Une lunette d'amateur pour voir des étoiles doubles

Bac 2021 Asie Sujet 2 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 En s'appuyant sur le schéma de l'annexe 2, justifier que la lunette modélisée est bien afocale.

Un objet à l'infini a son image par l'objectif (L_1) dans le plan focal image de celui-ci, donc en F_1' pour un point de l'axe.

Sur le schéma, F_1' est confondu avec le foyer objet F_2 de l'oculaire : cette image intermédiaire est dans le plan focal objet de (L_2), qui en donne donc une image à l'infini.

$A_\infty \xrightarrow{(L_1)} F_1' = F_2 \xrightarrow{(L_2)} A'_\infty$: objet à l'infini, image finale à l'infini, la lunette est afocale.

PIÈGE
Se contenter de réciter la définition. La justification attendue est la lecture du schéma : F_1' et F_2 sont au même point.

2 Exprimer la distance O_1O_2 en fonction des distances focales f_1' et f_2' pour cette lunette afocale.

Les points O_1, $F_1' = F_2$ et O_2 sont alignés dans cet ordre : $O_1O_2 = O_1F_1' + F_2O_2$, avec $O_1F_1' = f_1'$ et $F_2O_2 = f_2'$.

$O_1O_2 = f_1' + f_2'$

3 À l'aide des indications commerciales, montrer que la distance focale de l'objectif de la lunette commerciale est de l'ordre de 55 cm.

Données utiles longueur totale 56 cm ; oculaires de focales 6 mm et 12 mm

On assimile la longueur totale de la lunette à la distance entre les deux lentilles : $O_1O_2 = f_1' + f_2' = 56$ cm, donc $f_1' = O_1O_2 - f_2'$.

Avec l'oculaire $f_2' = 6\text{ mm} = 0{,}6$ cm : $f_1' = 56 - 0{,}6 = 55{,}4$ cm.

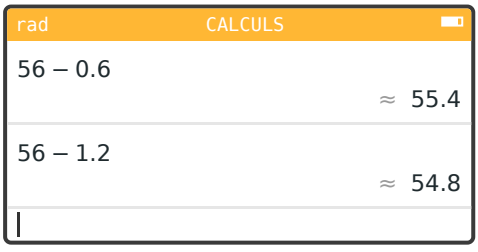
Avec l'oculaire $f_2' = 12\text{ mm} = 1{,}2$ cm : $f_1' = 56 - 1{,}2 = 54{,}8$ cm.

$f_1' \approx 55$ cm dans les deux cas : valeur trouvée conforme à celle attendue.

PIÈGE
Soustraire 6 ou 12 sans convertir les millimètres en centimètres : on trouverait 50 cm ou 44 cm.

COMPRENDRE
La longueur n'est donnée qu'avec deux chiffres significatifs (56 cm) : le résultat s'arrondit à 55 cm, d'où l'expression « de l'ordre de ».

À LA CALCULATRICE



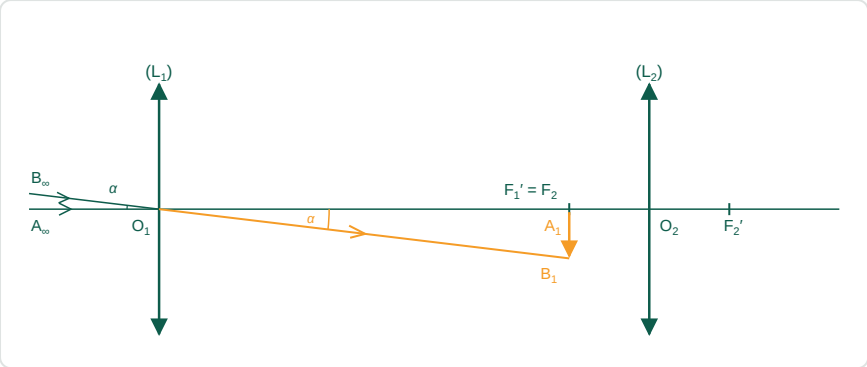
4 Sur le schéma de l'annexe 2, construire l'image A_1B_1 de l'objet $A_\infty B_\infty$ donnée par l'objectif.

