Correction des exercices du chapitre 5 :

Attention les corrections ne sont pas toujours rédigées correctement.
Les solutions rédigées sont faites en classe ou dans le livre avec les exercices résolus p 394-395

QCM

p. 393

1. A ; **2.** C ; **3.** A ; **4.** B ; **5.** A ; **6.** A ; **7.** B ; **8.** A ; **9.** B ; **10.** A ; **11.** A.

Exercices — Appliquer le cours

p. 396

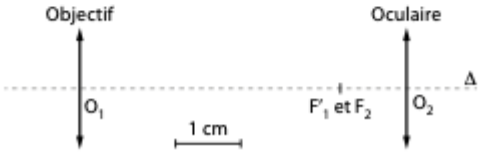
2 Reconnaître la schématisation d'une lunette afocale

C'est la configuration (a) : les foyers image F'_1 de l'objectif et objet F_2 de l'oculaire sont confondus et la lumière traverse l'objectif puis l'oculaire, ce qui n'est pas le cas dans la configuration (c).

3 Schématiser une lunette afocale

1. Une lunette astronomique afocale est constituée de deux lentilles minces convergentes, l'objectif et l'oculaire. Les deux lentilles ont le même axe optique. La distance focale de l'objectif est supérieure à la distance focale de l'oculaire. Le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

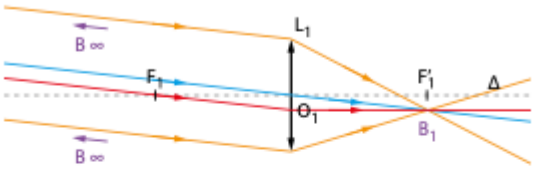
2.



4 Identifier un faisceau lumineux

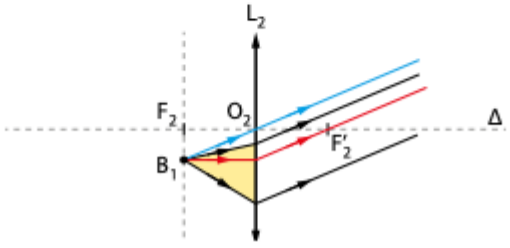
1. C'est la configuration (b) : l'objectif reçoit un faisceau parallèle issu d'un objet situé à l'infini.

2. Construction :

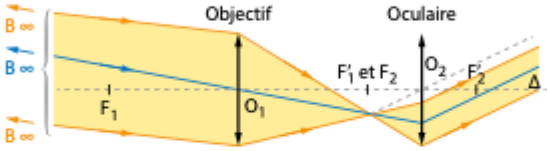


5 Représenter un faisceau lumineux émergent

On trace d'abord le rayon lumineux (B_1O_2) qui n'est pas dévié par la lentille. Ensuite, on trace le rayon passant par B_1 et parallèle à l'axe optique qui converge vers F'_2. Ces deux rayons émergents sont parallèles, ils donnent la direction du faisceau émergent. On complète alors le tracé des rayons donnés par l'énoncé.



6 Représenter le faisceau émergeant d'une lunette afocale



7 Connaître quelques caractéristiques d'un faisceau lumineux

(a) Affirmation correcte.

(b) Affirmation correcte.

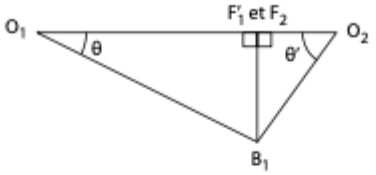
(c) Le point B_1 se situe dans le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer **objet** de la lentille modélisant l'oculaire de la lunette ce qui revient aussi à dire que le point B_1 se situe dans le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image de la lentille modélisant l'objectif.

(d) Le faisceau émergeant de l'oculaire est toujours un **faisceau parallèle**.

8 Côté maths — Manipuler une tangente

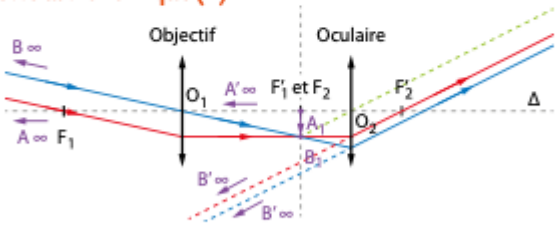
1. D'après le schéma, $\tan\theta = \dfrac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$.

