Spécialité : Visibilité d'une nébuleuse annulaire

Bac S 2010 Asie (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m. Montrer que cette lunette est afocale.

Données utiles $f'_1 = 6{,}80$ m ; $f'_2 = 4{,}0$ cm ; $O_1O_2 = 6{,}84$ m

La lunette est afocale si le foyer image F'_1 de l'objectif coïncide avec le foyer objet F_2 de l'oculaire, c'est-à-dire si $O_1O_2 = O_1F'_1 + F_2O_2 = f'_1 + f'_2$.

Avec $f'_2 = 4{,}0\ \text{cm} = 0{,}040\ \text{m}$:

$$f'_1 + f'_2 = 6{,}80 + 0{,}040 = 6{,}84\ \text{m}$$

$f'_1 + f'_2 = 6{,}84\ \text{m} = O_1O_2$: F'_1 et F_2 sont confondus, la lunette est afocale.

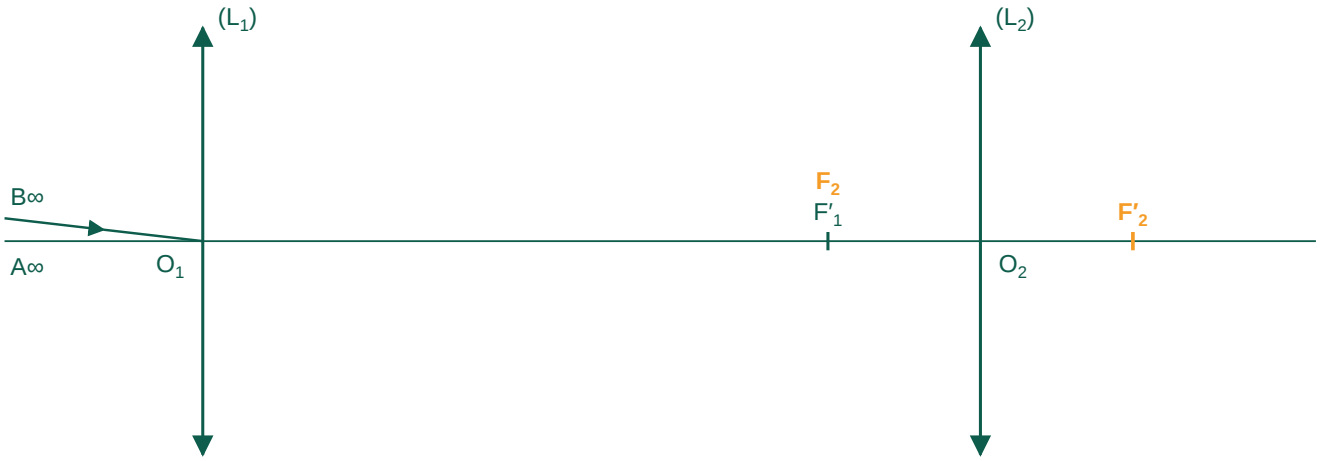
PIÈGE
Additionner 6,80 et 4,0 sans convertir : f'_1 est en mètres, f'_2 en centimètres.

1.2 Sur le schéma 1 de l'annexe, placer les foyers F_2 et F'_2 de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale.

Lunette afocale : le foyer objet F_2 de l'oculaire est placé sur F'_1.

Le foyer image F'_2 est le symétrique de F_2 par rapport au centre optique O_2 : $O_2F'_2 = F_2O_2$.

F_2 est confondu avec F'_1 ; F'_2 est de l'autre côté de (L_2), à la même distance de O_2 (voir schéma).



1.2 · Schéma 1 : foyers de l'oculaire (lunette afocale)

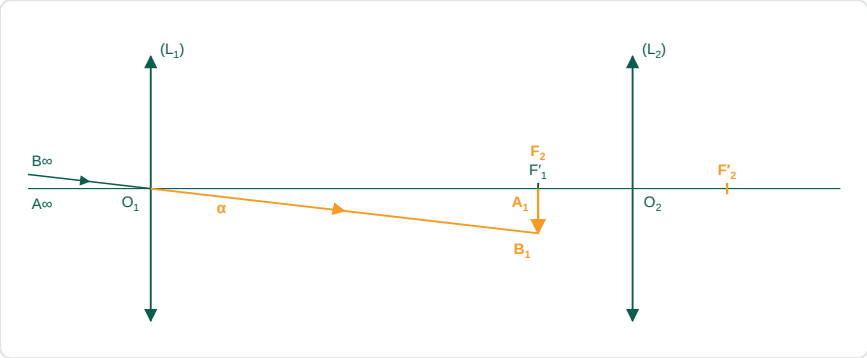
2.1 Construire, sur le schéma 1, l'image A_1B_1 de l'objet $A_\infty B_\infty$ donnée par l'objectif.

L'objet est à l'infini : son image se forme dans le plan focal image de l'objectif, donc A_1 est en F'_1.

