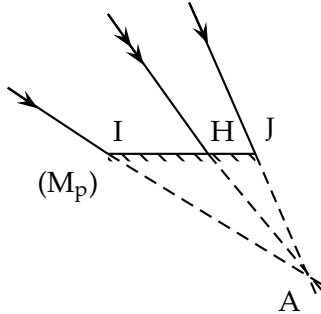


Chapitre 4

Lunette astronomique et télescope

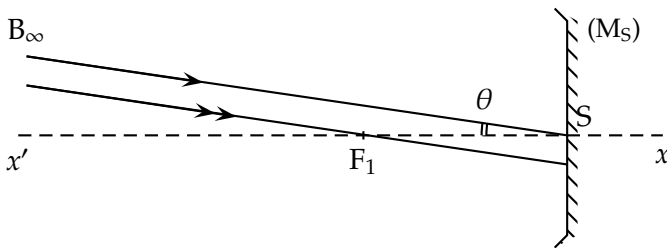
4.1 Propriétés des miroirs

On coupe un faisceau lumineux convergent par un miroir plan (M_p) :



- a. Représenter les rayons réfléchis correspondant aux rayons incidents extrêmes passant par I et J ainsi qu'au rayon intermédiaire passant par H.

On utilise maintenant un miroir sphérique concave (M_s), qui a pour axe optique $x'x$, pour foyer F_1 et pour sommet S :



Un objet B à l'infini émet des rayons inclinés d'un angle θ faible sur l'axe $x'x$.

- b. Tracer ce que deviennent après réflexion sur le miroir les rayons issus de B et passant respectivement par F_1 et S.
c. Préciser sur la figure où se trouve l'image B_1 de B.

4.2 Lunette astronomique

Une lunette astronomique peut être modélisée par un ensemble de deux lentilles convergentes de même axe.

- a. Expliquez comment il faut positionner l'oculaire L_2 par rapport à l'objectif L_1 pour obtenir une lunette afocale.
b. Pour un objet AB à l'infini, construire soigneusement l'image A_1B_1 donnée par l'objectif, puis l'image définitive $A'B'$ formée par l'oculaire. Bien tenir compte sur le schéma que $f_1 > f_2$.
c. Le grossissement d'une lunette afocale est :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Expliquez la signification des angles θ et θ' , et les faire figurer sur le schéma précédent.

- d. Montrez alors que :

$$G = \frac{f_1}{f_2}$$

- e. Discutez de l'intérêt d'avoir $f_1 \gg f_2$.
f. De quoi le cercle oculaire est-il l'image ? Construire cette image sur un beau schéma tout neuf.

4.3 Télescope de Newton

- a. Proposez une modélisation du télescope de Newton. Précisez la nature (concave, convexe ou plan) des miroirs utilisés. On notera d'un indice 1 l'objectif et d'un indice 2 l'oculaire.
b. Pour un objet AB à l'infini, construire soigneusement l'image A_1B_1 donnée par l'objectif, puis l'image A_2B_2 donnée par le miroir secondaire, et enfin définitive $A'B'$ formée par l'oculaire. Bien tenir compte sur le schéma que $f_1 > f_2$.
c. Le grossissement d'un télescope afocal est :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Expliquez la signification des angles θ et θ' , et les faire figurer sur le schéma précédent.

- d. Montrez alors que :

$$G = \frac{f_1}{f_2}$$

- e. Discutez de l'intérêt d'avoir $f_1 \gg f_2$.
f. De quoi le cercle oculaire est-il l'image ? Construire cette image sur un beau schéma tout neuf.

4.4 Le télescope, collecteur de lumière

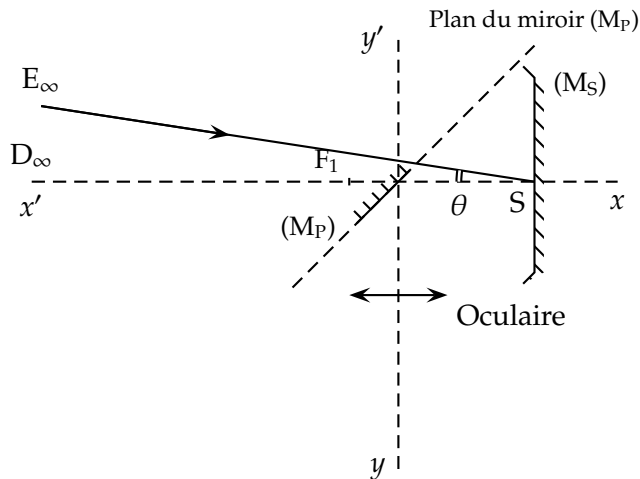
Un astronome observe le ciel à l'aide d'un télescope dont le miroir principal a un diamètre de 10 cm. Le dispositif qui maintient en place le miroir secondaire a un diamètre de 2,5 cm.

