UNIVERSITE DE PROVENCE

DEUG SM

(Ondes 3DSO)
OPTIQUE DG4.2P4

<u>TRAVAUX DIRIGES</u>

2003 / 2004

UNIVERSITE DE PROVENCE 2003 / 2004
DEUG SM

TRAVAUX DIRIGES N° 1 - 2 - 3

I. PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

Un disque opaque AB, de $10\ cm$ de diamètre, est placé verticalement à $3\ m$ d'un mur. A $1m$ en avant de AB, sur sa médiatrice, en O, se trouve une source lumineuse ponctuelle.

1. Déterminez la forme et les dimensions de l'ombre de AB projetée sur le mur.

2. On remplace la source ponctuelle par une lampe électrique dépolie de $6\ cm$ de diamètre centrée en O. Déterminez les dimensions de l'ombre pure et de la pénombre.

II. PETIT MIROIR PLAN

On dispose d'un petit miroir plan carré de $5\ cm$ de côté. Regarder son visage dans celui-ci paraît difficile. On pense alors "naturellement" à l'éloigner. Qu'en pensez-vous ? Justifiez par un schéma.

III. GRAND MIROIR PLAN

On veut installer une glace verticale dans laquelle un observateur mesurant $1{,}80\ m$ puisse se voir en entier. Son oeil se trouvant à $1{,}60\ m$ du sol, quelle hauteur minimale faut-il donner à la glace ? A quelle distance du mur l' observateur doit-il se placer ? A quelle hauteur du sol faut-il fixer le miroir ?

IV. DEUX MIROIRS PLANS

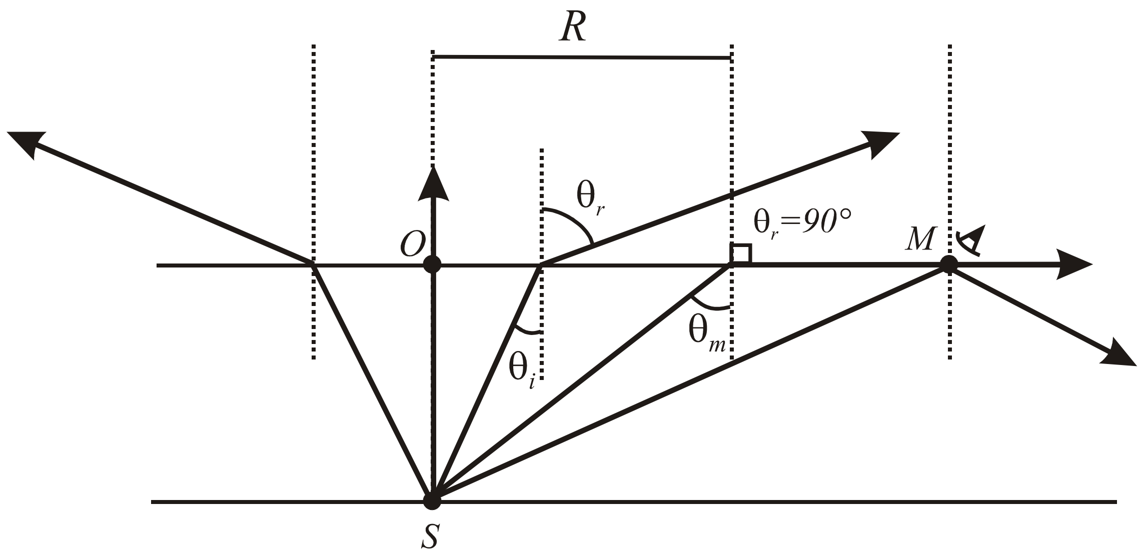
Combien obtient-on d'images d'un objet A situé sur le plan bissecteur d'un dièdre formé par deux miroirs plans, si l'angle du dièdre est $\pi/3$?

V. REFRACTION

Une source lumineuse ponctuelle, *S*, est placée au fond d'un bassin rempli d'eau de $1m$ de profondeur. Les directions des rayons lumineux réfractés sont déterminées par la loi de Snell-Descartes, $n \sin\theta_i = n' \sin\theta_r$.

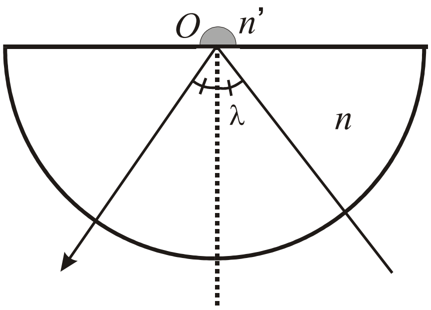
Soit le point *O* placé à la surface de l'eau directement au dessus de la source. Un observateur situé au point *M* à la surface de l'eau ne peut pas voir la source lumineuse si *OM* est supérieur à une distance *R*. L'indice de réfraction de l'eau est $n \cong 4/3$ et celui l'air $n' \cong 1$.

