

MP13 : BIRÉFRINGENCE, POUVOIR ROTATOIRE

21 juin 2019

Clémentine Rouvière & Corentin Pacary

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.
- Jusqu'en 2013, le titre était : Milieux optiquement actifs : biréfringence, pouvoir rotatoire.
2011, 2012 : Le jury a vu de bons montages sur ce sujet. Cependant, la signification de certains termes comme lame taillée parallèlement ou perpendiculairement à l'axe, ou encore lignes neutres, doit être connue.
- 2010 : Ce sujet a été moins souvent confondu avec le suivant (Production et analyse d'une lumière polarisée) cette année. Le candidat doit toutefois être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince.
- 2009 : Ce montage est souvent confondu avec le suivant (Production et analyse d'une lumière polarisée). Comme le titre l'indique, il s'agit d'étudier des propriétés de matériaux et non d'ondes lumineuses, même si ces dernières constituent l'outil principal permettant d'effectuer les mesures.
- 2008 : Les notions d'axe optique et de lignes neutres sont trop mal connues.
- 2002 : Il ne suffit pas de connaître tous les gestes à effectuer et le matériel à utiliser. Par exemple, en optique cristalline, de beaux spectres cannelés ont été observés alors que le candidat avait du mal à différencier, au moins qualitativement, milieux uniaxes et milieux biaxes, et à donner un sens à la phrase « tailler dans un quartz parallèlement à l'axe ».

Bibliographie

- ✦ *Optique*, **Houard** → Théorie et généralités
- ✦ *Optique expérimentale*, **Sextant** → Manips
- ✦ *Physique expérimentale*, **FLTCD** → Manips
- ✦ *Montages de Chimie inorganique et générale*, **Brénon-Audat, Raffleau et PrévotEAU** → Mutarotation du glucose
- ✦ *Expériences d'optique à l'agrégation de sciences physiques*, **Duffait** → Manips, en complément

Expériences



Table des matières

1	Caractérisation d'un milieu biréfringent	2
1.1	Biréfringence du quartz	2
1.2	Mesure de l'épaisseur d'une lame mince	3
2	Polarisation rotatoire	3
2.1	Le cas du glucose	3
2.2	Principe	4
3	Commentaires	6
4	Questions	7

Demander un chronomètre !

Ne pas oublier d'écrire les valeurs tabulées au tableau !

Introduction

➤ Houard p250, Sextant p278

On réalise une expérience introductive : On place un rhomboèdre de spath, on observe deux images !
 Quand on fait tourner le cristal, un point tourne autour de l'autre.
 On peut mettre en évidence que les deux polarisations sont orthogonales. Si elle est en place, on peut montrer que la solution de glucose fait tourner le polarisation !

Cet effet est dû au fait que l'on a un milieu toujours homogène et linéaire mais anisotrope. On va voir dans ce montage deux phénomènes impliquant de tel milieux : La biréfringence (deux polarisations rectilignes sont caractérisées par deux indices différents (double réfraction)) et la polarisation rotatoire (même chose mais pour les polarisations circulaires, une polarisation rectiligne tourne)...

1 Caractérisation d'un milieu biréfringent

1.1 Biréfringence du quartz

➤ Sextant p290

Principe On place une lame de quartz taillée parallèlement à l'axe optique à la place du canon à spath, avec un polariseur, un analyseur, une lumière parallèle, une lentille fait l'image de la lame sur l'écran.

On commence avec les polariseurs et analyseurs croisés, on met la lame au milieu et on retrouve de la lumière ! En tournant la lame, on obtient deux directions orthogonales qui rétablissent l'extinction, ce sont les axes neutres.

On place alors le polariseur et l'analyseur croisés et la lame à 45° entre les deux.

Hypothèses

- Éclairage parallèle
- Conditions de Gauss

Mise en équation Les deux polarisations selon les axes neutres ont une différence de marche de Δne . Sur l'analyseur, elles sont recombinaées, il y a interférence.

Résultats expérimentaux

Mesure de la biréfringence d'un lame épaisse

➤ Sextant p290, FLTCLD

⊖

On place le spectrophotomètre dans le plan focal de la lentille (lumière concentrée). On obtient un spectre cannelé.

