Université Paul Sabatier – Toulouse III Session de septembre 2004

Licence 2eme année
Sections physique et chimie

Epreuve d'optique

Les vecteurs sont en caractères gras.

Partie I: Optique géométrique

I- Téléobjectif.

Une lentille mince convergente L_1, de centre O_1, de focale 5cm, d'axe horizontal $z'z$, donne une image A_iB_i d'un arbre vertical, assimilé à un objet réel A_oB_o= 4 m situé à 100 m de la lentille. Le point A_o est sur l'axe $z'z$.

I.1- Calculer la position de l'image et sa hauteur. Quel est le grandissement ? Quelle erreur absolue, exprimée en microns, fait-on sur la position de l'image si on considère qu'elle est dans le plan focal de L_1 ?

I.2- On admet pour la suite que l'image A_iB_i est dans le plan focal de L_1. Une lentille divergente L_2 de focale 2,5 cm est centrée sur $z'z$ au point O_2 situé à 3 cm de O_1, du côté opposé à l'arbre par rapport à L_1.

Calculer la position et la hauteur de l'image de l'arbre donnée par le système $\{L_1,L_2\}$. Quel est le grandissement transversal?

I.3- Calculer la matrice de transfert et en déduire la vergence et la focale du système $\{L_1, L_2\}$. Retrouver le grandissement transversal après avoir calculé la position des plans principaux.

II- Lentille épaisse.

Une lentille biconvexe taillée dans un verre d'indice n est constituée par l'association de deux dioptres sphériques référencés 1 et 2 et de rayons de courbure $\overline{R}_1$ et $\overline{R}_2$ respectivement. L'épaisseur de la lentille suivant son axe optique est notée *e*. Le dioptre 1 de sommet *E* est au contact de l'eau d'indice n_e. Le dioptre 2 de sommet S est au contact de l'air d'indice n_a. Le sens positif correspond à la propagation de la lumière de l'eau vers l'air. On se place dans l'approximation de Gauss.

On donne : $\overline{R}_1$ = 4 cm ; $\overline{R}_2$ = -5 cm ; n_e = 1,33 ; n = 1,5 ; n_a = 1 ; e = 1,5 cm.

II.1- Définir l'approximation de Gauss.

II.2- Calculer les vergences respectives V_1 et V_2 des deux dioptres sphériques. En déduire les distances focales objet (f_{01}, f_{02}) et image (f_{i1}, f_{i2}) de chaque dioptre.

II.3- Etablir l'expression analytique de la matrice de transfert T($\overline{ES}$) de ce système. Calculer numériquement les éléments de cette matrice, dans le système S.I. en précisant les unités.

II.4- En déduire la vergence V et les distances focales objet f_o et image f_i de la lentille. Calculer numériquement la position des plans principaux et des plans focaux du système centré.

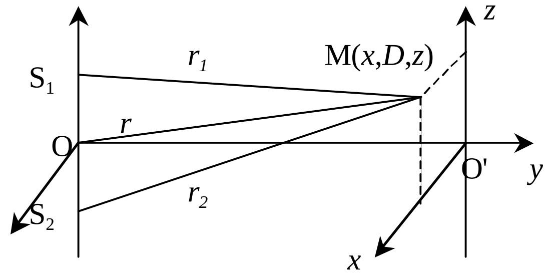
II.5- Retrouver graphiquement (sur papier millimétré, à l'échelle 1/3) la position du plan focal objet et du plan principal objet de la lentille.

Partie II: Optique ondulatoire

I- Addition de deux vibrations monochromatiques.

Soient 2 ondes $\underline{\Psi}_1(\mathbf{r},t)$ et $\underline{\Psi}_2(\mathbf{r},t)$ issues des deux sources ponctuelles cohérentes S_1 et S_2 dont les expressions sont données par :

$$\underline{\Psi}_1(\mathbf{r}_1,t)=\frac{A}{r_1}\exp(ikr_1)\exp(-i\omega t)\ et\ \underline{\Psi}_2(\mathbf{r}_2,t)=\frac{A}{r_2}\exp(ikr_2)\exp(-i\omega t)$$



On donne $S_1S_2 = \varepsilon$ et $OO' = D$ ($D >> \varepsilon, x, z$).

I.1- Donner l'équation des surfaces d'ondes. Quelle est leur forme ?

I.2- Montrer que l'amplitude complexe de l'onde résultante au point M s'écrit :

$$\Psi(r,t)=\frac{A}{D}\exp(-i\omega t)\left[\exp(i\Phi_1)+\exp(i\Phi_2)\right]$$

Justifier les approximations effectuées lors du calcul et définir Φ_1 et Φ_2.

I.3- Définir la différence de phase Φ en fonction de r_1, r_2 et k. Calculer l'intensité sur l'écran d'observation et tracer la variation $I(\Phi)$.

I.4- Montrer en justifiant que la différence de phase peut se mettre sous la forme : $\Phi = {2\pi z\varepsilon}/{\lambda D}$.

Qu'observe-t-on à l'écran ? Calculer l'interfrange.

N.B. : Pour la démonstration, écrire r_1 et r_2 en fonction de x, D, z, ...

On rappelle : $(1+x^n)\approx 1+nx\ si\ x<<1$.

II- Diffraction de Fraunhofer par une fente rectangulaire.

II.1- Dessiner le montage expérimental permettant d'observer la diffraction de Fraunhofer par une fente. On dispose d'une source ponctuelle émettant une onde monochromatique d'amplitude ψ_o, de deux lentilles convergentes de focale f, d'une plaque percée d'une fente rectangulaire et d'un écran d'observation.

II.2- Donner l'expression analytique de la transmittance $T(x,y)$ d'une fente rectangulaire de largeur a selon Ox et de longueur b selon Oy ($b >> a$).

II.3- Donner l'expression reliant $T(x,y)$ à l'intensité diffractée en tout point $M(X,Y)$ de l'écran. $O'XY$ est le système d'axes de l'écran d'observation ($O'X$ et $O'Y$ sont parallèles respectivement à Ox et Oy qui sont les axes orientant la fente de diffraction). Définir l'expression des fréquences spatiales u et v en fonction de X, Y, λ et f.

II.4- Effectuer alors le calcul pour montrer que l'intensité diffractée s'écrit sous la forme :

$$I(u,v)=I_0a^2b^2\left[\frac{\sin(\pi ua)}{\pi ua}\right]^2\left[\frac{\sin(\pi vb)}{\pi vb}\right]^2$$

II.5- On se ramène à un cas à une dimension (la longueur b est infiniment grande). Que devient l'expression de l'intensité ? Tracer le graphe de cette fonction. Qu'observe-t-on sur l'écran ?