Spécialité : La lunette de Kepler

Bac S 2004 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Compléter le schéma n°1 (échelle 1/2 sur l'axe horizontal) en plaçant l'oculaire (L₂) de façon que son foyer objet F_2 coïncide avec le foyer image F_1' de l'objectif.

Données utiles $f_1' = 250$ mm ; $f_2' = 50$ mm ; échelle horizontale 1/2

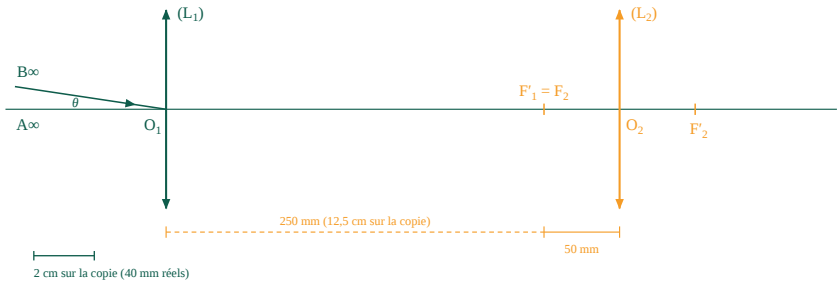
F_1' est à la distance $\overline{O_1F_1'} = f_1' = 250$ mm de O_1, soit 12,5 cm sur le schéma.

F_2 est confondu avec F_1' et $\overline{F_2O_2} = f_2' = 50$ mm : O_2 est 2,5 cm après F_1' sur le schéma, et F_2' encore 2,5 cm plus loin.

$O_1O_2 = f_1' + f_2' = 300$ mm, soit 15,0 cm sur le schéma.

PIÈGE
Oublier l'échelle : une longueur réelle se divise par deux avant d'être reportée. L'oculaire tracé à 30 cm de l'objectif sort de la feuille.

COMPRENDRE
Foyer image de l'objectif et foyer objet de l'oculaire confondus : la lunette est dite afocale. Elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.



1 · Schéma n°1 : position de l'oculaire (L₂)

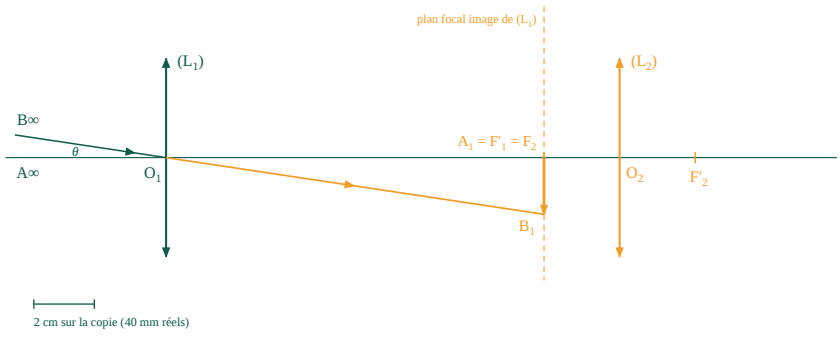
2.1 Construire sur le schéma n°1 l'image A_1B_1 de l'astre donnée par l'objectif (L₁), en justifiant la méthode.

L'astre est à l'infini : son image par (L₁) se forme dans le plan focal image de l'objectif. A est sur l'axe optique, donc A_1 est confondu avec F_1'.

Le rayon issu de B qui passe par le centre optique O_1 n'est pas dévié. On le prolonge : B_1 est son intersection avec le plan focal image, perpendiculaire à l'axe en F_1'.

A_1B_1 est dans le plan focal image de (L₁), avec $A_1 = F_1'$ et B_1 sur le rayon (BO_1) prolongé ; l'image est renversée.

MÉTHODE
Objet à l'infini : un seul rayon suffit, celui qui passe par le centre optique. L'image est là où il coupe le plan focal image.



2.1 · Schéma n°1 : image intermédiaire A₁B₁

2.2 Où se forme l'image définitive A_2B_2 donnée par l'oculaire (L2) ? Justifier.

A_1B_1 joue le rôle d'objet pour l'oculaire. Comme F_2 est confondu avec F'_1, cet objet est dans le plan focal objet de (L2).

Une lentille convergente donne d'un objet situé dans son plan focal objet une image à l'infini. On le retrouve avec la relation de conjugaison, avec $\overline{O_2A_1} = -f'_2$:

$$\frac{1}{\overline{O_2A_2}} = \frac{1}{\overline{O_2A_1}} + \frac{1}{f'_2} = -\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_2} = 0$$

L'image définitive A_2B_2 se forme à l'infini.

COMPRENDRE
Un œil normal voit sans accommoder un objet à l'infini : l'observation à travers la lunette afocale se fait sans fatigue.

