

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

GÉNIE OPTIQUE option PHOTONIQUE

Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE

Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE

SESSION 2002

Durée : 2 heures 30

Coefficient 2,5

- La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.
- L'usage des instruments de calcul est autorisé.
- Le sujet comporte 7 pages numérotées de 1/7 à 7/7. La page 7/7 est à rendre avec la copie.

C'est en 1978 qu'une équipe de recherche au Canada parvient pour la première fois à créer des filtres optiques à bandes étroites (ou réflecteurs de Bragg) dans des fibres optiques dopées à l'oxyde de germanium. En 1989, une autre équipe parvient à réaliser un réseau photo-induit dans une fibre dopée en projetant un système de franges rectilignes obtenu par un dispositif interférentiel. Cette expérience a permis d'envisager la réalisation de réseaux de Bragg accordés à une longueur d'onde située dans le proche infrarouge (région intéressante pour la télécommunication par fibre optique).

Nous étudierons dans ce sujet :

- **1^{ère} partie** (5,5 points) : la source laser servant à l'inscription, ses modes et son doubleur de fréquence ;
- **2^{ème} partie** (9 points) : l'enregistrement d'interférences lumineuses dans le cœur de la fibre ;
- **3^{ème} partie** (5,5 points) : le filtre de Solc obtenu par photoinscription.

Toutes les parties et sous-parties sont indépendantes.

1^{ère} PARTIE (5,5 points)

I-A- La source laser

Le laser utilisé pour la création du réseau est un laser à argon ionisé dont l'indice est très voisin de 1. Il contient une cavité formée d'un miroir plan et d'un miroir concave de 3 mètres de rayon de courbure (dont la courbure est tournée vers l'intérieur de la cavité).

I-A-1 Le faisceau possède un diamètre minimum de $660 \mu\text{m}$ en son waist placé sur le miroir de sortie et la puissance émise est de 50 W. On supposera en première approximation que l'énergie a une répartition uniforme sur l'ensemble du plan du waist.

Quelle intensité exprimée en $\text{kW} \cdot \text{cm}^{-2}$ est obtenue à la sortie du laser ?

I-A-2 Proposer une méthode simple permettant d'obtenir un waist (pour le faisceau extérieur) inférieur au waist de la sortie du laser.

I-A-3 Sachant que, pour l'inscription dans la fibre, il faut un minimum d'intensité de $250 \text{kW} \cdot \text{cm}^{-2}$ sur le faisceau émis par le laser, quelle doit être le diamètre maximum du nouveau waist pour y parvenir ?

I-B- Étude des modes longitudinaux du laser

Une analyse spectrale systématique des différents modes de fonctionnement du laser a été réalisée en détectant les différents modes longitudinaux du laser à l'aide d'une photodiode reliée à un analyseur de spectres. On observe un comportement longitudinal du laser.

I-B-1 Définir ce qu'on appelle l'intervalle spectral libre du laser (I.S.L.).

I-B-2 En supposant que le faisceau se superpose à lui-même après un aller retour dans la cavité, établir la relation entre la longueur de la cavité du laser et l'ISL. En déduire la longueur de la cavité sachant que l'ISL mesuré avec un analyseur de spectres est de 80 MHz.

I-B-3 Quelle méthode proposez-vous pour rendre ce laser monomode longitudinal ?

I-C- Le doubleur de fréquences

Le cristal doubleur de fréquences est du béta-borate de baryum (BBO). Il doit assurer le fonctionnement du laser et doubler sa fréquence de radiation. Son indice ordinaire est de 1,67.

I-C-1 Déterminer son coefficient de réflexion (en intensité) sur le dioptre plan air-cristal en incidence quasi-normale. On donne : $R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$

I-C-2 La longueur d'onde du laser est de 484 nm ; quelle sera la longueur d'onde obtenue avec le cristal BBO, doubleur de fréquences ? A quel domaine du spectre correspond elle ?

