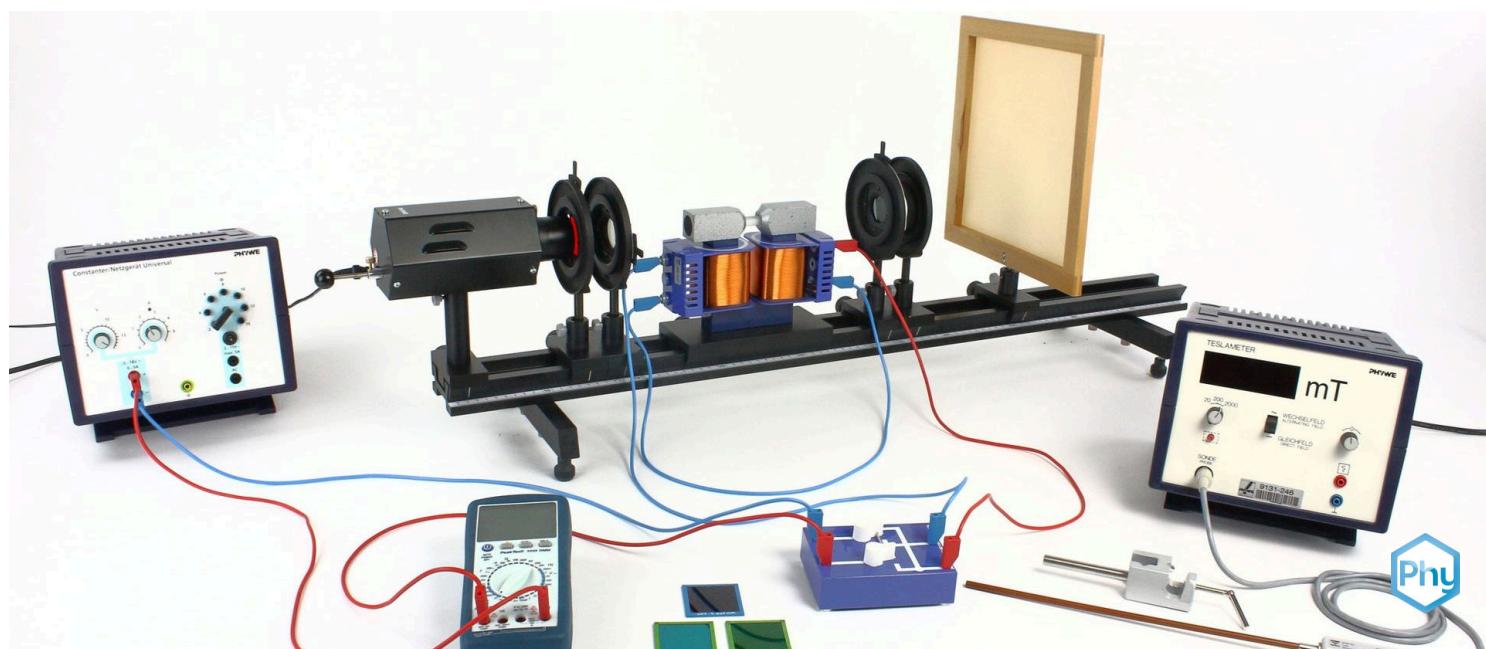


# Effet Faraday



Physique

Lumière et optique

Polarisation



Niveau de difficulté



Taille du groupe



Temps de préparation



Délai d'exécution

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/65d8772ad95eec0002551567>

**PHYWE**

## Informations générales

### Application

**PHYWE**

Un isolateur optique

Les applications de l'effet Faraday peuvent être trouvées dans :

- instruments de mesure : pour mesurer le pouvoir rotatif optique
- Rotateurs de Faraday : pour la modulation d'amplitude de la lumière
- isolateurs et circulateurs optiques : composants essentiels des télécommunications optiques

## Autres informations (1/3)

PHYWE

### Connaissances préalables



### Principe scientifique



Dans une onde lumineuse, le vecteur du champ électrique et le vecteur magnétique oscillent perpendiculairement et en phase l'un par rapport à l'autre. Par convention, la polarisation des ondes électromagnétiques se réfère à la direction du champ électrique. Les champs oscillent dans une seule direction dans le cas de la polarisation linéaire, et tournent à une vitesse constante dans un plan pendant la propagation de l'onde dans le cas de la polarisation circulaire ou elliptique.