On utilise la formule (8) du FLTCD pour remonter à Δn en ayant mesuré e au pied à coulisse (si possible).

$$N = \Delta ne \left(\frac{1}{\lambda_{min}} - \frac{1}{\lambda_{max}} \right) \quad (1)$$

Incertitudes :

- Sur l'épaisseur, dépend du moyen de mesure
- Sur λ , dépend du spectro, plus on en compte, mieux c'est.

On avait une lame dite "épaisse" car on a un déphasage important entre les longueurs d'onde aux extrémités du spectre. Si l'épaisseur diminue, le déphasage aussi, jusqu'à ce qu'on ait plus qu'une ou deux annulations dans le spectre. La lumière est alors colorée et on ne plus appliquer cette méthode.

On place une lame mince et on voit qu'effectivement le spectre a changé, et que sur l'écran la lumière est colorée !

1.2 Mesure de l'épaisseur d'une lame mince

↗ FLTCD p251

Principe : On a vu que le déphasage est du à $\Delta n e$, on va cette fois supposé Δn connu et chercher à remonter à e . (le compensateur de Babinet doit être étalonné, fait en préparation mais à expliquer.

Etre EXTREMEMENT clair sur le compensateur de Babinet sinon la manip ne sert à rien !

Schéma principe compensateur de Babinet

Mesure d'une épaisseur par compensateur de Babinet

↗ FLTCD p253



Droite d'étalonnage avec un filtre interférentiel.

On suit le protocole, sauf que l'on remonte à e plutôt qu'à Δn .

A noter que comme on change de lame, il faut tout recommencer et remettre polariseurs analyseurs croisés à 45° des axes neutres.

Incertitudes

- Sur la différence de marche : le vernier (voir notice du compensateur)
- Sur la longueur d'onde : voir largeur filtre interférentiel
- Sur la biréfringence, valeur tabulée : 9.10×10^{-3}

Les lames utilisées étaient naturellement biréfringentes, mais il existe aussi de la biréfringence provoquée : le scotch, une règle ou un morceau de plexiglass sous contrainte montrent l'existence de photoélasticimétrie. Il existe aussi l'effet Kerr, et les cristaux liquides.

On a donc vu la biréfringence qui est pour des polarisations retilignes. Son analogue pour des polarisations circulaire est la polarisation rotatoire, caractérisée par une grandeur, le pouvoir rotatoire d'un milieu.

2 Polarisation rotatoire**2.1 Le cas du glucose**

En oral blanc : pas le temps mais monter la manip, on peut montrer le principe et si on a été efficace, ça peut passer.

Hypothèses

- Faisceau incident bien parallèle
- on utilise la raie D du sodium (ou filtre à 589 nm)
- Solutions peu concentrées de glucose

Mise en équation $\alpha = \epsilon[\text{glucose}]\ell$

Résultats expérimentaux

Vérification de la loi de Biot

↗ Brénon p165, Sextant p318



Pour plusieurs concentrations, on mesure α .

On trace α en fonction $[\text{glucose}] \times e$. Si notre point est aligné, on prend la pente, sinon on prend juste notre dernier point et on le fait à la calculatrice.

On a aussi $\epsilon = x\epsilon_\alpha + (1-x)\epsilon_\beta$ soit $x = \frac{\epsilon - \epsilon_\beta}{\epsilon_\alpha - \epsilon_\beta}$. On remonte ainsi à la proportion de α . Voir la discussion dans la ref. Montages de chimie inorganique et générale, Brénon.

2.2 Principe

Ne pas faire le quartz en premier mais en deuxième, plus intéressant de faire le glucose ↗ Sextant p317

Mesure du pouvoir rotatoire du quartz

↗ Sextant p318



On remplace la lame précédente par une lame taillée perpendiculairement à son axe. On observe que la polarisation en sortie est toujours rectiligne, mais a tourné d'un angle α . De plus, on peut tourner la lame et rien ne change, ce n'est plus de la biréfringence.

ATTENTION : Avoir un éclairage parallèle!!