2^{ème} PARTIE (9 points)

Pour obtenir un réseau dans une fibre optique dopée, on utilise un prisme dont la base est un triangle rectangle isocèle en silice, dont un des côtés de l'angle droit (AB) touche la longueur de fibre dénudée et dégainée (voir **figure 1** à rendre avec la copie). Le faisceau, considéré comme cylindrique, arrive avec une incidence de $56,6^\circ$ sur la face AC du prisme et est limité par les rayons 1 et 2.

II-A- Création des franges d'interférence

II-A-1 L'indice du prisme est de 1,50. Calculer l'angle d'incidence θ du rayon 1 sur la face AB. Calculer l'angle d'incidence u du rayon 2 sur la face BC. A-t-on une réflexion totale ? Sur le schéma de la feuille réponse, tracer le cheminement des rayons lumineux 1 et 2 jusqu'à la face AB. Tracer le rayon lumineux qui traverse le prisme et qui passe par B.

II-A-2 Dans le prisme, les rayons se superposent. Hachurer la zone où se produisent les interférences. Décrire la structure des interférences obtenues.

II-A-3 Quel est le paramètre sur lequel le technicien peut agir pour modifier le pas du réseau ?

II-B- Étude du réseau obtenu dans la fibre optique

Le cœur de la fibre optique a subi les interférences du rayonnement du laser et un réseau s'est inscrit sur une longueur de 1 cm de fibre. Le cœur est alors assimilable à une succession de "dioptries" dont le pas

est donné par $p = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}$

avec $\theta = 11,2^\circ$, $\lambda = 242$ nm (longueur d'onde d'inscription) et n l'indice du prisme.

L'indice local du cœur de la fibre que l'on notera $n(z)$ a été modifié (Δn de l'ordre de 10^{-4}). On a

$n(z) = n_1 + \Delta n \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi z}{p} \right) \right)$ avec n_1 indice du cœur environ 1,45. L'axe z est l'axe de la fibre.

II-B-1 Calculer le pas du réseau.

II-B-2 Tracer l'allure de la courbe $n(z)$ en fonction de z . Faire figurer n_1 , Δn et p .

II-B-3 Chaque dioptré joue le rôle d'une surface semi-réfléchissante. Déterminer en incidence normale, la différence de marche entre 2 ondes qui vont interférer après réflexion sur 2 "dioptrés" consécutifs (voir *figure 2*). En déduire quelle est la plus grande longueur d'onde λ_B dans le cœur de la fibre qui permet d'obtenir des interférences constructives par réflexion.

A quelle longueur d'onde, dans l'air, correspond-elle?

II-B-4 On envoie dans la fibre un spectre continu dont les longueurs d'onde dans l'air sont comprises entre 1100 nm et 1300 nm. Déterminer la ou les longueurs d'onde qui seront réfléchies par le réseau photoinscrit.

II-B-5 On place en sortie de fibre un analyseur de spectre qui permet de donner la puissance transmise en fonction de la longueur d'onde. Quelle sera l'allure de la courbe entre 1100 nm et 1300 nm ? A quoi peut servir un tel réseau dans une fibre ?

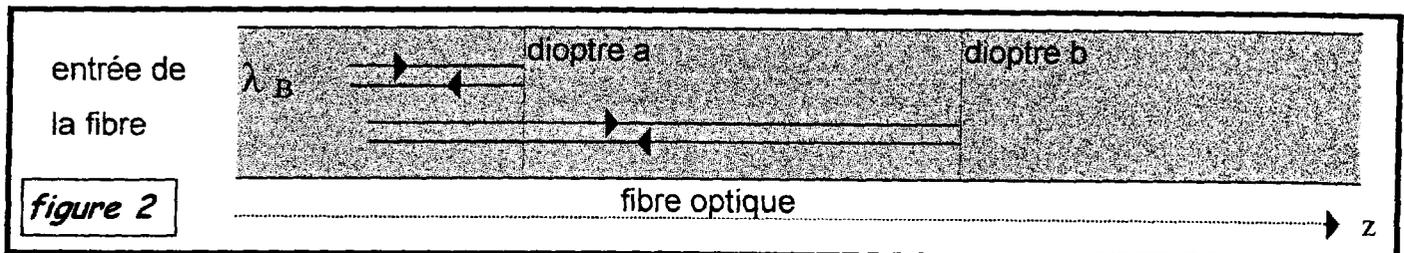
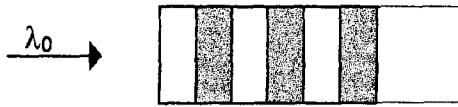