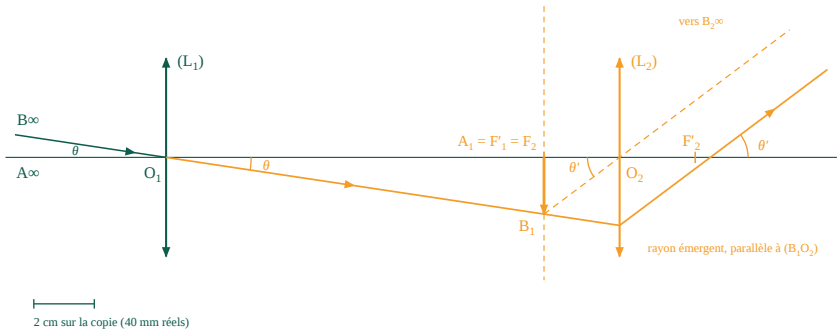
2.3 Tracer le rayon émergeant de la lunette qui correspond au rayon incident issu de B, en justifiant les tracés.

Le rayon incident traverse (L1) sans déviation, passe par B_1 et atteint l'oculaire.

B_1 est dans le plan focal objet de (L2) : tous les rayons issus de B_1 sortent de l'oculaire parallèles entre eux. Parmi eux, celui qui passe par O_2 n'est pas dévié : la droite (B_1O_2), tracée en pointillés, donne leur direction commune.

Le rayon émergent part du point où le rayon incident rencontre (L2) et il est parallèle à la droite (B_1O_2).

PIÈGE
Faire sortir le rayon parallèlement à l'axe optique, ou le faire passer par F'_2 : ce serait vrai pour un rayon passant par F_2 ou parallèle à l'axe, pas ici.



2.3 · Schéma n°1 complété : rayon émergent et angle θ′

2.4 Indiquer θ' sur le schéma n°1, montrer que le grossissement de cette lunette s'écrit $G = \dfrac{f'_1}{f'_2}$, puis calculer sa valeur.

Données utiles $G = \dfrac{\theta'}{\theta}$; $\tan\theta \approx \theta$ pour les petits angles en radians ; $f'_1 = 250$ mm ; $f'_2 = 50$ mm

θ' est l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents, donc entre l'axe et la droite (B_1O_2) : voir le schéma de la question 2.3.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\theta = \dfrac{A_1B_1}{O_1A_1} = \dfrac{A_1B_1}{f'_1}$,

d'où $\theta \approx \dfrac{A_1B_1}{f'_1}$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2A_1} = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$,

d'où $\theta' \approx \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$.

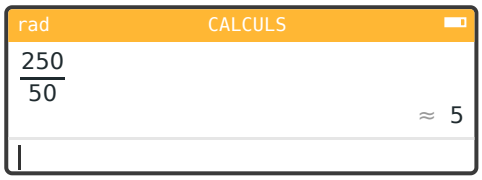
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

$$\boxed{G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{250}{50} = 5{,}0}$$

PIÈGE
Inverser le rapport. L'objectif a la grande distance focale, l'oculaire la petite : G est supérieur à 1.

COMPRENDRE
G est un rapport d'angles, sans unité. Deux chiffres significatifs, comme $f'_2 = 50$ mm. L'astre est vu sous un angle cinq fois plus grand qu'à l'œil nu.

À LA CALCULATRICE



2.5 Déterminer les deux valeurs extrêmes de f'_2 qui donnent des grossissements allant de $\dfrac{N}{7}$ à N.

Données utiles $N = 25$; $f'_1 = 250$ mm ; $G = \dfrac{f'_1}{f'_2}$ (2.4)

De $G = \dfrac{f'_1}{f'_2}$ on tire $f'_2 = \dfrac{f'_1}{G}$.

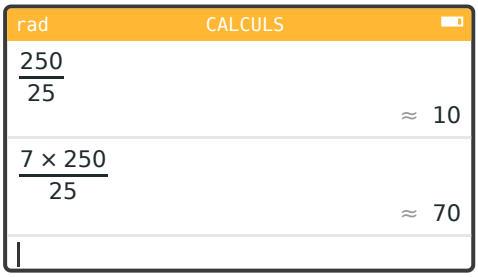
Grossissement maximal $G = N = 25$: $f'_2 = \dfrac{250}{25} = 10$ mm.

Grossissement minimal $G = \dfrac{N}{7}$: $f'_2 = \dfrac{7\,f'_1}{N} = \dfrac{7 \times 250}{25} = 70$ mm.

$$\boxed{10 \text{ mm} \leqslant f'_2 \leqslant 70 \text{ mm}}$$

COMPRENDRE
Plus la distance focale de l'oculaire est courte, plus le grossissement est fort. L'oculaire de 50 mm étudié ($G = 5{,}0$) est bien dans la gamme, côté faibles grossissements.

À LA CALCULATRICE



3.1 Définir le cercle oculaire.

Le cercle oculaire est l'image de l'objectif (de sa monture circulaire) donnée par l'oculaire.

COMPRENDRE
Tout rayon entré dans la lunette a traversé l'objectif : à la sortie, il traverse donc forcément l'image de l'objectif.

