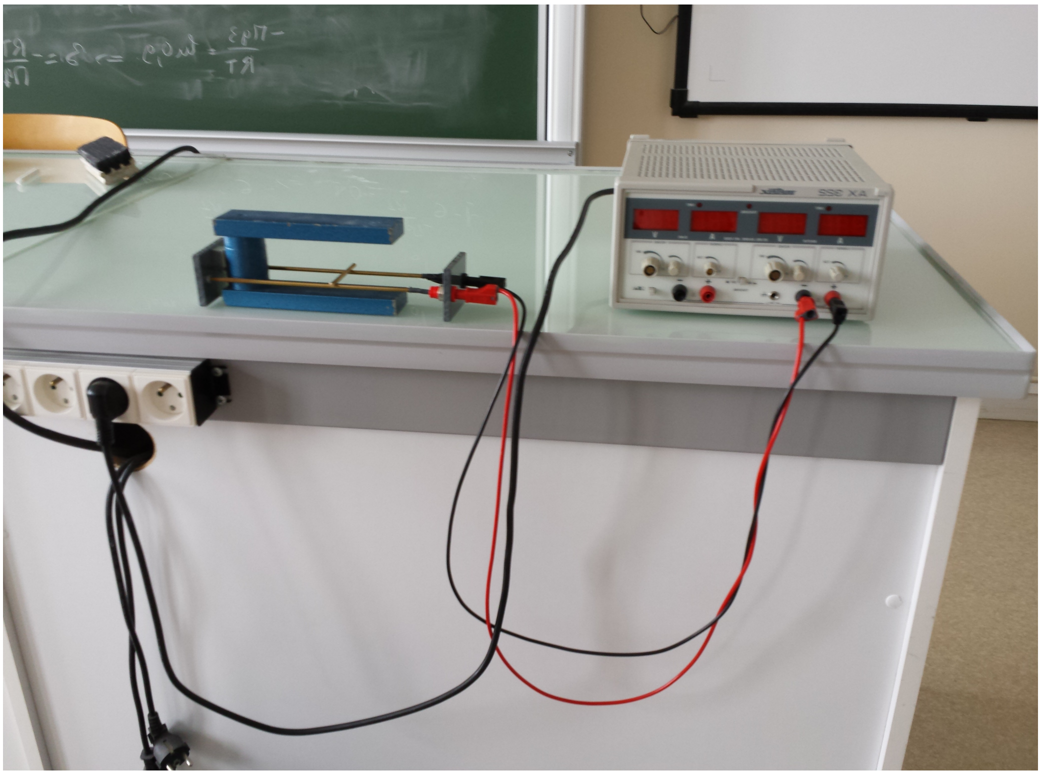
Actions d'un champ magnétique

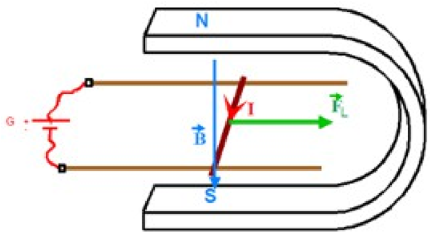
1. La force de Laplace

1.1. Mise en évidence expérimentale : expérience du rail de Laplace



L'expérience du rail de Laplace est constitué de deux rails parallèles fixes alimentés par des conducteurs et une source continue. Le circuit est fermé par un rail mobile conducteur susceptible de rouler sur les deux rails parallèles. Le rail mobile est placé entre les branches d'un aimant en U. (voir figures ci-contre.)

Lorsque le circuit est alimenté, le rail mobile se déplace sous l'action d'une force appelée force de Laplace.



La direction de cette force s'inverse si on inverse la polarité de l'aimant, donc le champ magnétique.

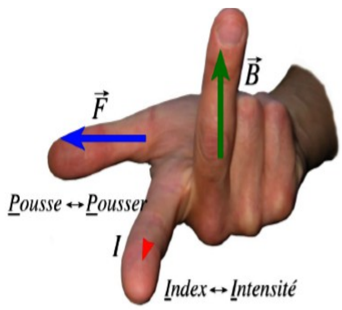
De même, si les polarités de l'alimentation sont inversées, donc le sens du courant électrique dans le rail mobile, le sens de la force de Laplace est inversé.

Par contre le rail ne subit aucune force si le champ magnétique est placé dans la direction du courant ou dans celle des rails fixes.

1.2. Expression de la force

Un conducteur rectiligne de longueur L, parcouru par un courant d'intensité i, placé dans un champ magnétique est soumis à une force : $\boxed{\vec{F}_L = i\vec{L} \wedge \vec{B}}$, $\vec{L}$ étant orienté dans le sens conventionnel choisi pour le courant.

Le point d'application est le milieu du segment L.



Règle de la main droite : dans l'ordre F, I, B équivalent à pousse, index, majeur.