1. Quelle est la vitesse de propagation de la lumière dans l'eau ? (On suppose que la vitesse de propagation dans l'air est la même que dans le vide).
2. Calculez le rayon du cercle R.



VI. MESURE DE L'INDICE DE REFRACTION D'UN LIQUIDE

Considérons un demi cylindre en verre d'indice de réfraction $n = 1{,}5$.



On place en O une goutte d'un liquide L dont on veut déterminer l'indice de réfraction n'. On éclaire le point O avec un rayon lumineux, tout d'abord avec une incidence nulle, puis en faisant croître cet angle d'incidence. Pour une certaine valeur λ de cet angle on observe le phénomène de réflexion totale.

Que peut-on dire a priori de la valeur de n' par rapport à celle de n ?

Quel est l'avantage d'utiliser un bloc de verre en forme de demi cylindre ?
Calculez n' sachant que $\lambda = 64°$.

VII. MIROIR PLAN A ARGENTURE POSTERIEURE

La plupart des miroirs d'usage domestique sont des lames à faces parallèles en verre d'épaisseur e, d'indice n, métallisées sur leur face arrière pour réfléchir la lumière.

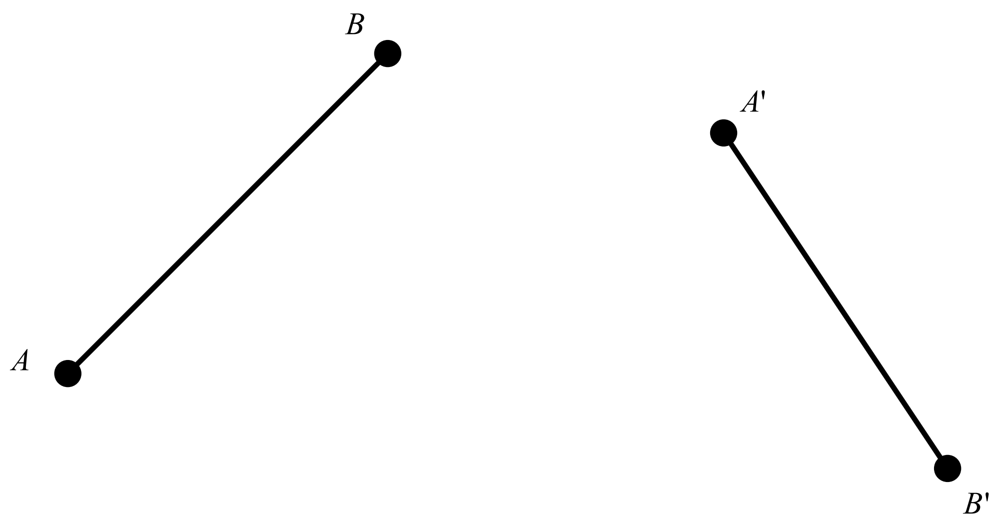
L'œil d'un observateur est situé à $1\ m$ d'un miroir plan vertical. Ce miroir est constitué d'une lame de verre d'épaisseur $e = 1\ cm$, d'indice $n = 1{,}5$, dont la face arrière est métallisée.

Où l'observateur voit-il son image ?

X. LENTILLE PEU ORDINAIRE A TROUVER

Soit $A'B'$ l'image donnée par une lentille mince convergente d'un objet AB
(cf schéma).

Déterminez le centre, l'axe optique de la lentille ainsi que la position de ses foyers.



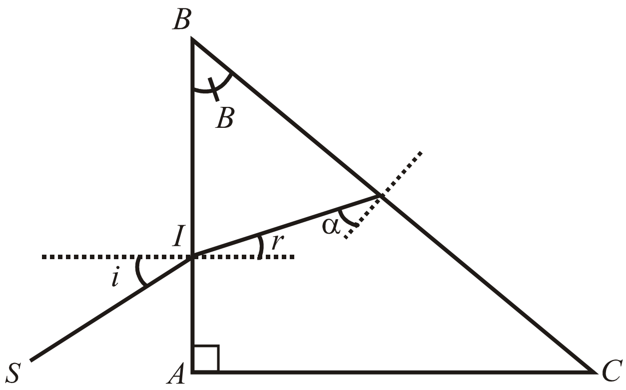
XI. ASSOCIATION LENTILLE-MIROIR

On veut obtenir d'un objet AB horizontal de $1\ cm$ de longueur une image réelle $A'B'$ verticale de $25\ cm$.

