

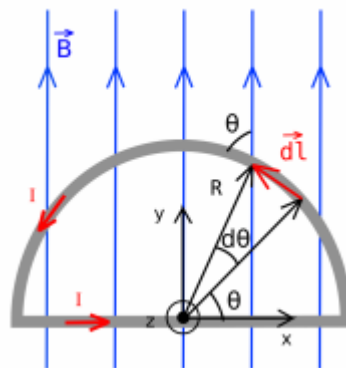
10 novembre 2025

Série 7

1 Force de Lorentz sur un demi-cercle

Dans le plan xy le circuit fermé de la figure est parcouru par un courant I , constant dans le temps, et est soumis à un champ magnétique externe et uniforme $\vec{B} = B\vec{e}_y$. Établir l'amplitude et la direction de la force magnétique agissant sur les portions droites et courbées du circuit. Le circuit reste-t-il immobile ?

Remarque : le long de l'arc de cercle, on peut écrire $d\vec{l} = R d\theta \hat{e}_\theta$.



2 Mini-expérience : le moteur homopolaire

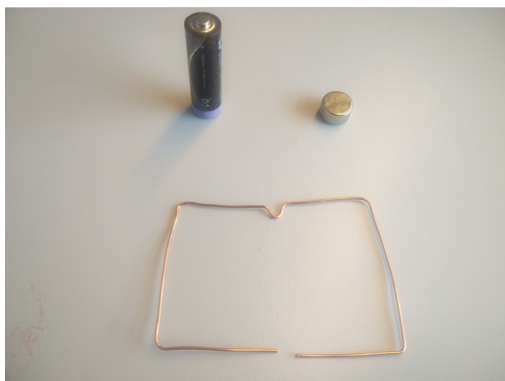
Le moteur homopolaire a été conçu par Faraday en 1832. Plusieurs configurations peuvent être réalisées. Aujourd'hui, nous allons étudier plus en détail deux types de moteurs homopolaires.

Liste matériel

- 1 vis en fer.
- 1 pile alcaline AA.
- 1 fil électrique 0.5-1 mm diamètre.
- 1 aimant NeFeB ($\rho \sim 10^{-4} \Omega m$).

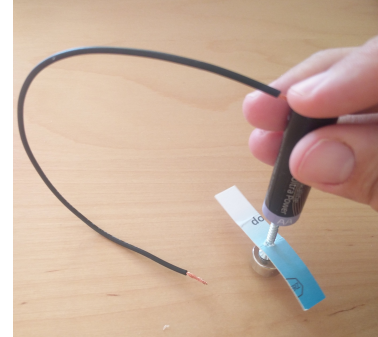
Montage du système expérimental

Posez l'aimant sur la face inférieure de la pile et pliez le fil de cuivre comme indiquée sur les photos ci-dessous. Le fil en cuivre doit toucher à la fois la partie supérieure de la pile, et l'aimant sur la partie inférieure avec ses deux extrémités. **Attention** : veuillez noter que la surface de l'aimant est recouverte de nickel ($\rho \sim 10^{-7} \Omega m$). Lorsque vous fermez le circuit électrique, le passage de courant peut chauffer le système.



- (a) Quel effet observez vous ?
- (b) Quelle est la loi physique qui permet au fil de tourner, quelles sont les grandeurs physiques impliquées, et quelle orientation ont leurs vecteurs ?
- (c) En déduire la position du pôle sud et nord de l'aimant.

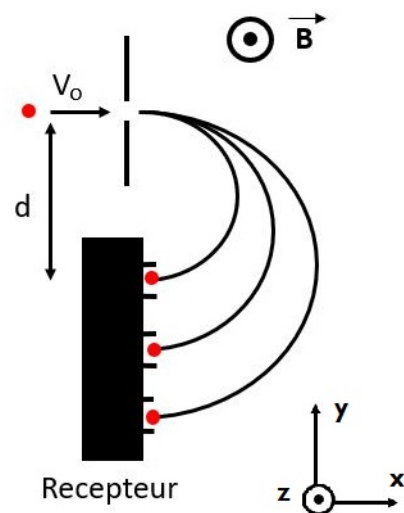
Après avoir identifié les positions des deux pôles de l'aimant, changez la configuration du moteur selon la figure ci-contre. Ajoutez la vis en positionnant sa tête contre l'aimant et sa pointe contre le pôle négatif de la pile (partie inférieure). Appuyez le fil contre le pôle positif de la pile avec l'index et touchez avec l'autre extrémité du fil la partie extérieure de l'aimant.



- (d) Est-ce que la vis et l'aimant vont tourner dans le même sens que dans la configuration précédente ? Expliquez vos observations expérimentales avec les vecteurs des grandeurs physiques impliquées.

