Force de Laplace
Étude du champ magnétique

Rapport du Laboratoire

Liviu Arsenescu, Cătălin Bozan

23.04.2024

Table des Matières

1 Description de l'expérience

1.1 Buts

- Étude de la force de Laplace
- Démontrer la dépendance linéaire de la force par rapport au courent électrique, et l'angle θ dépendance linéaire envers le sinus de l'angle

1.2 Éléments théoriques

1.2.1 Les différentes grandeurs physiques rencontrées

- $\boldsymbol{F_L}$ - force de Laplace - $[\boldsymbol{F_L}] = \mathrm{N}$
- $\boldsymbol{P}$ et $\boldsymbol{N}$ - force du poids et force normale - $[\boldsymbol{P}, \boldsymbol{N}] = \mathrm{N}$
- $\boldsymbol{I}$ - courant électrique - $[\boldsymbol{I}] = \mathrm{A}$
- $\boldsymbol{l}$ - longueur du conducteur - $[\boldsymbol{l}] = \mathrm{m}$
- $\boldsymbol{\theta}$ - l'angle entre les vecteurs $I\vec{l}$ et $\vec{B}$ - $[\boldsymbol{\theta}] =$ dégrées
- $\boldsymbol{m}$ - différentes masses - $[\boldsymbol{m}] = \mathrm{g}$
- $\boldsymbol{g}$ - l'accélération gravitationnelle de la Terre - $[\boldsymbol{g}] = \mathrm{ms}^{-1}$

1.2.2 Modèle Théoriques

Pour décrire le modèle mathématique dont on a besoin, on partira de la formule suivante :

$$\boxed{\vec{F_L} = I\vec{l} \times \vec{B}}$$

Comme on le sait, la norme d'un vecteur résultant d'un produit vectoriel peut être écrit comme suit :

$$||\vec{F_L}|| = ||I\vec{l}|| \cdot ||\vec{B}||sin(\theta) \Rightarrow ||\vec{F_L}|| = IlBsin\theta$$

Pour la configuration de la bobine, on peut représenter les forces agissant comme suit :

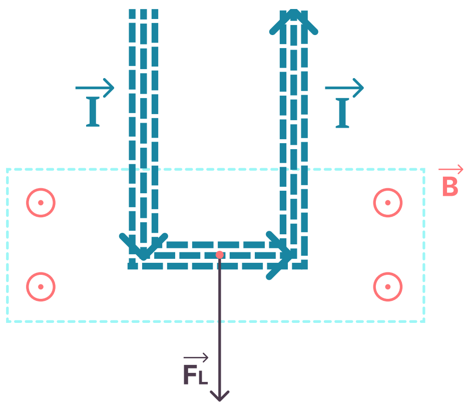


Figure 1: Système de forces de la bobine

En utilisant la troisième loi de Newton, on peut construire le système de forces suivant sur l'aimant : ✓

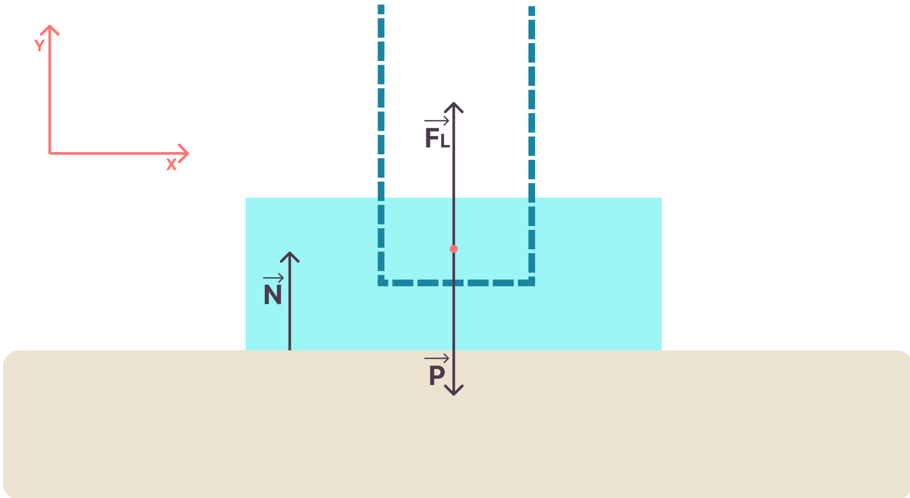


Figure 2: Système de forces sur l'aimant

En utilisant la deuxième loi de Newton dans la dernière figure, on obtient :

$$\Sigma\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{F_L} + \vec{N} + \vec{P} = 0$$ ✓

On observe que les forces agissent uniquement sur l'axe y, ce qui permet de déduire l'équation suivante :

$$\pm F_L + N - P = 0$$

En alimentant la bobine en courant, on constate que deux masses différentes apparaissent sur la balance :