On dispose une lentille horizontale L de $25\ cm$ de distance focale et de centre O et un miroir incliné à $45°$ de centre O'. OO' est vertical, $OO' = 10\ cm$.

A quelle distance de O' doit-on placer l'écran E pour recueillir l'image $A'B'$ et à quelle distance du plan focal objet de L doit-on placer AB ?

XII. PRISME



Soit un prisme de verre ABC, rectangle en A. Un rayon lumineux de longueur d'onde λ se propageant dans un plan de section principale du prisme frappe la face AB sous une incidence i ; l'indice du prisme pour la radiation considérée est n.

1. Trouver la condition liant les angles i, B et l'indice n du prisme pour qu'il y ait réflexion totale sur la face BC.

2. Cette condition étant réalisée, le rayon émerge par la face AC.

   a. Calculer la déviation D entre le rayon incident et le rayon émergent.
   b. A quelle condition la déviation D est-elle égale à $90°$? Donner dans ce cas les valeurs des angles i, i', r, r' et α sachant que $n = 1{,}50$ et $B = 75°$.

3. Le prisme restant fixe et l'indice étant constant, le rayon incident SI tourne d'un petit angle di. Quelle est en grandeur et en sens la rotation correspondante di' du rayon émergent ? Que devient la relation liant di à di' dans le cas particulier où la déviation $D = 90°$?

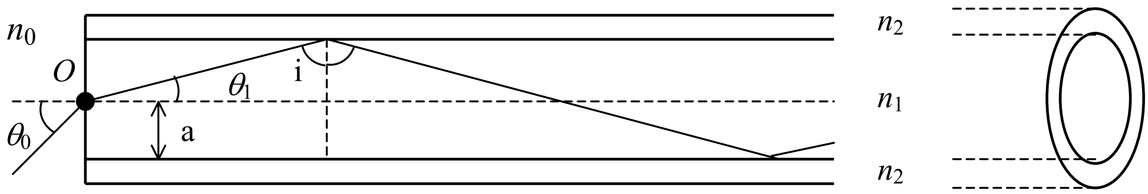
4. Le prisme et le rayon incident restant fixes, la radiation incidente, de longueur d'onde λ est remplacée par une radiation de longueur d'onde $\lambda + d\lambda$ pour laquelle l'indice du prisme devient $n + dn$. Dans quel sens et de combien tourne le rayon émergent ? Que devient la relation liant di' à dn dans le cas particulier où la déviation $D = 90°$? Calculer di' sachant que $dn = 0{,}001$.

UNIVERSITE DE PROVENCE 2003 / 2004
DEUG SM

TRAVAUX DIRIGES N° 4
ETUDE DES FIBRE OPTIQUES

-I-. FIBRES OPTIQUES A SAUT D'INDICE

Une fibre optique à saut d'indice de longueur l est constituée d'un cœur d'indice n_1 de rayon a et d'une gaine d'indice n_2. Un rayon lumineux situé dans un plan méridien entre dans la fibre au point O situé sur son axe :



a. Quel est le phénomène physique qui permet la propagation du rayon lumineux dans la fibre avec une atténuation très faible malgré le grand nombre de réflexions subies ? Comment doit-on choisir les indices n_1 et n_2 ? En déduire une condition sur l'angle θ_0 pour que le rayon soit transmis par la fibre. On introduira l'ouverture numérique $O.N.$ de la fibre définie par $O.N. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$.

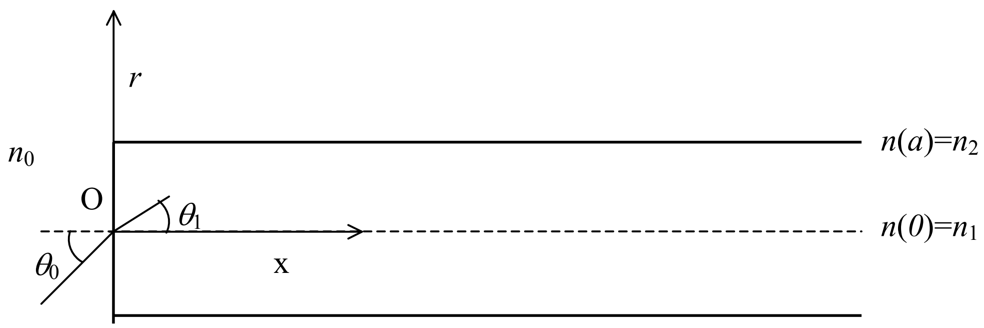
b. Calculer le chemin optique L parcouru par un rayon lumineux sur l'ensemble de la fibre, en fonction de l, n_0 ,n_1 et θ_0. Exprimez le temps de parcours de la lumière dans la fibre.

