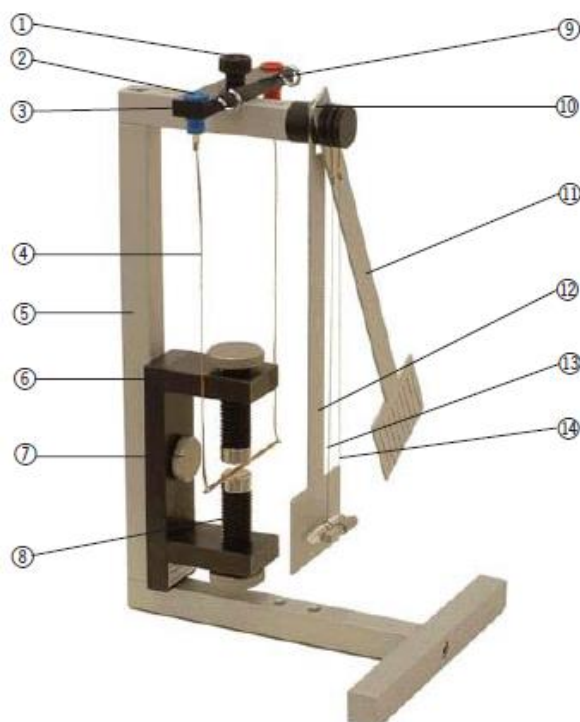


1002661 Ensemble « Électromagnétisme »

Instructions d'utilisation

12/15 MH



- 1 Vis moletée pour fixer le support transversal
- 2 Cinq trous filetés pour fixer le support transversal
- 3 Support transversal
- 4 Balançoire
- 5 Support
- 6 Vis moletée M 8x20 pour fixer l'aimant
- 7 Aimant 1002660 (non fourni)
- 8 Trous filetés pour fixer l'aimant
- 9 Réception de balançoire
- 10 Logement du pendule
- 11 Pendule à fentes
- 12 Pendule entier
- 13 Barre en verre avec cordon et crochet
- 14 Barre en aluminium avec cordon et crochet

Fig.1: Composants

1. Consignes de sécurité

- En cas d'emploi de l'aimant 1002660, respecter rigoureusement les consignes de sécurité indiquées. Par ex. ne jamais l'utiliser avec un stimulateur cardiaque !
- Risque de choc électrique ! La tension de sortie maximale du bloc d'alimentation ne doit pas dépasser 40 V.
- Risque de blessure ! La barre en verre (13) est fragile et doit être manipulée avec prudence. Les bris à bords tranchants constituent un risque de blessure accru.

2. Description, caractéristiques techniques

L'ensemble « Électromagnétisme » permet de réaliser des expériences sur la force exercée sur un conducteur traversé par du courant, sur les courants de Foucault induits ainsi que sur le dia-

magnétisme et le paramagnétisme. L'ensemble est constitué d'un support en aluminium stable avec des positions prédéfinies de l'aimant et des logements pour des accessoires. De longs travaux d'ajustage sont superflus. En outre, tous les accessoires destinés au rangement peuvent être fixés au support. Les pendules (11), (12) doivent être suspendus dans les deux fentes médianes du logement de pendules et les barres en verre et en aluminium (13) et (14) dans les deux fentes extérieures, afin que les cordons ne s'emmêlent pas. La balançoire est suspendue à un support transversal présentant des douilles pour la fiche de sécurité (4 mm). Le courant maximum de la balançoire ne doit pas dépasser 6 A.

| | |
|---------------------------|----------------|
| Hauteur du support: | 345 mm |
| Pendule: | 290 x 70 mm |
| Largeur de fente: | max. 1 mm |
| Largeur de la balançoire: | 100 mm |
| Barres: | 40 mm x 8 mm Ø |