L'angle de rotation du plan de polarisation d'une lumière polarisée plane à travers une tige de verre silex est une fonction linéaire du produit de la densité moyenne du flux, et de la longueur du milieu optique. Le facteur de proportionnalité, appelé constante de Verdet, est étudié en fonction de la longueur d'onde et du milieu optique.

## Autres informations (2/3)

PHYWE

### Objectif

d



### Tâches



Comprendre les principes de l'effet Faraday.

1. Déterminer la densité du flux magnétique entre les pièces polaires à l'aide de la sonde Hall axiale du teslamètre pour différents courants de bobine. La densité de flux moyenne est calculée par intégration numérique, et le rapport entre la densité de flux maximale et la densité de flux moyenne est établi.

## Autres informations (3/3)

PHYWE

### Tâches



2. Mesurer la densité maximale du flux en fonction du courant de la bobine, et établir la relation entre la densité moyenne du flux et le courant de la bobine, en prévoyant que le rapport trouvé sous 1. reste constant.
3. Déterminer l'angle de rotation en fonction de la densité moyenne du flux, en utilisant différents filtres de couleur. Calculer la constante de Verdet correspondante dans chaque cas.
4. Évaluer la constante de Verdet en fonction de la longueur d'onde.

## Consignes de sécurité

PHYWE

Pour cette expérience, les instructions générales pour une expérimentation sûre dans les cours de sciences s'appliquent.

Pour les phrases H et P, veuillez consulter la fiche de données de sécurité du produit chimique concerné.

S'assurer que l'alimentation est mise à zéro et hors tension avant de déconnecter l'aimant afin d'inverser les fils de courant. Le non-respect de cette précaution peut entraîner des blessures ou endommager l'équipement.

## Théorie (1/3)

PHYWE

Lorsqu'un milieu transparent est imprégné d'un champ magnétique externe, le plan de polarisation d'un faisceau de lumière à polarisation plane traversant le milieu subit une rotation, si la direction de la lumière incidente est parallèle aux lignes de force du champ magnétique. Ce phénomène est appelé "effet Faraday".

Afin de démontrer expérimentalement l'effet Faraday, on fait passer une lumière polarisée plane à travers un cylindre de verre SF6, supporté par les pièces polaires percées d'un électro-aimant. Un analyseur placé au-delà du cylindre de verre voit son plan de polarisation croisé par rapport à celui du polariseur, de sorte que le champ de vision de la face du cylindre de verre projetée sur l'écran translucide apparaît sombre.

Lorsque le courant traverse les bobines de l'électro-aimant, un champ magnétique est produit, imprégnant le cylindre de verre dans la direction de l'irradiation. La rotation qui se produit maintenant dans le plan d'oscillation de la lumière est indiquée par la remise à zéro de l'analyseur jusqu'à l'extinction maximale de l'image de l'écran translucide.

## Théorie (2/3)

PHYWE

On peut également montrer, que l'angle de rotation est proportionnel à la longueur de l'éprouvette (ici :  $l = 30$  mm). D'où :

$$\Delta\phi \sim I \cdot \bar{B}$$

Le facteur de proportionnalité  $V$  est appelée constante de Verdet.  $V$  est fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  et l'indice de réfraction  $n(\lambda)$ .

