

TP 4 – Etude de lames de phase et mesure de biréfringence

I. PARTIE n°1 - lames biréfringentes (2H30 maximum)

Pour la théorie se reporter aux rappels sur la polarisation et la biréfringence.

Les expériences suivantes seront réalisées simplement en utilisant comme source lumineuse un laser HeNe polarisé ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$), dont le tube cylindrique peut être tourné afin de changer facilement sa direction de polarisation, qu'on notera P. Utiliser les lames $\lambda/4$ et $\lambda/2$ adaptées à cette longueur d'onde. Observer le signal transmis à l'œil sur l'écran, ou à l'aide du photorécepteur.

A. Utilisation d'un filtre polarisant (polaroïd) - loi de Malus

Tracer sur ordinateur la courbe $I = f(\theta)$, θ étant l'angle entre la direction de polarisation incidente P et la direction de transmission du *polaroïd* (qui joue ici le rôle d'analyseur A), qu'on fera varier de 10° en 10° de 0 à 140° . Placer des barres d'erreur sur le graphique et tenter une modélisation par la loi de Malus (voir annexes 4 et 5 du chapitre d'intro). Conclusion.

B. Action d'une lame demi onde ($\lambda/2$)

- P et A sont croisés (extinction sur l'écran). Intercaler la lame à étudier entre P et A. Déterminer la position des axes de la lame. Justifier votre réponse
- Tourner la lame de 20° à partir de l'extinction entre P et A croisés. De quel angle faut-il tourner A et dans quel sens pour retrouver l'extinction ? Conclusion sur la nature de la lumière émergente. Faire un schéma explicatif.
- P et A étant de nouveau croisés et la lame en position d'extinction, tourner P de 20° . De quel angle faut-il tourner A et dans quel sens pour rétablir l'extinction ? Faire un schéma explicatif.
- Application : nous venons de voir que la lame demi-onde peut servir à modifier la direction de polarisation d'une lumière déjà polarisée rectilignement dans une certaine direction. Quel est son intérêt par rapport aux filtres polarisants ?

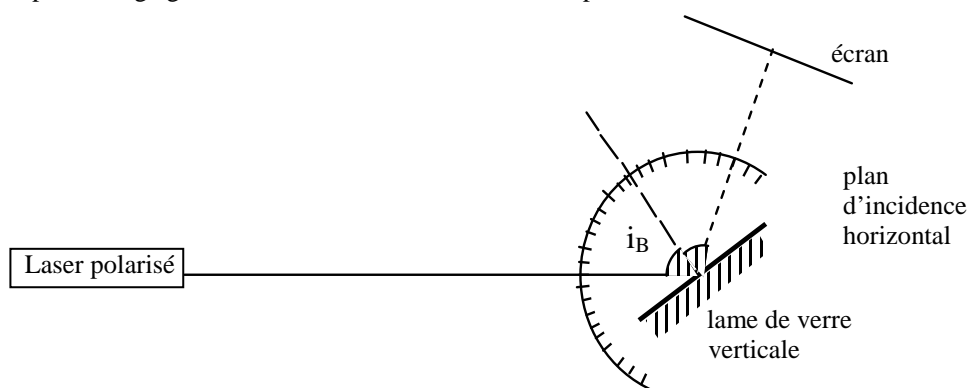
C. Action d'une lame quart d'onde ($\lambda/4$)

- P et A sont croisés (extinction sur l'écran). Intercaler la lame à étudier entre P et A. Déterminer la position des axes neutres de la lame. Justifiez votre réponse.
- Tourner la lame de 45° à partir de l'extinction entre P et A croisés. Tourner A. Conclusion sur la nature de la polarisation de la lumière émergente. Justification.
- Tourner la lame de 20° à partir de l'extinction entre P et A croisés. Tourner A. Définir la nature de la lumière émergente et ses directions caractéristiques. Justification.
- Réaliser une lame demi-onde à l'aide de 2 lames quart d'onde. Justifiez votre méthode expérimentale.

