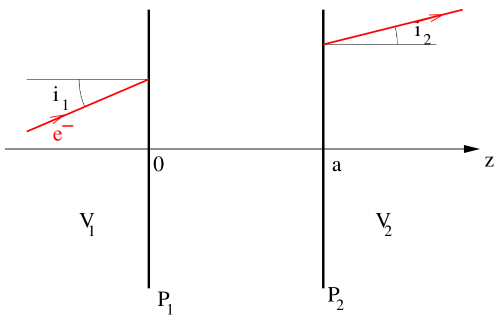
On considère un faisceau d'électrons de vitesse initiale $\overrightarrow{v_0} = v_0\,\overrightarrow{e_x}$. Les électrons pénètrent en O dans une zone de largeur L suivant (Ox), dans laquelle règne un champ magnétique uniforme et constant $\overrightarrow{B} = B_0\,\overrightarrow{e_z}$. On suppose que le champ magnétique est nul en dehors de ce domaine. On place à la distance $D + \dfrac{L}{2}$ de O un écran fluorescent.

1. Vérifier que la trajectoire peut être circulaire dans la zone $x < L$. Déterminer la vitesse angulaire ω et le rayon ρ du mouvement.
2. Justifier que, comme l'indique le schéma, l'angle α désigne simultanément $(\overrightarrow{CO},\overrightarrow{CP})$, $(\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{v_P})$ et $(\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{PI})$.
3. Exprimer α en fonction de L, q, B_0, m et v_0, en supposant que $L \ll \rho$.
4. En déduire l'ordonnée y_P du point P. On donne la relation $\cos(x) \approx 1 - \dfrac{x^2}{2}$ si $|x| \ll 1$.
5. Déterminer la position du point d'impact I sur l'écran.
6. La vitesse v_0 des électrons est obtenue à l'aide de deux armatures créant un champ électrique uniforme, aux bornes desquelles la tension est $V = 1000\,\mathrm{V}$. Déterminer v_0.
7. Calculer ρ, α, y_P et y_I. On donne $L = 5{,}0\,\mathrm{mm}$, $B = 3{,}0\,\mathrm{mT}$ et $D = 20\,\mathrm{cm}$.

On rappelle la masse de l'électron $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$ et sa charge $q = -e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$.

4 Optique électronique

On considère des électrons, de masse M, non relativistes, se déplaçant dans le vide.



L'espace est séparé en trois zones par deux surfaces planes (P_1) et (P_2) parallèles, de normale $\vec{e}_z$, d'équations cartésiennes respectives $z = 0$ et $z = a$. Ces surfaces sont transparentes aux électrons. Elles sont portées respectivement aux potentiels V_1 et V_2. La zone $z < 0$ est supposée équipotentielle, de potentiel V_1, et la zone $z > a$ est également équipotentielle, de potentiel V_2. La zone $0 < z < a$ présente un potentiel variable entre V_1 et V_2.

1. On suppose $V_2 > V_1$. Quelle est la direction et le sens du champ électrostatique entre (P_1) et (P_2) ?
2. Un électron émis sans vitesse initiale par une source éloignée maintenue au potentiel nul pénètre dans le domaine équipotentiel V_1. Quelle est sa vitesse v_1 à l'intérieur de ce domaine ?
3. Cet électron atteint le plan (P_1) sous l'incidence i_1 (angle par rapport à la normale) et émerge au niveau du plan (P_2) avec une incidence i_2 et une vitesse v_2. Exprimer le théorème de l'énergie mécanique entre P_1 et P_2. En déduire l'expression de v_2 en fonction m, e et V_2 uniquement.
4. Déterminer à l'aide du PFD une relation entre i_1, i_2, v_1 et v_2.
5. En déduire une relation entre V_1, $\sin i_1$, V_2 et $\sin i_2$. Cette relation dépend-elle de a ?
6. En supposant $a \to 0$, ce système vous rappelle-t-il un système optique ? Préciser les analogies.