$$\Delta\phi = V(\lambda) \cdot I \cdot \bar{B} \quad (1)$$

## Théorie (3/3)



La constante de Verdet en fonction de la longueur d'onde peut être représentée par l'expression empirique suivante (Technical Information No. 17, Schott Company, Mainz, Germany) :

$$V(\lambda) = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \left( \frac{n^2(\lambda) - 1}{n(\lambda)} \right) \left( A + \frac{B}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \right) \quad (2)$$

avec :  $A = 15.71 \cdot 10^{-7} \frac{\text{rad}}{\text{T}}$  ;  $B = 6.34 \cdot 10^{-19} \frac{\text{rad} \cdot \text{m}^2}{\text{T}}$  et

$$\lambda_0 = 156.6 \text{ nm}$$

$$n \sim 1.84 (440 \text{ nm})$$

$$n \sim 1.80 (660 \text{ nm})$$

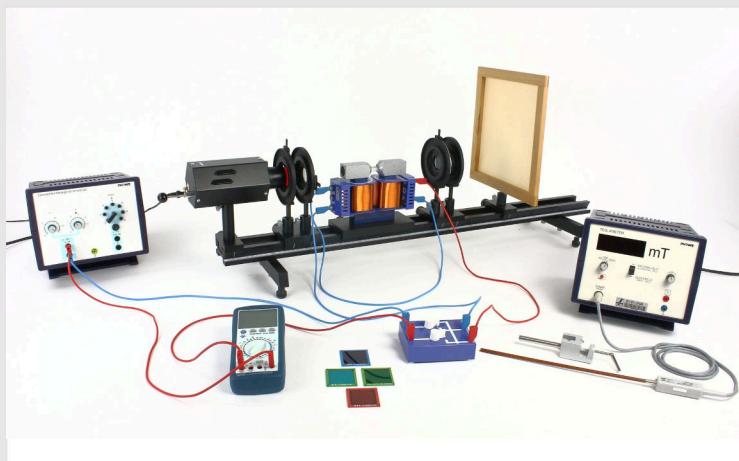
## Equipement

Position	Matériel	No. d'article	Quantité
1	Tige de verre pour effet Faraday	06496-00	1
2	Bobine, 600 spires	06514-01	2
3	Pièces polaires, percées	06495-00	1
4	Noyau en U, tôle magnétique laminé	06501-00	1
5	Lampe experimental LED HEX 2	08130-99	1
6	Multimètre digital 3 1/2 digit avec thermocouple NiCr-Ni	07122-00	1
7	Commutateur en croix	06006-00	1
8	PHYWE Teslamètre numérique	13610-93	1
9	Sonde Hall, axiale	13610-01	1
10	Lentille en verre, biconvexe, f = + 150 mm	08052-00	1
11	Support de composants	08043-00	1
12	Support de plateau à glissière pour expert en banc optique	08286-06	1
13		08040-02	1
14	Filtre coloré, violet, 360...460 nm, 16% @ 440 nm	08411-00	1
15	Filtre coloré, bleu-vert, , 400...560 nm, 63% @ 505 nm	08413-00	1
16	Filtre coloré, vert claire, 480...570 nm, 45% @ 525 nm	08414-00	1
17	Filtre coloré, jaune claire, 560...630 nm, 19% 580 nm	08415-00	1
18	Filtre coloré, rouge claire, >600 nm, 93% @ 595 nm	08416-00	1
19		08610-02	2
20	Ecran translucide, 250 x 250 mm	08064-00	1
21	Banc optique expert, L = 1000 mm	08282-00	1
22	Pied pour banc optique expert, réglable	08284-00	2
23	Curseur pour banc optique expert, h = 30 mm	08286-01	5
24	Noix double expert	02054-00	1
25	Fil de connexion, 32 A, 750 mm, rouge	07362-01	3
26	Fil de connexion, 32 A, 750 mm, bleu	07362-04	3
27	Tige de support acier inoxydable , 100mm	02030-00	1
28	Curseur pour banc optique expert, h = 80 mm	08286-02	1
29	PHYWE Alimentation universelle, affichage analogique, DC: 18 V, 5 A / AC: 15 V, 5 A	13503-93	1
30	Poteau, L 50 mm, D 12 mm	08750-04	4
31		08750-15	1
32	Anneau pour support de composants	08044-00	1

**PHYWE**

# Mise en place et procédure

## Configuration (1/3)

**PHYWE**

Dispositif expérimental

Installez l'équipement comme indiqué sur la figure.

