

Chapitre 19

Formation d'images par une lunette astronomique

Paragraphe 1 - Lunette astronomique afocale

Paragraphe 1.1. - Modèle optique

Une lunette astronomique peut être modélisée par un système de deux lentilles minces convergentes ayant un axe optique commun :

l'objectif : lentille mince convergente, placée du côté de l'objet observé, caractérisée par un centre optique O_1 et une distance focale notée f minuscule prime indice 1 (f'_1).

l'oculaire : lentille mince convergente, placée du côté de l'œil de l'observateur, caractérisée par un centre optique O_2 et une distance focale notée f minuscule prime indice 2 (f'_2).

Remarque

La distance focale de l'objectif, de l'ordre du mètre, est supérieure à la distance focale de l'oculaire, de l'ordre du centimètre.

Paragraphe 1.2. - Propriété d'une lunette astronomique afocale

De chaque point d'un objet réel situé « à l'infini » arrive un faisceau de rayons parallèles.

L'image d'un objet plan réel situé « à l'infini » formée par l'objectif se situe dans le plan focal image de l'objectif.

Cette image intermédiaire devient l'objet pour l'oculaire.

Pour une vision normale sans effort, l'image définitive observée à travers l'oculaire de la lunette astronomique afocale se situe à l'infini.

L'image intermédiaire doit donc se situer dans le plan focal objet de l'oculaire.

Une lunette est **afocale** lorsque le foyer image F majuscule prime indice 1 (F'_1) de l'objectif et le foyer objet F majuscule indice 2 (F_2) de l'oculaire sont confondus.

La longueur L de la lunette astronomique afocale, correspondant approximativement à la distance entre le centre optique O_1 de l'objectif et le centre optique O_2 de l'oculaire, peut donc se calculer par la relation :

$$L \approx \overline{O_1O_2} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F'_1O_2} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F_2O_2} = \overline{O_1F'_1} + \overline{O_2F'_2} = f'_1 + f'_2.$$

Exemple

Une lunette astronomique afocale dispose d'un objectif de distance focale $f'_1 = 900$ mm et d'un oculaire de distance focale $f'_2 = 10$ mm.

La longueur approchée du tube de cette lunette est, au mm près avec trois chiffres significatifs dans le résultat : $L \approx f'_1 + f'_2 = 900 + 10 = 910 \text{ mm}$

Paragraphe 2 - Image formée par une lunette afocale

Paragraphe 2.1. - Construction graphique

Un objet réel plan A majuscule B majuscule (AB), perpendiculaire à l'axe optique de la lunette astronomique afocale avec A majuscule sur cet axe optique, est situé « à l'infini ».

Le faisceau de rayons lumineux parallèles issu du point objet réel B majuscule situé « à l'infini » pénètre dans la lunette astronomique afocale.

Le rayon passant par le centre optique O_1 de l'objectif traverse la lentille qui modélise cet objectif sans être dévié. Le rayon passant par le foyer objet F_1 de l'objectif, ressort parallèle à l'axe optique.

L'image B_1 du point objet B majuscule, qui se trouve à l'intersection des rayons émergents de l'objectif, se situe dans le plan focal image de l'objectif. Le point image intermédiaire B_1 devient un point objet réel pour l'oculaire. B_1 se situe dans le plan focal objet de l'oculaire afin que le point image définitive B' se forme « à l'infini ».

Un faisceau de rayons lumineux parallèles émerge de la lunette afocale, dans la direction, (B_1O_2) . Les rayons lumineux semblent provenir du point image définitive B' située « à l'infini » et pénètrent dans l'œil de l'observateur. Le trajet des rayons est complété par des pointillés dans la direction du point image définitive B' .

L'objet réel A majuscule B majuscule (AB) est vu à l'œil nu sous un angle θ minuscule. L'image virtuelle définitive A'B' de l'objet réel AB formée par la lunette astronomique afocale est vue sous un angle θ' minuscule prime. Le schéma est complété en indiquant ces angles entre l'axe optique et les rayons incidents pour θ minuscule θ et entre l'axe optique et les rayons émergents pour θ' minuscule prime θ' .

