

TD R1 : Optique géométrique : formation des images, lunette astronomique.

2 Une lentille convergente de centre O a pour distance focale $f' = 3,0$ cm et pour diamètre 4,0 cm.

Un objet AB de taille 1,0 cm est positionné à la distance $OA = 2,0$ cm devant la lentille, A étant sur l'axe optique.

- Sur un schéma à l'échelle 1, représenter cette lentille, ses foyers et l'objet AB.
- Construire l'image A'B' de AB par la lentille en représentant les trajets de trois rayons issus de B.
- Mesurer la position OA' et la taille A'B' de l'image.

4 Une lentille de vergence $C = 5,0 \delta$ est placée devant un écran pour y projeter la lumière du Soleil.

Données

- Rayon moyen du Soleil : $R_S = 7,0 \times 10^5$ km
- Distance moyenne Terre-Soleil : $D_{TS} = 1,5 \times 10^8$ km



- À quelle distance de l'écran faut-il placer la lentille ?
- On modélise le Soleil par un objet AB, A étant au centre du Soleil, sur l'axe optique, et B étant un point de la périphérie du Soleil.

Faire un schéma sur lequel on matérialisera le trajet de rayons issus de B jusqu'à son image B' sur l'écran.

- À l'aide du théorème de Thalès, déterminer le rayon de l'image du Soleil sur l'écran.

5 On observe une partition musicale à travers une loupe, de distance focale $f' = 6,0$ cm.

Une portée de hauteur 6,0 mm est placée devant la lentille.

- À quelle distance de la portée faut-il placer la lentille pour que l'œil n'accommode pas en observant la partition à travers la lentille ? Justifier.
- On suppose que la distance portée-lentille est exactement celle déterminée à la question précédente. Sur un schéma, construire l'image A'B' d'un objet AB, formée à travers la loupe, en matérialisant le trajet de trois rayons issus de B. Où se trouve A'B' ?

Échelle

- 1 cm représente 4,0 mm sur l'axe transversal.
- 1 cm représente 2,0 cm sur l'axe optique.



- Montrer que l'angle sous lequel la portée est vue à travers la lentille est $5,7^\circ$.

- Sous quel angle la portée est-elle vue si on l'observe à l'œil nu, à une distance de 25 cm ?

En déduire l'intérêt de la loupe.

15 Découverte de Titan

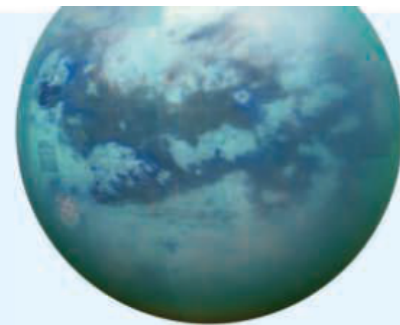
Histoire des sciences



En 1655, le physicien néerlandais Christian Huygens, qui avait auparavant découvert les anneaux de Saturne, observa pour la première fois Titan, le plus gros satellite de Saturne. Il relate sa découverte en 1656 dans *Nouvelle observation d'une lune de Saturne*. Il précise notamment :

« regardant la planète Saturne par le tube dioptrique, j'aperçus [...] près de lui à l'occident une petite étoile, éloignée d'environ trois minutes. [...] Notre lunette, par laquelle nous avons trouvé le compagnon de Saturne, multiplie cinquante fois le diamètre de l'objet visé, étant longue de douze pieds ».

- On fera l'hypothèse que la longueur de la lunette citée peut être assimilée à la distance focale de son objectif. Déterminer la distance focale f'_1 de l'objectif utilisé par Huygens. L'exprimer en mètres.
- Quelle est la distance focale f'_2 de l'oculaire utilisé ? Justifier que l'hypothèse faite à la question précédente est valide.
- À l'aide des données sur Saturne et Titan, déterminer le diamètre apparent, à l'œil nu, de l'objet AB formé par le centre de Saturne (A) et celui de Titan (B) lorsque celui-ci est en apparence le plus éloigné de Saturne. Exprimer le résultat en degrés, puis en minutes d'arc. Commenter le résultat au regard de l'affirmation de Huygens.



Titan photographié par la mission Cassini-Huygens en 2015.

Données

- Pied rhénan, unité utilisée par Huygens : 1 pied = 313,5 mm
- Le grossissement d'une lunette astronomique est le quotient de la distance focale de l'objectif par celle de l'oculaire.
- Rayon moyen de l'orbite de Titan autour de Saturne : $r_T = 1,2 \times 10^6$ km
- Distance moyenne Terre-Saturne : $d = 1,4 \times 10^9$ km
- Une minute d'arc est un soixantième de degré ; une seconde d'arc, un soixantième de minute d'arc.