La lampe expérimentale, le porte-objet avec le verre coloré, le filtre polarisant, la configuration de l'électro-aimant sur le support de diapositive à plateau, l'analyseur, le porte-objectif avec l'objectif d'une longueur focale de 150 mm et l'écran translucide.

## Configuration (2/3)

PHYWE

Material	Position (cm)
Lamp LED	2
Coloured glass	15
Polarizing filter	19
Electromagnet	35
Polarizing filter (analyser)	52
Lens, $f = 150$ mm	56
Translucent screen	72

Consulter le mode d'emploi de la lampe expérimentale LED HEX 1, du bloc d'alimentation et du teslamètre pour une manipulation correcte et une explication des commandes.

Positions sur le banc optique.

## Mise en place (3/3)

PHYWE

- Fig. 2:
- ① Condenser,  $f = 6$  cm
  - ② Coloured glass
  - ③ Polariser
  - ④ Test specimen (flint glass SF6)
  - ⑤ Analyser
  - ⑥ Lens,  $f = 15$  cm
  - ⑦ Translucent screen.

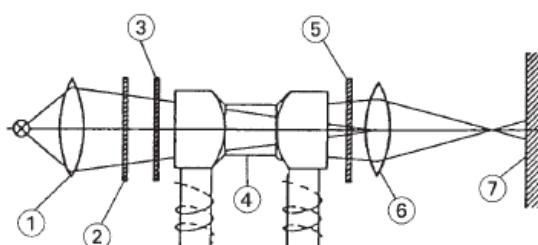
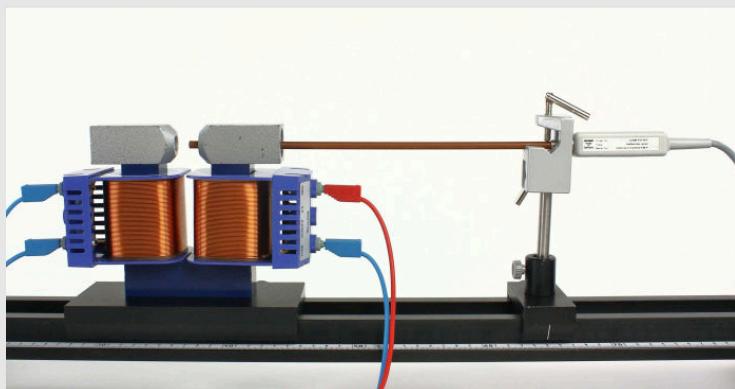


Schéma de l'axe optique de l'effet Faraday avec les matériaux correspondants.

L'électro-aimant nécessaire à l'expérience est construit à partir d'un noyau de fer laminé en forme de U, de deux bobines de 600 tours et des pièces polaires percées, l'électro-aimant étant ensuite placé de manière stable sur la table sur la tige.

## Procédure (1/6)

PHYWE



Détermination de la densité du flux magnétique.

### *1) Détermination de la densité du flux magnétique*

En l'absence de la tige de verre, la distribution de la densité du flux magnétique est déterminée dans l'espace entre les pièces polaires. Le montage est illustré dans la figure. Pour réaliser cette étape, seuls le teslamètre, la sonde axiale, la pince à angle droit avec la tige de support (100 mm) sur le support de diapositive, et l'électro-aimant entièrement connecté sur le support de diapositive du plateau, sont nécessaires. Tout d'abord, connectez la tige de support à la pince à angle droit et placez-la sur le support de diapositive.

