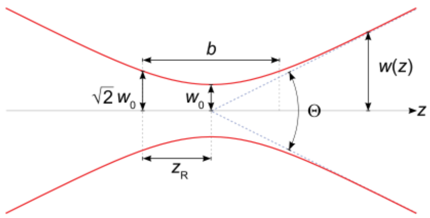
ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2014

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l’examen : 3 heures

14-PH A7 OPTIQUE

1) (Points 25) L'optique gaussienne.



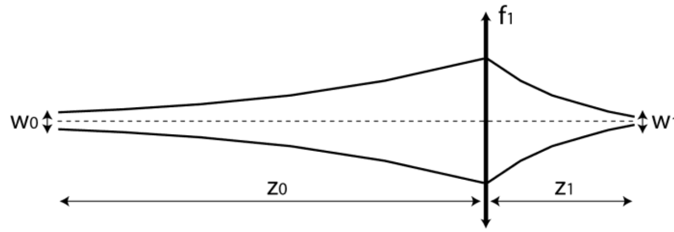


Fig. 1. Schéma d'un faisceau gaussien (http://fr.wikipedia.org/wiki/Faisceau_gaussien) (gauche). Focalisation d'un faisceau gaussien (droit).

Considérons un laser HeNe qui émet un faisceau laser d'une longueur d'onde $\lambda=633\ nm$. La largeur du faisceau à l'origine (à la sortie du laser) est $w_0=0.4\ mm$. Pour ce qui suit, nous considérons que le faisceau laser se propage selon l'approximation de l'optique gaussienne (Fig. 1).

1. (Points 5). Supposons qu'un écran est placé au parcours d'un faisceau laser à distance $z_0=1m$ du laser. Quelle est la largeur du faisceau $w(z_0)$ observé sur l'écran? Supposez un angle d'incidence normal sur l'écran.

2. (Points 5). Après quelle distance caractéristique du laser la largeur d'un faisceau laser augmente linéairement en fonction de la distance de propagation? Dans ce régime, quel est l'angle de divergence Θ, défini comme l'angle d'ouverture du faisceau depuis son origine?

Lorsque réfracté par une lentille limitée par diffraction, un faisceau gaussien se transforme en un autre faisceau gaussien, caractérisé par un ensemble différent de paramètres.

3. (Points 15). Considérons une lentille avec une distance focale $f_1=50\ cm$ qui est placée à distance $z_0=1m$ de laser. Trouvez :

(a) La position z_1 du point de focalisation du faisceau gaussien après la lentille.

(b) La largeur w_1 du faisceau gaussien au point de focalisation.

2. (Points 25) Interférence avec une source monochromatique d’une taille non négligeable.

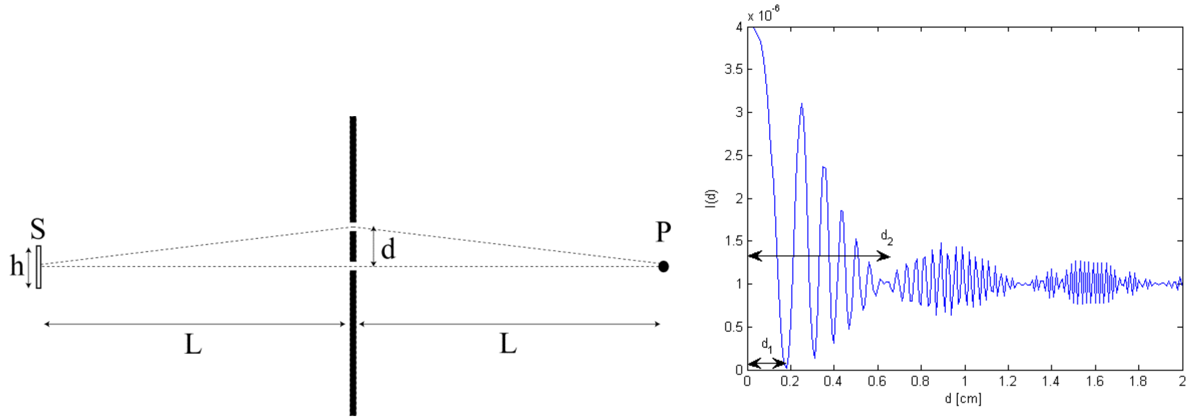


Fig. 1. Schéma d’une expérience (gauche). Interférogramme I(d) enregistré (droite).

