MP13 – Biréfringence, pouvoir rotatoire

8 décembre 2016

Guillaume Jung & Charles Paleo

Quand on te donne le choix à 5 h du mat', quitte à travailler dans le noir pendant que tout le monde dort, autant que ce soit pour de l'optique plutôt que de devoir supporter en plus le bruit des moteurs.
A. Bérut

Commentaires du jury

[2013] à **[2016]** : Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées. Une connaissance minimale des milieux anisotropes est indispensable.

[2008] : Les notions d'axe optique et de lignes neutres sont trop mal connues.

[2009] : Ce montage est souvent confondu avec le suivant (depuis 2013 "Polarisation des OEM")

Bibliographie

✍ *Sextant*, ⟶ 1.1, 1.2, 1.3 (la bible pour ce montage)
✍ *Duffait*, ⟶ 1.4 (biréfringence artificielle)

Expériences

- Propagation de la lumière dans un milieux biréfringent (qualitatif)
- Mesure de différence d'indice
- Mesure d'épaisseur
- Biréfringence du scotch (qualitatif)
- Mesure d'un pouvoir rotatoire
- Effet Faraday

Table des matières

1 Biréfringence **2**
1.1 Propagation de la lumière dans un milieu biréfringent . . . 2
1.2 Mesure de différence d'indice . . . 2
1.3 Mesure d'épaisseur . . . 3
1.4 Biréfringence artificielle . . . 4

2 Pouvoir rotatoire **4**
2.1 Loi de Biot . . . 4
2.2 Mesure d'un pouvoir rotatoire . . . 4
2.3 Effet Faraday . . . 5

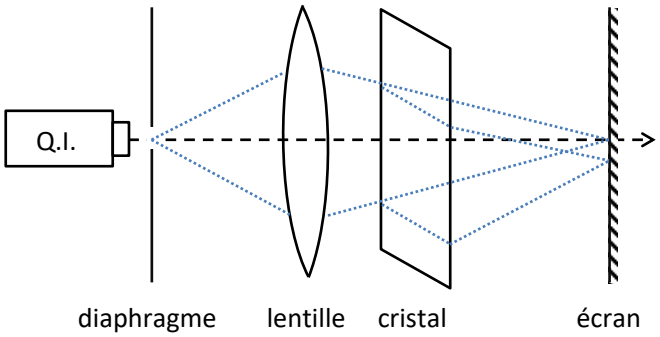
Introduction

La biréfringence est la propriété des matériaux isotropes dont l'indice optique dépend de la polarisation et de la direction de propagation de la lumière incidente.
Le pouvoir rotatoire est la propriété de certains matériaux (pouvant être isotropes) de faire tourner le plan de polarisation de la lumière.

1 Biréfringence

1.1 Propagation de la lumière dans un milieu biréfringent

✍ Sextant p.278



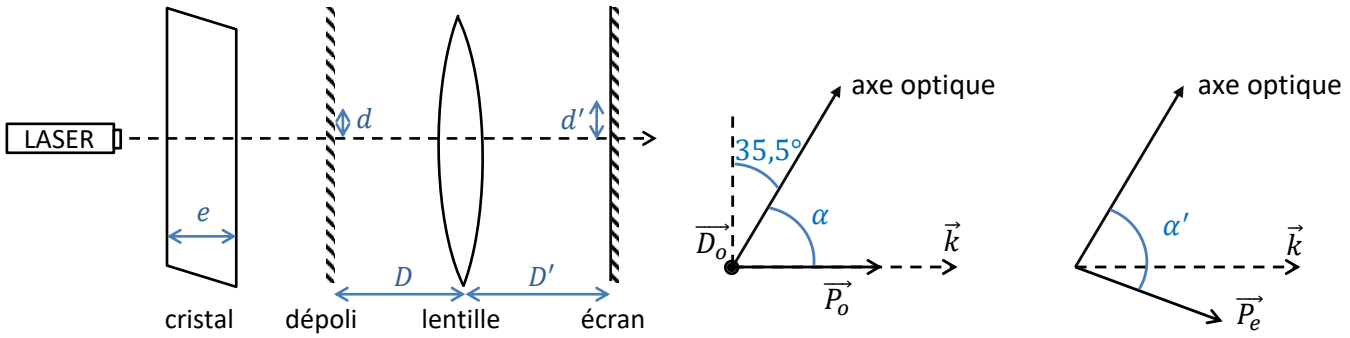
Matériel : Q.I. + filtre anti-calorique, diaphragme, lentille CV, canon de spath P7.53, polariseur, écran