## Procédure (2/6)

PHYWE

Ensuite, placez la sonde axiale dans la pince et serrez la vis juste assez pour fixer la sonde en place. Il ne faut pas trop serrer la vis. Le support de glissière doit être légèrement desserré pour permettre un mouvement progressif le long du banc optique. Centrez l'électro-aimant sur le support coulissant du plateau de manière à ce, que les trous de la pièce polaire soient directement alignés avec la sonde.

La sonde axiale étant connectée au teslamètre, la densité du flux est mesurée le long des pièces polaires. À partir du point central de la fente, mesurez environ 1,75 cm à gauche et à droite (ce qui s'étend à l'intérieur des pièces polaires). La distance totale de 3,5 cm doit être mesurée par pas de 5 mm. La procédure est répétée pour différentes intensités de courant, de 0,5 à 4 A par incrément de 0,5 A.

Avant de prendre une mesure, le teslamètre doit d'abord être mis à zéro. Une fois la sonde axiale positionnée au centre de la fente, utiliser la "vis de réglage" et le "bouton de réglage" du teslamètre (déscrits dans le mode d'emploi du teslamètre) pour mettre la mesure à zéro avant d'augmenter l'intensité du courant.

## Procédure (3/6)

PHYWE

Régler le "stepping switch" sur la plage de mesure la plus basse lors de la mise à zéro. L'intensité du courant augmentant jusqu'à 4 A au cours de l'expérience, il convient de modifier la plage de mesure pour atteindre les valeurs les plus élevées, le cas échéant.

Tracez la distribution de la densité de flux pour chaque intensité de courant le long de la longueur de la fente et comparez-la à la figure 1. Trouvez la densité de flux moyenne pour chaque intensité de courant. Déterminer le rapport entre la densité de flux maximale et la densité de flux moyenne dans chaque cas. En outre, représentez graphiquement la densité de flux moyenne entre les pièces polaires en fonction du courant de la bobine et comparez avec les distributions de densité de flux de l'aimant.

## Procédure (4/6)

PHYWE

### 2) Détermination de l'angle de rotation du plan de polarisation et de la constante de Verdet en fonction de la longueur d'onde

Après avoir mesuré la distribution de la densité du flux, la tige de verre de 30 mm de long est insérée dans les trous de la pièce polaire et l'aimant est centré entre les deux filtres de polarisation. Redressez la tige de verre autant que possible. La pièce doit être plongée dans l'obscurité lors de la réalisation des mesures. Les plans de polarisation des deux filtres de polarisation sont disposés parallèlement.

La lampe expérimentale LED 3W doit maintenant être branchée, et la lumière doit être recentrée à l'aide de la tige de réglage située à l'arrière de la lampe. L'électro-aimant est ensuite placé sur le trajet des rayons d'image et positionné de manière à ce, que les trous de la pièce polaire avec la tige de verre insérée soient alignés sur l'axe optique. En faisant glisser la lentille de l'objectif le long du banc optique, la face de la tige de verre est projetée avec netteté sur l'écran translucide. L'ajustement est complété par l'insertion du verre coloré dans le porte-objet.

## Procédure (5/6)

PHYWE

Le filtre polarisant doit avoir en permanence une position de  $\pm 90^\circ$ . Dans ce cas, l'analyseur aura une position de  $0^\circ \pm \Delta\phi$  pour une extinction parfaite avec  $\Delta\phi$  étant une fonction du courant de la bobine, respectivement de la densité de flux moyenne.

En ce qui concerne l'extinction complète, il peut être préférable de retirer l'écran et de suivre le réglage de l'analyseur par inspection visuelle. Le courant maximal des bobines en utilisation permanente est de 2 A. Toutefois, le courant peut être augmenté jusqu'à 4 A pendant quelques minutes sans risque d'endommager les bobines par surchauffe.

Si le polariseur et l'analyseur sont croisés, l'image de l'écran translucide apparaît sombre. Elle s'éclaircit lorsque le courant de la bobine est activé et qu'un champ magnétique longitudinal est généré entre les pièces polaires. Réglage de l'analyseur selon un certain angle  $\Delta\phi$  produit une extinction maximale de la lumière (position 1).