D. Polarisation par réflexion : angle de Brewster

Si un diélectrique d'indice n reçoit un faisceau de lumière naturelle (non polarisée) sous une incidence i_B (dite de Brewster) telle que $\tan i_B = n$, la lumière réfléchie est polarisée rectilignement dans la direction perpendiculaire au plan d'incidence.

- Placer sur le trajet du faisceau laser la lame de verre (sur support cubique) au centre du disque gradué horizontal (cf. schéma ci-dessous).
 - Rechercher l'incidence de Brewster i_B par approches successives en tournant tour à tour le tube laser (donc sa direction de polarisation P) et le disque gradué jusqu'à extinction totale du faisceau réfléchi.
- Quelle est, après ce réglage, la direction de P ? Justifiez votre réponse.



- Mesurer la valeur de $i_B \pm \Delta i_B$ sur le disque gradué (afin de réaliser une trace du rayon laser sur le disque gradué, on pourra placer une lentille cylindrique avant la lame de verre, de façon à obtenir une nappe laser verticale). En déduire la valeur de l'indice n et l'incertitude de mesure Δn .
- Applications : Prenez un polariseur en main et observez à travers ce filtre des surfaces réfléchissantes autour de vous : quel est l'intérêt des filtres polarisants pour les photographes, les pêcheurs ou les randonneurs de haute montagne ? Qu'ajoute-t-on dans la cavité d'un laser HeNe pour faire que le faisceau soit polarisé ?

II. PARTIE n°1 - mesure de biréfringences (~1H30)

Le but de cette partie est de déterminer les 2 indices de réfraction d'un cristal anisotrope uniaxe par la méthode de l'angle limite de réfraction. Pour la théorie voir partie : « rappels sur polarisation et la biréfringence »

A. Préliminaire : observation de la double réfraction dans un cristal de Spath

Le spath d'Islande (ou calcite, CaCO_3) est un milieu fortement biréfringent. **Demandez le cristal à l'enseignant, prenez en soin il est fragile !**

Posez ce cristal sur une feuille portant des écritures et observez : que remarquez-vous ?

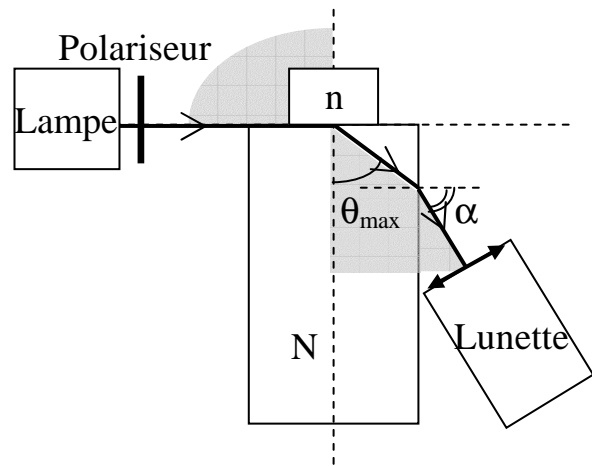
Tournez le cristal dans son plan : qu'observez-vous ?

Observez alors à travers un polariseur que vous faites tourner. Décrivez vos observations et expliquez.

Pour finir, remettez le cristal à l'abri dans sa boîte.

B. Montage expérimental: Réfractomètre de Pulfrich

La méthode de l'angle limite consiste à éclairer un cristal (isotrope ou anisotrope) par un faisceau polarisé rectilignement et dirigé de telle sorte qu'il y ait des rayons ayant toutes les incidences possibles (**y compris l'incidence rasante**). Le réfractomètre de Pulfrich permet de regarder la lumière réfractée à l'aide d'une lunette visant à l'infini. Pour des rayons incidents compris entre l'incidence normale et l'incidence rasante, tous les rayons réfractés sont compris dans un cône d'angle au sommet θ_{\max} défini par la loi de Descartes $n = N \sin \theta_{\max}$ où n est l'indice du cristal que l'on cherche à déterminer et $N > n$ est l'indice du support cylindrique du réfractomètre (N est connu).