L'angle α est proportionnel à e , on définit le pouvoir rotatoire, lévogyre, dextrogyre. (voir Sextant) on en déduit le P du quartz (**Trouver valeur théorique**).

On passe alors au cas des solutions, P est proportionnel à $[M]$ la concentration du soluté. D'où la définition du pouvoir rotatoire spécifique. C'est ce qu'on appelle la loi de Biot

Comme pour la biréfringence il existe des manières de "créer" du pouvoir rotatoire. On peut citer l'effet Faraday (qui suit la loi de Verdet cf. Sextant p.320)

On met place un électroaimant avec des pièces trouées (ou des bonnes bobines autour de la lame et on observe que l'angle tourne proportionnellement à la valeur du champ magnétique.

Conclusion

On a donc vu dans ce montage deux aspects de l'optique anisotrope linéaire. La biréfringence et la polarisation rotatoire. Ces deux phénomènes s'interprètent théoriquement par des différences d'indice optique selon le type de polarisation.

Ces effets peuvent être utilisé pour des mesures d'épaisseur, de concentration, pour visualiser les domaines de Weiss, pour mesurer des contraintes.

Les lames biréfringentes peuvent notamment servir de lame demi-onde ou quart d'onde, qui seront utiles dans l'étude de la polarisation (montage suivant)

Préparation

1)

Matériel

Intro

- Laser
- Ecran
- Canon de spath

Biréfringence d'une lame épaisse

- QI + filtre AC
- Fente réglable
- Achromat de 120 mm
- 2 Polariseurs
- lame quartz (4mm, parallèle) + support
- Achromat de 100 mm
- Ecran
- Spid-HR + fibre + ordinateur

Epaisseur d'une lame mince

- Matériel utilisé pour la lame épaisse
- Compensateur de Babinet
- lame de quartz (P7.67)
- Achromat de 100 mm
- Lampe à vapeur de mercure (étalonnage)
- Filtres interférentiels

Glucose

- Lampe à vapeur de sodium
- Fente réglable
- Achromat de 120 mm
- 2 polariseurs
- Cuve longue (P10.31)
- fiole jaugée de 1L
- 4 fioles jaugées de 200 mL
- Pipettes jaugées (50 mL, 20 mL)
- D-glucose

3 Commentaires

Le Jury est très SEVERE avec la qualité des montages et images obtenues en optique!!! On fait donc attention à l'éclairage, la position des lentilles, la position de l'axe optique. En gros, il faut avoir une image nette avec une intensité au top!!

Est-ce qu'on enlève pas la lame mince? Si on la fait, il faut vraiment expliquer à fond comment le compensateur de Babinet marche.

Polarisation rotatoire : éclairage parallèle. Montrer directement sur le glucose, parce que, d'un point de vue pédagogique, si on le fait pas bien sur le quartz, on peut toujours nous embêter en nous demandant la différence avec la biréfringence. A la fin, quand on a montré qu'on a un nouveau phénomène, différent de la biréfringence, on peut revenir sur le quartz.

4 Questions

Qu'est-ce que le polariseur que vous employez ?

Précision du spectromètre ? Spectre cannelé : pourquoi les minima d'intensité ne sont pas nuls ?

Il est constitué d'un réseau par réflexion, et l'image est envoyée sur une barrette CCD. On étalonne un spectromètre en utilisant une lampe spectrale dont la position des raies est connue avec une grande précision. La résolution du spectromètre dépend du réseau utilisé ainsi que de la taille des cellules de la barrette CCD.

Minima non nuls à cause du bruit de fond.

Comment augmenter le contraste du spectre cannelé ? Polariseurs et analyseurs doivent être croisés, et la lame tournée de 45 par rapport à ses lignes neutres. Pour l'expression du contraste de façon générale, on pourra se reporter à Fruchart p236.

Principe du compensateur de Babinet ? Etalonnage ? Quel est le mouvement relatif des 2 cristaux lorsqu'on actionne la vis ? Différence d'indices droite/gauche du quartz : sens de la mesure ? Voir Fruchart p251-255.

