M2 genepi

Optique (PHYS 931)

TD 2 – Les lentilles

1 - Focométrie des lentilles

[Utiles pour les TP, les résultats de cet exercice doivent être connus et compris]

On se propose de déterminer expérimentalement la vergence $C = 1/f'$ d'une lentille mince L convergente, de centre optique O, de distance focale f' inconnue, placée dans l'air. Cette lentille donne d'un objet AB une image $A'B'$ nette sur un écran (l'objet et l'écran sont perpendiculaires à l'axe optique).

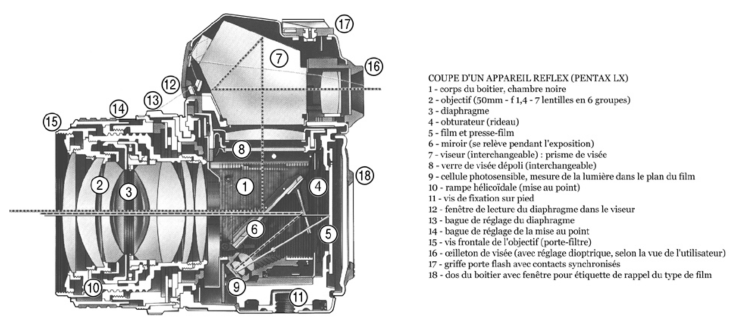
1. On déplace le point objet A sur l'axe, et on note $p = \overline{OA}$. Comment varient la distance objet-image AA', la distance lentille-image p' et le grandissement linéaire $\Gamma = \overline{A'B'}/\overline{AB}$ en fonction de p ? Représenter graphiquement ces trois quantités en fonction de p. Identifier les zones où l'image est réelle ou virtuelle. Quel est le signe de γ pour une image réelle ?

2. Méthode de Bessel : On fixe la distance D_0 entre l'objet A et l'écran. En déplaçant la lentille, on obtient deux positions L_1 et L_2, séparées par une distance d, pour lesquelles une image nette se forme sur l'écran. Déterminer la vergence de la lentille et les distances AL_1 et AL_2 en fonction de d. Pour $D_0 = 90$ cm, on obtient $d = 30$ cm. Calculer C. Pour $D_0 = 150$ cm, l'une des images est deux fois plus grande que l'objet. Calculer C.

3. Méthode de Silbermann : pour une position fixée de l'objet, on déplace la lentille et l'écran pour avoir une image de même grandeur que l'objet. On mesure alors une distance objet-image $D_1 = 80$ cm. Calculer C.

2 - Objectif photographique

L'objectif d'un appareil photo est modélisé par une lentille mince convergente de distance focale $f = 58$ mm. Son diaphragme d'ouverture a un diamètre réglable $2R = f/N$, où N, appelé nombre d'ouverture, *peut prendre les valeurs discrètes 2, 4, 5.6, 8 ou 11. La pellicule ayant une structure granulaire, la tache image d'un objet ponctuel a le diamètre d'un grain, soit $a = 30$ μm.*



1. On photographie une tour de hauteur $h = 100$ m située à une distance $D = 2$ km. Calculer la hauteur de l'image obtenue dans le plan image.

2. L'objectif est mis au point sur l'infini, c'est-à-dire qu'on place la pellicule dans le plan focal de la lentille. D'autre part, on ouvre le diaphragme au maximum. On fait l'image d'un point A situé sur l'axe, à la distance D de la lentille. Calculer la distance minimale D_m pour que la pellicule donne une image aussi nette que celle d'un point à l'infini.

3. L'objectif est mis au point sur un objet situé à une distance $p = 2.5$ m de l'objectif. Montrer que tout point objet de l'axe aura une image nette si sa distance à l'objectif est comprise entre deux valeurs p_1 et p_2 qu'on déterminera en fonction des données du problème. Ces valeurs définissent la profondeur de champ.

4. Calculer les profondeurs de champ pour les ouvertures $N = 2$ et $N = 11$. Conclure.

5. L'objectif est mis au point sur un objet situé à 8 m. Ce sujet se déplace perpendiculairement à la vitesse de 9 km/ h. Quel temps de pose maximal peut-on choisir pour que le déplacement du sujet photographié n'altère pas la netteté de la photo ?

3 - Aberrations chromatiques

La face d'entrée d'une lentille mince biconvexe de rayons de courbure $R_1 = 20$ cm et $R_2 = 80$ cm et de diamètre d'ouverture $D = 6$ cm reçoit un faisceau de lumière blanche parallèle à son axe optique. Cette lentille est taillée dans un verre flint très dispersif, dont l'indice n varie avec la longueur d'onde λ selon la loi $n = n_0 + b\lambda$, où $n_0 = 1.657$ et $b = 8.3 \times 10^{-3}$ μm^{-1}. Le pouvoir dispersif est caractérisé par la constringence

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

où n_C, n_D, n_F sont les indices du verre pour les raies de Fraunhofer notées C (rouge, $\lambda_C = 0.656$ μm), D (jaune, $\lambda_D = 0.589$ μm), et F (bleu, $\lambda_F = 0.486$ μm). On notera f_C, f_D et f_F les distances focales correspondant à ces radiations.

1. Calculer la constringence ν et la distance focale moyenne f_D de la lentille.

2. Exprimer en fonction de ν et f_D l'abberation chromatique longitudinale définie par la relation algébrique $A_L = \overline{F_F F_C}$ qui sépare les foyers rouge et bleu. Application numérique.

3. Exprimer en fonction de ν et D l'aberration chromatique transversale A_T définie comme le rayon de la plus petite tache lumineuse interceptée par un écran normal à l'axe optique.

4 - Téléobjectif

Un téléobjectif est constitué de deux lentilles minces coaxiales, l'une L_1 convergente de distance focale $f_1 = 10$ cm et l'autre L_2 divergente de distance focale $f_2 = -4$ cm. Lorsque le téléobjectif est mis au point sur l'infini, son encombrement (distance de la lentille L_1 à la plaque photo) est $D = 19$ cm. On admettra que la distance focale f équivalente à deux lentilles minces de focales f_1 et f_2, écartées d'une distance e est donnée par

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{e}{f_1 f_2}$$

1. Calculer la distance $e = O_1O_2$ entre les centres optiques de L_1 et L_2.

2. Déterminer les positions du foyer objet F et du foyer image F' de ce téléobjectif.

3. Calculer la distance focale f' image. Quel est l'avantage du téléobjectif par rapport à un objectif simple de même focale ? Positionner les points principaux H et H' de ce doublet (les plans principaux qui coupent l'axe du système en H et H' sont les plans de grandissement égal à 1), sachant que $\overline{H'F'} = f'$ et $\overline{HF} = f$.

4. Calculer la dimension de l'image d'une tour très éloignée, de faible taille angulaire apparente $\alpha = 0.03$ rad (tour de 30 m de haut située à 1 km).

5. Entre L_1 et L_2 est disposé un diaphragme circulaire centré en C sur l'axe ($\overline{O_1C} = X = 6.5$ cm) et de diamètre $2R$ variable. Déterminer $2R$ pour chacune des graduations du diaphragme $N = 4$, 5,6, 8, 11 et 16.