2. a. En appliquant la définition de θ' donnée dans l'énoncé :



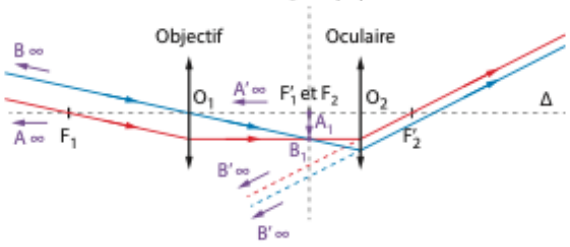
b. Il faut que l'angle θ' soit petit et exprimé en radian (inférieur à 0,3 rad, soit 17°).

9 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (1)



10 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (2)

1. et **2. a.** Construction de l'image A_1B_1 :



b. L'oculaire donne une image A'B' rejetée à l'infini.

11 Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale

1. Dans le triangle $O_1A_1B_1$, l'angle $\widehat{A_1O_1B_1}$ est opposé par le sommet à l'angle θ et vaut donc θ.
Le point A_1 est placé sur le foyer image de l'objectif et donc $O_1A_1 = O_1F'_1$.
Le triangle $O_1A_1B_1$ est rectangle en A_1 et on a bien :

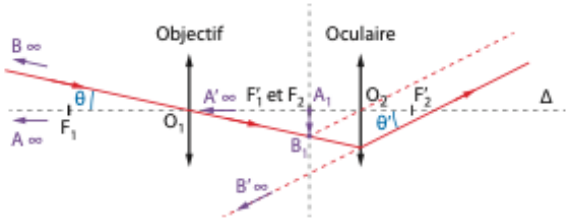
$$\tan\theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}.$$

2. La lunette est afocale de sorte que le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif :
$O_2F'_1 = O_2F_2 = O_2A_1$.
Dans le triangle $O_2A_1B_1$ rectangle en A_1, l'angle $\widehat{A_1O_2B_1}$ est égal à θ' (angles correspondants).
On a donc : $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2F'_1} = \frac{A_1B_1}{O_2F_2}$.

3. $\frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{O_1F'_1}{O_2F_2} = \frac{f'_1}{f'_2}$; les angles sont petits, on peut confondre la mesure de tan θ avec celle de θ. D'où : $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_1}{f'_2}$.

12 Définir le grossissement

1.



2. Le grossissement de cette lunette est $G = \frac{\theta'}{\theta}$.

13 Connaître les caractéristiques d'une lunette commerciale

1. Les indications sont le diamètre de l'objectif *D* et la distance focale de l'objectif f'_1.
2. *D* et f'_1 sont données en mm.

14 Exploiter les caractéristiques d'une lunette commerciale (2)

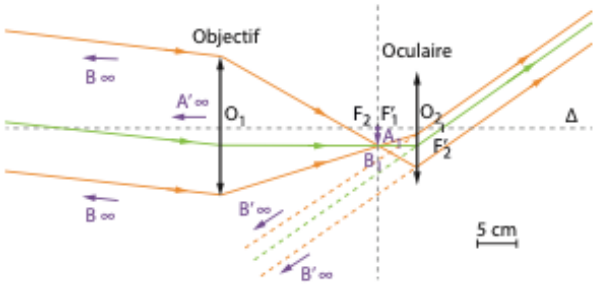
1. Le deuxième nombre indiqué correspond à la distance focale, en millimètre, de l'objectif de la lunette commerciale. On a $f' = 900$ mm.
2. Le premier nombre indiqué correspond au diamètre, en millimètre, de l'objectif de la lunette commerciale.
On a $D = 70$ mm.

Exercices — S'entraîner

p. 398

15 Trajet d'un faisceau lumineux

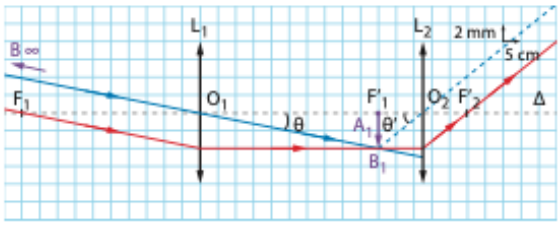
1. La distance focale de l'objectif devrait être 4 cm sur le schéma (20 cm à taille réelle) et celle de l'oculaire 1 cm (5 cm à taille réelle).



