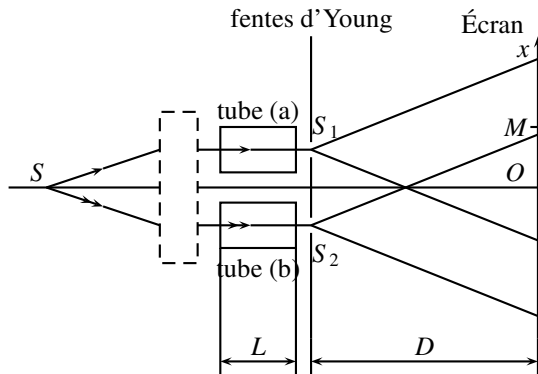


PS80 : Examen intermédiaire — Lasers et applications

Durée : 2 heures — Documents et calculatrices autorisées.

1 Mesure de l'indice de réfraction de l'air (6 pts)



Pour mesurer l'indice de l'air, on utilise un interféromètre de Rayleigh (cf. schéma ci-contre).

Un dispositif approprié (jeu de lentilles) permet d'envoyer dans deux tubes parallèles (de longueur $L = 20,0 \text{ cm}$) contenant de l'air à la pression atmosphérique, deux faisceaux lumineux issus de la même source ponctuelle monochromatique (laser de longueur d'onde $\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

Le dispositif n'introduit pas de déphasage entre les deux faisceaux. À l'extrémité de chaque tube est placée une fente fine, perpendiculaire au plan du schéma.

La distance qui sépare les deux fentes est $a_{1-2} = 1,00 \text{ cm}$. La figure d'interférence est observée sur un écran placé à $D = 2,00 \text{ m}$ des fentes. On rappelle que pour un point M situé sur l'écran à la distance x du point O , $S_2M - S_1M = d_2 - d_1 = \frac{a_{1-2}x}{D}$.

1. Quelle est la nature de la frange observée au point O situé sur l'axe de symétrie du système ?
2. Rappelez l'expression de l'interfrange i obtenu avec des fentes d'Young en fonction de D , a_{1-2} et λ . Calculez la valeur de i d'après les données de l'énoncé.

L'interfrange étant très petit, on filme l'écran à l'aide d'une webcam, ce qui permet d'obtenir sur un ordinateur une image agrandie du système de franges.

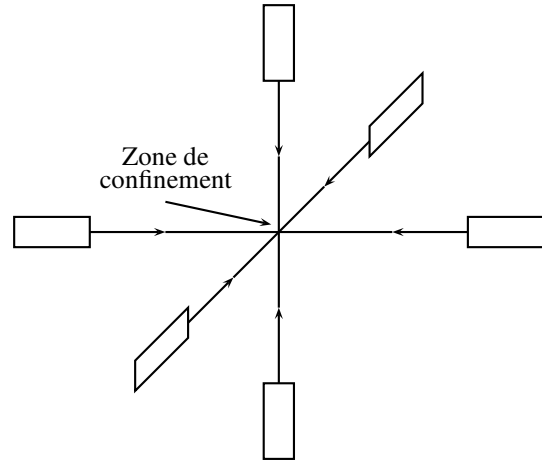
On pompe progressivement l'air contenu dans le tube (a) jusqu'à y obtenir un vide très poussé.

3. Exprimez la différence de marche δ entre les chemins optiques suivis par les deux faisceaux entre la source S et chacune des fentes S_1 et S_2 . On prendra $n_{vide} = 1$ et on notera n_{air} l'indice de l'air. Le chemin optique parcouru par la lumière dans un milieu est égal au produit de la distance parcourue par l'indice optique du milieu traversé.
4. Exprimez la différence de marche δ entre les chemins optiques suivis par les deux faisceaux entre la source S et un point M de l'écran situé à la distance x de O .
5. Quelle est maintenant la position de la frange brillante initialement située en O ? Dans quel sens se sont déplacé les franges sur l'écran pendant le pompage ?
6. Pendant le pompage, 92 franges brillantes défilent en O , et une fois le pompage fini, la frange centrale est sombre. Déduisez de ce résultat la valeur de l'indice optique de l'air.

Références : les exercices de ce sujet sont extraits de l'ouvrage : *Physique et Chimie, Tle S*, Ed. Nathan (2012).

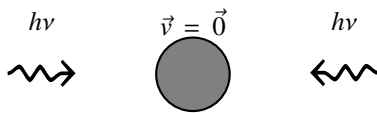
2 Refroidissement Doppler (7 pts)

La température d'un gaz ou d'une vapeur métallique est liée à l'agitation désordonnée de ses molécules ou de ses atomes. Pour refroidir des atomes, il faut donc diminuer leur vitesse d'agitation. On utilise pour cela six faisceaux laser identiques, disposés comme le montre le schéma ci-contre. Les atomes se trouvent quasi-immobiles à l'intersection des faisceaux, appelée zone de confinement. On étudie le principe de refroidissement Doppler sur l'une des trois directions. L'atome peut absorber des photons d'énergie $E = h\nu_0$.



Les deux faisceaux laser sont identiques. La fréquence ν de la radiation monochromatique est telle que $\nu < \nu_0$.