Protocole : Utiliser le cristal de spath et mettre en évidence les 2 rayons ordinaire et extraordinaire. Montrer à l'aide d'un polariseur que ces deux rayons sont polarisés perpendiculairement.

En faisant tourner le cristal, on observe qu'une des images tourne autour de l'autre. L'image fixe est donc l'ordinaire, puisqu'elle suit les lois de Snell-Descartes.

1.2 Mesure de différence d'indice

✍ Sextant p.281



Matériel : laser non polarisé (utilisé : P5.24), cristal de spath P7.53, dépoli, lentille CV, écran

Remarques :

- Le dépoli permet de diminuer le speckle, on projette ensuite les images sur un écran à l'aide d'une lentille.
- Le canon de spath est taillé à 35,5° de son axe optique.

Protocole :

- Envoyer un faisceau laser non polarisé perpendiculairement à une face du cristal. On observe les rayons ordinaire et extraordinaire sur le dépoli (écartés d'une distance d). En faire l'image sur l'écran.
- Mesurer la distance d' entre ces deux images sur l'écran. $d' =$
- Grandissement du système dépoli - lentille - écran : $\gamma = D'/D = d'/d =$
- $d = d'/\gamma =$
- La déviation entre les 2 rayons est donc : $\theta \approx d/e$ (e étant l'épaisseur du cristal) $\theta =$
- Or $\theta = \alpha - \alpha'$ (avec $\alpha = 90 - 35,5° = 54,5°$) donc $\alpha' \approx$
- $\varepsilon_e \tan\alpha' = \varepsilon_{or} \tan\alpha$ d'où $\varepsilon_{or}/\varepsilon_e = \tan\alpha'/\tan\alpha$
- $n_i = \sqrt{\varepsilon_i}$ donc $n_{or}/n_e =$
- $|\Delta n| = |n_e - n_{or}| =$

Valeurs tabulées :

	n_o	n_e	$\Delta n = n_{or} - n_e$
Calcite (spath)	1,6584	1,4864	−0,172
Quartz	1,5443	1,5534	+0,0091

Incertitudes :

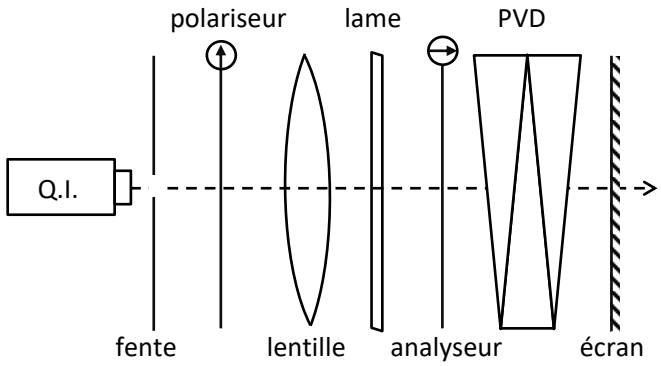
$$n_i = \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{\tan\left(\frac{d'D}{eD'}\right)}$$

$$u(\varepsilon_i) = \varepsilon_i \sqrt{\left[\frac{Du(d')}{eD'}\left(1+\tan^2\left(\frac{d'D}{eD'}\right)\right)\right]^2 + \left[\frac{d'u(D)}{eD'}\left(1+\tan^2\left(\frac{d'D}{eD'}\right)\right)\right]^2 + \left[\frac{d'Du(D')}{eD'^2}\left(1+\tan^2\left(\frac{d'D}{eD'}\right)\right)\right]^2 + \left[\frac{d'Du(e)}{e^2D'}\left(1+\tan^2\left(\frac{d'D}{eD'}\right)\right)\right]^2}$$

$$u(\Delta n) = \Delta n \sqrt{\left(\frac{u(\varepsilon_i)}{2\sqrt{\varepsilon_i}}\right)^2}$$

1.3 Mesure d'épaisseur

✍ Sextant p.290



Matériel : Q.I. + filtre anti-calorique, diaphragme, 2 polariseurs, lentille CV, lame de la boîte P7.14, écran, Spid-HR, PVD

Remarque : Prendre une lame suffisamment épaisse de la boîte P7.14 pour pouvoir compter quelques dizaines de franges : la lame de 4 mm de Quartz n'est pas trop mal.