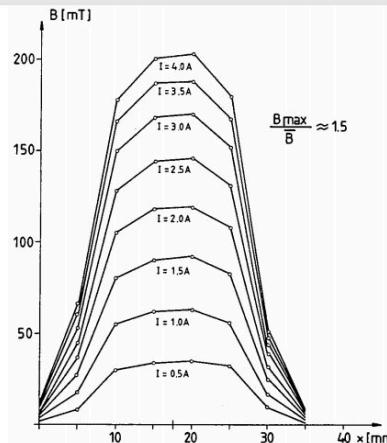
## Procédure (6/6)

PHYWE

Si la direction du champ magnétique est inversée en changeant la polarité du courant de la bobine, l'analyseur doit être réglé dans la direction opposée afin d'assombrir à nouveau le champ de vision éclairci (position 2). La différence entre la position 2 et la position 1 de l'analyseur est égale à  $2 \cdot \Delta\phi$ .

Tracer la rotation du plan de polarisation en fonction de la densité de flux moyenne pour chaque verre coloré, (longueur d'onde), et comparer les graphiques. Calculer la constante de Verdet et tracer chaque courbe en fonction de la longueur d'onde.

## Évaluation (1/8)



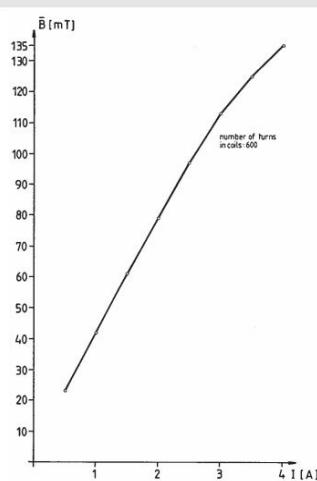
Distribution de la densité de flux entre les pièces polaires pour différents courants de bobine.

### Tâche 1 :

Les résultats des distributions de densité de flux de l'aimant sont présentés dans la figure. La densité de flux augmente fortement au centre de la fente et diminue de part et d'autre.

Quel que soit le courant de la bobine, le rapport entre la densité de flux maximale et la densité de flux moyenne (trouvé par intégration numérique) est dans chaque cas approximativement égal à 1,5.

## Évaluation (2/8)



Densité de flux moyenne entre les pièces polaires en fonction du courant de la bobine.

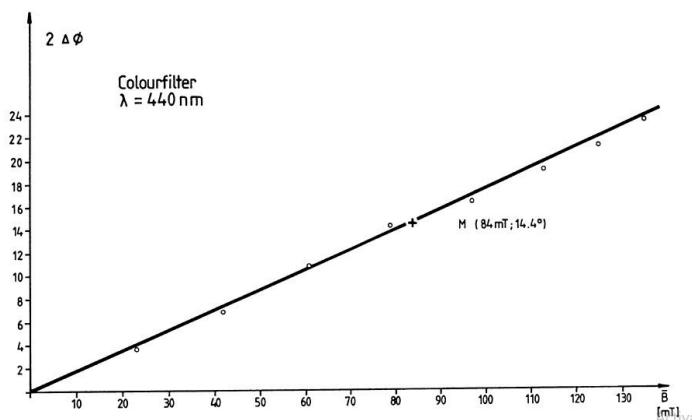
### Tâche 2 :

En partant de la densité de flux maximale dans la fente, nous pouvons maintenant facilement attribuer une densité de flux moyenne à l'échantillon d'essai pour n'importe quel courant de bobine donné. Le graphique correspondant a été tracé dans la figure.

Pour toutes les considérations ultérieures, il est prévu que l'échantillon d'essai soit soumis à cette densité de flux moyenne.

## Évaluation (3/8)

PHYWE



Angle de rotation du plan de polarisation en fonction de la densité de flux moyenne pour  $\lambda = 440\text{ nm}$ .