c. On considère maintenant qu'une source ponctuelle placée en O émet une impulsion lumineuse isotrope de durée négligeable à $t=0$. Quelle est la durée de cette impulsion à la sortie de la fibre ? (on calculera les temps de parcours minimum et maximum des rayons lumineux).

d. On suppose maintenant que cette source ponctuelle émet des impulsions périodiques. Calculer la fréquence maximale $f_{\max}$ de la source pour laquelle deux impulsions successives ne se recouvrent pas. ($f_{\max}$ correspond à la bande passante de la fibre et est reliée au débit de données que celle-ci peut transmettre). Discuter l'influence des paramètres de la fibre sur cette bande passante. Application numérique : $n_1 = 1.515$, $n_2 = 1.490$ $a = 40\mu m$ et $l = 1 km$.

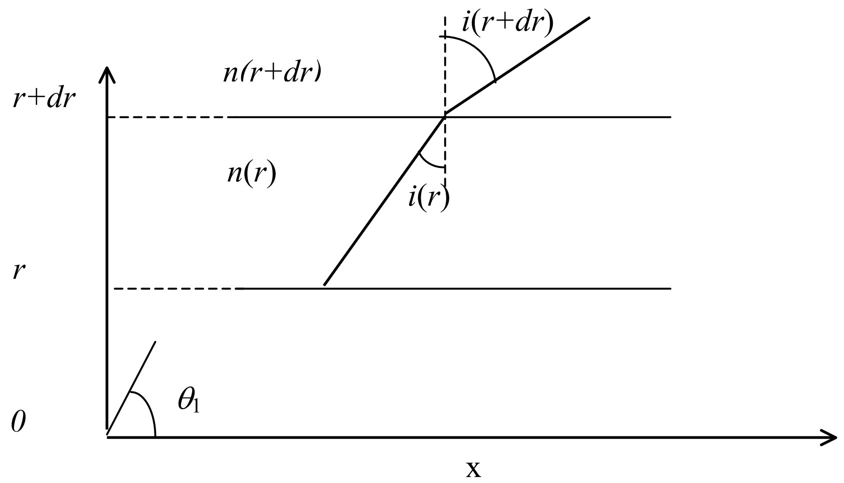
-II-. FIBRES OPTIQUES A GRADIENT D'INDICE

Dans le cas des fibres à gradient d'indice, l'indice est donné en fonction de la distance r à l'axe de la fibre par une loi du type $n^2(r) = n_1^{\,2}\left(1 - \alpha\, r^2\right)$, avec $\alpha = \left(n_1^{\,2} - n_2^{\,2}\right)/\left(n_1\, a\right)^2 > 0$. On caractérise la direction du rayon incident par l'angle θ_1 défini par $n_0 \sin\theta_0 = n_1 \sin\theta_1$.



a. Tracer schématiquement la trajectoire d'un rayon lumineux pénétrant dans la fibre au point O. Pour quelle raison une fibre à gradient d'indice permet-elle d'obtenir une bande passante plus grande que dans le cas d'une fibre à saut d'indice ?

b. Nous allons maintenant modéliser le cœur de la fibre par une succession de couches d'épaisseur dr suffisamment petite pour que l'indice puisse y être considéré comme constant. Montrez que la quantité $n(r)\sin i(r)$ est une constante égale à $n_1 \cos\theta_1$.



c. En utilisant le résultat de la question précédente, montrer que la trajectoire $r(x)$ d'un rayon lumineux est solution de l'équation différentielle :

$$\left(\frac{dr}{dx}\right)^2 = \frac{n^2(r) - n_1{}^2 \cos^2\theta_1}{n_1{}^2 \cos^2\theta_1}$$

On pourra utiliser la relation : $\tan^2 a = \dfrac{\sin^2 a}{1-\sin^2 a}$

d. Déterminer, sans chercher à résoudre l'équation précédente, la distance radiale maximum $r_{\max}$ atteinte par le rayon lumineux caractérisé par l'angle θ_1. En déduire une condition pour que le rayon puisse se propager dans la fibre.

e. Montrer que la solution de l'équation différentielle obtenue à la question c. peut se mettre sous la forme $r(x) = r_{\max}\cos(\Omega(x - x_0))$ où x_0 est une constante d'intégration. Trouver une expression pour la période spatiale, $\lambda = 2\pi/\Omega$ en fonction de n_1 , n_2 et θ_1.