Protocole : Mettre le cristal (boîte P7.14) le long d'une ligne neutre [1]. Observer dans un premier temps sur un écran avec le prisme à vision directe (PVD), puis à l'ordinateur à l'aide de Spid-HR sans le PVD.

1. Pour se mettre sur une ligne neutre : polariseur + analyseur à 90°, ajouter le cristal, le faire tourner jusqu'à extinction. Les lignes neutres sont à 45° de cette orientation.

Prendre sur Spid-HR deux longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 sur des cannelures suffisamment écartées. Compter le nombre de cannelures entre ces deux longueurs d'ondes. L'épaisseur e est donnée par la formule :

$$e = \frac{\Delta p}{\Delta n} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \tag{1}$$

$\lambda_1 =$ $\lambda_2 =$ $\Delta p =$ $e =$

Incertitudes :

$$u(e) = e\sqrt{\left(\frac{u(\lambda_1)}{\lambda_1}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda_1)}{\lambda_1}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda_1) + u(\lambda_2)}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)^2} \tag{2}$$

1.4 Biréfringence artificielle

Reprendre le premier montage. Remplacer le canon de spath par du scotch (faire plusieurs couches de scotch décalées, ou en coller plein n'importe comment, ça marche aussi et ça fait de très jolies images sur l'écran). En faire l'image sur l'écran par la lentille. Ajouter un polariseur et un analyseur. Faire tourner l'analyseur : on observe la biréfringence du cellophane provoquée par les étirements lors de la fabrication du scotch.

2 Pouvoir rotatoire

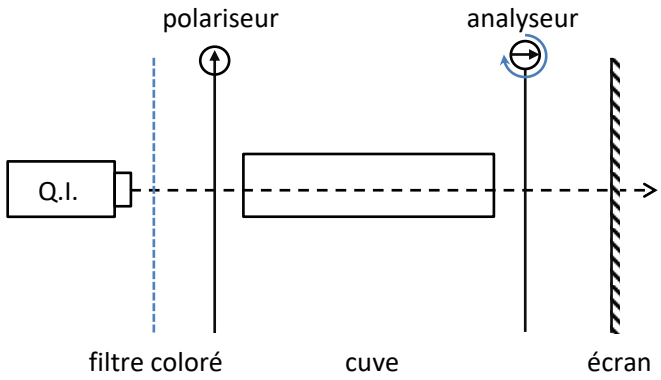
2.1 Loi de Biot

$$\alpha = [\alpha]_s \; l \; c \tag{3}$$

α : angle de rotation observé [°]
$[\alpha]_s$: pouvoir rotatoire spécifique (à T et λ donnés) [mL.g^{-1}.dm^{-1}]
l : longueur de la cuve [dm]
c : concentration [g.L^{-1}]

2.2 Mesure d'un pouvoir rotatoire

✍ Sextant p.318



Matériel : Q.I. + filtre anti-calorique, filtre interférenciel, diaphragme, 2 polariseurs, lentille CV, 4 cuves P10.47, sucre en poudre, balance, écran

Remarque : La solubilité du sucre dans l'eau étant énorme ($\sim$ 2 kg.L^{-1} à 25°C), la seule chose qui limite vraiment les concentrations des cuves et le temps nécessaire à la dissolution.

Protocole :

- 4 cuves (P10.47, contenance d'environ 35 mL) de concentrations massiques en sucre différentes (0/200/400/600 g.L^{-1}). Pour cela - pour plus de simplicité - diluer 60 g de sucre dans 100 mL d'eau, agiter un certain temps avec un agitateur magnétique puis effectuer les dilutions correspondantes.