- a. Calculez la surface par laquelle la lumière pénètre dans le télescope.
b. Le grossissement utilisé est tel que le diamètre du cercle oculaire est inférieur à celui de la pupille, de diamètre estimé à 6 mm : toute la lumière rentre dans l'œil.
Montrez que l'astronome reçoit à chaque instant environ 250 fois plus de lumière lorsqu'il observe une étoile à travers le télescope en plaçant l'œil au niveau du cercle oculaire.
c. Expliquez pourquoi il peut observer, avec son télescope, des étoiles invisibles à l'œil nu.
d. Pourquoi est-il formellement interdit d'observer directement le Soleil, même avec les meilleurs filtres disponibles ?

4.5 Observation de la Lune

Un astronome observe la Lune avec un télescope de Newton. Le télescope est formé principalement :

- d'un miroir sphérique ou objectif (M_S) de distance focale $F_1S = f_1$.
- d'un petit miroir plan (M_P) incliné à 45° par rapport à l'axe optique du miroir principal et placé entre celui-ci et son foyer, les surfaces réfléchissantes des deux miroirs étant face à face.
- d'un oculaire d'axe $y'y$ perpendiculaire à $x'x$, assimilable à une lentille convergente de distance focale f'_2 .



L'astronome oriente l'axe du télescope vers le centre de la Lune D supposé situé à une distance infinie et veut observer un détail ponctuel E à la surface du sol lunaire. Les rayons issus de E font l'angle θ faible avec l'axe optique.

Le miroir principal (M_S) donne de D et E les images respectives D_1 et E_1 .

D_1E_1 sert d'objet pour le miroir plan (M_P) qui en donne une image D_2E_2 .

D_2E_2 sert d'objet pour l'oculaire qui en donne l'image définitive D_3E_3 .

- Tracer les rayons lumineux permettant d'obtenir l'image D_1E_1 . Préciser la position de D_2E_2 et comparer les dimensions de D_1E_1 et D_2E_2 .
- L'astronome, dont la vue est supposée normale, règle l'oculaire de telle façon que D_2E_2 soit dans le plan focal objet de l'oculaire.

Où l'image définitive D_3E_3 se trouve-t-elle ? Tracer les rayons lumineux à la sortie de l'oculaire et indiquer l'angle θ' sous lequel l'astronome voit DE dans le télescope.

Pourquoi ce réglage de l'appareil est-il adopté ?

4.6 Lunette de Scheiner

La première lunette fut réalisée par l'opticien hollandais LIPPERSHEY en 1608. Elle possédait un objectif convergent, mais un oculaire divergent. C'est avec une lunette de ce type que GALILÉE a découvert, en 1610, les satellites de Jupiter et les phases de Vénus. Quelques

idiots s'effrayèrent de l'utilisation comme lunette terrestre, puisqu'un tel instrument permet d'observer des personnes lointaines à leur insu, ce qui peut apparaître comme un privilège divin. Le Pape avait cependant réussi à protéger son ami GALILÉE contre ces premières attaques obscurantistes.

La première véritable lunette astronomique, avec oculaire convergent, fut imaginée par KEPLER et réalisée par SCHEINER en 1630. On peut réaliser une telle lunette avec un tube rigide, comportant à ses deux extrémités deux lentilles convergentes de 3,0 cm de diamètre et de distances focales $f'_1 = 40$ cm et $f'_2 = 10$ cm.

- Quelle lentille faut-il utiliser comme objectif ? Justifier.
- Indiquez la longueur qu'il faut donner au tube pour obtenir une lunette afocale. Quel est l'avantage d'un tel montage pour les observations astronomiques ?
- Calculez la position et le diamètre du cercle oculaire. En déduire si la lunette est bien adaptée à une observation à l'œil nu, dont la pupille a un diamètre maximum de 8 mm dans l'obscurité.

