

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2023

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

20-MB-B6 - ÉLECTROMAGNÉTISME

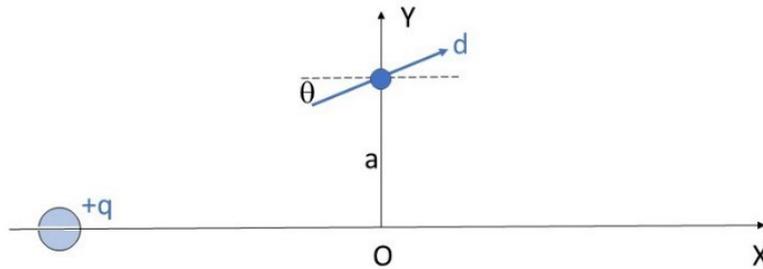
Problème 1 (20 points). Forces entre les objets transportant des courants électriques.

a) (5 points) Quelle est la force par unité de longueur entre deux fils droits séparés par une distance a qui transportent des courants I_w^1 et I_w^2 , et qui sont parallèles l'un à l'autre ?

b) (15 points) À l'aide d'a) et de l'intégration, calculez la force par unité de longueur agissant sur un fil suspendu à distance a au-dessus d'une feuille conductrice transportant un courant de surface uniforme. Le courant dans le fil I_w est parallèle à la direction d'un courant de surface avec une densité de courant par unité de longueur j_s .

Indice:
$$\int_0^{+\infty} \frac{dx}{1+x^2} = \frac{\pi}{2}$$

Problème 2 (20 points). Champs d'un dipôle électrique.



Une petite bille métallique de masse m et de charge positive $+q$ est confinée pour se déplacer sans frottement le long de l'axe OX passant par l'origine. Un dipôle électrique fixe à moment dipolaire d est placé à distance a de l'origine le long de l'axe OY. La bille est initialement placée avec une vitesse nulle à moins l'infini le long de l'axe OX. Un vecteur dipôle est incliné d'un angle $\theta \in (0, \pi/2)$ par rapport à l'axe OX et il est dirigé à l'opposé de la bille.

a) (15 points) En relâchant la bille, il commence à accélérer vers le dipôle. À quelle position x de la bille le long de l'axe OX sa vitesse atteint la valeur maximale ?

b) (5 points) Quelle est la vitesse maximale atteinte par la bille lorsque le dipôle est dirigé parallèlement à l'axe OX ($\theta = 0$), et à quelle position x de la bille cela se produit-il ?

Problème 3 (20 points). Stabilité d'un système de charges électriques.

Une charge électrique négative stationnaire $-q$ est placée aux coordonnées $(-R, 0)$. Un dipôle électrique avec un moment dipolaire d et une masse m est placé à l'origine $(0, 0)$ et son vecteur est dirigé vers la charge électrique négative.

a) (5 points) Quelle est la force F_x agissant sur un dipôle ?

Une seconde charge électrique positive stationnaire $+q$ est ajoutée au système aux coordonnées $(+R, 0)$ pour stabiliser la position du dipôle.

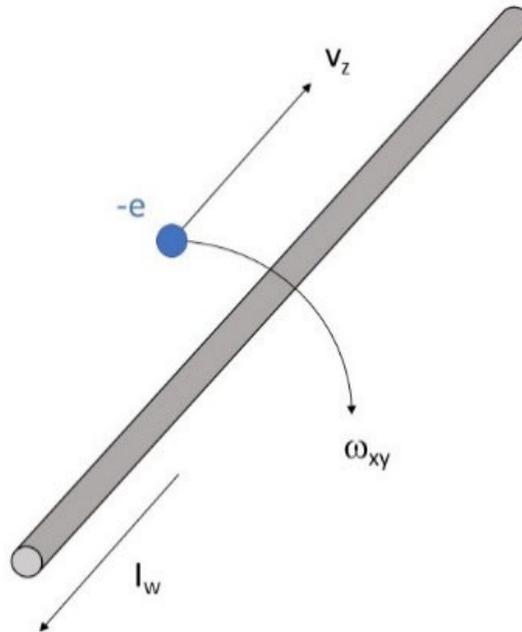
b) (5 points) Quelle est la force nette F_x agissant sur un dipôle ? Le dipôle est-il en équilibre ?