- Polariser le faisceau en sortie de la QI.
- Avec un analyseur, mettre en évidence la dépendance en λ du pouvoir rotatoire (apparition de couleurs lorsqu'on est proche de l'extinction de lumière).
- Ajouter un filtre interférenciel.
- Mesurer avec l'analyseur l'écart angulaire entre l'extinction de la lumière ne passant pas dans la cuve et l'extinction de la lumière traversant la cuve.
- Tracer α en fonction de c
- La longueur de la cuve étant de $l =$ on en déduit $[\alpha]_s =$

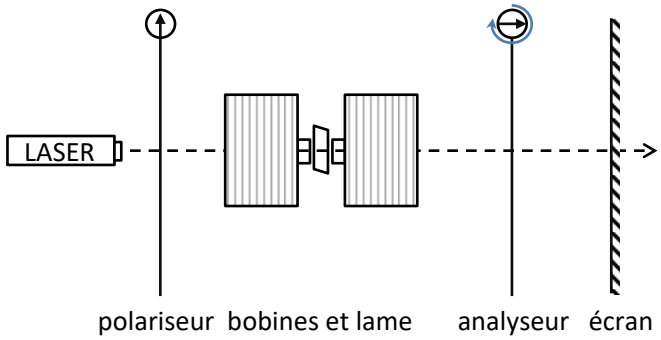
Valeurs tabulées :

	Glucose	Fructose	Saccharose	Saccharose hydrolysé
$[\alpha]_s$	+52	−92	+67	+20

Le saccharose s'hydrolyse spontanément en milieux aqueux, donnant un mélange équimolaire de glucose et de fructose.
Valeurs données à 20°C pour $\lambda = 589$ nm

2.3 Effet Faraday

✍ Sextant p.320



Principe : Certains matériaux peuvent développer un pouvoir rotatoire lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique longitudinal : c'est l'effet Faraday. Celui-ci vérifie :

$$\alpha = V\ B\ d$$

α : angle de rotation observé [°]
V : constante de Verdet du matériau (dépendant de λ) [$T^{-1}.m^{-1}$]
B : champ magnétique [T]
d : épaisseur du matériau [m]

Matériel : Laser non polarisé, bobines P66.30, alimentation P53.3, barreau de flint P7.40, 2 polariseurs, écran, Spid-HR.

Remarques :

- Attention à ne pas dépasser les 9 A des bobines en série.
- A une intensité I correspondent parfois 2 valeurs de B (hystérésis), attention à faire les mesures toujours dans le sens des I croissants ou décroissants (ou alors laisser le teslamètre)

Protocole :

- Faire passer le faisceau laser dans l'axe des deux bobines. Entre elles se trouve le morceau de flint, parfaitement tenu grâce aux pièces polaires qui se trouvent avec les deux bobines. En sortie, placer l'analyseur et l'écran ou Spid-HR.
- Coincer le teslamètre entre les deux bobines (l'écart entre les bobines est très proche de la taille du teslamètre, celui-ci tient donc bien entre les deux bobines ce qui facilite grandement les mesures).

- Augmenter progressivement l'intensité du circuit. Relever la valeur du champ magnétique entre les deux bobines et mesurer l'angle α (°) entre le polariseur et l'analyseur où on a extinction de la lumière (le pic vert sur SPID-HR est nettement visible et l'annuler reste facile, cependant la lecture de l'angle α sur l'analyseur est peu précise : environ 1 ° d'incertitude).
- Faire cela en parcourant $I = 0$ - 9 A.
- Tracer $\alpha = f(B)$ (mettre B en T) et en déduire la valeur de la constante de Verdet avec le coefficient directeur de la droite.

Valeurs tabulées :

	Flint léger	Quartz	Chlorure de sodium	Eau
V ($cm^{-1}.T^{-1}$)	+5	+2,77	+5,98	+2,18

Pour $\lambda = 589$ nm

Conclusion

Les phénomènes de biréfringence et de pouvoir rotatoire sont très riches et débouchent sur l'optique non linéaire.

Remarques, Commentaires, Liste de courses de Noël...