3. Manipulation et entretien

- Assembler tout d'abord le support (Fig. 1). Veiller à ce que l'appareil soit en position verticale (utiliser une équerre).
- La bande de cuivre de la balançoire doit pendre vers le bas et le fil de cuivre être parallèle au support transversal. Le cas échéant, lisser la bande entre deux doigts. La bande de cuivre ne doit pas être pliée au niveau des points de brasage (risque de cassure).
- Les barres en verre et en aluminium pendent à un fil fin qui peut être quelque peu torsadé. Avant de commencer une expérience, laisser les barres pendues chacune au support, jusqu'à ce qu'elles ne tournent plus.
- Entretien: fondamentalement, l'appareil d'expérimentation électromagnétique ne nécessite aucun entretien. Pour le nettoyer, on peut l'essuyer avec de l'eau et un produit de rinçage. On peut utiliser des solvants, comme l'acétone, la ligroïne ou l'éthanol, sauf au niveau des étiquettes.
- Si les cordons de la barre en verre ou en aluminium se nouent ou s'emmêlent, on peut utiliser de la soie à coudre fine. Celle-

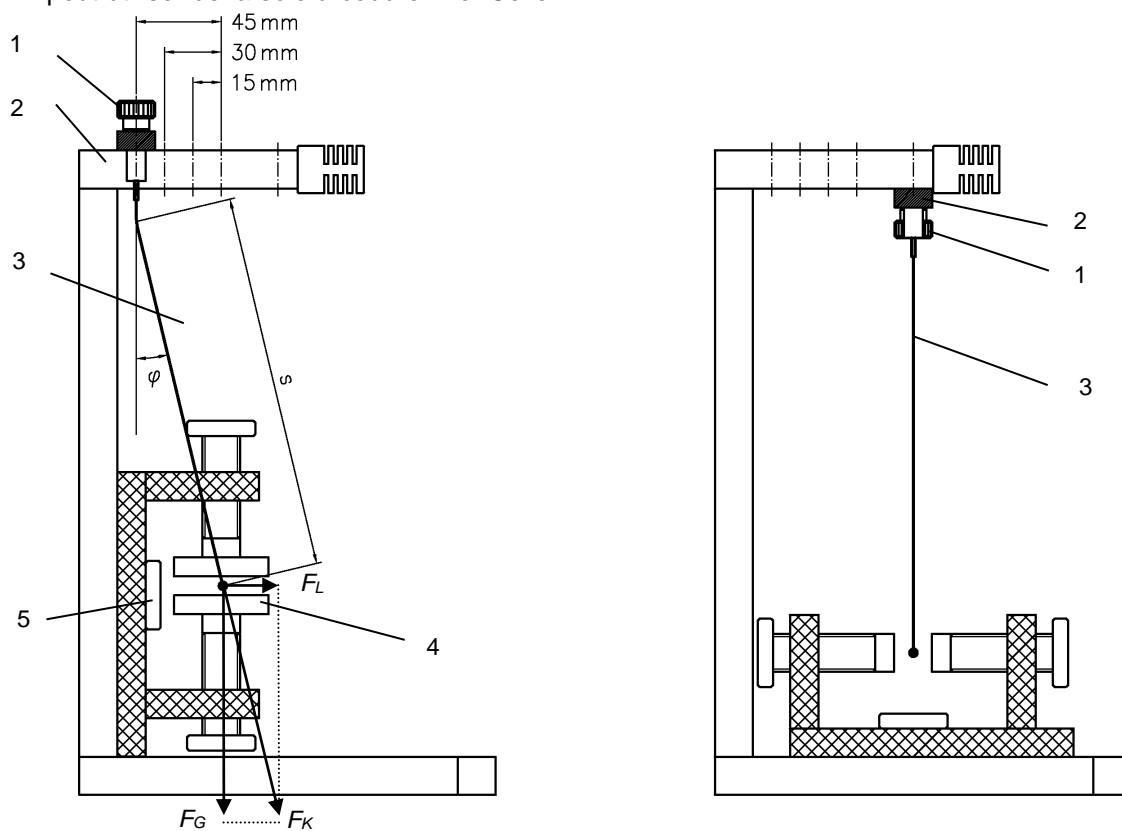


Fig. 2 Conducteur traversé par du courant dans le champ magnétique

1: vis moletée; 2: support transversal; 3: balançoire; 4: épanouissement polaire; 5: vis moletée à tête plate

ci est alors enroulée env. 3 fois autour de la barre, puis nouée. Ensuite, accrocher et équilibrer la barre en position horizontale en déplaçant la soie sur la barre. Pour terminer, la soie peut être fixée à la barre avec une colle rapide (observer les consignes de sécurité du fabricant de colle).