4.7 Grande lunette de Meudon

La grande lunette de l'observatoire de Meudon (banlieue parisienne) a un objectif de 83 cm de diamètre et de 16,2 m de distance focale.

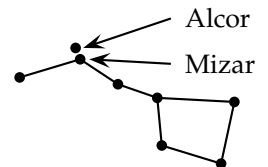
À cause du phénomène de diffraction, l'image d'un point dans un instrument optique est une tache circulaire d'autant plus grande que le diamètre de l'objectif est petit. Si on utilise un grossissement trop fort, ces taches deviennent visibles et l'image est floue. On montre que le grossissement maximal utilisable est égal à 2,5 fois le diamètre de l'objectif exprimé en mm.

Calculer le grossissement maximal de la grande lunette de Meudon.

4.8 Étoiles doubles

Deux étoiles doubles sont vues séparées par l'œil si la distance angulaire qui les sépare est supérieure à $3,0 \cdot 10^{-4}$ rad.

Alcor et Mizar, dans la constellation de la Grande Ourse, constituent un couple d'étoiles doubles visibles à l'œil nu.



Mais Mizar elle-même est une étoile double invisible à l'œil nu car les deux composantes sont trop proches l'une de l'autre : elles ne sont distantes que de $14,5''$ (avec $1''$ d'arc qui vaut $1/3600^\circ$). Cette étoile double a été découverte par GALILÉE en 1620.

- Exprimer en radian la distance angulaire entre les deux composantes de l'étoile.
- En déduire le grossissement minimal de la lunette qui a permis à GALILÉE d'observer cette étoile double.
- Peut-on la voir en construisant une lunette à l'aide de deux lentilles de 20δ et 5δ de vergence ?

Corrigé 4

Lunette astronomique et télescope

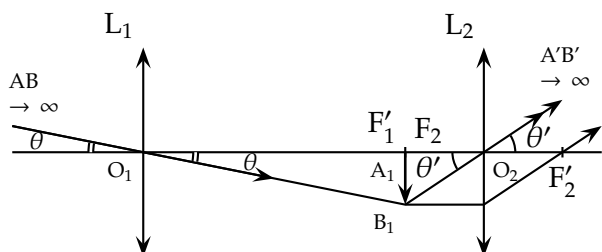
4.1 Propriétés des miroirs

4.2 Lunette astronomique

- a. Pour obtenir une lunette afocale, il faut que le foyer image F'_1 de l'oculaire L_1 soit confondu avec le foyer objet F_2 de l'objectif L_2 . Il faut donc que les centres des lentilles soient séparés par une distance :

$$O_1O_2 = f'_1 + f'_2$$

- b. L'objet AB étant à l'infini, un seul rayon, issu de B , passant par le centre O_1 de l'objectif L_1 , permet de construire l'image intermédiaire A_1B_1 placée dans le plan focal image de L_1 .



- c. θ est le diamètre apparent de l'étoile, angle sous lequel on voit AB à l'œil nu. C'est l'angle des rayons rentrant par l'objectif dans la lunette, en provenance de B (le point A étant supposé sur l'axe optique). θ' est l'angle sous lequel on voit l'image $A'B'$ à la sortie de l'oculaire. C'est l'angle des rayons sortant de la lunette par l'oculaire, dirigés vers B' (le point A' étant supposé sur l'axe optique).

- d. Dans le triangle $O_1B_1A_1$, rectangle en A_1 :

$$\theta \simeq \tan \theta = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f'_1}$$

Dans le triangle $A_1B_1O_2$, rectangle en A_1 :

$$\theta' \simeq \tan \theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

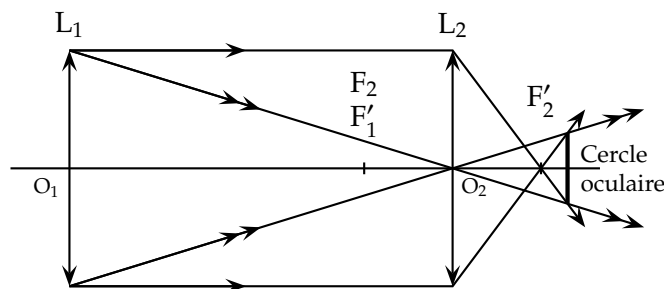
En reportant ces formules dans la définition du grossissement :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1}$$

$$\Rightarrow G = \frac{f'_1}{f'_2}$$

- e. Si f'_1 est très grand devant f'_2 , le grossissement G sera élevé.