30 ✖ Visibilité d'une nébuleuse annulaire

L'observatoire du Harvard College aux États-Unis, s'est doté en 1847 d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 38 cm. Il s'agissait d'un instrument remarquable pour l'époque au point de rester célèbre sous le nom de « Grand réfracteur ». Cet instrument a permis de réaliser la première photographie d'une étoile en 1850 : l'astronome W. C. Bond a réalisé des daguerréotypes* de l'étoile Véga dans la constellation de la Lyre.

Astronomie, Éditions Atlas, 1984.

Vocabulaire

Daguerréotype : nom des premières photographies, issues d'un procédé inventé par le photographe français Louis Daguerre, en 1835.

Située près de la constellation de la Lyre, la nébuleuse annulaire de la Lyre (nommée M57) est le prototype des nébuleuses planétaires. Elle s'est formée il y a environ 20 000 ans à partir d'une étoile qui, en explosant, a libéré des gaz ayant une structure que l'on assimilera à un anneau circulaire (photographie ci-dessous).



L'exercice propose de déterminer le diamètre apparent de cette nébuleuse que l'on désignera par M57 dans le texte, observée avec la lunette de l'observatoire de Harvard. On négligera tout phénomène de diffraction. Une lunette est dite afocale lorsque le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire sont confondus.

Données • Année-lumière : $1 \text{ al} = 1,00 \times 10^{13} \text{ km}$

• Pour les angles petits et exprimés en radians : $\tan \alpha \approx \alpha$

La lunette de l'observatoire de Harvard sera modélisée par un système de deux lentilles minces (L_1) et (L_2) :

- l'objectif (L_1) est une lentille convergente de centre optique O_1 , de diamètre 38,0 cm et de distance focale $f'_1 = 6,80 \text{ m}$;
- l'oculaire (L_2) est une lentille convergente de centre optique O_2 et de distance focale $f'_2 = 4,0 \text{ cm}$.

1. La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m.

1.1. Montrer que cette lunette est afocale.

1.2. Réaliser, sans souci d'échelle, un schéma de principe représentant les deux lentilles et matérialisant la position du foyer image F'_1 de l'objectif (L_1).

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

Le schéma est à la fin du poly de cours R1.

La nébuleuse M57, supposée à l'infini, y est représentée par $A_\infty B_\infty$ (A_∞ étant sur l'axe optique). Un rayon lumineux issu de B_∞ est également représenté.

2.1. Construire, sur le schéma, l'image $A_1 B_1$ de l'objet $A_\infty B_\infty$, donnée par l'objectif.

2.2. On désigne par α le diamètre apparent de la nébuleuse M57 : α est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

Quelle est, en fonction de f'_1 et $A_1 B_1$, l'expression du diamètre apparent α ? Justifier.

3. L'oculaire (L_2) permet d'obtenir une image définitive $A'B'$ de la nébuleuse M57.

3.1. La lunette étant afocale, où l'image $A'B'$ sera-t-elle située ? Justifier la réponse.

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

4. On désigne par α' le diamètre apparent de l'image $A'B'$ vue à travers la lunette.

4.1. Exprimer le diamètre apparent α' en fonction de f'_2 et $A_1 B_1$.

4.2. Définir le grossissement G de la lunette en fonction de α et α' .

Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement G de la lunette de l'observatoire de Harvard, puis sa valeur numérique.

5. Application

La nébuleuse M57, située à la distance $L \approx 2\,600 \text{ al}$ de la Terre, a un diamètre $D = A_\infty B_\infty = 1,3 \times 10^{13} \text{ km}$.

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

5.2. En réalité, la nébuleuse M57 n'est pas observable à l'œil nu mais, à travers la lunette, elle devient faiblement visible. Proposer une explication.

Quel est, à votre avis, l'intérêt d'utiliser pour les observations, des lunettes (et actuellement des télescopes) qui ont un objectif de diamètre de plus en plus grand ?

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

Remarque : 1 année lumière $= 10^{13} \text{ km}$

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1.1. La réponse doit rappeler la définition d'un système afocal.

2.1. et **3.2.** Les tracés doivent être réalisés avec un crayon bien taillé. Revoir les règles de tracé de rayons.

► Révisions p. 490

2.2. et **4.1.** La justification doit s'appuyer sur le schéma et utilise l'approximation des petits angles.

5.3. Utiliser l'expression de la question **4.b.**