3 Séparation de masse des isotopes d'hydrogène

Un mélange gazeux contient de l'hydrogène H (1 proton dans le noyau) ainsi que ses deux formes d'isotopes, le deutérium (1 proton et 1 neutron) et le tritium (1 proton et 2 neutrons). On souhaite séparer les isotopes dans différents réceptacles. Pour cela, on met en place un système qui ionise le gaz et accélère les noyaux positifs selon une direction et à une même vitesse v_0 . Les noyaux entrent alors dans une chambre à vide avec un champ magnétique B uniforme et perpendiculaire à la vitesse initiale des noyaux. Les noyaux sont défléchis et arrivent avec une vitesse de sens opposé sur des régions bien distinctes, à une distance d de leur point de départ. La gravité est négligeable.



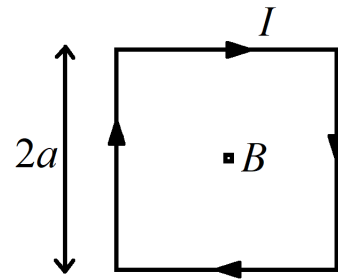
- (a) Écrivez l'équation du mouvement pour un noyau de masse m et charge q une fois entré dans la chambre à vide.
- (b) On place le centre du repère au centre de l'ouverture de la chambre à vide : lorsque le noyau entre dans la chambre à vide à $t = 0$, on a $(x, y) = (0, 0)$ et $v = (v_0, 0)$. Montrez que $x(t) = \frac{v_0}{\Omega} \sin(\Omega t)$ et $y(t) = \frac{v_0}{\Omega} (\cos(\Omega t) - 1)$, avec Ω une fréquence à déterminer.
Indication : commencer par intégrer l'une des deux équations, puis l'injecter dans la deuxième.
- (c) Trouver la distance d en fonction de v_0 , B , m , et q .
- (d) À quelle distance faut-il placer chaque réceptacle pour collecter les trois éléments si $B = 0.05$ T et $v_0 = 10$ km/s ?
- (e) Quelle est la vitesse des noyaux à l'entrée des réceptacles ?

4 Boucle de courant carrée

Le courant I parcourt un circuit en forme de carré. Le côté d'un carré a une longueur de $2a$. Trouvez le champ magnétique \vec{B} au centre du carré.

Indication : l'intégrale suivante est utile :

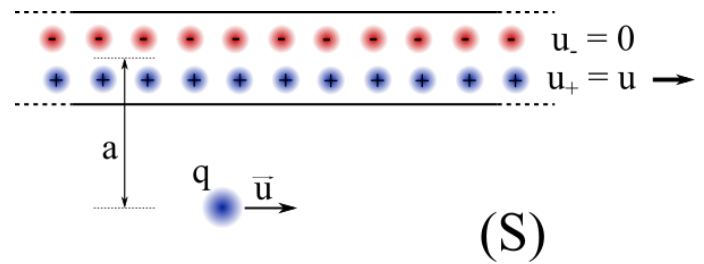
$$\int \frac{dx}{(1+x^2)^{3/2}} = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$



5 Lien entre champs électrique et magnétique via la relativité (exercice bonus)

Considérons un fil conducteur contenant des charges positives et négatives, et dans lequel circule un courant.

On se place dans le référentiel du laboratoire (S) : les densités linéaires de charges positives et négatives du fil sont respectivement $\lambda_+ = \lambda$ et $\lambda_- = -\lambda$, et le courant est porté par les charges positives qui se déplacent à une vitesse u . Une charge q est en mouvement le long du fil avec une même vitesse u , à une distance a du centre du fil. On néglige l'épaisseur du fil par rapport à la distance a .



On considère aussi pour la suite le référentiel (S') de la charge en mouvement. Et on donne un rappel de relativité restreinte : si un objet immobile dans un référentiel (S) est de longueur L , sa longueur mesurée L' dans un référentiel en mouvement (S') à une vitesse u par rapport à (S), est réduite d'un facteur $\gamma = 1/\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ par rapport à L , et on a : $L' = L/\gamma$.

Champs et forces dans (S)

- Le fil est-il électriquement chargé dans (S) ? En déduire la force électrique subie par la charge q dans (S).
- Exprimer le courant i circulant dans le fil, en fonction des données du problème. Quel est alors le champ magnétique \vec{B} qui s'applique sur la charge ? En déduire la force magnétique subie par q dans (S).

Champs et forces dans (S')

- Quelle sont les vitesses des charges négatives et positives à l'intérieur du fil lorsqu'on se place dans le référentiel (S') ?
- Quel est le champ magnétique \vec{B}' qui s'applique sur la charge ? En déduire la force magnétique subie par q dans (S').
- On considère une distance L_- entre deux charges négatives, et une distance L_+ entre deux charges positives, mesurées dans (S) : que deviennent donc les longueurs si l'on se place dans (S') ? En déduire ce que deviennent λ_- et λ_+ dans (S').
- Le fil est-il électriquement chargé dans (S') ? En déduire la force électrique subie par la charge q dans (S').
- Quel est le lien entre la force totale subie par la charge dans (S) et dans (S') ?