

TD 03 : Instruments d'optique

EX 1 – Correction d'un œil hypermétrope

▷ Dans cet exercice, on étudie un œil assimilé à une lentille mince convergente $\mathcal{L}_1$, dont le centre optique O_1 se trouve à une distance constante $d_1 = 17$ mm de la rétine. Cet œil est hypermétrope et donne d'un objet à l'infini une image située 1,5 mm derrière la rétine lorsqu'il est au repos.

- Q 1.** Déterminer la distance focale de cet œil au repos. On la considérera constante dans la suite du problème, l'œil n'accommodant pas.
- Q 2.** L'œil est-il trop ou pas assez convergent ? Corrige-t-on ce défaut en ajoutant des verres de lunettes convergents ou divergents ?
- Q 3.** L'œil est corrigé par un verre de lunettes, assimilé à une lentille mince $\mathcal{L}_2$ de centre optique O_2 et placé à une distance $d_2 = 12$ mm du centre optique O_1 de l'œil réduit. On souhaite que dans ces conditions, l'œil au repos ait une vision nette d'un objet situé à l'infini.
- Rappeler l'endroit où doit se trouver l'image définitive donnée par l'œil corrigé.
 - Quels points caractéristiques du verre et de l'œil doivent être confondus afin de corriger la vision de loin ?
 - Déterminer la distance focale puis la vergence du verre correcteur.

EX 2 – Position du nerf optique de l'œil

▷ Voici quelques consignes à suivre pour mener à bien l'exercice :

- Couvrir l'œil gauche avec une main et regarder fixement la croix avec l'œil droit en plaçant la feuille à environ 50 cm du visage.
- Tout en maintenant l'axe reliant la croix au point noir, horizontal, rapprocher lentement la feuille. Pour une certaine position de la feuille, le point n'est plus visible : l'image du point noir se forme alors sur la position du nerf optique, et cette zone est insensible à la lumière.

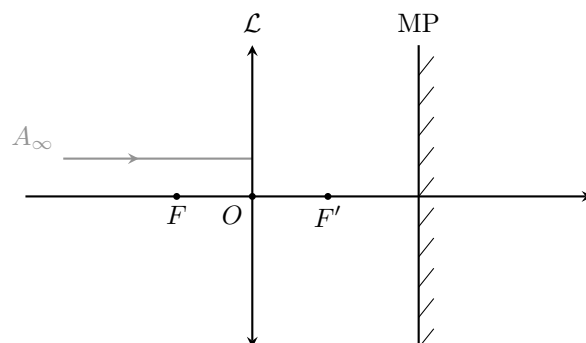


Question : En assimilant la rétine à un plan transverse, calculer la distance séparant le nerf optique de l'axe optique de l'œil. On pourra considérer que le cristallin est situé à 30 mm de la rétine, et les autres grandeurs numériques utiles seront tirés de façon approximative de l'expérience.

EX 3 – Association d'une lentille convergente et d'un miroir plan

▷ On considère un système optique centré constitué d'une lentille convergente de distance focale $\overline{OF'} = f'$ et d'un miroir plan situé à une distance $d > f'$ du centre optique de la lentille O .

- Q 1.** Déterminer l'image I' de A_∞ par le système optique.
- Q 2.** Déterminer l'expression littérale de la distance $\overline{OI'}$ en fonction de f' et d .



EX 4 – Lunette de Galilée

▷ On modélise la lunette de GALILÉE par une association de deux lentilles : une convergente notée $\mathcal{L}_1$ (objectif) et une divergente notée $\mathcal{L}_2$ (oculaire). L'objectif et l'oculaire ont respectivement une distance focale $f'_1 = 1\,330\text{ mm}$ et $f'_2 = -94\text{ mm}$. La lunette de GALILÉE a été conçue pour qu'un œil emmétrype n'accomode pas lorsqu'il est placé derrière l'oculaire. On notera respectivement F'_1, F'_2 les foyers images des lentilles $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2$, et F_1, F_2 les foyers objets des lentilles $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2$.

