

Institut d'Optique Graduate School – 1^{ère} année FISÉ
Examen

Polarisation de la lumière

28 mai 2024

Durée : 3h – Feuille A4 manuscrite et calculatrice autorisées

**Veillez rédiger les 3 parties (questions de cours-exercice1-
exercice2) sur 3 copies séparées avec votre nom.**

**Indiquer aussi votre nom sur la construction à compléter et la
remettre avec la copie de l'exercice 1.**

Questions de cours - sur 6 points (*barème indicatif*)
(*les 3 questions sont indépendantes*)

1) Parmi les propositions suivantes, indiquez si elles sont vraies ou corrigez-les si elles sont fausses :

- a) l'ellipsoïde des indices est une surface à 2 nappes qui donne les deux valeurs d'indice pour chaque direction du vecteur D
- b) l'ellipsoïde des indices d'un milieu uniaxe est de révolution autour de l'axe optique
- c) la surface des indices donne les 2 valeurs d'indice pour une direction du vecteur d'onde k

2) a) A quel état de polarisation correspond le vecteur de Jones suivant:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i \\ -1 \end{pmatrix}$$

- b) Donner le vecteur de Jones de la polarisation orthogonale à cet état et représenter l'état de polarisation correspondant.
- c) Donner la matrice de Jones d'un composant qui permet de transformer la polarisation ε_1 en sa polarisation orthogonale et indiquer de quel composant il s'agit.

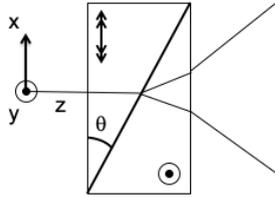
3) On place une lame de scotch transparente entre deux polariseurs, on éclaire avec un faisceau parallèle de lumière blanche non polarisée et on observe une couleur bleue très contrastée sur un fond clair (échelle des teintes de Newton donnée en annexe).

- a) que peut-on en déduire sur l'orientation des axes des polariseurs et de la lame de scotch ?
- b) que va-t-on observer si on tourne l'un des polariseurs de 90° ?
- c) que va-t-on observer si on tourne la lame de 45° ?
- d) que va-t-on observer si on enlève le polariseur qui précède la lame ?

Exercice 1 : Interféromètre en réflexion utilisant un prisme de Nomarski – sur 7 points

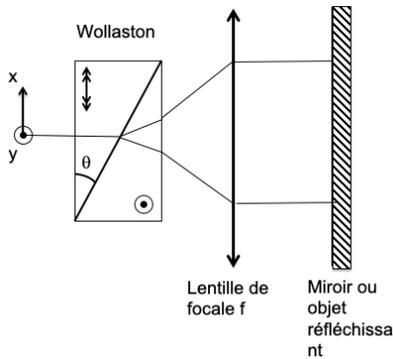
(Les 3 questions peuvent être abordées indépendamment)

1) On sait qu'un prisme de Wollaston permet de séparer deux rayons suivant leur polarisation selon le schéma suivant :



Sachant que le prisme est en calcite (uniaxe négatif) donner les directions des champs E dans les différentes parties du prisme et à la sortie.

2) On veut utiliser ce Wollaston dans un interféromètre en réflexion de la façon suivante :

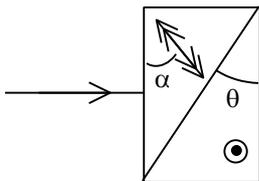


Comme indiqué sur le schéma, le rayon incident passant au centre du Wollaston ($x=0$, mêmes épaisseurs pour les 2 prismes) donne 2 rayons émergents qui se coupent au foyer objet de la lentille, de sorte qu'ils arrivent sur le miroir en autocollimation et reviennent à travers le prisme. Le miroir est dans le plan focal image de la lentille.

a) On veut observer les interférences entre les deux ondes qui sont passées deux fois à travers le Wollaston : que faut-il ajouter au montage pour voir ces interférences avec un bon contraste ? On donnera le ou les éléments à ajouter, leur position et leur orientation par rapport aux axes x et y du Wollaston.

b) que vaut la différence de marche après le double passage à travers le Wollaston pour un rayon en incidence normale passant à une hauteur x_0 par rapport au centre du Wollaston ? On supposera que l'angle θ du Wollaston est petit (on néglige donc la déviation angulaire des rayons dans le prisme), que le miroir est dans le plan focal image de la lentille, et on précisera à quelle hauteur x'_0 passe le rayon au retour après réflexion sur le miroir pour en déduire cette différence de marche.

3) En pratique la lentille est un objectif de microscope dont le plan focal n'est pas facilement accessible pour y placer un composant de polarisation. Pour résoudre ce problème, Georges Nomarski a conçu un prisme de Wollaston modifié selon le schéma suivant :



Le premier prisme est taillé de sorte que son axe fait un angle α de 45° avec la face d'entrée.

a) **Sur le schéma joint en annexe**, tracer soigneusement les rayons transmis à travers ce prisme de Nomarski en calcite (uniaxe négatif) pour un rayon incident en incidence normale. Représenter les surfaces utilisées à chaque interface et pour chaque rayon en respectant les

échelles définies par les premières surfaces indiquées sur le schéma. Faire apparaître les traits utilisés pour la construction. On ajoutera si besoin quelques commentaires sur la méthode.

b) Faire apparaître le point d'intersection des deux rayons émergents du prisme, et vérifier qu'il se situe à l'extérieur du prisme, à droite de sa face de sortie. Si la figure n'est pas suffisamment claire, on pourra ajouter une justification en quelques lignes. On peut ainsi éloigner le prisme du plan focal de l'objectif de microscope.

c) Indiquer le vecteur \mathbf{E} correspondant à chaque rayon, dans chaque zone et à l'extérieur. Préciser la direction de \mathbf{D} dans le cas où elle diffère de celle de \mathbf{E} .