4. Réalisation et évaluation des expériences

4.1 Conducteur traversé par du courant dans le champ magnétique

4.1.1. Montage de l'expérience

- Les deux montages de l'expérience sont illustrés dans la figure 2.

- Le montage de la figure 2 (à droite) permet de démontrer que la force de Lorentz agit ni dans le sens du champ magnétique, ni dans le sens du courant. Dans le premier cas, la balançoire oscillerait à droite ou à gauche, dans le second, elle oscillerait vers ou hors du plan du dessin.
- Le montage de la figure 2 (à gauche) permet une démonstration qualitative et quantitative de la force de Lorentz. Pour la démonstration qualitative, la balançoire est suspendue verticalement audessus des pôles de l'aimant. Si l'on applique maintenant du courant, on peut observer une déviation qui augmente au fur et à mesure qu'augmente l'intensité du courant.
- Pour la démonstration quantitative de la force de Lorentz, on se sert des trois trous filetés qui sont décalés de 15, 30 et 45 mm à gauche par rapport à la verticale. Si la balançoire est montée décalée à gauche par exemple de 45 mm (cf. la figure) et que le courant la traversant est réglé de telle sorte que le gros fil en cuivre se trouve très précisément au centre du champ magnétique, la balançoire dévie alors de la verticale de très exactement 45 mm et la force de Lorentz correspond à la force de rappel à laquelle est soumise la balançoire par l'attraction terrestre (voir aussi l'évaluation de l'expérience).

4.1.2. Réalisation de l'expérience

- Pour les mesures, il est judicieux de noter les grandeurs suivantes:
 - numéro de l'expérience N°
 - écart d'épanouissements a
 - largeur d'épanouissement dans le sens du conducteur b
 - déviation c
 - courant I , qui, en position centrale ou au besoin, mesurer l'écart horizontal entre le fil de cuivre et la vis moletée (5) avec une règle non magnétique, traverse le fil de cuivre. Exemple d'une série d'expériences pour un écart d'épanouissements $a = 10$ mm

| N° | b en mm | c en mm | I en A |
|----|-----------|-----------|----------|
| 1 | 50 | 15 | 0,57 |
| 2 | 50 | 30 | 1,20 |
| 3 | 50 | 45 | 1,87 |
| 4 | 20 | 15 | 1,16 |
| 5 | 20 | 30 | 2,36 |
| 6 | 20 | 45 | 3,57 |

4.1.3. Evaluation de l'expérience

- Simplifiée, la balançoire est considérée comme un pendule mathématique, c'est-à-dire que la masse des bandes en cuivre est négligée et le fil de cuivre est considéré comme une masse ponctuelle ($m = 6,23$ g). La longueur utile du pendule s est un peu plus petite que la longueur des bandes de cuivre, car celles-ci, dans la partie supérieure, ne se plient pas en bords vifs lorsque la balançoire est déviée. La longueur s résulte donc du point d'intersection imaginaire formé par le prolongement linéaire des bandes de cuivre et la droite perpendiculaire (cf. Fig. 2). On a à peu près la valeur suivante: $s = 200$ mm.
- La force résultante dans la bande de cuivre F_K , composée de la force de Lorentz F_L et de la force pondérale F_G est inclinée dans un angle φ car la bande de cuivre n'absorbe (pratiquement) aucune force transversale. On a alors l'équation suivante:

$$\frac{F_L}{F_G} = \tan \varphi \Leftrightarrow F_L = mg \frac{\frac{c}{s}}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{s}\right)^2}} \quad (1)$$

- Dans la série d'expériences susnommées, les épanouissements polaires des expériences 4 - 6, comparés aux expériences 1 - 3, sont inclinés de 90°. Ainsi la longueur du conducteur qui plonge dans le champ magnétique est-elle modifiée. Mais lors de l'évaluation, il ne faut pas se baser sur les véritables dimensions des épanouissements polaires, car le champ magnétique « dépasse » sur les bords (cf. Fig. 3).