Considérons une source monochromatique de lumière indiquée comme S sur la Fig. 1. Supposons que la source a la forme d’une barre de taille *h*. La barre se trouve dans le plan de la Fig. 1. La lumière provenant de la source arrive sur un écran non transparent ayant deux petits trous circulaires. L’interférence de la lumière est observée à droite de l’écran au point d’observation P. La source de la lumière S et le point d’observation P sont éloignés de l’écran d’une même distance L. Quand on modifie la distance *d* entre les trous de l’écran, on observe une oscillation de l’intensité de la lumière au point d’observation P. Trouvez la taille *h* de la source si le premier minimum d’intensité au point d’observation est observé pour $d=d_1=1.78$mm et que le contraste dans l’amplitude des oscillations devient nul quand $d=d_2=6.33$mm. Dans vos dérivations supposer que les conditions $d \ll L$, $h \ll d_1$, $d_1 \ll d_2$, $h \ll \sqrt{\lambda L}$ sont respectés.

3. (Points 25) Milieu effectif biréfringent uniaxe.

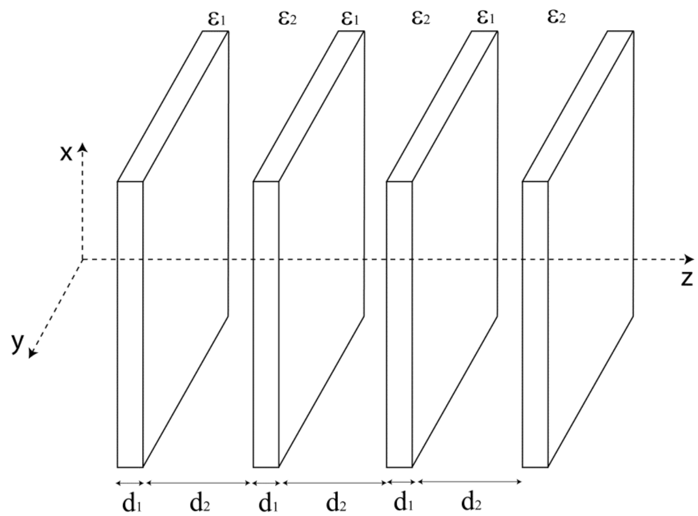


Fig. 1. Milieu biréfringent uniaxe.

Une onde plane monochromatique polarisée linéairement et ayant la longueur d'onde λ est incidente sur un empilement périodique de couches minces d'épaisseur d_1 et de constante diélectrique ε_1. Les couches sont séparées d'une distance d_2 remplie d'un milieu de constante diélectrique ε_2 (Fig. 1). L'axe Z est choisi d'être perpendiculaire aux plans des couches. Nous supposons que l'empilement est infini. En plus, supposons que la longueur d'onde d'une onde incidente est considérablement plus longue que les épaisseurs d_1 et d_2 (c'est-à-dire $\lambda >> d_1$, $\lambda >> d_2$). Dans ce régime, l'empilement pourrait être considéré comme un milieu effectif uniforme non anisotrope, autrement dire l'empilement se comporte comme un milieu biréfringent uniaxe qui possède un unique axe optique.

(a) (Points 5). Indiquer la direction de l'axe optique.

(b) (Points 10). Trouver la valeur de l'indice de réfraction ordinaire n_o. (Indice : cet indice de réfraction est aperçu par une onde plane qui se propage le long de l'axe optique du milieu.)

(c) (Points 10). Trouver la valeur de l'indice de réfraction extraordinaire n_e. (Indice : cet indice de réfraction est aperçu par une onde plane qui se propage dans la direction perpendiculaire à l'axe optique du milieu, avec un champ électrique dirigé le long de l'axe optique.)

Note : dans un milieu uniaxe, il existe une direction privilégiée pour laquelle l'indice est indépendant de la direction de polarisation. Une telle direction est appelée axe optique du milieu. Les milieux uniaxes ont deux indices de réfraction principaux : on les appelle indices ordinaire et extraordinaire. Ils sont en général notés respectivement n_o et n_e.
(http://fr.wikipedia.org/wiki/Bir%C3%A9fringence)

4. (Points 25) Interférence dans une couche mince.