L'objet est à l'infini : son image A_1B_1 se forme dans le plan focal image de (L_1). A_∞ est sur l'axe optique, donc A_1 est en F_1'.

Le rayon issu de B_∞ qui passe par le centre optique O_1 n'est pas dévié : on le prolonge jusqu'à la perpendiculaire à l'axe passant par F_1'. Leur intersection est B_1.

A_1B_1 est perpendiculaire à l'axe en $F_1' = F_2$, renversée (voir le schéma).

MÉTHODE
Objet à l'infini : un seul rayon suffit, celui qui passe par le centre optique. L'image est à son intersection avec le plan focal image.



4 · Annexe 2 : construction de l'image intermédiaire A_1B_1 (question 4)

5 Exprimer $\tan\alpha$ en fonction de f_1' et A_1B_1.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1, l'angle en O_1 vaut α (angles opposés par le sommet) ; le côté opposé est A_1B_1 et le côté adjacent $O_1A_1 = O_1F_1' = f_1'$.

$$\tan\alpha = \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

6 Sur le schéma de l'annexe 2, construire la marche d'un rayon lumineux incident issu de B_1 émergent de la lentille (L_2).

Le rayon issu de B_1 qui passe par le centre optique O_2 traverse (L_2) sans être dévié.

Vérification possible avec un second rayon : celui issu de B_1 parallèle à l'axe émerge en passant par F_2'. Comme B_1 est dans le plan focal objet de (L_2), les deux rayons émergents sont parallèles entre eux.

Rayon (B_1O_2) prolongé en ligne droite après (L_2) : voir le schéma complété à la question 7.

COMPRENDRE
Des rayons émergents parallèles signifient que l'image B' est à l'infini : l'œil l'observe sans accommoder, ce qui est le but d'une lunette afocale.

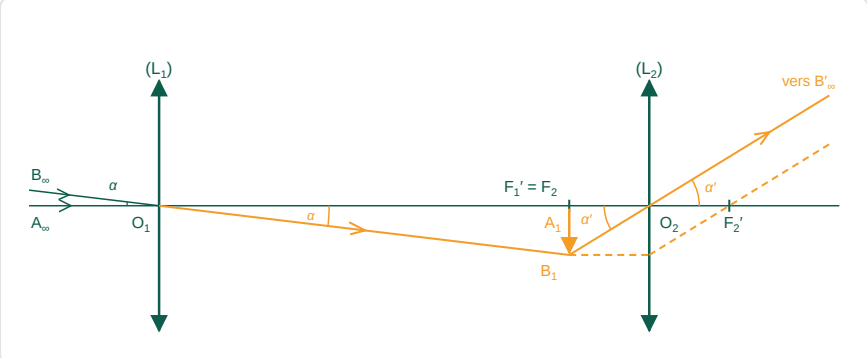
7 Positionner α' sur le schéma et exprimer $\tan\alpha'$ en fonction de f_2' et A_1B_1.

α' est l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents ; on le retrouve en O_2 entre l'axe et le rayon (B_1O_2).

Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 : côté opposé A_1B_1, côté adjacent $A_1O_2 = F_2O_2 = f_2'$.

$$\tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$$

PIÈGE
Placer α' entre les deux rayons émergents ou en F_2' sans le rapporter à l'axe optique : l'angle se mesure toujours par rapport à l'axe.



7 · Annexe 2 complétée : rayons émergents et angle α′ (questions 6 et 7)

8 Rappeler la définition du grossissement G de la lunette et l'exprimer en fonction des distances focales f_1' et f_2'.

Données utiles $\tan\alpha = \dfrac{A_1B_1}{f_1'}$ (Q5) ; $\tan\alpha' = \dfrac{A_1B_1}{f_2'}$ (Q7)

Le grossissement est le rapport de l'angle α' sous lequel on voit l'image à travers la lunette à l'angle α sous lequel on voit l'objet à l'œil nu : $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$.

Les angles sont petits et en radians : $\alpha \approx \tan\alpha = \dfrac{A_1B_1}{f_1'}$ et $\alpha' \approx \tan\alpha' = \dfrac{A_1B_1}{f_2'}$.

$$G = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1}$$

$$\boxed{G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1'}{f_2'}}$$

PIÈGE
Inverser le rapport. Un grossissement de lunette est supérieur à 1 : la grande focale, celle de l'objectif, est au numérateur.