Si le le champ magnétique $\vec{B}$ n'est pas uniforme, on exprime la force s'exerçant sur un élément de longueur dl :

$d\vec{F}_L = i\,d\vec{l} \wedge \vec{B}$ puis on somme : $\vec{F}_L = \int_L i\,d\vec{l} \wedge \vec{B}$

Cas des rails de Laplace :

Quelle est l'origine de la force de Laplace :

1.3. Puissance de la force de Laplace

Si le conducteur rectiligne a une vitesse $\vec{v}$, la puissance de la force de Laplace est : $\boxed{P_L = \vec{F}_L \cdot \vec{v}}$.

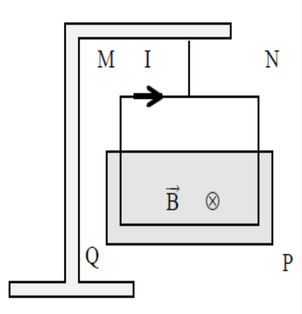
Dans le cas des rails de Laplace : $\boxed{P_L = i\,L\,B\,v}$

1.4. Exemples

a) Action sur un cadre

Énoncé

Un cadre vertical carré MNPQ, de côté a = 5 cm, est constitué d'un enroulement comportant N = 100 spires. La masse de ce cadre est m = 100 g. Il est parcouru par un courant d'intensité I = 2 A. Sa moitié inférieure est soumise à l'action d'un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ d'intensité 0,4 T. Le cadre est suspendu par un fil vertical.



1- Déterminer le point d'application, l'intensité et le sens de la force s'exerçant sur chaque côté du cadre.

2- Quelle est la tension du fil ?

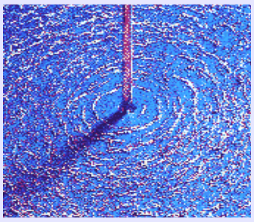
Solution

b) Interaction entre un fil et une bobine

Énoncé

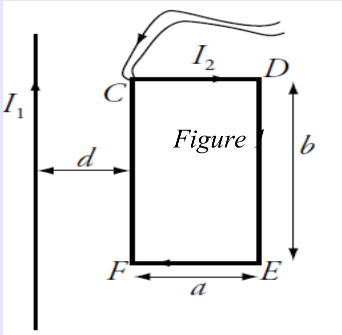
Document :

Le spectre magnétique du champ créé par un fil rectiligne est représenté ci-contre.



- *les lignes de champ sont des cercles concentriques.*
- *Le champ est orienté suivant la règle de la main droite*
- *La valeur du champ en tout point M d'une ligne de champ de rayon r est:* $B(M)=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
- μ_0 est la perméabilité magnétique du vide. $\mu_0 = 4\pi.\ 10^{-7}$ SI.

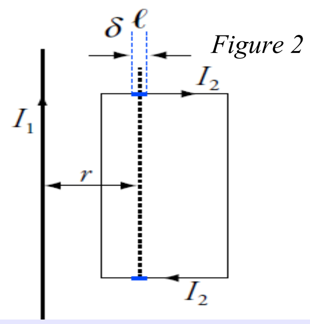
Enoncé:



Un fil rectiligne très long est parcouru par un courant I_1=10 A. Une bobine de N = 100 spires est enroulée sur un cadre rectangulaire CDEF de dimensions a = 2,0 cm et b = 4,0 cm.

Le fil est dans le même plan que la bobine ; les côtés DE et FC sont parallèles au fil. Le côté FC est à la distance d = 1,0 cm du fil. La bobine est parcourue par un courant d'intensité I_2 = 3,0 A orienté comme sur la figure 1.

1) Représenter le vecteur champ magnétique $\overrightarrow{B_1}$ créé par le courant I_1 au milieu du segment CD et calculer sa valeur. Faire de même pour le segment FE. Commenter.



2) Exprimer et représenter la force de Laplace s'exerçant sur un petit élément de longueur δl (figure 2) dont le centre est à la distance r du fil, situé sur le côté CD puis sur le côté FE. On supposera δl suffisamment petit pour pouvoir considérer $\vec{B}$ uniforme sur le segment. En déduire que la résultante des forces de Laplace sur les segments CD et EF est nulle.

3) Calculer la force de Laplace sur les côtés DE et FC puis la force totale exercée par le courant d'intensité I_1 sur la bobine. On donnera une expression littérale en fonction des données puis la valeur numérique. Commenter

4) Que devient cette force si on inverse I_1, ou I_2 ou I_1 et I_2 ?

Solution

2. Actions d'un champ uniforme sur une spire rectangulaire

On se place dans le cas d'une spire rectangulaire parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire et passant par les 2 milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.