On pourra utiliser la primitive suivante : $\mathrm{Arc}\cos(u) = -\int \dfrac{du}{\sqrt{1-u^2}}$

f. Calculer le chemin optique parcouru par un rayon lumineux dans une longueur de fibre $l = p.\pi/\Omega$ (p étant un entier). En déduire le temps de parcours correspondant.

g. Calculer la bande passante ($f'_{\max}$) de la fibre en utilisant le même raisonnement que dans le cas de la fibre à saut d'indice. Comparez les bandes passantes respectives et conclure. Application numérique.

UNIVERSITE DE PROVENCE 2003 / 2004
DEUG SM

TRAVAUX DIRIGES N° 5 - 6 – 7
SYSTEMES OPTIQUES

Tous les systèmes fonctionnent dans les conditions de Gauss et la lumière est monochromatique.

-I- LENTILLE EPAISSE

Soit une lentille biconvexe d'indice n=1,5 placée dans l'air, de rayons de courbure $R_1 = \overline{S_1C_1}$ = 20 cm, $R_2 = \overline{S_2C_2}$ = -10 cm, de sommets S_1 et S_2 tels que $\overline{S_1S_2}$ = 5 cm .

Un objet AB de hauteur 2 cm est placé en avant de la face d'entrée à une distance de 8 cm de cette face.

1. a. Déterminer les distances focales f_1 et f_1' du premier dioptre ainsi que celles f_2 et f_2' du second dioptre.
   b. Sur un schéma à l'échelle 1/4 dans la direction de l'axe optique et 1/2 dans la direction perpendiculaire, placer les dioptres, leur centre et leurs foyers.
   c. Construire l'image A_1B_1 de AB donnée par le premier dioptre puis l'image A_2B_2 de A_1B_1 donnée par le second dioptre.
   d. En appliquant l'équation des dioptres sphériques, calculer la position de A_2B_2 par rapport à la face de sortie de la lentille et déterminer sa hauteur.

2. On assimile cette lentille à une lentille mince dont le centre optique O serait situé au milieu de S_1S_2.
Déterminer (construction et calculs) la position de l'image $A'B'$ de AB donnée par la lentille mince. Comparer avec les résultats de 1. Conclure.

3. Si l'objet se trouve à l'infini, $\overline{S_1A} \to -\infty$, l'image formée par la lentille épaisse se trouve dans son plan focal image, i.e. $\overline{S_2A_2} = \overline{S_2F'}$. De même, si un objet est placé dans le plan focal objet de la lentille ($\overline{S_1A} = \overline{S_1F}$) son image est rejetée à l'infini, $\overline{S_2A_2} \to \infty$.

   a. En utilisant ce qui précède, déterminer $\overline{S_2F'}$ et $\overline{S_1F}$.
   b. Déterminer la distance focale image $f' = \overline{H'F'}$ la distance focal objet $f = \overline{HF}$ à partir aux formules faisant appel à 'intervalle optique $\Delta \equiv \overline{F_1'F_2}$, i.e. $f' = -\dfrac{f_1'f_2'}{\Delta}$ et $f = \dfrac{f_1f_2}{\Delta}$
   c. Avec les résultats de a. et b., calculer $h = \overline{HS_1}$ et $h' = \overline{S_2H'}$.

4. Par rapport aux plans principaux, les relations de conjugaison et de grandissement sont identiques à celles d'une lentille mince, $\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'}$, $\gamma \equiv \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n}{n'}\frac{p'}{p}$ avec $p = \overline{HA}$ et $p' = \overline{H'A}$ (pour l'air on prend $n = n' = 1$). A partir de ces relations :

a. Retrouver la position de A_2B_2 image de AB donnée par la lentille épaisse.
b. Calculer le grandissement et la hauteur de A_2B_2.
c. Placer sur un schéma, avec les mêmes échelles qu'au 1 les positions de F, F', H et H', et construire l'image A_2B_2.
d. Comparer les résultats avec ceux obtenus en 1.

-II- LENTILLE DE GALILEE

Une lunette est constituée d'un ensemble de deux lentilles minces L_1 et L_2, de distances focales respectives f_1' = 60 cm, f_2' = - 5 cm, de centre optique respectif O_1 et O_2, séparés par une distance a.