Le rayon issu de B_∞ passe par le centre optique O_1 : il n'est pas dévié. On le prolonge jusqu'au plan perpendiculaire à l'axe passant par F'_1 : le point d'intersection est B_1.

A_1B_1 est dans le plan focal image de (L_1), avec A_1 en F'_1 et B_1 sous l'axe : image renversée (voir schéma).

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 1 : image intermédiaire A_1B_1 dans le plan focal image de l'objectif

2.2 Quelle est, en fonction de f_1' et A_1B_1, l'expression du diamètre apparent α de la nébuleuse ?

α est l'angle entre l'axe optique et le rayon venant de B_∞ ; on le retrouve en O_1 dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 :

$$\tan\alpha = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

L'angle est petit, donc $\tan\alpha \approx \alpha$ (en radians).

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

COMPRENDRE
A_1B_1 et f_1' doivent être dans la même unité ; l'angle obtenu est en radians.

3.1 L'oculaire donne une image définitive $A'B'$ de la nébuleuse. La lunette étant afocale, où sera située l'image $A'B'$? Justifier.

A_1B_1 joue le rôle d'objet pour l'oculaire. Comme F_1' et F_2 sont confondus, A_1B_1 se trouve dans le plan focal objet de (L_2).

Une lentille convergente donne d'un objet placé dans son plan focal objet une image à l'infini.

L'image définitive $A'B'$ est à l'infini.

COMPRENDRE
Une image à l'infini s'observe sans accommoder : l'œil reste au repos, ce qui rend l'observation prolongée confortable.

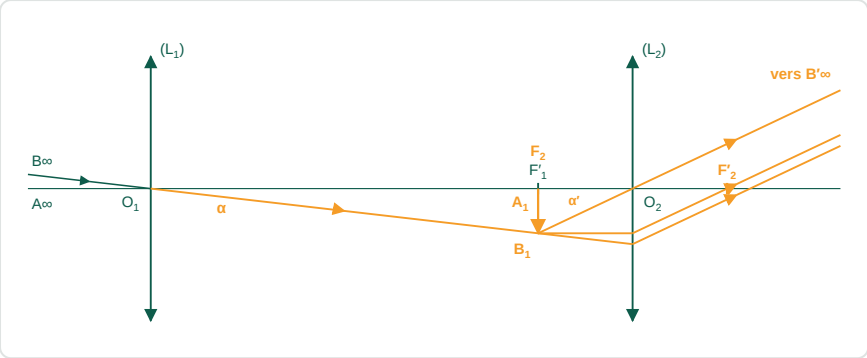
3.2 Construire, sur le schéma 1, la marche d'un rayon lumineux issu de B_1 permettant de trouver la direction de B'.

Le rayon issu de B_1 et passant par le centre optique O_2 traverse l'oculaire sans être dévié : il donne la direction de B'.

B_1 étant dans le plan focal objet de (L_2), tous les rayons issus de B_1 sortent de l'oculaire parallèles à cette direction. C'est le cas du rayon du sujet, prolongé au-delà de B_1, et du rayon parallèle à l'axe, qui sort en passant par F_2'.

B' est à l'infini dans la direction de la droite (B_1O_2) (voir schéma).

PIÈGE
Arrêter les rayons en B_1 : ils continuent jusqu'à l'oculaire. Vérifier aussi que les rayons émergents sont bien parallèles entre eux.



3.2 · Schéma 1 complété : les rayons issus de B_1 sortent de l'oculaire parallèles entre eux

4.1 Exprimer le diamètre apparent α' de l'image $A'B'$ vue à travers la lunette en fonction de f_2' et A_1B_1.

α' est l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents, donc l'angle en O_2 du triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 :

$$\tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{A_1O_2} = \frac{A_1B_1}{f_2'}$$

L'angle est petit, donc $\tan\alpha' \approx \alpha'$.

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

4.2 Le grossissement est $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$. Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement G de la lunette, puis sa valeur numérique.

Données utiles $f_1' = 6{,}80$ m ; $f_2' = 4{,}0$ cm ; α (2.2) ; α' (4.1)

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

Avec les deux distances focales en mètres :

$$G = \frac{6{,}80}{4{,}0 \times 10^{-2}} = \frac{680}{4{,}0} = 170$$

$$G = \frac{f_1'}{f_2'} = 1{,}7 \times 10^2 \text{ (sans unité)}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme f_2', la donnée la moins précise. Le résultat $1{,}7 \times 10^2$ l'indique sans ambiguïté, ce que « 170 » ne fait pas.

MÉTHODE
Sans calculatrice : multiplier numérateur et dénominateur par 100, puis diviser 680 par 4.

5.1 Sachant que l'œil voit comme un point tout objet de diamètre apparent inférieur à $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad, montrer qu'il peut théoriquement distinguer les points A_∞ et B_∞.