Réfractomètre de Pulfrich

a) Expérimentalement, on ne mesure pas directement θ car les rayons doivent sortir du support en verre avant d'entrer dans la lunette. On peut cependant établir la relation entre l'angle d'émergence α effectivement mesuré et l'angle limite θ_{\max} et en déduire l'indice n . Etablir la relation : $n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}$ (***) à démontrer avant la séance).

b) Dans le cas d'un cristal anisotrope uniaxe, expliquer pourquoi le plan focal de la lunette est en général partagé en trois régions : noire, moyennement éclairée et très éclairée. Expliquer pourquoi en orientant convenablement le polariseur du faisceau incident, on peut réduire à deux le nombre de régions. On distinguera le cas où l'axe optique est dans le plan d'incidence et est perpendiculaire au plan d'incidence.

C. Mesure de l'angle de réfraction limite

On se propose d'étudier la variation de l'indice de réfraction d'un cristal uniaxe positif (le quartz, SiO_2) taillé en forme de cylindre tel que l'axe du cylindre coïncide avec un des axes (x, y, z) du repère optique. L'axe optique du cristal anisotrope se trouve dans le plan perpendiculaire à l'axe du cylindre. Pour avoir accès aux différentes valeurs d'indice de réfraction n , on fera tourner l'axe optique du cristal en faisant tourner le cristal et son support autour de l'axe de révolution du cylindre et on modifiera la polarisation de la lumière incidente.

- Avant de réaliser les mesures, on dépose entre le cristal et le support cylindrique ($N = 1,6186$) une goutte de diiodométhane ($n_D = 1,7559$). Justifier cette nécessité expérimentale. La présence du diiodométhane va-t-elle fausser la mesure ?
- Faire tourner le cristal pour différentes polarisations, décrire clairement ce que vous observez.
 - Pourquoi, on a deux nappes de lumière.
 - A quoi correspondent chacune de ces nappes.
 - Pourquoi elles disparaissent ou apparaissent selon la polarisation de la lumière incidente.

- c) En déduire, la direction de l'axe optique..
- d) On sait (cf. partie théorique) que l'indice n du cristal correspondant au rayon extraordinaire, varie entre les valeurs n_o et n_e alors que l'indice du cristal correspondant au rayon ordinaire est n_o . En comparant la position relative des rayons ordinaire et extraordinaire, déterminer si le cristal de quartz est un cristal uniaxe positif ($n_e > n_o$) ou négatif ($n_e < n_o$). Justifiez votre réponse.
- e) A l'aide du rayon ordinaire, déterminer la valeur de n_o ainsi que son incertitude. Précisez quelle est l'origine de l'incertitude : incertitude de lecture ? de pointé ? autre ?
- f) Déterminer la valeur de n_e ainsi que son incertitude. Précisez quelle est l'origine de l'incertitude : incertitude de lecture ? de pointé ? autre ?
- g) Donner une méthode plus précise pour mesurer

Nota bene: On opérera avec beaucoup de soin afin de ne pas rayer le cristal ou le cylindre du réfractomètre. A la fin de la manipulation, essuyer avec douceur à l'aide d'un mouchoir en papier le cristal utilisé, ainsi que la face supérieure du cylindre du réfractomètre. Penser à remettre le cristal anisotrope dans la boîte prévue à cet effet. On manipulera ce produit (toxique) avec des gants (attention à ne pas vous en mettre dans les yeux), veillez à bien refermer le flacon après usage.

Nota bene : Lorsqu'ils sont en dehors d'une fonction trigonométrique, les angles doivent toujours être exprimés en radian.