1. Déterminer la vergence du système en fonction de a.

2. Que devient la vergence quand $a = f_1' + f_2'$ = 55 cm ? Ce résultat pouvait-il être prévu sans calculs ? Dans la suite du problème, on prendra $a = 55\ cm$

3. Déterminer (construction et calculs) le rayon émergent qui correspond à un rayon incident parallèle à l'axe et distant de y de l'axe. Tracer la marche d'un pinceau lumineux issu d'un point objet A à l'infini sur l'axe. Le schéma sera fait à l'échelle 1/5. Est-ce que cet exercice permet de comprendre pourquoi on peut observer avec une lunette des étoiles invisibles à l'œil nu ?

4. Déterminer (construction) le rayon émergent qui correspond à un rayon incident passant par O_1 et faisant un angle α avec l'axe. Tracer la marche d'un pinceau lumineux issu d'un point objet B à l'infini dans la direction faisant un angle α avec l'axe (on prendra sur l'échelle du dessein α = 6°).

5. Un objet à l'infini vu sous l'angle α à l'œil nu est vu sous l'angle α' avec la lunette. Exprimer $tg\alpha'$ en fonction de $tg\alpha$. Quelle est le grossissement de ce système $G \equiv \left|\frac{\alpha'}{\alpha}\right|$ (à ne pas confondre avec le « grossissement commerciale » d'une loupe , $G \equiv \left|\frac{d_m}{f'}\right|$, $d_m \equiv 25\,cm$).

-III- OCULAIRE

Un oculaire 3,2,1 est constitué de deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2, de centres optiques respectifs O_1 et O_2 tels que $\overline{O_1O_2} = a$, de distances focales respectives f_1' et f_2' telles que :

$$\frac{f_1'}{3} = \frac{a}{2} = \frac{f_2'}{1}$$

Tous les résultats seront donnés en fonction de a.

1. Déterminer la distance focale f' de cet oculaire ainsi que la position des points principaux H et H'.

2. Retrouver ces résultats par construction géométrique. (On prendra l'échelle 1 et $a = 6$ cm).

3. On place un objet à $3a/2$ en avant de L_1. Calculer la position de l'image de cet objet par rapport à O_2.

4. Construire cette image en utilisant les plans principaux et les foyers dont la position a été déterminée au 1. Tracer la marche d'un pinceau lumineux.

5. Système de trois lentilles : On met devant la lentille L_1, à l'endroit où l'objet précédent était placé, une lentille mince L_3 convergente de centre optique O_3 et de distance focale f_3'. Exprimer la vergence du système constitué par l'oculaire et cette lentille en fonction de a et de f_3'. Quelle est la valeur de f_3' requise pour que le système soit afocal ?

UNIVERSITE DE PROVENCE 2003 / 2004
DEUG SM

TRAVAUX DIRIGES N° 8 et 9
SYSTEMES CATADIOPTRIQUES

- I -

Un système optique est constitué d'une lentille mince convergente de distance focale $f' = + 4\ cm$, de centre O_1 et d'un miroir plan parallèle à la lentille et situé dans son plan focal image. L'ensemble est placé dans l'air.

1. Construire l'image d'un objet AB placé à $7\ cm$ en avant de la lentille et de hauteur $2\ cm$ (échelle 1).
2. Déterminer la vergence de ce système.
3. Trouver la relation de conjugaison de ce système avec des mesures faites avec O_1 comme origine.
4. Retrouver la position et le grandissement de $A'B'$ obtenus dans la question 1. Montrer que le grandissement de ce système optique est indépendant de la position de l'objet. Quelle est la particularité de ce système ?

- II -

Remplaçons la lentille convergente de **-I -** par une lentille divergente de distance focale $f' = - 5\ cm$

1. Construire l'image d'un objet AB placé à $6\ cm$ en avant de la lentille et de hauteur $2\ cm$ (échelle 1).
2. Déterminer la vergence de ce système. Trouver la position des plans principaux.
3. Retrouver le résultat de la question 1 et donner une expression pour le grandissement de ce système en fonction de la position de l'objet.

- III -

On considère une boule de verre, de rayon $R = 2{,}5\ cm$, d'indice $n = 3/2$, placée dans l'air, dont la face postérieure est argentée.

1. Déterminer la position et la grandeur de l'image donnée par la boule d'un objet AB de $2\ cm$ de hauteur placée à $2\ cm$ en avant du premier dioptre. Construire cette image (échelle 1).

2. Déterminer les positions des plans principaux et des foyers de ce système optique. Retrouver ces résultats par construction.

3. Retrouver (calculs et construction), en utilisant les résultats de la question précédente, la position et la grandeur de l'image de l'objet AB.

- IV -

Un système optique est constitué d'une lentille divergente L, de distance focale, $f' = -4\ cm$ et d'un miroir sphérique concave M dont le centre de courbure coïncide avec le foyer image de la lentille et dont le sommet est confondu avec le foyer objet de L.