figure 2

3^{ème} PARTIE (5,5 points)

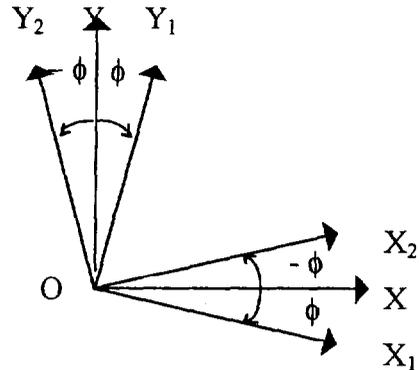
Le réseau formé à l'intérieur de la fibre peut être assimilé à un filtre de Solc. Ce filtre est constitué d'un empilement de lames biréfringentes, demi-ondes pour la longueur d'onde λ_0 dans l'air, de même épaisseur, taillées parallèlement à l'axe optique des lames et disposées selon le schéma.



 Ces lames ont pour axes neutres OX_1 et OY_1 (axe lent) avec $(OX, OX_1) = \phi$

 Ces lames ont pour axes neutres OX_2 et OY_2 (axe lent) ; avec $(OX, OX_2) = -\phi$

La vibration incidente \vec{P}_0 de longueur d'onde λ_0 est polarisée rectiligne et son axe privilégié est orienté selon l'axe OX .



III-A- Étude de la polarisation à la sortie des lames

III-A-1 A partir d'un schéma, décomposer la vibration incidente \vec{P}_0 , d'élongation $P_0 \sin \omega t$, sur les 2 axes neutres OX_1 et OY_1 à l'entrée de la première lame. Déterminer ensuite les 2 composantes de la vibration \vec{P}_1 à la sortie de la 1^{ère} lame.

III-A-2 Représenter \vec{P}_0 et \vec{P}_1 .

III-A-3 De même, représenter la vibration \vec{P}_2 sortant de la deuxième lame, par rapport à la vibration \vec{P}_1 .

III-A-4 Quel est l'angle entre \vec{P}_0 et \vec{P}_1 ? L'angle entre \vec{P}_0 et \vec{P}_2 ? L'angle entre \vec{P}_0 et \vec{P}_3 ?

III-A-5 Montrer qu'en généralisant, l'angle de rotation α de l'état de polarisation de la lumière par rapport à \vec{P}_0 après traversée de N lames peut s'écrire $|\alpha| = 2 N \phi$.

III - B Répartition énergétique à la sortie de l'analyseur

On place en sortie de la fibre un analyseur A dont la direction privilégiée est perpendiculaire à \vec{P}_0 .

III-B-1 Quelle serait l'intensité de la lumière transmise sans filtre de Solc ?

III-B-2 En présence du filtre, pour quelles valeurs de α le couplage réalisé est-il maximum (intensité maximale sortant de l'analyseur) ? Exprimer N (nombre de lames) en fonction de ϕ pour obtenir un couplage maximum.

A. N. : calculer N_{mini} pour $\phi = \pi/16$

Examen ou concours : _____ Série* : _____

Spécialité/option : _____

Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Note :
20

Appréciation du correcteur (uniquement s'il s'agit d'un examen) :

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

DOCUMENT À RENDRE AVEC LA COPIE :

figure 1