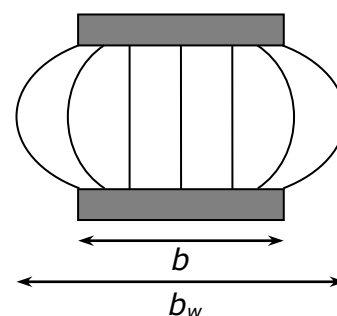


Fig. 3 Effets sur les bords des épanouissements polaires

- La longueur utile b_w approximative du conducteur dans le champ magnétique résulte de l'équation suivante:

$$b_w = b + a \quad (2)$$

- L'évaluation des expériences avec les équations 1 et 2 pour une longueur de conducteur utile $b_w = 60$ mm donne:

| N° | Force de Lorentz F_L en mN | Courant I en A |
|----|------------------------------|------------------|
| 1 | 4,60 | 0,57 |
| 2 | 9,27 | 1,20 |
| 3 | 14,1 | 1,87 |
| 4 | 4,60 | 1,16 |
| 5 | 9,27 | 2,36 |
| 6 | 14,1 | 3,57 |

- Le résultat est illustré dans la figure 4. On observe que la force de Lorentz est proportionnelle au courant. Une évaluation des pentes des droites montre en outre que la force de Lorentz est également proportionnelle à la longueur utile du conducteur. On a donc l'équation suivante: $F_L \propto b_w \cdot I$

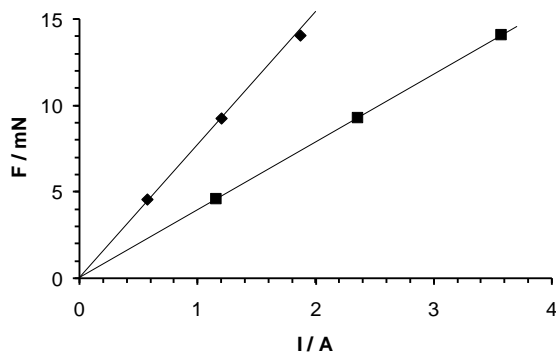


Fig. 4 Force de Lorentz comme fonction du courant dans le conducteur. Symboles carrés: $b_w = 60$ mm, losanges: $b_w = 30$ mm

4.2 Courants de Foucault induits

- Le montage de l'expérience est illustré dans la figure 5. L'écart polaire est d'env. 10 - 30 mm et peut être varié. Si les deux pendules sont déviés ensemble dans le même angle, puis relâchés, le pendule entier freinera plus rapidement, tandis que le pendule à fentes exécutera quelques oscillations.
- Explication: au cours des expériences du paragraphe 4.1, un courant a traversé la balançoire. Puis, des charges (électrons) ont été mises en mouvement dans un champ magnétique, ce qui a eu pour effet

qu'une force mesurable (force de Lorentz) s'est exercée sur les électrons.