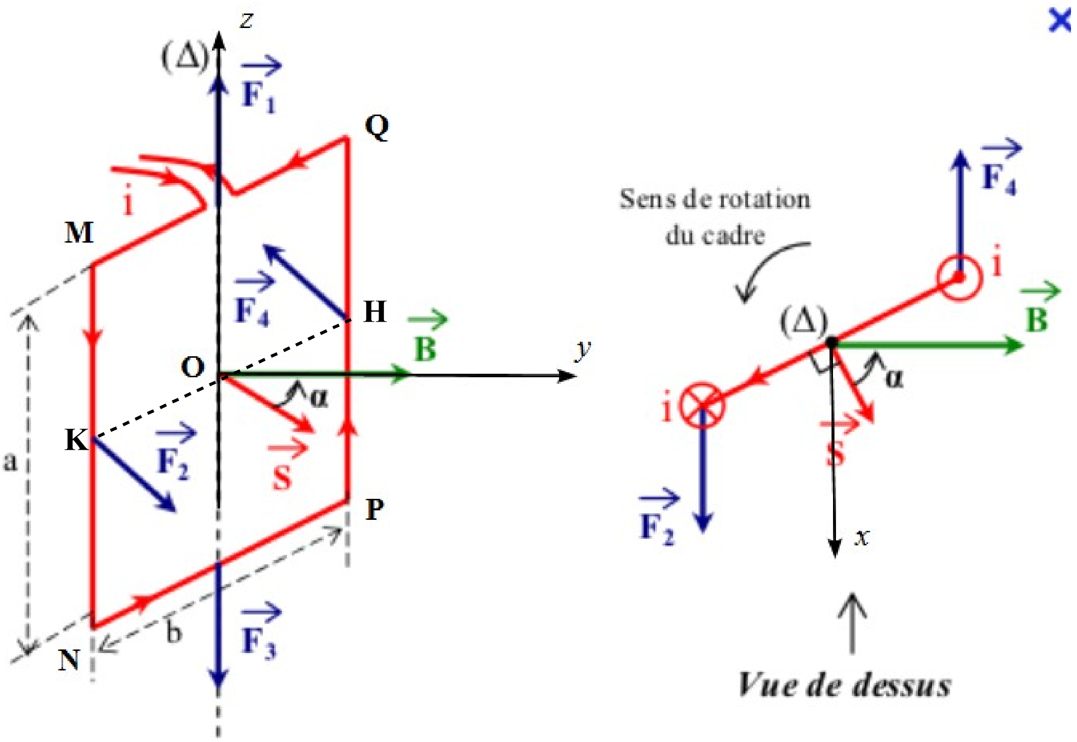
2.1. Résultante des forces de Laplace sur un circuit fermé

On fait ici le calcul dans le cas général d'un circuit fermé C parcouru par un courant d'intensité i et baignant dans un champ magnétique $\vec{B}$.

Chaque élément de longueur dl subit la force élémentaire de Laplace $d\vec{F}_L = i\,d\vec{l} \wedge \vec{B}$. La résultante des forces est $\vec{F}_L =$

2.2. Moment des forces (du couple) de Laplace

On étudie une spire rectangulaire parcourue par une intensité i et plongée dans un champ magnétique $\vec{B}$.



$\vec{F}_1 =$; $\vec{F}_3 =$.

$\vec{F}_2 =$ et $\vec{F}_4 =$.

Leur moment en O s'écrit : $\vec{\Gamma} =$

or $\vec{HK} =$

d'où : $\vec{\Gamma} =$

En associant au circuit son moment magnétique on obtient : .

Conclusion :

2.3. Puissance de l'action de Laplace

On suppose que la spire MNPQ tourne à la vitesse angulaire $\omega = -\dot{\alpha}$ (le signe – provient du fait que l'angle α par du vecteur surface pour arriver à l'axe des y).

Le moment du couple par rapport à l'axe Oz est :

ainsi la puissance du couple magnétique est : $P_L =$

3. Actions sur un aimant

Lorsqu'un dipôle magnétique est plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$, on considère que les actions qu'il subit sont les mêmes que celles appliquées à une petite spire parcourue par un courant de moment dipolaire $\vec{M}$.

3.1. Résultante et moment

On admet que :

Dans un champ magnétique uniforme, la résultante des forces de Laplace appliquées à un aimant est nulle :

$$\boxed{\vec{F}_L = \vec{0}}$$

Le moment des forces (couple) s'exprime en fonction du moment magnétique de l'aimant : $\boxed{\vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B}}$.

Ces résultats s'étendent à tout dipôle magnétique.

3.2. Équilibre d'un aimant dans un champ magnétique uniforme

Équilibre indifférent en translation :

La résultante des forces exercées sur le dipôle étant nulle dans un champ magnétique uniforme, le dipôle n'a pas de mouvement de translation.

Le champ n'a qu'une influence sur l'orientation du dipôle (l'aimant).

Orientation du dipôle

Un dipôle magnétique est mobile librement en rotation autour de l'axe Oz orthogonal à un champ magnétique extérieur appliqué. Le dipôle est en équilibre quand .

Deux positions sont possibles.

Stabilité des positions d'équilibre

On peut étudier la stabilité en reprenant le modèle de la pire rectangulaire légèrement déplacée de la sa position d'équilibre.