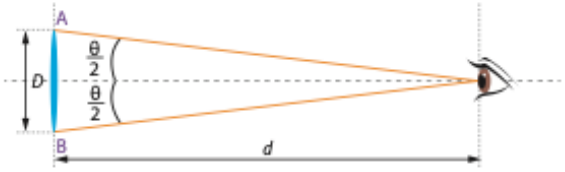
2. Le point objet B est à l'infini.
3. a. L'image intermédiaire B_1 se trouve dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image F'_1, à l'intersection de ce plan avec le rayon émergeant de l'objectif.
b. L'expression « plan focal » signifie que ce plan perpendiculaire à l'axe optique contient le foyer objet de l'oculaire et image de l'objectif.
4. Voir figure.
5. a. et **b.** L'image B' est rejetée à l'infini, dans l'espace objet de l'oculaire. Les rayons qui émergent de l'oculaire sont parallèles entre eux.
c. Voir figure.

16 Connaître les critères de réussite — Une lunette au laboratoire

1. Les rayons issus de B ∞ sont parallèles.



2. On a : $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}$; on relève $A_1B_1 = 4$ mm (on compte 2 divisions et 1 division fait 2 mm). On relève aussi : $O_1F'_1 = 50$ cm.
On en déduit $\tan\theta = 8 \times 10^{-3}$.
Cette tangente étant petite, on l'assimile à l'angle.
L'angle sous lequel on voit la Lune à l'œil nu est $\theta = 8 \times 10^{-3}$ rad, soit environ 0,5 °.
3. Le diamètre apparent de la Lune est l'angle sous lequel on voit la Lune à l'œil nu :

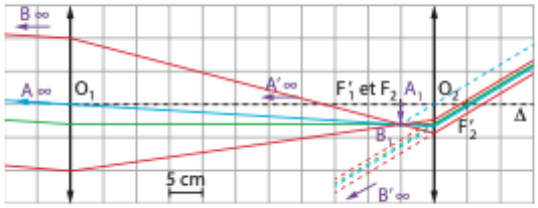


On a : $\frac{D}{2} = d \times \tan\frac{\theta}{2}$; ici $\frac{D}{2} = d \times \frac{\theta}{2}$ (angle θ petit) et donc :
$D = d \times \theta$ d'où l'on tire : $d = \frac{D}{\theta}$.
Par application numérique, avec $D = 3{,}47 \times 10^3$ km et $\theta = 8 \times 10^{-3}$ rad, on trouve que la distance Terre-Lune est :
$d = 4 \times 10^5$ km.

4. $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2A_1} = \dfrac{A_1B_1}{O_2F_1'}$; ici $O_2F_1' = 125$ mm et $A_1B_1 = 4{,}0$ mm ; on calcule alors l'angle sous lequel on voit l'image donnée par la lunette : $\theta' = 3{,}2 \times 10^{-2}$ rad, soit 1,8 °.

17 Construction graphique

1. La lentille de plus grande distance focale (50,0 cm) modélise l'objectif.
L'oculaire a pour distance focale 5,0 cm.
2. 3. et **4.**



18 The Exposition universelle of 1900

Traduction : La lunette astronomique construite par François Deloncle pour l'Exposition universelle de Paris, était la plus grande lunette astronomique jamais construite. Elle avait deux objectifs interchangeables de 1,25 m de diamètre, avec une distance focale de 57 m. En raison de sa taille extrêmement grande, la lunette astronomique était montée dans une position horizontale fixe. Un miroir plan mobile a été utilisé pour rediriger la lumière venant des objets astronomiques dans la lunette astronomique.
Comme la lunette astronomique n'était pas adaptée à un usage scientifique, elle a été démantelée à la fin de l'exposition, mais les deux lentilles sont encore stockées à l'Observatoire de Paris.
Référence : The great Paris Exhibition telescope of 1900 ; F. Launay, *Journal for the History of Astronomy* (ISSN 0021-8286), Vol. 38, Part 4, No. 133, p. 459-475, 2007.

