

M13 : Biréfringence, Pouvoir rotatoire

Rapport du jury : Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés lors 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. Cependant, la signification de certains termes comme « lame taillée parallèlement ou perpendiculairement à l'axe » ou encore « lignes neutres », doit être connue.

Introduction:

Mise en évidence : on éclaire un cristal de calcite avec un laser non polarisé : on obtient 2 rayons → donc présence de 2 indices.

La biréfringence = 2 indices : propriété qu'ont certains matériaux dans lesquels la lumière se propage de façon anisotrope.

Pouvoir rotatoire : manifestation de la biréfringence circulaire.

I - Biréfringence linéaire

Poly M13 V.1

Biréfringence du quartz par la mesure de l'angle du 1er anneau noir à l'aide de la figure d'interférence due la biréfringence du quartz.

Attention le quartz a une biréfringence linéaire + circulaire contrairement à la calcite.

Montage : Il faut mettre Q.I le moins lumineux (c'est à dire tige tirée maximale) + Polariseur + Quartz perpendiculaire à son axe optique d'épaisseur 4 mm (de manière à ce qu'il soit sur le filament de la QI) + analyseur (le coller au maximum au quartz pour pouvoir observer un maximum d'anneau) + filtre interférentiel + écran.

Polariseur et Analyseur croisés préalablement : extinction.

→ En principe : le centre de l'image est l'axe optique, c'est la seule direction où le milieu est considéré isotrope donc la différence de marche est nulle et on observe un centre noir du faite que Pola et Ana soient croisés (cas de la calcite). La 1ère frange noire correspond donc à λ . De plus, la figure d'interférences correspond à des franges circulaires, on en conclut que l'axe optique est donc bien au centre.

Attention avec le quartz, on n'observe pas de centre noir car il contient une biréfringence circulaire. La biréfringence circulaire dans le quartz est plus faible que la linéaire, et est max près de l'axe optique d'où le centre coloré → présence de la biréfringence circulaire.

On a conclu à une figure d'interférence donc on mesure le diamètre du 1er anneau noir correspondant à la différence de marche dans le milieu correspondant à λ . (Faire schéma, voir poly).

On utilise : $n_{air} \cdot \sin(\theta_{ext}) = n \cdot \sin(\theta)$ avec $n = (n_o + n_e) / 2 \approx n_o$

-Pour avoir θ_{ext} , on mesure distance écran-quartz et le rayon du 1er anneau (diamètre pour plus de précision).

On remonte à θ puis on déduit $n_e - n_o$ (voir poly M13 V.1 pour formule)

$$n_e - n_o = \lambda \sin^2 \theta$$

Voir Excel

Possibilité ici de discuter des différentes incertitudes notamment sur la mesure du rayon de l'anneau noir sur la valeur obtenue de $n_e - n_o$.

-La valeur du filtre interférentiel influe peu sur les valeurs obtenues (voir handbook pour en discuter).

II -Biréfringence circulaire : pouvoir rotatoire

Poly VI.4 Mesure du pouvoir rotatoire d'une solution aqueuse de saccharose.

(Possible d'étudier la concentration sur le pouvoir rotatoire ou la longueur de la cuve en fonction du temps de préparation)

Loi de Biot $\alpha = [\alpha] \cdot L \cdot C$

-Préparation des solutions :

On prend une cuve de 50 cm, on met 50 g dans une fiole de 500 mL (si possible d'avoir un peu plus gros prendre plus gros) → concentration de 0.1 g/mL

Mettre 200 mL de la solution mère dans la cuve de 50 cm.

Pour la dilution, prendre 150 mL de la solution mère et mettre dans une fiole de 200 mL ($\frac{3}{4}$ de la concentration mère).

Ensuite prendre 100 mL et faire pareil ($\frac{1}{2}$ concentration de la concentration mère) puis 50 mL ($\frac{1}{4}$ de la concentration mère).

Montage : laser (polarisé) + pola + cuve + analyseur + écran.

Avant de mettre la cuve, on trouve l'extinction entre le polariseur et analyseur puis introduire la cuve et bouger l'angle de l'analyseur jusqu'à réobtenir l'extinction : relever différence entre les 2 angles. (Faire dans les 2 sens pour avoir une incertitude).