Quel est l'intérêt du compensateur de Babinet par rapport à la mesure « directe » au spectromètre ? Que se passe-t-il si on éclaire le compensateur de Babinet de biais ? Qu'appelle-t-on « cannelure » ? Est-ce que les couleurs que l'on voit lorsqu'on éclaire le compensateur de Babinet sont les teintes de Newton ?

Comment faire pour avoir un éclairage rigoureusement parallèle ? Source à l'infini (foyer objet d'une lentille convergente)

Est-ce que les milieux biréfringents ont aussi un pouvoir rotatoire ? Possible

Biréfringence : anisotropie

Pouvoir rotatoire (biréfringence circulaire) : chiralité

Ex : quartz

D'où vient la biréfringence qu'on peut observer sur une règle en plastique ? Contraintes, lors de la fabrication principalement, qui créent des différences d'indice optique suivant le sens de propagation.

Quelles sont les précautions à prendre avec un laser ? Ne pas le diriger dans les yeux, faire attention aux réflexions.

Est-ce que le champ magnétique est homogène dans un électro-aimant ? ça dépend des pièces utilisées

Comment choisir la tension ou le courant appliqué à l'électroaimant ? Quelles applications de l'effet Faraday ?

comment a été fait l'image du diaphragme et le choix du matériel pour le spath d'Islande ?

Comment expliquer l'existence d'un déphasage en sortie de l'analyseur dans le montage avec la lame de quartz taillée parallèlement à l'axe optique ? Si incidence pas normale, on ne peut pas distinguer

Pourquoi pour le rhomboèdre j'ai deux images alors que pour la lame je n'en ai qu'une ? Pourquoi est-ce important d'être en lumière incidente normale à la lame ?

Comment faire un calcul d'incertitude sur les teintes de Newton ?

Comment avez-vous choisi les paramètres de réglage de spid-HR, temps d'intégration, moyennage, etc ? Comment fonctionne spid-HR ?

Est-ce que je connais un matériau qui n'est pas uniaxe ? Roches : olivine, mica, topaze

Pourquoi obtient-t-on deux images avec le prisme de spath et une seule dans le cas des lames à faces parallèles ? Cela découle de la façon dont est taillé le cristal. Dans le cas du prisme, l'axe optique n'est pas parallèle à la face d'entrée, la construction de Huygens (surface des vitesses) nous donne que le rayon lumineux ordinaire ne suit pas la même trajectoire que le rayon extraordinaire. On obtient l'image ordinaire à la place de l'image géométrique.

Pourquoi obtient-t-on un spectre à l'endroit du rayon extraordinaire (pour l'expérience du prisme de spath) ? Car les indices dépendent de la longueur d'onde et que le prisme est éclairé en lumière blanche.

Quel est le principe du prisme à vision directe ? Un prisme à vision directe est un assemblage de trois prismes taillés dans des verres différents. Grâce à un choix judicieux des types de verre et des formes de prismes, la déviation moyenne pour la lumière blanche est ramenée à 0. La dispersion observée est en $1/\lambda^2$.

Quelles hypothèses pour la formule ? $\Delta n = \frac{p}{e} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$ On suppose Δn indépendante de la longueur d'onde. Cette hypothèse n'est pas très juste et fait que l'on aboutit souvent à un résultat en dehors des barres d'erreurs (voir plus haut).

Comment est préparée la solution de glucose ?

De quelle manière le pouvoir rotatoire dépend-il de la température ? Très peu (environ 5/10000 par C).

Les lois de Snell-Descartes sont-elles valables dans les milieux anisotropes ? Oui, pour le vecteur d'onde (découle de la construction de Descartes). Oui pour la trajectoire des rayons ordinaires (découle de la construction de Huygens), mais pas pour la trajectoire des rayons extraordinaires.

Applications de la biréfringence. Lames quart d'onde et demi-onde
Effet Faraday : permet de faire des isolateurs (cf Sextant)
Photoélasticité pour mesurer les champ de contrainte
Observation des roches en lumière polarisée, construction d'instruments d'optique (prismes (Wollaston, Glan-Taylor, Rochon), déviation de faisceau), achurs à cristaux liquides, photoélasticimétrie.

Applications du pouvoir rotatoire. Dosages par polarimétrie, effet Faraday.