Données utiles $L \approx 2600$ a.l. ; $D = 1{,}3 \times 10^{13}$ km ; 1 a.l. $= 1{,}00 \times 10^{13}$ km

Depuis la Terre, la nébuleuse de diamètre D située à la distance L est vue sous l'angle α tel que $\tan\alpha = \frac{D}{L}$, soit, pour un petit angle, $\alpha = \frac{D}{L}$.

$$L = 2600 \times 1{,}00 \times 10^{13} = 2{,}6 \times 10^{16} \text{ km}$$

$$\alpha = \frac{1{,}3 \times 10^{13}}{2{,}6 \times 10^{16}} = 0{,}50 \times 10^{-3} = 5{,}0 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$\alpha = 5{,}0 \times 10^{-4}$ rad $> 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad : l'œil peut théoriquement distinguer A_∞ et B_∞.

PIÈGE
Diviser des kilomètres par des années de lumière. Il faut la même unité pour D et L avant de former le rapport.

5.2 En réalité, M57 n'est pas observable à l'œil nu, mais elle devient faiblement visible à travers la lunette. Proposer une explication. Quel est l'intérêt d'utiliser des lunettes (et des télescopes) dont l'objectif a un diamètre de plus en plus grand ?

La nébuleuse est assez étendue pour être vue, mais elle est très peu lumineuse : la pupille de l'œil, large de quelques millimètres seulement, ne reçoit pas assez de lumière venant d'elle.

L'objectif de la lunette, de diamètre 38 cm, collecte beaucoup plus de lumière et la concentre dans le faisceau qui entre dans l'œil : la nébuleuse devient visible, faiblement.

Plus le diamètre de l'objectif est grand, plus l'instrument recueille de lumière : les images sont plus lumineuses et des astres moins lumineux deviennent observables.

COMPRENDRE
La lumière collectée est proportionnelle à la surface de l'objectif, donc au carré de son diamètre. Un grand diamètre réduit aussi la diffraction, négligée dans cet exercice.

5.3 Calculer le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard.

Données utiles $G = 1{,}7 \times 10^{2}$ (4.2) ; $\alpha = 5{,}0 \times 10^{-4}$ rad (5.1)

Par définition du grossissement, $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$, donc $\alpha' = G \times \alpha$.

$$\alpha' = 1{,}7 \times 10^{2} \times 5{,}0 \times 10^{-4} = 8{,}5 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

$\alpha' = 8{,}5 \times 10^{-2}$ rad

COMPRENDRE
Cela correspond à environ 5° : à travers la lunette, la nébuleuse paraît près de dix fois plus large que la pleine Lune vue à l'œil nu (environ 0,5°).

6.1 On place l'œil derrière l'oculaire dans une zone appelée « cercle oculaire ». Définir le cercle oculaire.

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

6.2 Pourquoi est-il indiqué de placer l'œil à cet endroit ?

Tout rayon qui entre dans la lunette traverse l'objectif ; après l'oculaire, il passe donc par l'image de l'objectif, c'est-à-dire par le cercle oculaire.

C'est là que le faisceau émergent est le plus étroit : l'œil placé au cercle oculaire reçoit le maximum de la lumière collectée par l'objectif, l'image est la plus lumineuse possible.

6.3 Construire, sur le schéma 2 de l'annexe, le cercle oculaire.

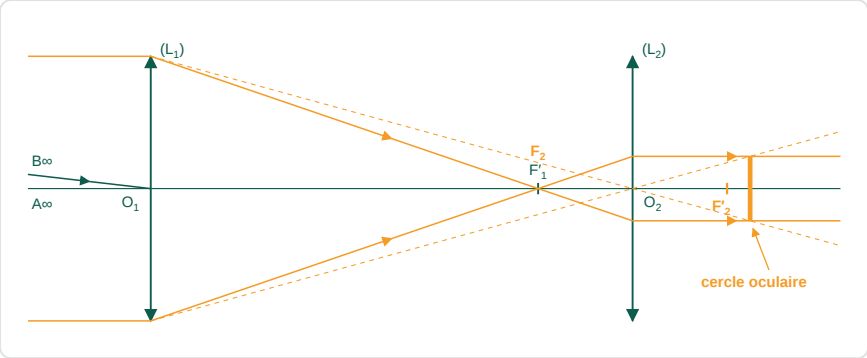
On construit l'image, par l'oculaire, de chaque bord de l'objectif à l'aide de deux rayons partant de ce bord :

- le rayon passant par F_2 (confondu avec F_1') sort de l'oculaire parallèle à l'axe optique ;
- le rayon passant par O_2 n'est pas dévié (en pointillés).

Leur intersection est l'image du bord. Le segment joignant les images des deux bords est le diamètre du cercle oculaire.

Le cercle oculaire est juste après F_2', perpendiculaire à l'axe ; il est beaucoup plus petit que l'objectif (voir schéma).

COMPRENDRE
L'objectif est loin de l'oculaire (bien au-delà de F_2) : son image est réelle, renversée, réduite et située un peu après F_2'.



6.3 · Schéma 2 complété : le cercle oculaire est l'image de l'objectif par l'oculaire