- m_0 - masse de l'aimant
- m_1 - masse apparente de l'aimant

Avec ces deux mesures, on peut développer à nouveau l'équation :

$$\pm F_L + m_1 g - m_0 g = 0$$
$$|F_L| = |m_1 - m_0|g$$
$$|F_L| = |\delta m| g$$

valeur absolue à reporter en dessous ✓

Où δm est le module de la différence entre m_1 et m_0.
Égalant ce que on a obtenu pour $||\vec{F_L}||$ et pour $|F_L|$, on obtient :

$$\left.\begin{aligned} |F_L| &= \delta m g \\ ||\vec{F_L}|| &= IlB\sin(\theta) \end{aligned}\right\} \Rightarrow |\delta m|\cancel{g} = \frac{IlBsin(\theta)}{g}$$

On peut donc conclure que δm est une fonction qui dépend de I, l, B, $sin(\theta)$. ✓

1.3 Principe de l'expérience

Comme indiqué ci-dessus, l'expérience consiste à calculer la valeur du champ magnétique B par trois méthodes différentes :

- On va mesurer la pente de la fonction δm en faisant varier uniquement le courant I, ce qui nous permettra de calculer B.
- On va mesurer la pente de la fonction δm en faisant varier uniquement l'angle θ, d'où on peut calculer de la même façon B.
- On mesure B à l'aide d'un teslamètre.

1.4 Schéma et montage de l'expérience

Pour réaliser l'expérience, on doit faire un dispositif qui nous permettre de générer la force de Laplace sur un aimant. On a donc :

- Une source de courant continu
- Un ampèremètre
- Un socle
- Une tige
- Un noix double
- Une bobine à orientation réglable
- Un aimant en U
- Une balance
- Trois câbles de connexion
- Un teslamètre
- Une règle

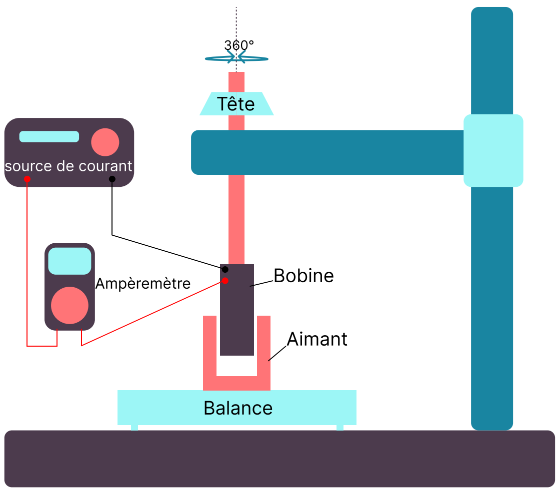


Figure 3: Système de forces de la bobine

1.5 Déroulement de l'expérience

1.5.1 Étalonnage bobine-aimant

- On met l'aimant sur la balance
- On fixe la bobine réglable sur le support
- On connecte la bobine en série avec l'ampèremètre à la source de courant
- En utilisant la tête rotative, on fixe la bobine de manière à ce que la force de Laplace soit nulle, et on considère cette angle comme $\theta = 0°$

↳ avec un courant $I = 4A$

1.5.2 Force de Laplace en fonction du courant *I*

- On règle l'angle de la bobine a 90°, et on lui donne un courant de 4A
- On mesure δm pour des valeurs de I, par intervalles de 0,4A, de 4A à 0A

1.5.3 Force de Laplace en fonction de l'angle θ

- On fixe le courant à 4A, et on ramène la bobine à 0°
- On mesure δm pour des valeurs de θ de 5 en 5, de 90°à 0°

1.5.4 En utilisant le teslamètre

- On place la sonde du teslamètre dans la zone entre les pôles de l'aimant, puis on mesure le champ magnétique B

2 Mesures

2.1 Mesures constantes :

- $L = (0.010 \pm 0.001)$ m - longueur de la section de la bobine
- $n = 11$ - nombre de spires
- $m_0 = (70.40 \pm 0.01)$ g - masse de l'aimant
- $\Delta I = \pm 0.01$ A - incertitude sur le courant électrique
- $\Delta\theta = \pm 2$°- incertitude de l'angle
- $B_3 = -43.3$ mT - champ magnétique mesuré avec le teslamètre
- $\Delta B_3 = \pm 0.4$ mT - incertitude du champ magnétique

2.2 Tableaux des mesures :

2.2.1 *I* variable

Mettez l'incertitude de I dans le tableau, même si vous l'avez indiqué au dessus.

