

TD IV. Modèles de quelques dispositifs optiques

Exercice IV.1. Étude d'une lunette astronomique ★

Une lunette astronomique est schématisée par deux lentilles minces convergentes de même axe optique noté Δ : un objectif noté L_1 , de centre optique O_1 et de distance focale $f'_1 = \overline{O_1F'_1}$; et un oculaire noté L_2 , de centre optique O_2 et de distance focale $f'_2 = \overline{O_2F'_2}$.

On souhaite observer la planète Mars qui est vue à l'œil nu sous un diamètre apparent α .

- Pour observer la planète avec la lunette, on forme un système afocal.
 - Expliquer** l'adjectif afocal. **En déduire** la position relative des deux lentilles.
 - Réaliser** le schéma de la lunette pour $f'_1 = 5f'_2$. **Dessiner** sur ce schéma la marche à travers la lunette d'un faisceau lumineux non parallèle à l'axe optique formé à partir d'un rayon issu de l'astre. On note l'image intermédiaire $\overline{A'B'}$.
 - On souhaite réaliser une photographie de l'image formée par la lunette. **Déterminer** où placer le capteur CCD.
- On note α' l'angle que forment les rayons émergents extrêmes en sortie de la lunette.
 - Déterminer** si l'image est droite ou renversée.
 - Exprimer** le grossissement G de la lunette en fonction des distances focales images de l'objectif et de l'oculaire.
- On veut augmenter le grossissement de cette lunette et redresser l'image. Pour cela, on interpose entre L_1 et L_2 une lentille convergente L_3 de distance focale image $f'_3 = \overline{O_3F'_3}$. L'oculaire L_2 est déplacé pour avoir de la planète une image nette à l'infini à travers le nouvel ensemble optique.
 - Déterminer** les couples de points que doit conjuguer L_3 pour avoir une image nette à l'infini.
 - Faire** un schéma (on placera O_3 entre F_1 et F_2 et on appellera $A'B'$ la première image intermédiaire et $A''B''$ la seconde image intermédiaire).
 - On appelle γ_3 le grandissement de la lentille L_3 . **En déduire** $\overline{O_3F'_1}$ en fonction de f'_3 et γ_3 .
 - En déduire le nouveau grossissement G' en fonction de G et γ_3 . Comparer G' à G en signe et valeur absolue.

Exercice IV.2. Défauts de l'œil ★★

Dans un premier temps, nous allons caractériser deux défauts connus de l'œil.

- On étudie un œil emmétrope, un œil dont la distance cristallin-rétine $d_{m,e}$ correspond à la distance focale maximale de l'œil f'_{max} . **Donner** la valeur de sa vergence minimale $V_{min,e}$ en fonction de $d_{m,e}$.
- On étudie maintenant un œil amétrope dont la distance cristallin-rétine $d_{m,a}$ est différente de la distance $d_{m,e}$ mais dont les distances focales maximales et minimales sont les mêmes que celles de l'œil emmétrope. **Exprimer** la distance du punctum remotum de l'œil amétrope $\overline{O\overline{A}_{P.R.,a}}$ en fonction de $d_{m,a}$ et $d_{m,e}$.
- Déterminer** où se trouve le P.R. dans le cas d'un œil amétrope trop long. **Déterminer** le défaut de l'œil trop long.
- Déterminer** où se trouve le P.P. dans le cas d'un œil amétrope trop court.
- Exprimer** la différence entre la distance du punctum proximum de l'œil amétrope $\overline{O\overline{A}_{P.P.,a}}$ et celle du punctum proximum de l'œil emmétrope $\overline{O\overline{A}_{P.P.,e}}$ en fonction de $\overline{O\overline{A}_{P.P.,a}}$, $\overline{O\overline{A}_{P.P.,e}}$, $d_{m,e}$ et $d_{m,a}$.
- Déterminer** la position du P.P. de l'œil amétrope en fonction de celui de l'œil emmétrope pour un œil trop long.
- Déterminer** la position du P.P. de l'œil amétrope en fonction de celui de l'œil emmétrope pour un œil trop court. **Déterminer** le défaut de l'œil trop long.

Etudions maintenant comment les corriger.

8. On considère une première lentille L_1 de distance focale image f'_1 et de centre optique O , qui forme d'un objet \overline{AB} une image $\overline{A'B'}$. **Exprimer** la position de l'image $\overline{OA'}$ en fonction de f'_1 et de la position de l'objet \overline{OA} .
9. On accole une deuxième lentille L_2 à la première de sorte que leur centre optique soient confondus. Cette lentille forme une nouvelle image $\overline{A'B'}$ à partir de l'objet $\overline{A'B'}$. **Exprimer** la position de l'image $\overline{OA''}$ en fonction de f'_2 et de la position du nouvel l'objet $\overline{OA'}$.
10. **Exprimer** la position de l'image $\overline{OA''}$ en fonction de f'_1 , f'_2 et de la position de l'objet initial \overline{OA} . **En conclure** une règle d'association des lentilles lorsque celles-ci sont accolées.
11. À partir des réponses de la première partie et de la réponse précédente, **Déterminer** la correction de vergence ΔV à ajouter à la vergence minimale V_{min} de l'oeil amétrope pour que son P.P. soit à $-\infty$. **Déterminer** le signe de cette correction pour un oeil trop long et pour un oeil trop court, ainsi que la nature des lentilles minces permettant de les corriger.
12. Les corrections moyennes sont pour les deux défauts de -3δ et 3δ . **Déterminer** les distances $d_{m,a}$ correspondant.

Exercice IV.3. Le microscope classique ★★★

Adapté du concours CCINP - MPI

Le microscope est modélisé sur la ??, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille L_1 de centre O_1 et de distance focale image $f' = 5\text{ mm}$), et l'autre constituant l'oculaire (lentille L_2 de centre O_2 et de distance focale image $f'_1 = 15\text{ mm}$).

On fixe $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120\text{ mm}$. On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.

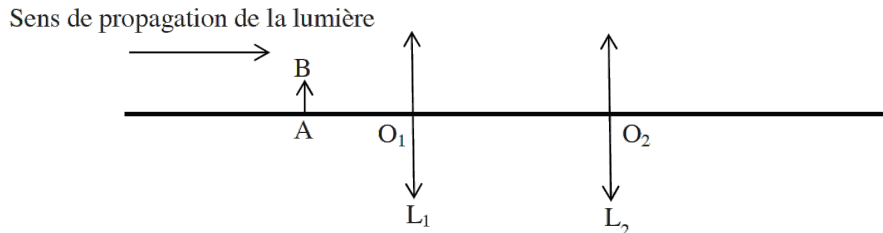


Figure 1.7

1. Si F'_1 est le foyer image de L_1 et F_2 le foyer objet de L_2 , on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique $\Delta = \overline{F'_1F_2}$. Exprimer Δ en fonction de f'_1 , f'_2 , D_0 , puis calculer sa valeur.

Un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance d de L_1 , à sa gauche, de façon à ce que l'image $A'B'$ donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

2. Exprimer d en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.
3. Exprimer le grandissement γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.
4. Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?
5. Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle α' sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.
6. Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance $D = 250\text{ mm}$. L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles. Exprimer G en fonction de Δ , D , f'_1 et f'_2 , puis calculer sa valeur.