Tracer α en fonction de C → la pente est $[\alpha] \cdot L$

(Pouvoir rotatoire spécifique à trouver est entre $6.65 - 8 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1}$)

-Pour une concentration, on peut maintenant montrer l'influence de la longueur d'onde sur le pouvoir rotatoire : on utilise un laser vert et rouge : le pouvoir rotatoire diminue quand la longueur d'onde augmente.

III -Biréfringence induite

Effet Pockels - effet linéaire.

Voir M13 VII.1

Montage : Laser He-Ne + polariseur + cellule pockels (alimentée par une Haute Tension)+ analyseur + puissance-mètre.

Vérifier que le polariseur et l'analyseur sont bien croisés : extinction.

Important : la cellule doit être bien en face, la réflexion doit revenir dans le laser ! Ne pas la bouger une fois que c'est fait. (car la différence de marche est très dépendante de l'inclinaison)

-Mettre la cellule de Pockels entre un polariseur et un analyseur et l'orienter de façon à ce que ses lignes neutres soient à 45° des axes passants de P et A.

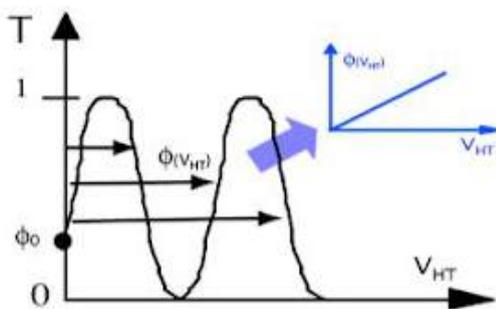
Note : Le système est extrêmement sensible, on fait les mesures en préparation et pas en direct car les mesures ne risquent pas de correspondre aux résultats faits en préparation. A la fin, montrer en direct que l'inclinaison fait varier énormément l'intensité du faisceau (la transmission en tension nulle dépend fortement de l'orientation).

-On fait varier la haute tension V_{HT} de 0 à 800V par pas de 50V et on mesure la puissance en sortie sur le puissance mètre.

-On repère la tension V_{HT} pour laquelle la puissance est maximale. Avec P_{max} , on en déduit la transmission T.

-On trace T en fonction de V_{HT} .

On remarque qu'à l'origine, on a ni un minimum, ni un maximum.



On sait que $T = \sin^2(\phi/2)$ où $\phi = \phi_0 + \phi_{HT}$

→ A partir des différentes valeurs de T et de cette formule, on en déduit ϕ et ϕ_0 , on peut alors obtenir ϕ_{HT} (attention à la périodicité du sinus : 2 valeurs identiques successives de T correspondent à un déphasage croissant de $+\pi$!!)

→ On associe à chaque ϕ_{HT} la valeur de V_{HT} correspondante. On trace $\phi_{HT} = f(V_{HT})$

On a une droite linéaire.

La biréfringence est donc linéaire en tension car le déphasage et la biréfringence sont reliés. (voir poly)

On peut en déduire Δn induite par la tension maximale en relevant le ϕ_{HT} associé car

$$\frac{\phi_{HT}}{2} = \frac{\pi \Delta n_{HT} l}{\lambda}$$

Voir Excel

On peut aussi repérer la tension demi-onde : c'est la tension pour passer d'une puissance nulle à une puissance maximale.

En direct : mesurer la tension entre un max et un min visuellement, puis mesurer la tension qui déplace de π sur le graphe obtenu en préparation et comparer à la valeur tabulée. On peut ainsi remonter à Δn pour la tension demi-onde et la comparer à la valeur tabulée.

Faire en direct les calculs :

Intéressant : biréfringence de la tension demi onde (correspond à celle à 180°)

tension importante car on travaille entre 0V et cette tension

On veut que cette tension ne soit pas trop élevé

On peut en déduire la biréfringence associée à cette tension.

Questions :

-Comment réaliser le montage rigoureux d'une lumière parallèle ? Pourquoi? Par auto-collimation avec un miroir. Il est indispensable d'utiliser de la lumière assez bien parallèle cheminant suivant l'axe optique des lames, sinon il y aura toujours superposition des phénomènes de biréfringence et de polarisation rotatoire.