Supposons qu'un dipôle placé entre les deux charges stationnaires comme décrit précédemment est déplacé le long de l'axe OX d'une petite distance $\delta x \ll R$, tandis que la direction du dipôle reste inchangée.

c) (5 points) Calculez la force nette F_x agissant sur un dipôle en fonction des q, d, R , et δx .

d) (5 points) En utilisant le développement de Taylor jusqu'à un terme linéaire en δx présenter votre réponse sous la forme $F_x \approx k \cdot \delta x$, trouver la valeur et le signe d'une constante k . L'état d'équilibre d'un dipôle est-il stable ?

Problème 4 (20 points). Mouvement d'un électron dans un champ magnétique.



Un électron non relativiste se déplace sur une orbite stable autour du fil qui transporte le courant I_w . Le fil est dirigé selon l'axe OZ. Le mouvement d'un électron peut être décrit comme un mouvement de translation avec une vitesse constante v_z le long du fil plus un mouvement orbital avec un rayon r autour du fil (plan OXY) avec une vitesse angulaire constante ω_{xy} . Nous supposons que la vitesse d'un électron v_z est dans la direction opposée au courant du fil I_w .

a) (5 points) Trouvez la valeur et tracez la direction du champ magnétique généré par le fil en fonction de r .

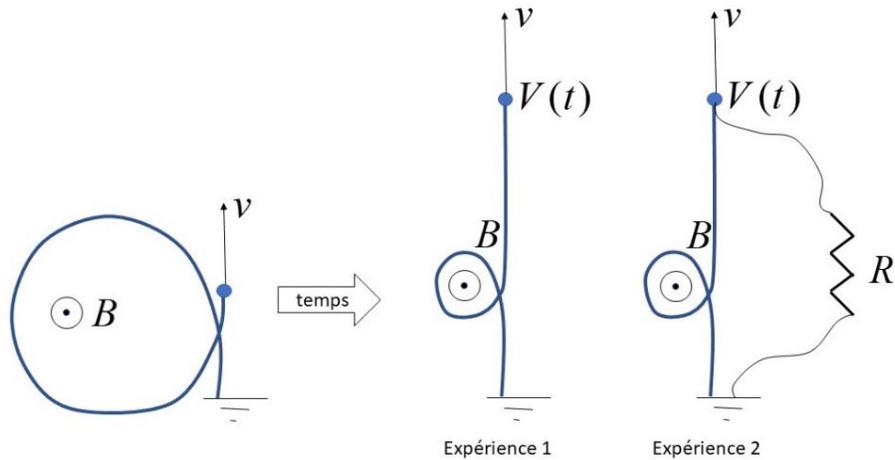
b) (5 points) Trouvez une relation entre v_z et ω_{xy} en supposant que l'orbite d'électron est stable.

c) (5 points) Trouvez v_z en supposant que la vitesse totale d'un électron est v_e .

Rappel : $v_e = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.

d) (5 points) Pour une valeur donnée de la vitesse d'électron v_e , quelles sont les valeurs admissibles pour le rayon de l'orbite r ?

Problème 5 (20 points). Loi de Faraday.



Une boucle circulaire en fil métallique de longueur totale L est placée perpendiculairement à un champ magnétique uniforme B . La tension V est mesurée entre les extrémités de la boucle. Le fil a un revêtement en plastique afin qu'il n'y ait pas de court-circuit dans la boucle. L'une des extrémités de la boucle est fixée mécaniquement et mise à la terre. Une autre extrémité de la boucle est tirée verticalement avec une vitesse constante v de sorte que la zone de boucle circulaire est constamment réduite jusqu'à ce que la boucle disparaisse complètement. Dans vos calculs, ignorez l'inductance de la boucle.

- a) (15 points) Expérience 1 : trouvez la dépendance temporelle du différentiel de tension $V(t)$ entre les extrémités de la boucle en supposant un circuit électrique ouvert.
- b) (5 points) Expérience 2 : En supposant que les extrémités de la boucle sont connectées à la résistance électrique R , calculez la chaleur totale dégagée par la résistance depuis le début de l'expérience jusqu'à ce que la boucle disparaisse.