

Examen d'optique instrumentale

durée 3h

formulaire A4 recto-verso et calculatrice autorisés

Le sujet présente 3 feuilles et une annexe.

L'annexe, en mentionnant vos nom-prénom, est à rendre avec votre copie.

Étude d'un télescope Cassegrain

Les caractéristiques connues de l'objectif à miroirs sont les suivantes,

On appelle, S_1 et S_2 les sommets des miroirs primaire M_1 et secondaire M_2 ; C_1 et C_2 leurs centres de courbure ; F_1 et F_2 leurs foyers ; F' le foyer de l'objectif Cassegrain.

Focale f' du télescope (objectif Cassegrain à 2 miroirs)	+ 4180 mm
Nombre d'ouverture N du télescope	11
Rayon de courbure du miroir primaire concave (convergent)	1520 mm
Diamètre du miroir primaire	400 mm
Rayon de courbure du miroir secondaire convexe (divergent)	440 mm
Taux d'obturation du télescope en surface	10 %
Coefficient de réflexion de chaque miroir	90 %

L'objectif à miroirs Cassegrain est réglé en conjugaison infini-foyer.

1. Faites un schéma de principe de l'objectif en positionnant les deux miroirs et leur foyer. Justifier le signe positif de sa focale f' .
2. Déterminer le grandissement transversal (amplitude et signe) du miroir secondaire en précisant son signe et les points conjugués associés.
3. Montrer que la distance entre les deux miroirs vaut 580 mm et déterminer la distance entre le sommet S_1 du miroir primaire et le plan focal image F' de l'objectif.

La pupille du télescope est un diaphragme placé au centre de courbure du miroir primaire.

4. Déterminer le diamètre de la pupille d'entrée de l'objectif.

L'annexe, fournie pour les tracés de rayons, présente une échelle $\times 1/10$ le long de l'axe et $\times 2/5$ en transversal. Seul le centre de courbure du miroir primaire est positionné.

5. Sur l'annexe, positionner l'ensemble des éléments et tracer deux rayons s'appuyant sur les deux bords de la pupille d'entrée, et traversant tout l'objectif, provenant d'un objet ponctuel à l'infini sur l'axe.
6. Déterminer la position et le diamètre de la pupille de sortie de l'objectif et vérifier vos calculs en la positionnant sur le schéma.

La lucarne du champ de pleine lumière est le miroir primaire.

7. Déterminer le champ de pleine lumière de l'objectif dans les espaces d'entrée, intermédiaire et de sortie.
8. Tracer deux rayons s'appuyant sur les deux bords de la pupille d'entrée, et traversant tout l'objectif, provenant d'un objet ponctuel à l'infini en bord du champ de pleine lumière.
9. Déterminer graphiquement les diamètres minima du miroir secondaire et du trou à effectuer dans le miroir primaire pour obtenir le champ de pleine lumière déterminé ci-dessus.
10. En déduire le taux d'obturation minimal. Et justifier pourquoi il est inférieur à celui fourni dans les caractéristiques au début du sujet.
11. Proposer une solution technique pour éviter les rayons parasites sans augmenter le taux d'obturation.

L'objectif est limité par la diffraction à la longueur d'onde de 600 nm.

12. Déterminer la résolution dans l'espace objet de l'objectif Cassegrain. Donnez votre résultat en seconde d'arc.

L'objectif est maintenant associé à un oculaire afin d'effectuer une observation visuelle.

L'oculaire est constitué de deux lentilles minces accolées L_1 et L_2 . Ses caractéristiques sont les suivantes,

Focale de la lentille mince L_1	+ 30 mm
Focale de la lentille mince L_2	- 40 mm
Taux de transmission du doublet	95%

13. Déterminer la focale du doublet.
14. Déterminer le grossissement G du système complet {objectif + oculaire}.
15. Pourquoi ce grossissement est-il égal au rapport de la pupille d'entrée sur la pupille de sortie du système {objectif + oculaire} ? Calculer le diamètre de la pupille de sortie (après l'oculaire).
16. Sur l'annexe positionner l'oculaire et poursuivez les rayons sur l'axe et en bord de champ de pleine lumière. Faire également apparaître la pupille de sortie.