- f. Le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif.



4.3 Télescope de Newton

4.4 Le télescope, collecteur de lumière

- a. Différence des surfaces de l'objectif (rayon R) et du miroir secondaire (rayon r) :

$$\pi R^2 - \pi r^2 = 3,14 \times (5^2 - 1,25^2) \simeq 74 \text{ cm}^2$$

- b. Surface de la pupille (rayon a) :

$$\pi a^2 = 3,14 \times 0,3^2 \simeq 0,28 \text{ cm}^2$$

Rapport des surfaces :

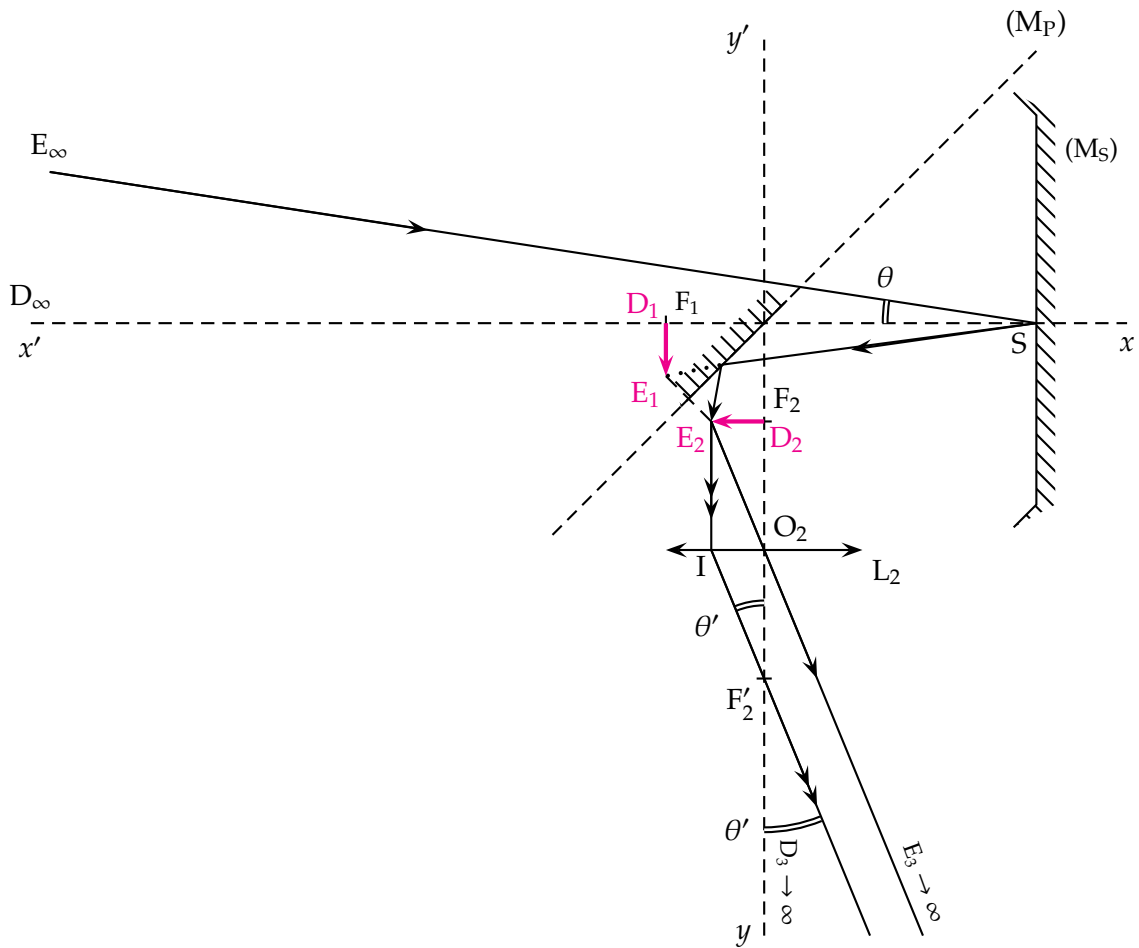
$$\frac{74}{0,28} \simeq 264$$

Il rentre donc plus de 250 fois plus de lumière dans l'œil de l'astronome !