I(A)	δm(g)	$\Delta(\delta m)$(g)
0.41	-0.12	0.02
0.81	-0.33	0.02
1.20	-0.56	0.02
1.60	-0.77	0.02
2.01	-1.01	0.02
2.40	-1.22	0.02
2.81	-1.46	0.02
3.21	-1.68	0.02
3.61	-1.90	0.02
4.01	-2.13	0.02

Tableau 1: I variable

Légende :

- I - courant électrique (en A)
- δm - différence entre les masses m_1 et m_0 (en g)
- $\Delta(\delta m)$ - incetitude de δm (en g)

2.2.2 θ variable

$\theta(°)$	δm(g)	$\Delta(\delta m)$(g)	$\sin(\theta)$	$\Delta\sin(\theta)$
0	0.09	0.02	0.00	0.03
5	-0.10	0.02	0.09	0.03
10	-0.30	0.02	0.17	0.03
15	-0.49	0.02	0.26	0.03
20	-0.66	0.02	0.34	0.03
25	-0.85	0.02	0.42	0.03
30	-1.01	0.02	0.50	0.03
35	-1.17	0.02	0.57	0.03
40	-1.33	0.02	0.64	0.03
45	-1.46	0.02	0.71	0.02
50	-1.58	0.02	0.77	0.02
55	-1.69	0.02	0.82	0.02
60	-1.79	0.02	0.87	0.02
65	-1.88	0.02	0.91	0.01
70	-1.94	0.02	0.94	0.01
75	-2.00	0.02	0.97	0.01
80	-2.03	0.02	0.98	0.01
85	-2.06	0.02	1.00	0.01
90	-2.13	0.02	1.00	0.01

Mettez l'incertitude de l'angle θ, même si elle est indiquée ci-dessus.

Tableau 2: θ variable

Légende :

- θ - l'angle entre les vecteurs $I\vec{l}$ et $\vec{B}$ (en degrées)
- δm - différence entre les masses m_1 et m_0 (en g)
- $\Delta(\delta m)$ - incetitude de δm (en g)

3 Analyse des mesures et résultats

Pour calculer le champ magnétique B en faisant varier le courant ou l'angle, on construit une régression linéaire à l'aide de la formule suivante :

$$\boxed{\delta m = \frac{IlBsin(\theta)}{g}}$$

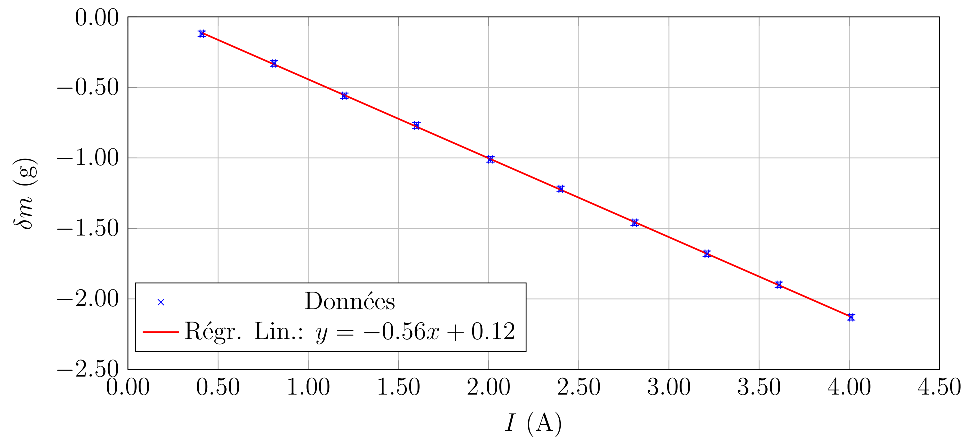
l est la longueur du conducteur, donc $l = nL = (0.110 \pm 0.001)$ m.

3.1 δm en fonction du courant I

La fonction que on a utilisée pour créer la régression linéaire :

$$\boxed{\delta m = \frac{lB\sin(\theta)}{g} \cdot I}$$

$= 1$



Où on note a_1 la pente de la fonction. Avec ça, on obtient :

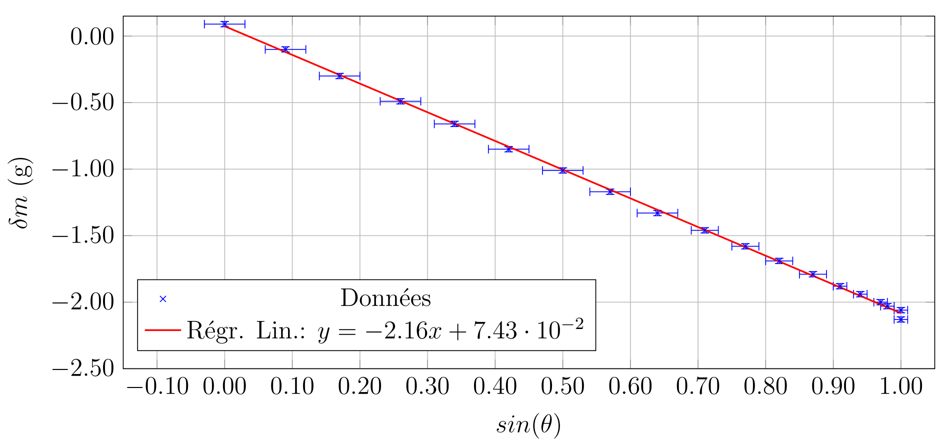
$$\boxed{B_1 = (-49.0 \pm 0.4)\ \mathrm{mT}}$$