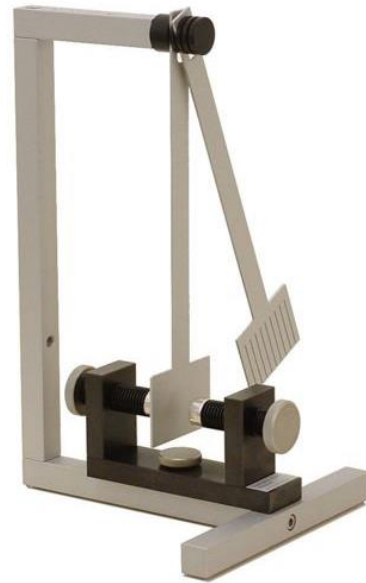


Fig. 5 Courants de Foucault induits

- Dans cette expérience, des charges (électrons libres dans l'aluminium) ont également été mises en mouvement dans un champ magnétique, le mouvement étant cette fois de nature mécanique. Par ce mouvement, la force de Lorentz agit également sur les électrons, ce qui entraîne dans l'aluminium un flux d'électrons, donc un courant circulant dans cette expérience soit verticalement de haut en bas, soit inversement, selon le sens de déplacement du pendule.
- Dans le pendule entier, on observe un « court-circuit », car le courant induit dans les zones du pendule peut retourner hors du champ magnétique. Un courant de Foucault se forme alors, qui peut être très élevé et entraîner un réchauffement de l'aluminium. L'énergie du pendule est donc transformée d'abord en énergie électrique, puis en chaleur.
- Dans le pendule à fentes, le courant de Foucault ne peut pas se former, car, par les fentes, les zones en aluminium hors du champ magnétique sont isolées par les zones situées à l'intérieur. Les électrons sont d'abord déplacés dans un sens, mais lorsqu'un grand nombre s'est accumulé en haut ou en bas dans le pendule, ils se repoussent et la tension ainsi formée est en équilibre avec la force de Lorentz sans flux de courant. L'énergie du pendule n'est donc pas convertie en chaleur.

4.3 Diamagnétisme et paramagnétisme

- Le montage de l'expérience correspond dans son principe à la figure 5. A la place du pendule, on accroche à présent dans le champ magnétique la barre en aluminium ou en verre (éliminer auparavant l'éventuelle torsion du fil, cf. paragraphe 3). La barre en verre oscillera encore un peu, tandis que la barre en aluminium ne prendra que très lentement sa position finale (courants de Foucault induits, voir au paragraphe précédent). Après un certain temps, les barres se positionneront comme le montre la figure 6.

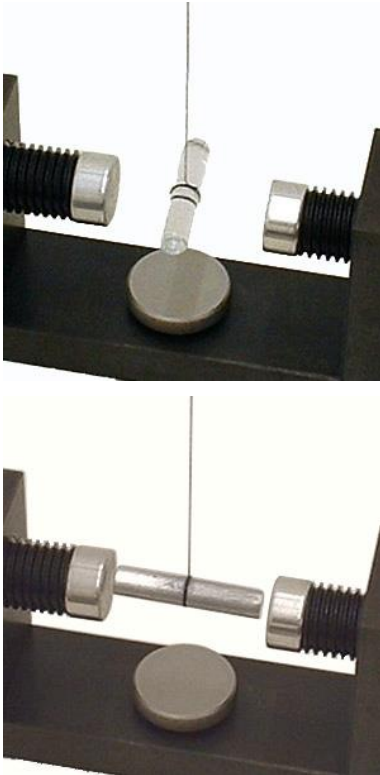


Fig. 6: Barre en verre (dessus) et barre en aluminium (en bas) dans un champ magnétique

- En desserrant la vis moletée qui retient l'aimant et en tournant lentement ce dernier, on peut montrer que l'orientation des barres par rapport à l'aimant ne change pas et ne résulte donc pas de la position de repos purement mécanique (pas de torsion de fil).
- Explication: bien que ni le verre ni l'aluminium ne soient magnétiques, les deux barres s'orientent dans le champ magnétique. La perméabilité relative μ_r , qui indique de combien le matériau multiplie la densité de flux d'un champ magnétique par rapport au vide, constitue la grandeur dé-

terminante. Il est surprenant que la perméabilité relative puisse être supérieure ou inférieure à 1, contrairement aux constantes diélectriques. Avec l'aluminium, elle est de $\mu_r = 1,000023$, et avec le verre, de $\mu_r = 0,99999$. Avec l'aluminium, la densité est donc amplifiée et la barre tourne dans le sens de la flèche. On appelle cet effet le « paramagnétisme ». Avec le verre, c'est l'inverse. La barre s'écarte du champ et l'effet est appelé le « diamagnétisme ».