9 Justifier l'intérêt d'utiliser des lentilles telles que $f_2' \ll f_1'$.

Comme $G = \dfrac{f_1'}{f_2'}$, choisir f_2' très petite devant f_1' donne $G \gg 1$.

Un oculaire de courte focale associé à un objectif de grande focale donne un grossissement élevé : l'image est vue sous un angle bien plus grand que l'objet.

10 Discuter de la cohérence de l'indication « Grossissement jusqu'à 100 × » et préciser si d'autres valeurs du grossissement sont possibles pour cette lunette.

Données utiles $f_1' = 55$ cm (Q3) ; oculaires $f_2' = 0{,}6$ cm et $f_2' = 1{,}2$ cm

$G = \dfrac{f_1'}{f_2'}$, les deux focales dans la même unité.

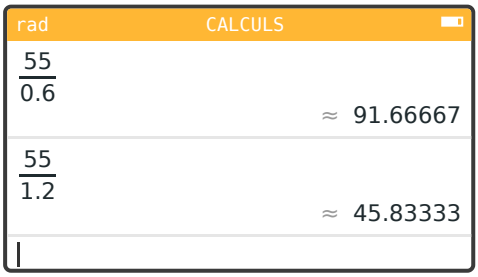
Oculaire de 6 mm : $G = \dfrac{55}{0{,}6} = 92$. Oculaire de 12 mm : $G = \dfrac{55}{1{,}2} = 46$.

Le plus grand grossissement vaut 92, proche de 100 par valeur inférieure : l'indication « jusqu'à 100 × » est cohérente, quoique légèrement arrondie à l'avantage du fabricant.

$G_{\max} \approx 92$ (oculaire de 6 mm), cohérent avec « jusqu'à 100 × » ; l'oculaire de 12 mm donne un autre grossissement, $G \approx 46$.

COMPRENDRE
« Jusqu'à » annonce un maximum : il correspond à l'oculaire de plus courte focale. Changer d'oculaire change le grossissement, l'objectif restant le même.

À LA CALCULATRICE



11 Préciser les oculaires utilisés pour chaque observation et donner un encadrement de l'angle α sous lequel se présentent les deux étoiles à l'œil nu.

Données utiles $\theta = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad ; $G = 92$ et $G = 46$ (Q10)

À travers la lunette, les étoiles sont vues sous l'angle $\alpha' = G\,\alpha$. L'œil les sépare si $\alpha' > \theta$, soit $\alpha > \dfrac{\theta}{G}$.

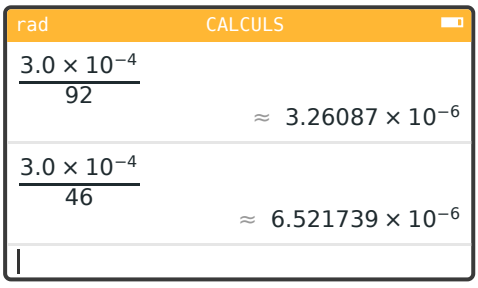
Le grossissement le plus fort sépare le mieux : on voit deux points avec l'oculaire de 6 mm ($G = 92$) et un seul point avec l'oculaire de 12 mm ($G = 46$).

Deux points avec $G = 92$: $\alpha > \dfrac{3{,}0 \times 10^{-4}}{92} = 3{,}3 \times 10^{-6}$ rad.

Un seul point avec $G = 46$: $\alpha < \dfrac{3{,}0 \times 10^{-4}}{46} = 6{,}5 \times 10^{-6}$ rad.

$$3{,}3 \times 10^{-6}\ \text{rad} < \alpha < 6{,}5 \times 10^{-6}\ \text{rad}$$

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE

Les deux bornes sont environ cent fois plus petites que θ : à l'œil nu, ce système apparaît bien comme une seule étoile.

MÉTHODE

Question ouverte : traduire chaque observation en inégalité sur α', puis diviser par G. Chaque oculaire fournit une borne de l'encadrement.