On s'intéresse à des normes $\Rightarrow > 0$

3.2 δm en fonction de l'angle θ

La fonction que on a utilisée pour créer la régression linéaire :

$$\boxed{\delta m = \frac{lBI}{g} \cdot \sin(\theta)}$$



Où on note a_2 la pente de la fonction. Avec ça, on obtient :

$$\boxed{B_2 = (-48.2 \pm 0.5)\ \mathrm{mT}}$$

3.3 Choix et calcul d'incertitudes

3.3.1 Choix des incertitude :

- Pour le courant électrique : on a examiné la fluctuation globale de l'alimentation électrique, et on a remarqué que on a une incertitude de lecture de $\Delta I = 0.1$ A
- Pour l'angle : on a déplacé très lentement la tête de la bobine et, à $\Delta\theta = 2$°près, on n'a constaté aucun changement dans l'expérience Ce n'est pas vraiment la définition de l'incertitude
- Pour la longueur de la section de la bobine : on a choisi l'incertitude indiquée sur l'instrument de mesure
- Pour la mesure au teslamètre : on a choisi la valeur indiquée par l'appareil avant de s'approcher de l'aimant . Ici également, ce n'est pas vraiment la définition de l'incertitude.
- Pour les masses : on a choisi l'incertitude indiquée par la balance ✓

3.3.2 Calcul d'incertitudes

On sait que la différence entre m_0 et m_1 se calcule comme suit :

$$\delta m = |m_1 - m_2|$$

Puisqu'il s'agit de la différence entre les deux, on peut calculer l'incertitude en additionnant leurs incertitudes :

$$\boxed{\Delta(\delta m) = 0.2 \text{ g}}$$ ✓

Pour calculer l'incertitude de la fonction sin, on utilise la formule suivante :

$$\boxed{\Delta sin(\theta) = |cos(\theta)| \cdot \Delta\theta}$$ ✓

Pour la première pente obtenue, on calcule l'incertitude comme suit :

$$\boxed{\Delta B_1 = (\frac{\Delta a_1}{a_1} + \frac{\Delta l}{l}) \cdot B_1}$$ ✓

Et pour la deuxième pente obtenue, on fait le calcul suivant :

$$\boxed{\Delta B_2 = (\frac{\Delta a_2}{a_2} + \frac{\Delta lI}{lI}) \cdot B_2}$$ ✓

3.4 Discussion des résultats :

On a obtenu trois valeurs pour le champ magnétique :

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= (-49.0 \pm 0.4)\ \mathrm{mT} \\ B_2 &= (-48.2 \pm 0.5)\ \mathrm{mT} \\ B_3 &= (-43.3 \pm 0.4)\ \mathrm{mT} \end{aligned}\right\} \ ||\vec{B}_i|| \Rightarrow > 0$$

Le fait que ces valeurs soient très proches les unes des autres permet de tirer les conclusions suivantes :

- La fonction δm dépend linéairement de I et de θ, donc la fonction $||\vec{F_L}||$ en dépend également. $\sin\theta$ ✓
- On peut également en déduire que la force $\vec{F_L}$ créée par la bobine est exactement la même, mais de signe opposé dans le système de force de l'aimant, mettant ainsi en évidence le principe d'action-réaction. ✓

4 Synthèse et conclusion

Dans ce laboratoire, on a cherché à comprendre et à démontrer les formules trouvées dans le cadre théorique de la force de Laplace.
Pour atteindre cet objectif, on a calculé le champ magnétique d'un aimant de trois manières différentes :

- On l'a trouvé en faisant varier uniquement le courant électrique I
- On l'a trouvé en faisant varier uniquement l'angle θ
- On a utilisé un teslamètre pour le mesurer

Le résultat de cette expérience est que on a prouvé que on a bien une dépendance linéaire entre $||\vec{F_L}||$ et les termes qui composent sa formule, et que la force $\vec{F_L}$ existe à la fois dans la bobine et dans l'aimant. ✓

Et $B_3 \neq B_{1,2}$?

5.5