1. À quelle distance focale se réfère le texte ?
2. Quelle est l'image intermédiaire d'un objet situé à l'infini donné par la lunette astronomique ?
3. Quelles sont les caractéristiques de la lunette astronomique ?
4. Quelle donnée manque pour le calcul du grossissement de cette lunette astronomique ?
5. Quel est l'intérêt des données précisées dans le texte ?
6. Pourquoi la lunette astronomique est-elle placée horizontalement ?

Réponses

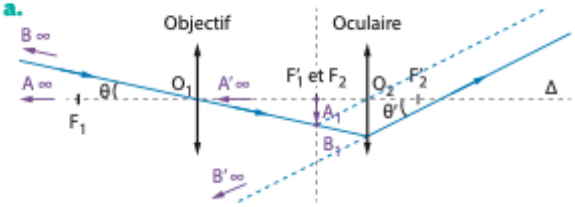
1. Le texte parle de la distance focale de l'objectif.
2. L'image intermédiaire d'un objet situé à l'infini donnée par cette lunette se forme dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image de l'objectif.
3. Les caractéristiques de la lunette sont le diamètre de l'objectif (1,25 m) et la distance focale de l'objectif (57 m).
4. Il manque la distance focale de l'oculaire pour calculer le grossissement de cette lunette lorsqu'elle est en configuration afocale.
5. Plus la distance focale de l'objectif est grande, plus le grossissement est grand.
Plus le diamètre de l'objectif est grand, plus l'image est lumineuse.
6. La lunette était disposée horizontalement car elle était très longue. On peut imaginer qu'elle se serait incurvée si elle avait été dirigée vers le ciel.

19 Une lunette par le calcul

1. a. La lentille L_1 modélise l'objectif.
b. On relève $f_1' = 40$ cm et $f_2' = 10$ cm.
2. a. On relève $x'_1 = 40$ cm.
b. On a : $\dfrac{1}{x_1'} - \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{f_1'}$; or $x \to -\infty$ et donc $x'_1 = f_1'$ soit 40 cm.
3. a. L'image A'B' est rejetée à l'infini.
b. On a $O_2A_1 = O_1O_2 - O_1A_1$, soit 50 cm – 40 cm = 10 cm.
D'où : $x_2 = -f_2' = -10$ cm et $\dfrac{1}{x_2'} - \dfrac{1}{x_2} = \dfrac{1}{f_2'}$; on en déduit que $x'_2 \to -\infty$.

20 L'étoile Albiréo

1. 1 degré d'arc = 3 600 secondes d'arc
360 ° d'arc = 2π radians.
$\theta = \dfrac{1^\circ \times 34 \text{ s} \times 2\pi \text{ rad}}{3\,600 \text{ s} \times 360^\circ} = 1{,}6 \times 10^{-4}$ rad
2. a.



La lunette est afocale de sorte que le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F_1' de l'objectif : $O_2F_1' = O_2F_2 = O_2A_1$.
Dans le triangle $O_2A_1B_1$ rectangle en A_1, l'angle $\widehat{A_1O_2B_1}$ est égal à θ' (angles correspondants).
On a donc : $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2A_1} = \dfrac{A_1B_1}{O_2F_2}$.
De même, $\tan\theta = \dfrac{A_1B_1}{O_1F_1'}$.
Si les angles sont petits, on peut confondre la tangente et l'angle.
Donc $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \dfrac{O_1F_1'}{O_2F_2} = \dfrac{f_1'}{f_2'}$.
b. Le grossissement maximal est obtenu avec l'oculaire de plus petite distance focale.
On a alors : $G = \dfrac{f'_1}{f'_2} = \dfrac{700 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 70$.
3. $\theta' = G \times \theta = 70 \times 1{,}6 \times 10^{-4}$ rad
$\theta' = 1{,}1 \times 10^{-2}$ rad.
4. Cet angle est supérieur au pouvoir séparateur de l'œil humain. Les deux étoiles sont vues séparément à travers cette lunette.

21 Résolution de problème
Victor Hugo et François Arago

Construire les étapes de résolution d'un problème :

1re étape : S'approprier la question posée
Quelle est la relation entre angle et distance ?

2e étape : Lire et comprendre les documents
1. Le doc. A donne les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.
2. Le doc. B permet de relier les angles et les distances.

3e étape : Dégager la problématique
Le grossissement de la lunette astronomique permet-il d'observer la Lune comme si on était seulement à deux cent vingt-cinq lieues d'elle et pas à quatre-vingt-dix mille lieues ?