1. Premier cas : l'atome, soumis aux deux faisceaux laser, est immobile.

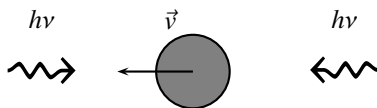


a) Que signifie la phrase "faisceau laser de bonne fréquence" indiquée dans les données ci-dessous ?

b) La probabilité que l'atome absorbe un photon est-elle plus importante pour l'un des deux faisceaux ?

c) L'atome peut-il se mettre en mouvement dans ces conditions ?

2. Deuxième cas : l'atome se déplace à la vitesse \vec{v} vers la gauche.



a) Dans un référentiel lié à l'atome, les fréquences des deux faisceaux laser sont-elles identiques ?

b) Sinon, donnez l'expression de ν_g (fréquence du faisceau de gauche) et ν_d (fréquence du faisceau de droite).

c) La probabilité que l'atome absorbe un photon est-elle plus importante pour l'un des deux faisceaux ?

d) Montrez que la vitesse de l'atome va alors diminuer.

e) Que se passe-t-il si l'atome repart dans l'autre sens ?

f) Quel intérêt présente l'installation de six faisceaux laser placés comme indiqué sur le schéma ?

Données :

- lorsqu'un atome absorbe un photon, il est soumis à une très brève impulsion dont la direction et le sens coïcident avec ceux du photon absorbé ;
- la probabilité pour un atome d'absorber un photon est d'autant plus grande que l'énergie des photons est proche de la différence d'énergie entre un état excité et l'état fondamental de l'atome ;
- placé dans un faisceau laser de bonne fréquence, un atome subit une succession de cycles "absorption-émission". Chaque cycle a une durée moyenne de 10^{-8} s.

3 Transmission d'informations par fibre optique (7 pts)

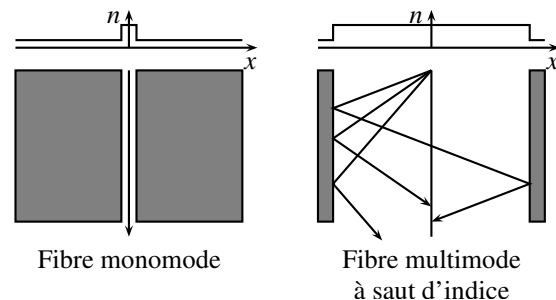
La fibre optique est un vecteur d'informations (notamment télécommunications numériques) tout comme les câbles électriques et téléphoniques, mais assurant un plus faible facteur d'atténuation, une plus faible sensibilité aux interférences extérieures, un plus haut débit d'information (vitesse de transmission très élevée).

Une fibre optique se compose généralement :

- d'un fil de verre très fin, le cœur (quelques microns), d'un seul tenant, parfois très long (jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres) ;
- d'une gaine qui emprisonne la lumière dans le cœur en la réfléchissant pratiquement sans pertes (généralement, une enveloppe transparente d'indice de réfraction inférieur) ;
- d'un fourreau de protection qui peut réunir plusieurs dizaines à plusieurs centaines de fibres ;
- d'un système de connexion spécifique (sinon la lumière butte aux extrémités et ne sort pas).

À une extrémité de la fibre, le signal à transmettre est émis par un transceiver, généralement une diode électroluminescente (LED) ou un laser. À l'autre extrémité se trouve un récepteur, généralement une photodiode.

Il existe des fibres monomodes et multimodes. En optique, le mode est le nombre de chemins que peut emprunter la lumière (pour simplifier). Dans une fibre multimode, la lumière peut emprunter un grand nombre de chemins, et dans une fibre monomode, elle suit un trajet direct (cf. schéma ci-contre).



1. Ci-dessus, il est question d'une "réflexion quasiment sans pertes". De quel phénomène physique s'agit-il ?
2. Un rayon incident de lumière monochromatique entre dans une fibre (multimode à saut d'indice) au point I avec un angle d'incidence i_1 , elle repart dans le cœur de la fibre en faisant un angle i_2 avec la normale. Puis elle frappe la gaine au point J faisant un angle j_1 avec la normale et est totalement réfléchi à nouveau dans le cœur de la fibre avec un angle j_2 . Le cœur de la fibre a un indice n_2 et la gaine un indice n_1 . Faites un schéma d'une vue en coupe de la fibre, en faisant apparaître les indices du cœur et de la gaine, les points I et J , la normale à la surface d'entrée au point I , la normale à la surface de séparation au point J et les différents angles.
3. Écrivez les relations entre les angles i_1 et i_2 , i_2 et j_1 , j_1 et j_2 (en justifiant brièvement).
4. Calculez la valeur de j_2 pour $i_1 = 30^\circ$, $n_1 = 1,2$ et $n_2 = 1,65$.
5. Exprimez en fonction des différents paramètres, la différence de chemin optique ΔL entre le mode direct et le mode décrit dans les questions précédentes, en considérant une longueur de fibre optique $\ell = 10\text{ m}$. Le chemin optique L dans un milieu d'indice n est le produit de la distance parcourue par l'indice du milieu.
6. En utilisant les données précédentes, calculez la différence de chemin optique entre le mode direct et le mode décrit dans les questions précédentes.
7. Quel est l'intérêt d'une fibre optique monomode par-rapport à une fibre multimode ? Avec une fibre multimode on peut utiliser un émetteur de type LED alors qu'un laser est préféré dans le cas de l'utilisation d'une fibre monomode. Expliquez brièvement ce choix.
8. Question bonus : quel type de conversion permet la LED ? Et la photodiode ?