Paragraphe 2.2. - Caractéristiques des images et rôles des lentilles

Caractéristiques :

- L'image A_1B_1 de l'objet AB majuscule situé « à l'infini » formée par l'objectif est plus petite que l'objet AB, réelle et renversée.
- L'image définitive A'B' de l'image intermédiaire A_1B_1 observée à travers l'oculaire est virtuelle et plus grande que l'image intermédiaire A_1B_1 . L'image définitive A'B' est droite par rapport à l'image intermédiaire A_1B_1 et renversée par rapport à l'objet AB.

Rôles :

- L'objectif joue le rôle de collecteur de lumière et forme l'image intermédiaire ;
- L'oculaire joue le rôle d'une loupe.

Histoire des sciences

Dans les premières lunettes astronomiques, une lentille divergente joue le rôle de l'oculaire. C'est avec ce type de lunette que Galilée réalise les observations du ciel et fait ses découvertes historiques.

Kepler indique dans son livre *Dioptricae* que, pour améliorer les performances des lunettes astronomiques, l'oculaire doit être une lentille convergente. C'est un astronome allemand, Scheiner, qui construit cette lunette astronomique équipée de deux lentilles minces convergentes et grâce à laquelle il observe pour la première fois les taches solaires.

Paragraphe 3 - Données caractéristiques d'une lunette commerciale

Paragraphe 3.1. - Grossissement

Le grossissement G majuscule d'une lunette astronomique se définit par :

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

Thêta minuscule prime θ' est l'angle (en radian) sous lequel est vue l'image définitive de l'objet formée par la lunette astronomique afocale.

Thêta minuscule θ est l'angle (en radian) sous lequel est vu l'objet à l'œil nu.

Remarque

Thêta minuscule prime θ' et thêta minuscule θ sont aussi appelés diamètres apparents.

Raisonnement à retenir :

D'après la construction décrite dans le paragraphe 2.1. :

– dans le triangle $O_1A_1B_1$: θ est approximativement égal à la tangente de θ : $\theta \approx \tan \theta$ et :

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

– dans le triangle $O_2A_1B_1$: θ' est approximativement égal à la tangente de θ' : $\theta' \approx \tan \theta'$ et :

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

Ainsi :

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

Après simplification du numérateur et du dénominateur :

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

f'_1 est la distance focale de l'objectif.

f'_2 est la distance focale de l'oculaire.

Les distances focales doivent être exprimées dans la même unité.

Puisque $f'_1 > f'_2$, on a G majuscule supérieur à 1 : $G > 1$.

Exemple

Une lunette astronomique afocale dispose d'un objectif de distance focale $f'_1 = 900$ mm et d'un oculaire de distance focale $f'_2 = 10$ mm. Le grossissement de cette lunette vaut donc :

$$G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{900}{10} = 90$$

Paragraphe 3.2. - Luminosité

Deux grandeurs caractéristiques permettent d'apprécier la luminosité de l'instrument :

– pour l'observation d'objets ponctuels (étoiles très éloignées), il faut considérer le diamètre D majuscule de l'objectif. En effet, la lumière collectée à sa surface permet de former une image du ciel étoilé plus lumineuse que lors d'une observation à l'œil nu.

– pour l'observation d'objets étendus (Lune, planète, nébuleuse...), il faut tenir compte de l'étalement de l'énergie lumineuse lié au grossissement, qui dépend notamment de la distance focale de l'objectif f'_1 .

Le constructeur donne des informations sur la luminosité d'une lunette astronomique en précisant le rapport :

$$\frac{f'_1}{D}$$

Ce rapport est appelé le nombre d'ouverture. Il donne des précisions sur le domaine d'application d'une lunette astronomique. Par exemple, un nombre d'ouverture inférieur à 6 convient à l'observation d'un ciel profond. Une lunette astronomique dont le nombre d'ouverture se situe entre 6 et 10 est polyvalente. Pour observer le dédoublement des étoiles doubles ou la réalisation d'imagerie planétaire, le nombre d'ouverture est supérieur à 10.