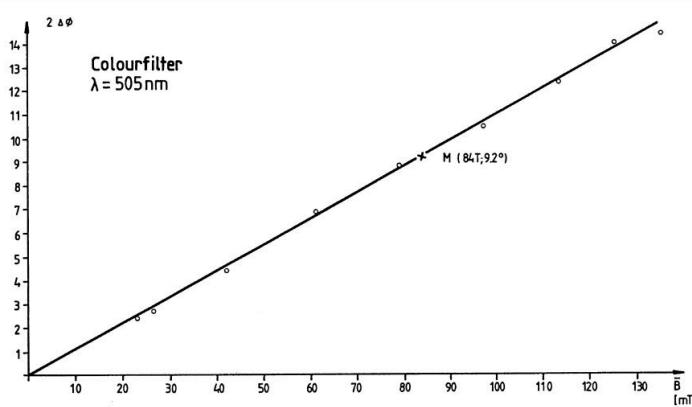
### Tâche 3

Les figures montrent l'angle  $2 \cdot \Delta\phi$  en fonction de la densité de flux moyenne pour les cinq filtres de couleur différents. On observe que le plan de polarisation est tourné autour de la direction de propagation de la lumière qui coïncide avec la direction du vecteur de densité de flux magnétique. L'angle de rotation est d'autant plus grand que la densité de flux moyenne est élevée.

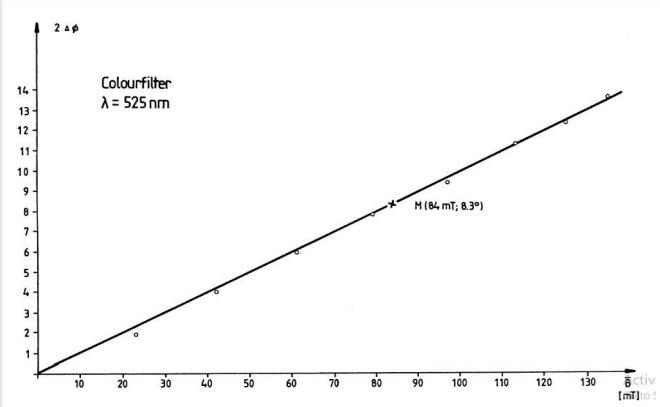
Pour une longueur d'onde donnée, nous trouvons une relation linéaire entre l'angle de rotation  $\Delta\phi$  et la densité moyenne du flux  $\bar{B}$ .

## Évaluation (4/8)

PHYWE



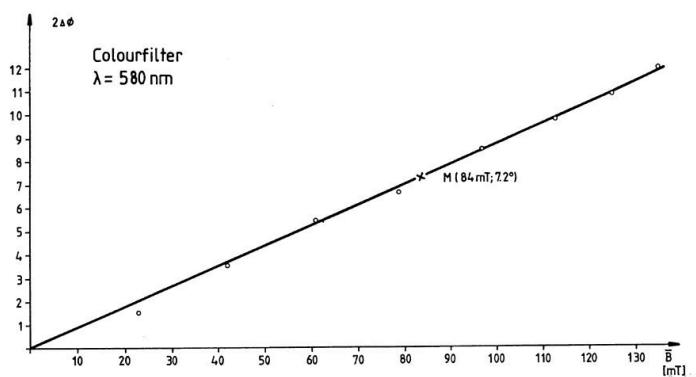
Angle de rotation du plan de polarisation en fonction de la densité de flux moyenne pour  $\lambda = 505\text{ nm}$ .



