

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2026

Note au sujet de la propriété intellectuelle de l'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec (« l'Ordre »)

Cet examen est la propriété exclusive de l'Ordre et son utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de cet examen constitue une violation de la propriété intellectuelle de l'Ordre et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de son examen.

Toute documentation permise

Calculatrices : modèles autorisés seulement

Durée de l'examen : 3 heures

17-PH-A7 OPTIQUE

Question 1 (25 points)

On considère un télescope képlérien composé d'un objectif de focale $f_1 = 500$ mm et d'un oculaire de focale $f_2 = 50$ mm. Les deux lentilles minces sont séparées par une distance $d = f_1 + f_2$.

- a) **[8 pts]** Donner la matrice de transfert de rayon $\mathbf{M}$ du système complet, du plan focal avant l'objectif au plan focal à l'arrière de l'oculaire. Montrer que le système est *afocal* et identifier les éléments de $\mathbf{M}$ qui le confirment.
- b) **[9 pts]** Déterminer le grossissement angulaire M_θ du télescope pour un objet à l'infini. Indiquer le signe et son effet sur l'image.
- c) **[8 pts]** L'objectif présente une aberration chromatique telle que sa focale varie de $\Delta f_1 = 1$ mm entre la raie C ($\lambda = 656$ nm) et la raie F ($\lambda = 486$ nm). Estimer la variation d'angle à la sortie $\Delta\theta'$ pour un rayon entrant parallèle à l'axe.

Question 2 (25 points)

Un cristal biréfringent uniaxe possède les indices suivants à $\lambda = 590 \text{ nm}$: $n_o = 1.658$ et $n_e = 1.486$. L'axe extraordinaire est dans le plan de la face d'entrée du cristal.

- a) **[8 pts]** Calculer la biréfringence $\Delta n = n_o - n_e$. Pour une lame d'épaisseur e , donner l'expression du déphasage Γ entre les ondes ordinaire et extraordinaire, puis calculer les épaisseurs minimales $e_{\lambda/4}$ (lame quart-d'onde) et $e_{\lambda/2}$ (lame demi-onde), à $\lambda = 590 \text{ nm}$.
- b) **[9 pts]** Un faisceau polarisé linéairement selon l'axe horizontal ($\vec{x}$) traverse une lame demi-onde dont l'axe rapide est à $\alpha = 30^\circ$ de $\vec{x}$. En décomposant le champ incident sur les axes ordinaire et extraordinaire de la lame, montrer que le faisceau émerge polarisé linéairement, et déterminer l'orientation de la polarisation de sortie par rapport à $\vec{x}$.
- c) **[8 pts]** Un faisceau de lumière naturelle d'intensité I_0 traverse un polariseur linéaire P_1 (vertical, $\vec{y}$), puis la lame demi-onde de la question précédente ($\alpha = 30^\circ$), puis un analyseur P_3 (horizontal, perpendiculaire à P_1). À l'aide de la loi de Malus, calculer l'intensité transmise par P_3 en fonction de I_0 . Pour quelle orientation α de la lame la transmission est-elle maximale ? Nulle ?

Question 3 (25 points)

Un étalon de Fabry-Pérot a une épaisseur $e = 5 \text{ mm}$, un indice $n = 1.50$ et une réflectivité de $R = 0.90$. On considère les pertes négligeables.

- a) **[8 pts]** Calculer la finesse $\mathcal{F}$ de l'étalon.
- b) **[8 pts]** Déterminer l'intervalle spectral libre $\Delta\nu_{\text{ISL}}$ en fréquence (Hz) et en longueur d'onde (pm) pour $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$.
- c) **[9 pts]** Dédire le pouvoir de résolution $\mathcal{R} = \lambda_0/\delta\lambda$, ainsi que la plus petite différence de longueur d'onde $\delta\lambda$ résolvable à $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$. L'étalon peut-il résoudre le doublet du sodium ($\Delta\lambda_{\text{Na}} = 0,6 \text{ nm}$) ? Tracer qualitativement le profil de transmission $T(\nu)$ en indiquant $\Delta\nu_{\text{ISL}}$, la pleine largeur à mi-hauteur ($FWHM$) et la finesse.

Question 4 (25 points)

On étudie la diffraction d'un faisceau collimaté de longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$ par une fente de largeur $a = 0,20 \text{ mm}$, sur un écran placé en champ lointain à $z = 2 \text{ m}$. L'intensité diffractée par une fente simple est donnée par :

$$I(\theta) = I_0 \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right), \quad \operatorname{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x}.$$

- a) **[9 pts]** Déterminer la position angulaire θ_1 du premier zéro de diffraction et la largeur angulaire totale $\Delta\theta$ du lobe central . Calculer la largeur transverse $2y_1$ du lobe central sur l'écran à $z = 2 \text{ m}$.
- b) **[8 pts]** Montrer que les maxima secondaires se situent **approximativement** aux angles où $\pi a \sin \theta / \lambda \approx (m + \frac{1}{2})\pi$ pour $m = 1, 2, \dots$. Calculer l'intensité relative I/I_0 du premier maximum secondaire.
- c) **[8 pts]** On juxtapose maintenant deux fentes identiques séparées d'un centre à l'autre par $d = 1,0 \text{ mm}$ (fentes de Young). L'intensité s'écrit

$$I(\theta) = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right) \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right).$$

Combien de franges brillantes d'interférence sont-elles contenues dans le lobe central de diffraction ? Justifier par un calcul.