

EXAMEN D'OPTIQUE

lundi 4 septembre 2006

Durée : 2 heures

PARTIE A

Optique géométrique : bulle d'air sphérique dans une lame de verre à faces parallèles.

Dans toute l'étude, les rayons lumineux forment des angles très faibles avec l'axe optique $z'Cz$. Les applications numériques seront systématiquement effectuées.

On considère une sphère remplie d'air (indice 1), de rayon $R = \overline{R} = \overline{CS_2} = 1 \text{ cm}$ et insérée dans une lame de verre d'indice 1.5 et d'épaisseur 4 cm (voir figure 1).

On donne : $\overline{ES_1} = \overline{S_1C} = \overline{CS_2} = \overline{S_2S} = 1 \text{ cm}$.

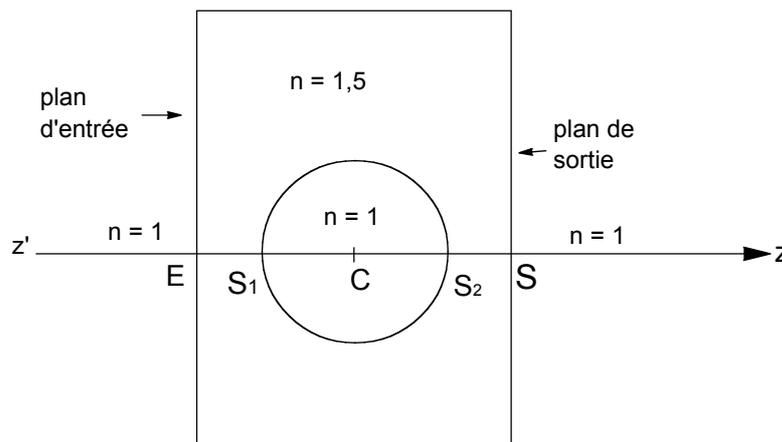


Figure 1

1) Déterminer par le calcul la position des foyers F_{o1} et F_{i1} du dioptre de sommet S_1 , et des foyers F_{o2} et F_{i2} du dioptre de sommet S_2 .

2) On considère un objet $\overline{A_oB_o}$ de dimension très petite devant R , situé dans le plan d'entrée (E) de la lame de verre. Démontrer que la position de $\overline{A_{i1}B_{i1}}$ image de $\overline{A_oB_o}$ donnée par le dioptre de sommet S_1 est telle que $\overline{A_{i1}S_2} = 2.5 \text{ cm}$. Faire la construction géométrique. Calculer le grandissement transversal.

Pour toutes les constructions géométriques, on prendra une échelle (x30) dans la direction perpendiculaire à l'axe $z'Cz$ (ainsi $\overline{A_oB_o}$ dont la vraie longueur est 1 mm sera représenté par un segment de longueur 3 cm) et une échelle (x2) pour la direction $z'z$ (donc $R = \overline{CS_2}$ sera représenté par un segment de longueur 2 cm).

3) Calculer la position de $\overline{A_{i2}B_{i2}}$ image de $\overline{A_{i1}B_{i1}}$ donnée par le dioptre de sommet S_2 . Faire la construction géométrique. Calculer le grandissement transversal.

4) Représenter sur un dessin le trajet d'un rayon lumineux issu de B_o et dont le support entre les plans E et S_1 passe par F_{o1} . On se limitera à l'intervalle $[E, S]$. Construire l'image

$\overline{A_{i2}B_{i2}}$ de $\overline{A_oB_o}$ en utilisant le rayon lumineux précédent et un autre rayon de votre choix. (2 points)

5) Calculer la position de l'image $\overline{A_iB_i}$ de $\overline{A_{i2}B_{i2}}$ à travers le dioptré plan de sortie S . (1 point)

6) Retrouver ce résultat en calculant la matrice de transfert $T(\overline{ES})$ puis la matrice de conjugaison $T(\overline{A_oA_i})$.

PARTIE B

Optique ondulatoire : fentes de Young.

