

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

Examen

Polarisation de la lumière

22 mai 2025

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.

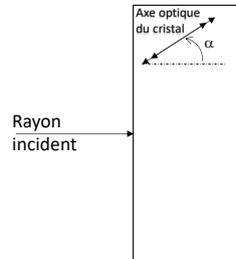
Questions de cours - sur 6 points (*barème indicatif*)

(*les 3 questions sont indépendantes*)

- 1) Donner le vecteur de Jones d'une polarisation elliptique gauche d'azimut nul et d'ellipticité 30° . Représenter sur un graphique cet état de polarisation. Représenter et donner le vecteur de Jones de la polarisation orthogonale à cette elliptique. On veut passer de l'une à l'autre : quel composant doit-on utiliser et comment doit-on l'orienter ? Donner la matrice de Jones de ce composant en précisant dans quel repère vous la donnez.
- 2) On dispose d'un prisme de Wollaston en quartz de petit angle θ . On veut observer ses franges d'interférence en lumière monochromatique et en incidence normale. Que faut-il ajouter au montage pour que les franges soient visibles et bien contrastées ? On donnera l'orientation des franges et la valeur de l'interfrange en fonction de la longueur d'onde λ , de l'angle θ et de la différence d'indice $n_e - n_o$. Existe-t-il plus qu'un montage possible pour avoir un bon contraste ? Y a-t-il un avantage à choisir l'un plutôt que l'autre ?
- 3) On reprend la polarisation elliptique gauche de la question 1 (azimut nul et ellipticité 30°). Quel composant permet de la transformer en une polarisation linéaire sans perte d'intensité ? On précisera l'orientation de ce composant par rapport aux axes x et y et la direction de la polarisation linéaire obtenue. Qu'est-ce qui change si on tourne ce composant de 90° ?

Exercice 1: tracé de rayons et différence de marche dans une lame biréfringente en fonction de l'orientation de l'axe optique – sur 7 points

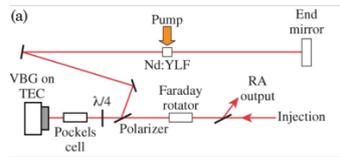
On taille une lame à faces planes et parallèles dans un milieu anisotrope uniaxe négatif. On va l'utiliser pour une onde plane en incidence normale. On doit choisir l'angle α entre l'axe optique de la lame et la normale à la face d'entrée. On s'intéresse aux cas suivants: $\alpha = 0, 30, 45, 60$ et 90° .



1. Faire des schémas des rayons émergents dans les cas $\alpha = 0^\circ, 30^\circ$, et 90° . On fera apparaître la construction utilisant les surfaces des vitesses radiales et on précisera les polarisations propres correspondant à chaque rayon réfracté dans chacun des trois cas.
2. Pour quelles valeurs de α les rayons émergents sont-ils superposés quel que soit leur polarisation?
3. Parmi les 5 valeurs de α considérées ($0, 30, 45, 60$ et 90°), quelle valeur de α donne la plus grande séparation des rayons? (on ne demande pas de faire le calcul mais de justifier la réponse à partir de schémas).
4. Que vaut la différence de marche pour les cas $\alpha = 0$ et $\alpha = 90^\circ$? Pour le cas $\alpha = 45^\circ$ on représentera graphiquement la différence de marche à partir d'un schéma utilisant la surface des indices et la relation $\delta = eNoNe$ démontrée dans le cours, où No et Ne apparaissent dans la construction des vecteurs d'onde réfractés.
5. Sur la base du schéma de la question 4, quelle valeur de α donne le déphasage le plus grand?

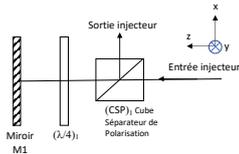
Exercice 2 : Amplificateur laser utilisant des composants de polarisation – sur 7 points

On va analyser le fonctionnement du point de vue polarisation de l'amplificateur laser suivant (extrait d'un article publié par A.V. Okishev en 2010)



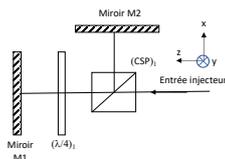
Pour cela on va l'aborder pas à pas en simplifiant le montage.

1) On considère d'abord uniquement le trajet du laser injecteur.



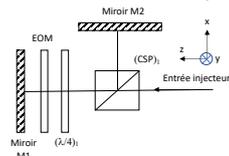
- Comment faut-il orienter les axes de la lame quart d'onde pour que toute la lumière du laser injecteur soit réfléchi vers la voie vers le haut du cube séparateur de polarisation (CSP1).
- Donner les états de polarisation à l'aller et au retour entre chacun des éléments du montage (utiliser le repère xyz du schéma pour préciser les directions des polarisations)

2) On ajoute un miroir M2 en autocollimation sur la voie vers le haut du cube CSP1.



- Quel est le trajet du rayon après réflexion sur le miroir M2: revient-il vers le haut après sa réflexion sur le miroir M1 ou bien sort-il de la cavité ?
- Donner les états de polarisation dans la cavité entre chaque élément et comparer par rapport à la première réflexion sur le miroir M1.

3) On ajoute un modulateur électrooptique (EOM) entre la lame quart d'onde et le miroir M1.



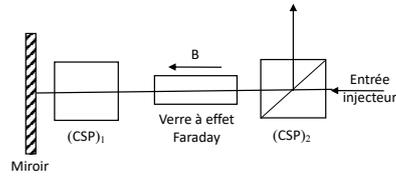
On considère dans un premier temps cet EOM comme une lame biréfringente fixe que l'on place entre la lame $(\lambda/4)_1$ et le miroir M1. On veut que toute l'intensité du laser injecteur ressorte par la voie du CSP1 par laquelle il est entré.

- Quel doit être le déphasage de cette lame biréfringente?
- Quelle doit être l'orientation de ses axes ?

4) On considère maintenant le vrai modulateur EOM qui produit un déphasage proportionnel à la tension qu'on lui applique : $\varphi=0$ à tension nulle, $\varphi=\pi/2$ à tension $V_\pi/2$, $\varphi=\pi$ à tension V_π . Donner la tension à appliquer sur cet EOM en fonction du temps pour que le laser injecteur rentre dans la cavité, puis qu'il fasse plusieurs aller-retours dans la cavité en se réfléchissant sur M1 et M2, enfin que le faisceau ressorte de la cavité. *Rmq : dans le montage réel, un cristal amplificateur est placé entre le CSP1 et le miroir M2.*

5) Pour éviter que le faisceau amplifié après plusieurs tours dans la cavité revienne dans le laser injecteur et qu'au contraire on puisse le dévier pour l'utiliser dans la suite de l'expérience, les auteurs de l'article ont ajouté un système composé d'un barreau de verre à effet Faraday (rotation induite par un champ magnétique) précédé d'un polariseur. On a représenté ci-

dessous cette partie du montage en schématisant le polariseur par un 2^e cube séparateur de polarisation (CSP2) et en remplaçant la suite du montage au-delà du CSP1 comme une simple réflexion sur un miroir.



- a. Quel est l'angle de rotation que doit faire le verre à effet Faraday pour que toute la lumière réfléchie par le miroir revienne dans la voie latérale du cube CSP2 que l'on vient d'ajouter ?
- b. On expliquera comment doit être orienté le CSP2 par rapport au CSP1 et pourquoi le laser après réflexion sur le miroir sort sur la voie latérale du CSP2.