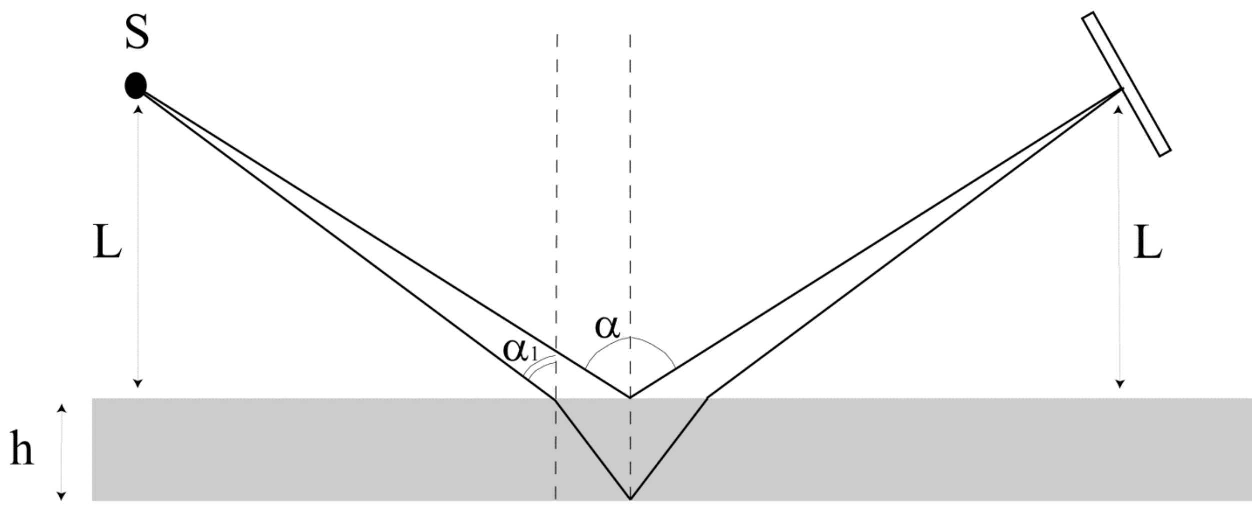


Fig. 1. Schéma de parcours de deux rayons émis par la source S qui arrive à même point dans le milieu d'écran.

Une source ponctuelle S quasi-monochromatique est caractérisée par une longueur d'onde $\lambda = 633nm$ et une largeur spectrale $\Delta\lambda \ll \lambda$. Elle se trouve à une distance L de la couche mince de verre d'épaisseur $h = 50\mu m$ ayant le coefficient de réfraction $n = 1.49$. À une même distance L de la couche mince se trouve un écran qui est installé de façon perpendiculaire aux rayons réfléchis par la couche mince. L'angle d'incidence de la lumière sur la couche mince est $\alpha = 30^o$. À cause de la réfraction de la lumière des deux côtés de la couche mince, on observe un patron périodique d'interférence sur l'écran.

(a) (Points 20). Trouver le numéro d'ordre m du patron d'interférence au milieu d'écran.

Indice : $m = \Delta/\lambda$, où Δ est la différence des parcours optiques des deux rayons qui arrivent au même point sur l'écran (Fig. 1). Dans votre calcul supposez que $\alpha_1 = \alpha - \delta,\ \delta \ll 1$.

Vous pourriez trouver utiles les égalités trigonométriques suivantes :

$$\begin{aligned}
\sin(\alpha - \delta) &\underset{\delta \ll 1}{\approx} \sin(\alpha) - \delta\cos(\alpha) \\
\cos(\alpha - \delta) &\underset{\delta \ll 1}{\approx} \cos(\alpha) + \delta\sin(\alpha) \\
\tan(\alpha - \delta) &\underset{\delta \ll 1}{\approx} \tan(\alpha) - \delta\Big/\left(\cos(\alpha)\right)^2
\end{aligned} \quad .$$

(b) (Points 5). Trouver la largeur spectrale maximale $\Delta\lambda$ pour laquelle le patron périodique d'interférence est encore discernable.