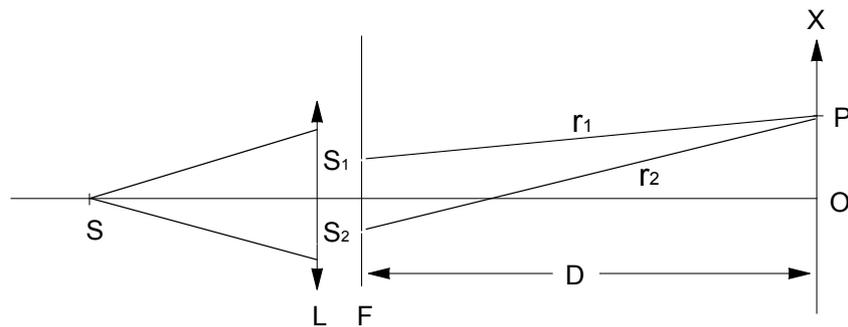


Figure 2

On observe le phénomène d'interférence produit par le dispositif des fentes d'Young schématisé sur la figure 2. Une source S monochromatique de longueur d'onde λ éclaire deux fentes (S_1) et (S_2) parallèles entre elles et perpendiculaires au plan de la feuille, et coupant celui-ci en S_1 et S_2 . On donne $S_1S_2 = a$. S_1 et S_2 se comportent comme deux sources secondaires cohérentes émettant deux ondes de même amplitude Ψ_o et de même phase à l'origine φ_o . Le plan de la lentille mince L et le plan de l'écran d'observation sont perpendiculaires au segment SO , médiateur du segment S_1S_2 .

- 1) On considère dans un premier temps que l'amplitude Ψ_o est constante sur l'écran. Expliciter les amplitudes $\Psi_1(P)$ et $\Psi_2(P)$ des ondes issues des sources (S_1) et (S_2) en tout point P de l'écran, en fonction de Ψ_o , r_1 et r_2 .
- 2) Calculer l'amplitude de l'onde résultant de la superposition des deux ondes. En déduire que l'intensité s'écrit $I(P) = 2I_o(1 + \cos\varphi)$ Expliciter I_o et φ .
- 3) Sachant que a et $X = \overline{OP}$ sont très inférieurs à r_1 , r_2 et D , donner l'expression approchée de φ en fonction de a , X et D . En déduire que l'expression de l'intensité devient : $I(X) = 2I_o[1 + \cos(2\pi aX/D\lambda)]$.
- 4) Définir l'interfrange i et le calculer pour $a = 5$ mm, $D = 0.5$ m et $\lambda = 0.632$ μm . Tracer $I(X)$ en faisant apparaître cinq franges incluant la frange centrale en $X = 0$. Cette frange centrale est-elle sombre ou brillante ?
- 5) On place une lame de verre à faces parallèles, d'indice n et d'épaisseur e devant les sources secondaires, parallèlement au plan F . L'épaisseur e étant constante, expliquer pourquoi la figure observée sur l'écran n'est pas modifiée par la présence de la lame ?

6) On place maintenant une autre lame de même indice dont l'épaisseur est égale à e devant (S_1) et à $(e+\Delta e)$ devant (S_2). Quel est le changement observé sur l'écran par rapport à la situation décrite à la question précédente ?

7) Quelle grandeur doit-on mesurer sur l'écran pour estimer la valeur de Δe ? Donner l'expression de Δe en fonction de cette grandeur mesurée. Calculer Δe pour $e = 5 \text{ mm}$ et $n = 1.45$.

8) On prend maintenant en compte la variation de Ψ_0 en fonction de X . Les deux fentes identiques (S_1) et (S_2) ont donc maintenant une largeur finie $\varepsilon \ll a$.

On donne l'intensité : $I'(X) = I(X) \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi \varepsilon X}{\lambda D}\right)}{\frac{\pi \varepsilon X}{\lambda D}} \right]^2$ avec $I(X)$ définie à la question 3).

Quel est le phénomène physique qui détermine la variation de Ψ_0 en fonction de X ? Pourquoi parle-t-on de division du front d'onde dans cette expérience ?

Tracer soigneusement la courbe donnant les variations d'intensité entre $-2\lambda D/\varepsilon$ et $2\lambda D/\varepsilon$. On donne $a = 10 \varepsilon$.