Exercice 2 : étude d'un composant inconnu – sur 7 points

(Les questions 1 et 2 sont indépendantes)

On dispose d'un composant polarimétrique inconnu que l'on souhaite identifier. On propose pour cela d'étudier son effet sur des états de polarisation connus.

Pour faire notre analyse, on dispose

- d'une source de lumière monochromatique polarisée linéairement suivant Oy ;
- de plusieurs polariseurs linéaires, lames quart d'onde et lames demi-onde.

Les composants d'analyse sont adaptés à la longueur d'onde de la source utilisée.

Les angles sont repérés par rapport à l'axe Ox .

1) Première méthode

- a. On envoie directement la lumière issue de la source à travers le composant mystère et on analyse l'état de polarisation de la lumière qui en ressort avec un polariseur linéaire que l'on fait tourner. On détecte un maximum à 30° et une extinction à 120° . Quel est l'état de polarisation en sortie du composant ?
- b. Donner trois composants possibles pour le composant mystère. Vous donnerez notamment l'orientation de leurs éventuels axes caractéristiques.
- c. Proposer une expérience supplémentaire qui permettrait de déterminer simplement la nature du composant mystère parmi ces trois possibilités.

2) Deuxième méthode

- a. On crée à partir de la source un état elliptique gauche, d'azimut 90° et d'ellipticité égale à 15° . Représenter graphiquement cet état de polarisation. Proposer une configuration expérimentale permettant de le générer à partir de la source de lumière polarisée suivant Oy et des composants dont on dispose.
- b. On envoie la lumière polarisée selon l'état créé à la question 2a à travers le composant mystère et on analyse l'état de polarisation de la lumière qui en ressort. On commence par utiliser un polariseur tournant, on repère un maximum à 30° et un minimum (non nul) à 120° . On place ensuite le polariseur dans la direction donnant le minimum d'intensité (120°) et on ajoute, entre le composant mystère et le polariseur, une lame quart d'onde avec son axe lent parallèle à la direction du polariseur. On constate qu'il faut tourner le polariseur de 15° dans le sens horaire pour obtenir une extinction. Quel est l'état de polarisation en sortie du composant mystère ? Vous justifierez votre réponse par des schémas montrant l'état de polarisation aux différentes étapes.
- c. En justifiant la réponse, expliquer quel est la nature du composant mystère.

Echelle des teintes de Newton

δ en nanomètres	échelle à centre blanc $I=I_0 \cdot \cos^2(\pi\delta/\lambda)$	échelle à centre noir $I=I_0 \cdot \sin^2(\pi\delta/\lambda)$	δ en nanomètres	échelle à centre blanc $I=I_0 \cdot \cos^2(\pi\delta/\lambda)$	échelle à centre noir $I=I_0 \cdot \sin^2(\pi\delta/\lambda)$
0	blanc	noir	1128	vert jaunâtre	violet bleuâtre clair
40	blanc	gris de fer	1151	jaune sale	indigo
97	blanc jaunâtre	gris lavande	1258	couleur chair	bleu (teinte verdâtre)
158	blanc jaunâtre	bleu gris	1334	rouge brun	vert de mer
218	brun jaune	gris plus clair	1376	violet	vert brillant
234	brun	blanc verdâtre	1426	bleu violacé grisâtre	jaune verdâtre
259	rouge clair	blanc	1495	bleu verdâtre	rose (nuance clair)
267	rouge carmin	blanc jaunâtre	1534	bleu vert	rouge carmin
275	brun rouge sombre	jaune paille pâle	1621	vert terne	carmin pourpre
281	violet sombre	jaune paille	1658	vert jaunâtre	gris violacé
306	indigo	jaune clair			
332	bleu	jaune vif	1682	jaune verdâtre	bleu gris
430	bleu gris	jaune brun	1711	jaune gris	vert de mer
505	vert bleuâtre	orangé rougeâtre	1744	mauve gris rouge	vert bleuâtre
536	vert pâle	rouge chaud	1811	carmin	beau vert
551	vert jaunâtre	rouge plus foncé	1927	gris rouge	gris vert
			2007	bleu gris	gris presque blanc
			2048	vert	rouge clair
565	vert plus clair	pourpre	2338	rose pâle	vert bleu pâle
575	jaune verdâtre	violet	2668	vert bleu pâle	rose pâle
589	jaune d'or	indigo			
664	orangé	bleu de ciel			
728	orangé brunâtre	bleu verdâtre			
747	rouge carmin clair	vert			
826	pourpre	vert plus clair			
843	pourpre violacé	vert jaunâtre			
866	violet	jaune verdâtre			
910	indigo	jaune pur			
948	bleu sombre	orangé			
998	bleu verdâtre	orangé rougeâtre vif			
1101	vert	rouge violacé foncé			

Construction à compléter et à rendre avec la copie de l'exercice 1
NOM et Prénom de l'élève :

Tracé de rayons dans un prisme de Nomarski