3.2 Construire le cercle oculaire sur le schéma n°2. Quel est son intérêt pratique ?

On cherche l'image par (L₂) des deux bords M et N de l'objectif. Pour chacun, on trace deux rayons :

- le rayon passant par O_2, qui n'est pas dévié ;
- le rayon parallèle à l'axe optique, qui émerge de (L₂) en passant par F'_2.

Leurs intersections donnent M' et N' : le segment $M'N'$ est un diamètre du cercle oculaire, situé juste après F'_2.

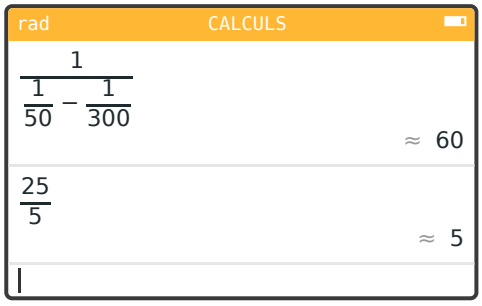
Intérêt : toute la lumière entrée par l'objectif ressort en traversant ce cercle, où le faisceau est le plus étroit.

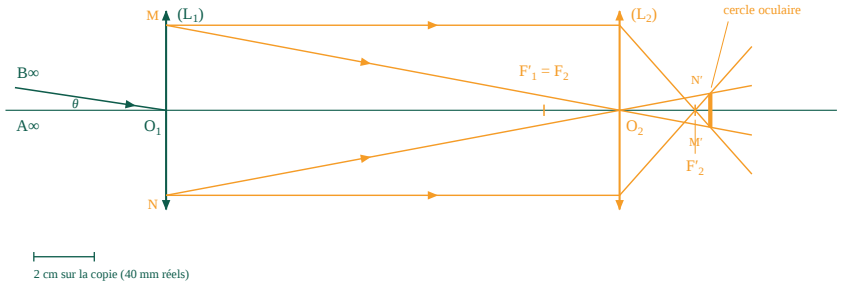
> En plaçant la pupille de l'œil au niveau du cercle oculaire, l'observateur reçoit le maximum de lumière : l'image est la plus lumineuse.

COMPRENDRE

Vérification par le calcul : $\frac{1}{\overline{O_2C}} = \frac{1}{50} - \frac{1}{300}$ donne $\overline{O_2C} = 60$ mm, soit 3,0 cm sur le schéma. Le diamètre vaut $\frac{D}{G} = 5{,}0$ mm, moins qu'une pupille dans l'obscurité.

À LA CALCULATRICE





3.2 · Schéma n°2 complété : construction du cercle oculaire

4.1 L'oculaire est approché de 5 mm vers l'objectif. Déterminer par le calcul la position de l'image définitive A_3B_3.

Données utiles $f'_2 = 50$ mm ; A_1 en F'_1 (2.1) ; déplacement de (L₂) : 5 mm

L'image intermédiaire A_1B_1 n'a pas bougé. Elle était à 50 mm devant l'oculaire ; elle est maintenant à 45 mm : $\overline{O_2A_1} = -45$ mm.

Relation de conjugaison pour (L₂) : $\frac{1}{\overline{O_2A_3}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1}} = \frac{1}{f'_2}$, d'où

$$\overline{O_2A_3} = \frac{f'_2 \times \overline{O_2A_1}}{f'_2 + \overline{O_2A_1}} = \frac{50 \times (-45)}{50 - 45} = -450 \text{ mm}$$

> $\overline{O_2A_3} = -450$ mm : l'image A_3B_3 est virtuelle, à 45 cm en avant de l'oculaire, du côté de l'objectif.

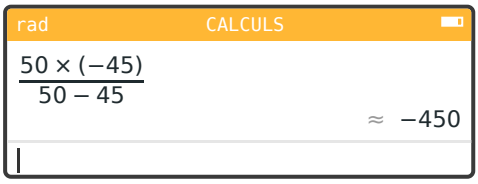
PIÈGE

Les grandeurs sont algébriques : A_1 est avant la lentille, donc $\overline{O_2A_1}$ est négatif. Avec $+45$ mm, on trouve une image réelle à 24 mm, ce qui est faux.

COMPRENDRE

L'objet A_1B_1 est entre le foyer objet et la lentille : l'oculaire fonctionne en loupe. L'image n'est plus à l'infini, l'œil doit accommoder pour la voir.

À LA CALCULATRICE



4.2 Calculer le grandissement γ de l'oculaire dans ce cas.

Données utiles $\overline{O_2A_3} = -450$ mm (4.1) ; $\overline{O_2A_1} = -45$ mm (4.1)

$$\gamma = \frac{\overline{A_3B_3}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{O_2A_3}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{-450}{-45}$$

$\gamma = 10$

COMPRENDRE

$\gamma > 0$: A_3B_3 est dans le même sens que A_1B_1, donc renversée par rapport à l'astre. $|\gamma| > 1$: elle est dix fois plus grande que l'image intermédiaire.

À LA CALCULATRICE