1. Déterminer par construction la position et la grandeur de l'image d'un objet AB de $2\ cm$ situé à $6\ cm$ en avant de la lentille.

2. Déterminer la vergence de ce système.

3. Trouver la relation de conjugaison de ce système avec des mesures faites avec O_1 comme origine.

4. Retrouver la position et le grandissement de $A'B'$ obtenus dans la question 1. Montrer que le grandissement de ce système optique est indépendant de la position de l'objet. Déterminer les caractéristiques du miroir équivalent.

UNIVERSITE DE PROVENCE 2003 / 2004
DEUG SM

TRAVAUX DIRIGES N° 10
ABERRATIONS

-I-. ACHROMAT

Une lentille mince biconvexe est taillée dans un verre dont l'indice pour la raie D du sodium ($\lambda_D = 589{,}3\ nm$) est $n_D = 1{,}518$. Les rayons de courbure de ses faces sont $R_1 = 1{,}20\ m$ et $R_2 = -\ 0{,}20$ m .

1. Calculer la distance focale f'_D de cette lentille pour la radiation considérée. Quelle est la nature de la lentille ?

2. Cette lentille est maintenant éclairée par un faisceau lumineux de rayons parallèles contenant les radiations C et F de l'hydrogène dont les longueurs d'onde sont $\lambda_C = 656{,}3$ nm et $\lambda_F = 486{,}1$ nm. Pour ces deux longueurs d'onde, l'indice du verre est $n_C = 1{,}515$ et $n_F = 1{,}524$.

Calculer les deux nouvelles valeurs f'_C et f'_F de la distance focale. En déduire la valeur de l'aberration chromatique longitudinale. Calculer le pouvoir dispersif moyen K et la constringence $\nu = 1/K$.

3. Pour éliminer, au moins en partie, les aberrations chromatiques, on se propose d'associer une autre lentille mince à la lentille précédente. Etablir la condition d'achromatisme du système des deux lentilles pour les raies C et F. Exprimer cette condition en fonction des distances focales moyennes f'_{1D} et f'_{2D} des deux lentilles, de leur distance a et des facteurs de constringence ν_1 et ν_2 des verres dans lesquels elles sont taillées. Discuter le résultat obtenu dans les deux cas particuliers suivants :

- $\nu_1 = \nu_2$
- $a = 0$

4. Pour réaliser un achromat convergent de $50\ cm$ de distance focale, on accole deux lentilles dont les verres ont les caractéristiques suivantes :

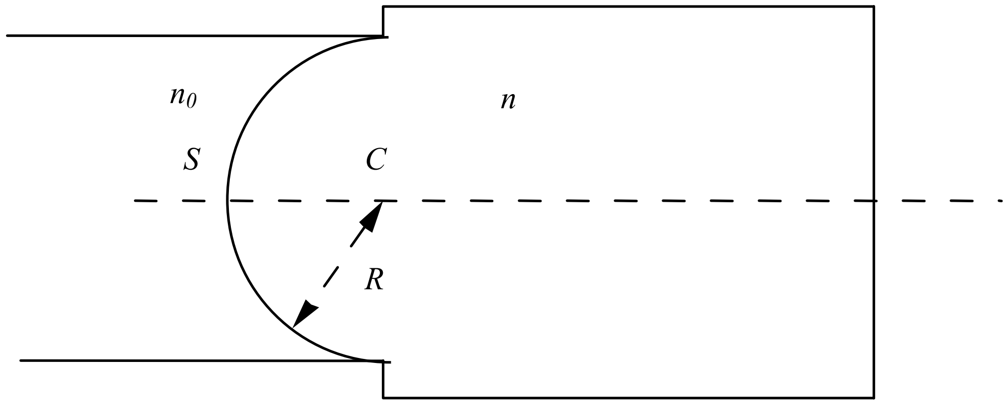
$n_{1D} = 1{,}518$ $\nu_1 = 57{,}6$

$n_{2D} = 1{,}751$ $\nu_2 = 27{,}8$

Calculer les distances focales moyennes des deux lentilles composantes.

-I-. ABERRATION SPHERIQUE

Une cuve parallélépipédique remplie d'eau présente sur l'une de ses faces verticales une ouverture circulaire de rayon R sur laquelle a été fixée une calotte hémisphérique d'épaisseur négligeable prise dans un matériau transparent.



$R = 10\ cm$

Ce dispositif permet de réaliser un dioptre hémisphérique séparant le milieu extérieur d'indice $n_0 = 1$ du milieu liquide d'indice $n = 4/3$.