4e étape : Construire la réponse
1. Calculer le grossissement de la lunette.
2. Calculer le rapport des distances à l'aide du doc. B.
3. Vérifier si l'affirmation d'Arago est exacte.

5e étape : Répondre
• **Présenter le contexte et introduire la problématique.**
On cherche à déterminer si la lunette astronomique permet d'observer la Lune comme si on était seulement à deux cent vingt-cinq lieues d'elle.
• **Mettre en forme la réponse.**
• Calcul du grossissement G de la lunette en configuration afocale :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{6{,}0 \text{ m}}{1{,}5 \times 10^{-2} \text{ m}} = 400.$$

Donc $\frac{\theta'}{\theta} = 400$.

D'après le doc. B, $\frac{\theta'}{\theta} = \frac{d}{d'}$. Or, $\frac{\theta'}{\theta} = 400$ d'où $\frac{d}{d'} = 400$ où d est la distance réelle Terre-Lune, d' est la distance à laquelle on a l'impression d'être par rapport à la Lune.

• Calculons la distance d' si $d = 90\,000$ lieues.

$d' = \frac{d}{400} = \frac{90\,000 \text{ lieues}}{400} = 225$ lieues.

L'affirmation de F. Arago est donc exacte.

22 Pouvoir de résolution d'une lunette astronomique

1. $\beta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$;

soit $\beta = 1{,}22 \times \frac{485 \times 10^{-9} \text{ m}}{0{,}100 \text{ m}} = 5{,}92 \times 10^{-6}$ rad.

2. Calculons l'angle α en radian sous lequel sont vues les deux étoiles d'Achird.

$\alpha = 2{,}8 \times 10^{-3°}$;

soit $\alpha = 2{,}8 \times 10^{-3°} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{360°} = 4{,}9 \times 10^{-5}$ rad.

Cet angle α étant supérieur à la résolution β de la lunette, le phénomène de diffraction n'empêchera pas l'observation d'Achird.

3. Le grossissement de la lunette astronomique est par définition $G = \frac{\theta'}{\theta}$.

θ' est l'angle sous lequel l'image est vue par l'œil à travers la lunette soit, au minimum, $\theta' = \varepsilon$ et dans ce cas, $\theta = \beta$.

$G = \frac{\varepsilon}{\beta} = \frac{3{,}0 \times 10^{-4} \text{ rad}}{5{,}92 \times 10^{-6} \text{ rad}} = 51$.

4. a. Pour le cas où $\theta = \alpha$, on a $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{\alpha}$.

Donc $\theta' = G \times \alpha$; soit $\theta = 51 \times 4{,}9 \times 10^{-5}$ rad $= 2{,}5 \times 10^{-3}$ rad.

b. L'angle sous lequel est vue l'étoile double Achird est supérieur au pouvoir séparateur de l'œil. Donc les deux étoiles d'Achird seront vues séparément.

23 Lunette astronomique et luminosité

1. La quantité de lumière captée Φ est proportionnelle à la surface S de l'objectif qui est un disque.

$S = \pi \times \frac{D^2}{4}$. Donc $\Phi_1 = k \times \pi \times \frac{D_1^2}{4}$ et $\Phi_2 = k \times \pi \times \frac{D_2^2}{4}$.

Donc $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$; avec $D_1 = 100$ mm et $D_2 = 120$ mm, on obtient : $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = 1{,}44$.

Avec $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$, on a un écart relatif (en %) qui vaut :

$100 \times \frac{\Delta\Phi}{\Phi_1}$ ou $100 \times \frac{(1{,}44 - 1)}{1}$ soit 44 %.

Donc on gagne bien 44 % de luminosité !

2. Un diamètre d'objectif plus grand permet de collecter davantage de lumière. Plus on collecte de lumière issue de l'astre, plus l'image observée gagne en luminosité et en contraste. On distingue alors des détails qui seraient invisibles si peu de lumière était recueillie. Plus le grossissement est important, plus on peut détailler (zoomer en quelque sorte) la structure de l'objet observé.

3. Avec un objectif de grande ouverture, l'image est plus lumineuse et donc mieux contrastée, ce qui permet de voir des détails comme certains satellites de Saturne.