Que se passe-t-il quand on met le saccharose dans l'eau ? Hydrolyse du saccharose en glucose et en fructose (cinétique lente). On introduit plusieurs espèces donc il n'y a pas qu'un seul pouvoir rotatoire spécifique dans la loi de Biot (c'est une approximation qu'on peut faire si on fait la mesure directement après avoir réalisé la solution).

Qu'est-ce qui peut expliquer que tu n'as pas obtenu une droite pour la loi de Biot ? Les mesures ont été réalisées des concentrations les plus faibles vers les plus fortes, ce n'est donc a priori pas un effet de dilution.

Existe-t-il des lasers polarisés ? Comment fonctionnent-ils ? Par réflexion sur un diélectrique à l'angle de Brewster.

Spectre cannelé : tu n'as pas mis d'analyseur entre la lame et le spectrophotomètre, est-ce que ça aurait été utile d'en mettre un ? Pourquoi tu as vu des interférences même s'il en fallait un ? Oui il aurait fallu en mettre un pour recombiner les ondes et pouvoir observer les interférences, sinon pas de spectre cannelé. On a pu voir des interférences car le spectrophotomètre projette les polarisations.

Comment est-ce qu'on caractérise la polarisation d'une lumière ? Cf diagramme dans M.N. Sanz.

Effet d'une lame quart d'onde ?

Lame de verre du Scotch : pourquoi voit-on des teintes de Newton ? lame épaisse : différence de marche importante donc on voit un blanc d'ordre supérieur, mais lame mince : différence de marche assez faible pour voir les teintes de Newton.

Manip surprise : Déterminer la biréfringence de la lame de quartz sans spectrophotomètre, avec un compensateur de Babinet. Compensateur de Babinet : Sextant p291, Fruchart p233

Compensateur de Babinet au milieu de l'analyseur et du polariseur croisés : on place le compensateur à 45 de l'analyseur et du polariseur (pour avoir le maximum de luminosité). On se place en éclairage parallèle (polariseur avec éclairage parallèle de la QI), les interférences sont localisées sur la face de sortie du compensateur.

Il faut ensuite étalonner le compensateur de Babinet : en lumière monochromatique, on sait qu'un interfrange correspond à une distance λ donc en déplaçant une frange d'un interfrange, on a bougé les prismes de λ et faire la relation avec le vernier.

Une fois le compensateur étaloné, on se place en lumière blanche, on met la frange noire entre les deux marques noires et on ajoute la lame, puis on mesure la distance nécessaire pour replacer la frange noire entre les marques.

Commentaires sur la figure obtenue avec une lame de spath taillée perpendiculairement à l'axe optique et éclairée en lumière blanche. Anneaux avec teintes de Newton et croix noire au centre de la figure (NB : pour avoir un maximum de luminosité, il faut avoir un maximum d'angles d'incidence, ie converger sur la lame). Ellipsoïde des indices : selon l'angle d'incidence, pas la même différence de marche, d'où franges d'égale inclinaison. C'est pour cela qu'il faut se placer en éclairage parallèle pour étudier la biréfringence circulaire du quartz.

Lame épaisse : pas beaucoup de luminosité, comment l'améliorer ? Faire condenser la QI sur le fente-source, tout en ayant un éclairage homogène sur la fente et en évitant d'avoir l'image du filament.

Compensateur de Babinet : Réexpliquer l'étalonnage et montrer la manip. Compensateur = deux prismes de quartz avec des axes orthogonaux (un immobile, l'autre dont on contrôle le déplacement)
En lumière blanche : zéro de la différence de marche quand la lumière traverse la même épaisseur pour les deux prismes, donc frange noire.

On veut savoir à quelle différence de marche correspond un certain décalage du prisme mobile.

Pour cela, on se place en lumière monochromatique, on sait que quand on se décale d'une frange, on ajoute une longueur d'onde à la différence de marche.

Compensateur de Babinet : est-ce que la longueur d'onde de la lumière utilisée pour l'étalonnage a une influence ? Normalement oui

Pouvoir rotatoire quartz : est-ce qu'il manque pas quelque chose au montage ? Il faut un éclairage parallèle ([revoir explications](#)).