On considère un faisceau de rayons parallèles qui se propage suivant la direction SC . On se propose d'étudier la marche des rayons réfractés et, partant, d'examiner les aberrations sphériques du faisceau se propageant dans l'eau.

1. Calculer la vergence du dioptre et déterminer la position des foyers objet et image F et F' .

2. Montrer que les rayons incidents marginaux (distance à l'axe égale au rayon) convergent en un point F'_m dont on déterminera la position.

3. Quel est l'aspect du phénomène lumineux observé sur l'axe de la demi-sphère ? Calculer $\overline{F'_m F'}$ (aberration sphérique longitudinale). Déterminer le diamètre de la tache lumineuse observée dans le plan focal image (aberration sphérique transversale).

4. Situer l'image gaussienne d'un objet virtuel, placé à l'intérieur de la cuve, sur l'axe et à $20\ cm$ de S. Calculer le grandissement transversal et faire la construction géométrique de l'image.

TRAVAUX DIRIGES N° 11 et 12
PHOTOGRAPHIE

-I -Etude d'un appareil photographique

(extrait CAPES 92)

L'objectif d'un appareil photo est modélisé par une lentille mince convergente de distance focale f', accolée à un diaphragme circulaire de diamètre D. Les axes de la lentille et du diaphragme sont confondus et f' est égale à $50\ mm$. La lentille est utilisée dans les conditions de Gauss. On définit le nombre d'ouverture N par le rapport $N = f'/D$.

1. Enoncer les conditions de Gauss

2. La mise au point étant faite à l'infini, quelle est la distance de l'objectif au plan du film ?

3. La distance minimale de mise au point parfaite étant de 60 cm, calculer dans ces conditions la distance de l'objectif au plan du film. Commenter le résultat.

4. Notion du profondeur de champ : L'objectif est mis au point sur l'infini. A tout point de l'axe correspond alors sur la pellicule une tache. Compte tenu du grain de la pellicule et de l'acuité visuelle, il y a netteté apparente si le diamètre de cette tache est inférieur ou égal à δ.
   a) Représenter sur une figure le point A_1 et son image A_1', ainsi que les grandeurs D et δ.
   b) Calculer la distance p_1 du point A_1' à l'objectif en fonction de N, f' et δ et commenter le résultat.
   c) Application numérique $\delta = 30\mu m$ $f' = 5cm$, $N = 2{,}8$, $N = 16$

5. La tache centrale de diffraction donné par une ouverture circulaire de diamètre D a pour rayon angulaire $\alpha = 1{,}22/D$. Quelle condition doit respecter le nombre d'ouverture de l'objectif de $50mm$ de focale pour que la netteté ne soit pas limitée par la diffraction ? Faire l'application numérique pour $\delta = 30\mu m$ et $\delta = 10\mu m$ (on prendra $\lambda = 0{,}6\mu m$). Conclusion ?

6. On s'intéresse dans cette question aux valeurs pouvant être données à certains paramètres.
   a) Les nombres d'ouverture disponible au niveau de l'objectif sont 1,8 – 2,8 – 4 – 5,6 – 8 –11 – 16 – 22. Quelle remarque peut-on faire et pourquoi ce choix ?
   b) Les vitesses d'obturation disponible au niveau de l'appareil sont en secondes : 1/1000 – 1/500 – 1/250 – 1/125 – 1/60 – 1/30 – 1/15 – 1/8 – ¼ – ½ – 1 – 2.
   c) Le photographe désire diminuer la profondeur de champ tout en conservant la même exposition à sa photographie. Comment doit-il opérer ?

-II- Macrophotographie

La macrophotographie est la photographie où la taille de l'image est la même que la taille de l'objet photographié.

Un objectif photographique placé dans l'air est constitué de deux lentilles minces L_1 et L_2 de centres optiques O_1 et O_2 séparées de $a = 4{,}6\ cm$. Les distances focales sont $f_1' = 23/3\,cm$ et $f_2' = 23/4\,cm$

1. Déterminer les positions des plans principaux ainsi que la distance focale f' du système.

2. Trouver par construction géométrique les positions des plans principaux et des foyers du système.

3. L'objectif est vissé sur un boîtier. Initialement, le plan focal image coïncide avec le plan du film sensible sur lequel se forme l'image. On désire "macrophotographier" un objet de taille $3{,}5\ cm$ situé à $17{,}6\ cm$ du film photographique.

   a. De quelle quantité et dans quel sens doit-on déplacer l'objectif par rapport au boîtier pour réaliser la mise au point ?

   b. Construction géométrique à la mise au point. Quel est le grandissement ?