4. Un télescope, à grossissement égal, est moins onéreux qu'une lunette.

Vers le Bac

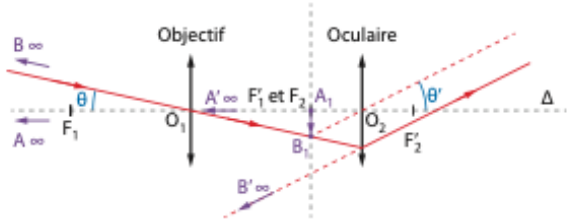
p. 402

Préparation à l'écrit

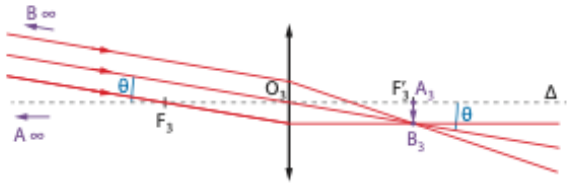
24 Grossissement et œil réduit

1. a. La définition du grossissement d'une lunette astronomique est : $G = \frac{\theta'}{\theta}$.

b.



2. a. et **b.**

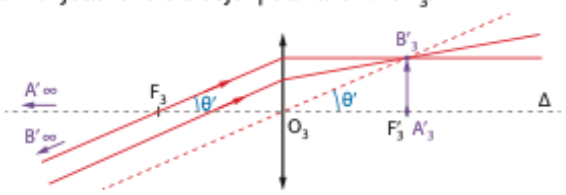


c. On a : $\tan\theta = \frac{A_3B_3}{O_3A_3}$ mais A_3 est confondu avec F'_3 car l'image est dans le plan contenant le foyer image F'_3 et perpendiculaire à l'axe optique.

Donc $\tan\theta = \frac{A_3B_3}{f'_3}$; on obtient : $\theta = 3{,}7°$ ou 0,065 rad ; c'est un petit angle de sorte que l'on peut confondre $\tan\theta$ avec θ (rad).

3. a. A'B' joue le rôle d'objet pour la lentille L_3.

b.



c. On a maintenant $\tan\theta' = \frac{A'_3B'_3}{f'_3}$ et l'on calcule : $\theta' = 36{,}7°$ ou 0,640 rad.

4. On en déduit $G = \frac{0{,}640 \text{ rad}}{0{,}065 \text{ rad}}$ soit $G = 9{,}8$.

5. a. Pour cette lunette afocale :

On a : $\frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{O_1F'_1}{O_2F'_2} = \frac{f'_1}{f'_2}$; si les angles sont petits, $\tan\theta = \theta$.

D'où : $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_1}{f'_2}$.

$G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{50{,}0 \text{ cm}}{5{,}0 \text{ cm}} = 10$.

b. $u(G) = G \times \sqrt{\left(\frac{u(f_1')}{f_1'}\right)^2 + \left(\frac{u(f_2')}{f_2'}\right)^2}$

soit $u(G) = \frac{0{,}640 \text{ rad}}{0{,}065 \text{ rad}} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1 \text{ cm}}{50{,}0 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1 \text{ cm}}{5{,}0 \text{ cm}}\right)^2}$

$u(G) = 0{,}2$.

On a $G = 9{,}8 \pm 0{,}2$.

Remarque : l'application précédente permet de se rendre compte que f_1' est une source d'erreur négligeable devant f_2'.

c. Le grossissement G est compris entre 9,6 et 10. Cela confirme bien la valeur trouvée à la question **5. a**.

25 Et la lumière fut

Partie I

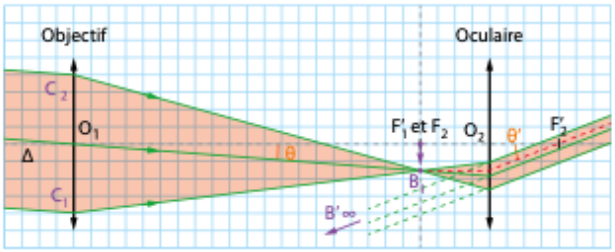
1. et **2. a.** Voir la figure ci-dessous, sans souci d'échelle.

b. Le point B_1 est situé dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image F'_1 de l'objectif.

c. Voir la figure ci-dessous

3. a. L'image définitive B' est rejetée à l'infini.

b. Voir la figure ci-dessous.