- c. Les étoiles invisibles à l'œil n'ont pas un éclat suffisant. Le télescope permet d'observer des étoiles de *magnitude* plus faible.
- d. Le Soleil est impossible à observer à l'œil nu, car même avec la pupille fermée au maximum (diamètre de l'ordre du millimètre), la quantité de lumière pénétrant dans l'œil est déjà trop forte. Avec un télescope, c'est pire !

4.5 Observation de la Lune

- a. D_1E_1 renversée, dans le plan focal F_1 du miroir. D_2E_2 est l'image de D_1E_1 par symétrie par rapport au plan du miroir M_P : elles sont de même taille, et les distances D_1 -centre du miroir M_P et D_2 -centre du miroir M_P sont égales.
- b. L'image D_3E_3 se trouve à l'infini. Avec un tel réglage, le télescope est dit afocal, on observe à travers l'oculaire à l'œil nu sans accommoder (D_3E_3 au *Punctum Remotum PR*), ce qui est moins fatigant.



4.6 Lunette de Scheiner

- a. On sait que le grossissement d'une lunette afocale est donné par :

$$G = \frac{f'_{\text{objectif}}}{f'_{\text{oculaire}}}$$

On aura donc intérêt à choisir un objectif de grande distance focale, soit la lentille 1, et un oculaire de faible distance focale, soit la lentille 2.

- b. Le tube devra avoir $O_1O_2 = f'_1 + f'_2 = 50$ cm de longueur, pour qu'un objet à l'infini donne une image à l'infini, observable sans accommoder à l'œil nu.
 c. Position de l'objectif, noté d'un indice o, objet pour l'oculaire L_2 :

$$\overline{O_2A_o} = -50 \text{ cm}$$

Formule de conjugaison pour L_2 , avec l'indice c pour cercle oculaire :

$$\frac{1}{\overline{O_2A_c}} - \frac{1}{\overline{O_2A_o}} = \frac{1}{\overline{O_2F'_2}}$$

$$\Leftrightarrow \overline{O_2A_c} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{O_2A_o}} + \frac{1}{\overline{O_2F'_2}}}$$

$$\Rightarrow \overline{O_2A_c} = \frac{1}{\frac{1}{-50} + \frac{1}{10}} = 12,5 \text{ cm}$$

Le cercle oculaire est à 12,5 cm de l'oculaire. Rayon A_cB_c , via le grossissement γ_2 :

$$\gamma_2 = \frac{\overline{O_2A_c}}{\overline{O_2A_o}} = \frac{\overline{A_cB_c}}{\overline{A_oB_o}}$$

$$\Rightarrow \overline{A_cB_c} = \overline{A_oB_o} \cdot \frac{\overline{O_2A_c}}{\overline{O_2A_o}}$$

Application numérique :

$$D = 2|\overline{A_cB_c}| = \left| 3,0 \times \frac{12,5}{50,0} \right| = 0,75 \text{ cm}$$

Le diamètre, de 7,5 mm, est bien inférieur au maximum de 8 mm pour la pupille. On veillera cependant à s'accoutumer à l'obscurité pendant une demi-heure.

4.7 Grande lunette de Meudon

Le grossissement maximal vaut $G_{\text{max}} = 830 \times 2,5 = 2075$. Calculons au passage la distance focale minimal de l'oculaire utilisable :

$$G = \frac{f'_{\text{ob}}}{f'_{\text{oc}}} \Rightarrow f'_{\text{oc}, \text{min}} = \frac{f'_{\text{ob}}}{G_{\text{max}}}$$

$$\Rightarrow f'_{\text{oc}, \text{min}} = \frac{16,2}{2075} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Donc 7,8 mm au minimum pour l'oculaire.

En fait, la lunette de Meudon est désormais grandement limitée par la pollution lumineuse du ciel parisien.

4.8 Étoiles doubles