-Pourquoi on utilise une lame cristalline à face taillée perpendiculairement à l'axe optique? Quelle propriété du matériau utilise t'on pour cela ? Il faut choisir des lames taillées perpendiculairement à l'axe optique pour observer la biréfringence circulaire.

-Est-ce que je connais un matériau qui n'est pas uniaxe ? Le quartz et le spath sont des cristaux uniaxes ; le mica est un cristal biaxe.

-Quelles applications de l'effet Faraday ? Isolateur optique

:[https://fr.wikipedia.org/wiki/Isolateur_\(optique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Isolateur_(optique))

-Application pour l'effet Pockels? Transmission d'information par modulation d'intensité. Grâce au multiplexage, il est alors possible de faire passer plusieurs ondes lumineuses de fréquence de porteuse différente, et donc ainsi accroître encore plus le débit d'information possible dans la fibre optique.

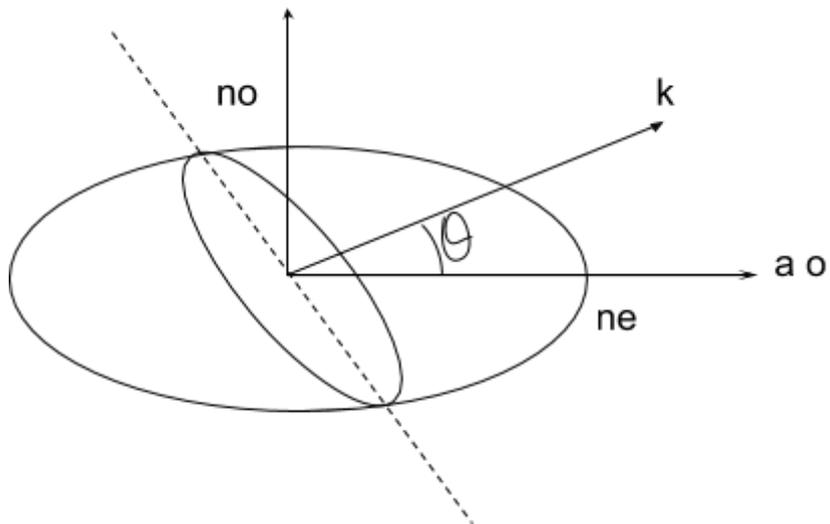
-Est-ce que les milieux biréfringents ont aussi un pouvoir rotatoire ? Oui (ex: le quartz)

-D'où vient la biréfringence qu'on peut observer sur une règle en plastique? Biréfringence par contrainte mécanique.

-La signification de certains termes comme « lame taillée parallèlement ou perpendiculairement à l'axe » ou encore « lignes neutres », doit être connue : lame taillée parallèlement à l'axe optique (appelées lames à retard, ou lames parallèles), en traversant la lame, l'onde incidente se décompose en onde extraordinaire, de polarisation parallèle à l'axe optique, et onde ordinaire, de polarisation perpendiculaire à l'axe optique. Ces deux ondes se propagent avec des indices différents, donc des vitesses différentes, et l'une sort en retard par rapport à l'autre. D'où le nom de lames à retard donné à ces lames.

-Les milieux biréfringents ont un double indice de réfraction : c'est à dire qu'un rayon lumineux qui pénètre dans le milieu biréfringent sera séparé en deux rayons l'un ordinaire (o) et l'autre extraordinaire (e). Il existe une situation où la lumière qui traverse le milieu n'est pas déformée, c'est lorsqu'elle passe dans le plan d'un ou des axe(s) optique(s) (appelées également lignes neutres). Celle avec le plus grand indice est appelée axe lent, et celle avec le plus petit indice est appelée axe rapide.

Annexe:



Ellipse : $\frac{x^2}{n_0^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1$

$$\frac{(n_e(\theta)\cos\theta)^2}{n_0^2} + \frac{(n_e(\theta)\sin\theta)^2}{n_e^2} = 1$$

D'où : $\frac{1}{n_e^2} = \frac{(\cos(\theta))^2}{n_0^2} + \frac{(\sin(\theta))^2}{n_e^2}$

Cours optique anisotrope :

https://www-liphy.univ-grenoble-alpes.fr/IMG/pdf/optiqueI3p_ch8.pdf