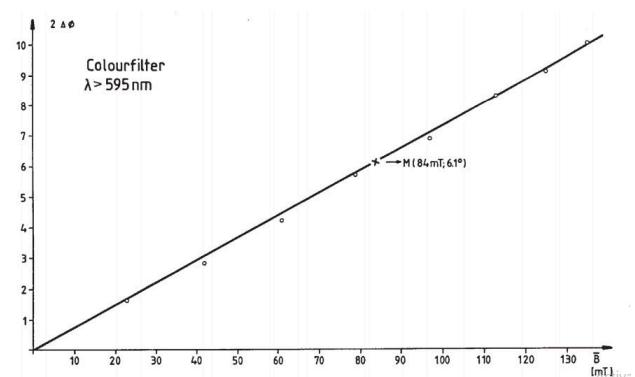
Angle de rotation du plan de polarisation en fonction de la densité de flux moyenne pour  $\lambda = 525\text{ nm}$ .

## Évaluation (5/8)

PHYWE



Angle de rotation du plan de polarisation en fonction de la densité de flux moyenne pour  $\lambda = 580\text{ nm}$ .



Angle de rotation du plan de polarisation en fonction de la densité de flux moyenne pour  $\lambda = 595\text{ nm}$ .

## Évaluation (6/8)

PHYWE

On peut également montrer que l'angle de rotation est proportionnel à la longueur de l'éprouvette (ici :  $l = 30\text{ mm}$ ). D'où :

$$\Delta\phi \sim I \cdot \bar{B}$$

À partir des pentes des graphiques, nous trouvons les valeurs suivantes pour  $V(\lambda)$  :

	$V(\lambda)$ in [ $\frac{\text{degree}}{\text{T}\cdot\text{m}}$ ]	$V(\lambda)$ in [ $\frac{\text{radian}}{\text{T}\cdot\text{m}}$ ]
Colour filter $\lambda = 440\text{ nm}$	2857	49.8
Colour filter $\lambda = 505\text{ nm}$	1825	31.8
Colour filter $\lambda = 525\text{ nm}$	1647	28.7
Colour filter $\lambda = 580\text{ nm}$	1647	24.9
Colour filter $\lambda = 595\text{ nm}$	1210	21.1

$V(\lambda)$  pour chaque longueur d'onde

## Évaluation (7/8)

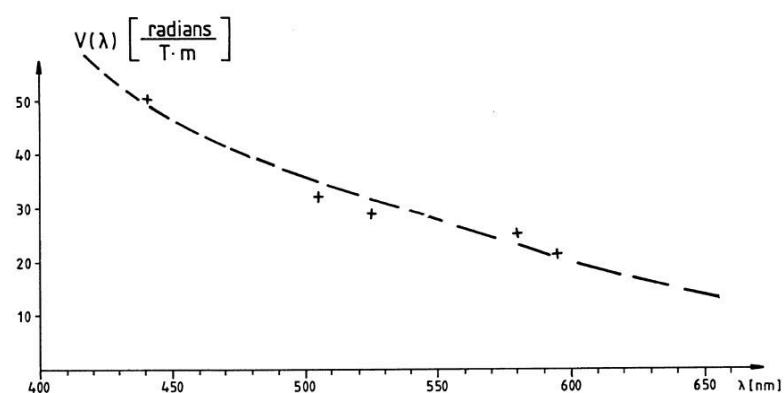
### Tâche 4

Une représentation graphique de la constante de Verdet en fonction de la longueur d'onde pour le verre SF6 se trouve dans la figure. Les points croisés représentent les valeurs mesurées (440 nm), (505 nm), (525 nm), (580 nm) et (595 nm).

Elles coïncident assez bien avec les valeurs prédites par l'équation 2.

+ valeurs mesurées

--- valeurs théoriques



Constante de Verdet en fonction de la longueur d'onde

## Évaluation (8/8)

Constante de Verdet d'un matériau :

- dépend de la longueur d'onde.
- dépend de l'angle de polarisation.
- dépend de la température
- décrit l'intensité de l'effet Faraday

Vérifier

L'ampleur de la rotation dépend

- les propriétés des matériaux de transmission
- l'intensité du champ magnétique
- Constante de Verdet

Vérifier

Diapositive

Score / Total

Diapositive 28: Tâches multiples

**0/6**

Score total

 0/6



Montrer les solutions



Réessayer

**17/17**