- Q 1.** Préciser ce que l'extrait "l'œil n'accomode pas" signifie.
- Q 2.** Après avoir redéfini le terme "système optique afocal", indiquer quelle(s) condition(s) le(s) foyer(s) image(s) et/ou objet(s) des lentilles $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ doit/doivent vérifier pour que la lunette de GALILÉE soit afocale.
- Q 3.** Déterminer l'encombrement e de la lunette de GALILÉE qui est la distance entre la lentille $\mathcal{L}_1$ et la lentille $\mathcal{L}_2$.
- Q 4.** La lunette de GALILÉE est-elle plus ou moins encombrante que la lunette de KEPLER constituée de deux lentilles convergentes ?
- Q 5.** Tracer deux rayons lumineux incidents, d'angle d'incidence α par rapport à l'axe optique et poursuivre le tracé de ces rayons dans la lunette et après la lunette, en justifiant les traits de construction.
- Q 6.** On nomme α' l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents. Le grossissement de la lunette de GALILÉE est défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$. Déterminer G en fonction de f'_1 et f'_2 . Faire l'application numérique.
- ▷ GALILÉE a été le premier, grâce à sa lunette astronomique, à pouvoir distinguer les lunes de Jupiter, dont Io. Le centre de Jupiter noté J se situe à une distance $D = 591 \times 10^6\text{ km}$ du centre de la Terre noté T . La lune Io est située sur une orbite de rayon $R_I = 0,422 \times 10^6\text{ km}$ du centre de la planète.
- ▷ On définit le pouvoir séparateur de l'œil comme la capacité à séparer visuellement deux objets distincts. Si deux objets sont vus sous un angle $\theta < \theta_L = 1'$ d'arc, alors ils ne peuvent être séparés et ces deux objets forment une unique tâche floue. Par définition, $1' \text{ d'arc} = \frac{1^\circ}{60}$. Pour un astre dont la luminosité est élevée (on ne précisera pas cette notion ici), le pouvoir de résolution peut être affecté. En ce qui concerne Jupiter, on considérera qu'il vaut $10'$ d'arc.
- Q 7.** On pointe la lunette de GALILÉE dans la direction (TJ) . Déterminer l'angle α que font les rayons issus de Io avec l'axe optique de la lunette. Faire l'application numérique.
- Q 8.** Peut-on distinguer à l'œil nu la lune Io ?
- Q 9.** Expliquer pourquoi GALILÉE a réussi à visualiser Io avec sa lunette astronomique.

EX 5 – Microscope optique

▷ Un microscope optique est modélisé par deux lentilles minces convergentes : l'objectif, placé du côté de l'objet, et l'oculaire, placé du côté de l'observateur. Il est réglé pour donner une image à l'infini d'un objet réel AB , perpendiculaire à l'axe optique, A étant placé sur l'axe, légèrement avant le foyer objet de l'objectif. L'image finale est observée par un œil emmétrype placé au voisinage du foyer image de l'oculaire. On modélise l'objectif par une lentille $\mathcal{L}_1$ convergente de distance focale image f'_1 et l'oculaire par une lentille $\mathcal{L}_2$ convergente de distance focale image f'_2 . La notice constructeur précise également l'intervalle optique $\Delta = \overline{F'_1 F_2} = 16\text{ cm}$.

- Q 1.** Comment placer le foyer principal objet de $\mathcal{L}_2$ pour que l'image finale se forme à l'infini ? Faire un schéma du dispositif. Placer un objet AB en tenant compte du principe de fonctionnement d'un microscope puis tracer la marche de 3 rayons issus de B en faisant bien apparaître l'image intermédiaire $\overline{A_1 B_1}$.
- Q 2.** L'indication portée sur l'oculaire ($\times 10$) est le grossissement commercial G_0 , c'est-à-dire le rapport de l'angle α' sous lequel on voit l'image à l'infini d'un objet à travers l'oculaire seul et l'angle α sous lequel on voit ce même objet (il faut comprendre ici l'image intermédiaire de l'objet observé, qui fait office d'objet pour l'œil situé après l'oculaire) à l'œil nu lorsqu'il est situé à la distance minimale de vision distincte (on prendra $\delta = 25\text{ cm}$). Déterminer f'_2 , la distance focale image de l'oculaire.
- Q 3.** On s'intéresse maintenant à l'objectif seul, modélisé par une lentille $\mathcal{L}_1$ de distance focale image f'_1 . La valeur absolue du grandissement $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1 B_1}}{\overline{AB}}$ de l'objet AB par l'objectif est indiquée à ($\times 40$). Déterminer la distance focale f'_1 de l'objectif.
- Q 4.** Calculer la distance $\overline{O_1 A}$ à laquelle positionner l'objet pour que l'image intermédiaire $\overline{A_1 B_1}$ obtenue par l'objectif donne une image à l'infini.

- Q 5.** Calculer dans ce cas le grossissement commercial du microscope en entier, défini comme étant $G_c = \frac{\alpha'}{\alpha''}$ avec α'' l'angle sous lequel on voit l'objet AB à l'œil nu placé au punctum proximum.
-

EX 6 – Élargissement d'un faisceau LASER

▷ On cherche à élargir un faisceau laser cylindrique de diamètre initial d_0 en un faisceau laser de diamètre d'_0 tel que $d'_0 > d_0$. On dispose pour cela dans un premier temps de deux lentilles convergentes $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ de distances focales respectives f'_1 et f'_2 .

- Q 1.** Proposer un montage afin d'élargir le faisceau laser. Quelle est la condition sur f'_1 et f'_2 pour obtenir le résultat attendu ? Exprimer le diamètre du faisceau élargi d'_0 en fonction de d_0 , f'_1 et f'_2 .
- Q 2.** Exprimer l'encombrement e de ce dispositif exprimé comme sa longueur sur l'axe optique, en fonction de f'_1 , d_0 et d'_0 .
- Q 3.** Proposer un autre dispositif permettant de réduire cet encombrement sans pour autant changer d'_0 . On exprimera le nouvel encombrement e' en fonction des données du problème et on prouvera qu'il est bien inférieur à celui du premier dispositif.