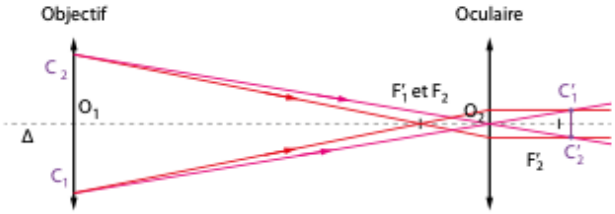


Partie II

Remarque : Pour déterminer graphiquement le cercle oculaire, on trace le rayon issu de C_1 et passant par F_2 ainsi que le rayon issu de C_1 et passant par O_2.

Le point C'_1 image de C_1 est à l'intersection des deux rayons émergeant de la lentille.

On procède de même pour le point C_2. La taille du cercle oculaire est $C'_1C'_2$.



• Calculons la position du cercle oculaire :

Nous recherchons en premier, par rapport à O_2, l'abscisse x'_{C_1} de l'image C'_1 en fonction de l'abscisse x_{C_1} du point C_1.

$\frac{1}{x'_{C_1}} - \frac{1}{x_{C_1}} = \frac{1}{f'_2}$ soit $\frac{1}{x'_{C_1}} = \frac{1}{x_{C_1}} + \frac{1}{f'_2}$.

Le descriptif de la lunette indique 70/800. On a donc $f'_1 = 800$ mm.

De plus, $f'_2 = 20{,}0$ mm.

Donc $|x_{C_1}| = 800 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 820$ mm. Attention, x_{C_1} est négatif.

On a alors : $\frac{1}{x'_{C_1}} = \frac{1}{-820 \text{ mm}} + \frac{1}{20{,}0 \text{ mm}}$; soit $x'_{C_1} = 20{,}5$ mm.

Le grandissement de l'oculaire est : $\gamma = \frac{y'_{C_1}}{y_{C_1}} = \frac{x'_{C_1}}{x_{C_1}}$;

donc : $y'_{C_1} = \frac{x'_{C_1}}{x_{C_1}} \times y_{C_1}$.

Le descriptif de la lunette indique 70/800. Donc le diamètre de l'objectif est égal à 70 mm. On en déduit $O_1C_1 = 35$ mm et donc $y_{C_1} = -35$ mm.

$y'_{C_1} = \frac{20{,}5 \text{ mm}}{-820 \text{ mm}} \times (-35 \text{ mm})$. On obtient $y'_{C_1} = 0{,}90$ mm.

Par symétrie, on détermine la taille du cercle oculaire :

$2 \times 0{,}90 \text{ mm} = 1{,}8$ mm.

La taille du cercle oculaire est bien inférieure au diamètre de la pupille de l'œil qui est environ 7 mm d'après l'image de l'exercice. La condition est bien vérifiée.

Préparation à l'ECE

1. La lentille de plus grande distance focale, ici L_1 ($f'_1 = 50{,}0$ cm), constituera l'objectif.

2. Par construction d'une lunette astronomique afocale, $O_1O_2 = f'_1 + f'_2$.

$O_1O_2 = 62{,}5$ cm.

3. Il faut rechercher avec un écran la position de l'image d'un objet lointain formée par l'objectif. Cette image est à rechercher entre l'objectif et l'oculaire.

4. Pour une lunette astronomique afocale,

$G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{50{,}0 \text{ cm}}{12{,}5 \text{ cm}} = 4{,}00$.

Vers l'oral

p. 404

Je m'exprime à l'oral sur

La lunette astronomique

• **De quoi est composée une lunette astronomique ?**

Une lunette astronomique comporte un objectif situé du côté de l'objet observé et un oculaire situé du côté de l'œil.

• **Quelle est l'expression du grossissement d'une lunette astronomique ?**

Le grossissement G d'une lunette est défini par :

G sans unité → $G = \frac{\theta'}{\theta}$ ← θ' et θ en rad

θ est l'angle sous lequel l'objet est vu à l'œil nu.

θ' est l'angle sous lequel l'image de l'objet est vue à travers la lunette astronomique.

• **Qu'est-ce qu'une lunette afocale ?**

Une lunette est qualifiée d'afocale lorsque le foyer image de son objectif est confondu avec le foyer objet de son oculaire.

© Hachette Livre, 2020 – Guide pédagogique Physique Chimie 1re spécialité