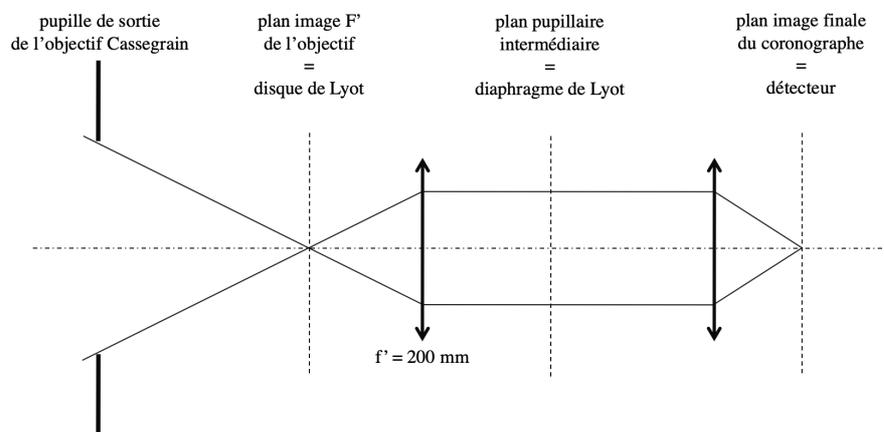
17. Déterminer graphiquement les diamètres minima des lentilles de l'oculaire de façon à ce que la lucarne du champ de pleine lumière reste le miroir primaire.

On observe une étoile qui fournit un éclairement au sol de $1,6 \text{ nW.m}^{-2}$. Dans les conditions d'observation, l'œil présente une pupille de diamètre 8 mm et se situe au niveau de la pupille de sortie.

18. Déterminer le flux F_{sans} reçu par l'œil sans l'instrument.
19. Déterminer le flux F_{avec} reçu par l'œil avec l'instrument et en déduire le gain photométrique de l'instrument (appelé clarté), défini comme le rapport F_{avec}/F_{sans} .

L'oculaire est retiré et l'objectif est maintenant associé à un coronographe.

Le coronographe stellaire s'inspire d'un coronographe solaire, à ceci près que ce sont des étoiles que l'on cherche à atténuer pour pouvoir observer d'éventuelles planètes ou compagnons faibles dans les alentours. La technique consiste à placer un masque occultant qui a les dimensions de la figure de diffraction de l'étoile dans un plan image. Ce masque s'appelle le disque de Lyot. Si l'objectif est limité par la diffraction (à 600 nm), le diamètre du masque est alors égal à 1,5 fois le diamètre de la tâche d'Airy. De plus en raison de la diffraction sur les bords de la pupille d'entrée de l'objectif, un diaphragme supplémentaire, appelé diaphragme de Lyot, est positionné dans un plan pupillaire intermédiaire formé par une lentille mince convergente (ici de focale 200 mm et dont le foyer objet coïncide avec le foyer image F' de l'objectif Cassegrain étudié précédemment). Une seconde lentille mince convergente forme l'image finale sur un détecteur. Le schéma suivant présente le coronographe.



20. Déterminer le diamètre apparent (en seconde d'arc) du champ occulté par le disque de Lyot dans l'espace objet.
21. Déterminer la position du plan pupillaire intermédiaire où sera positionné le diaphragme de Lyot.

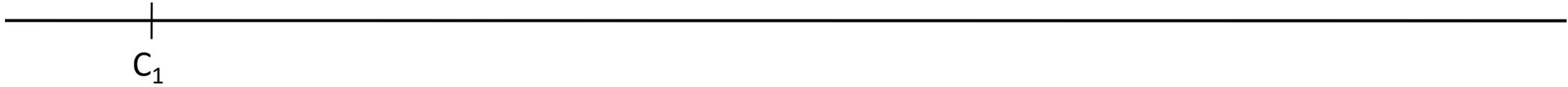
Le diaphragme de Lyot doit présenter un diamètre de 95% du diamètre de la pupille intermédiaire du système.

22. Déterminer le diamètre du diaphragme de Lyot.

ANNEXE / Nom Prénom

échelle longitudinale : $\times 1/10$

échelle transversale : $\times 2/5$



1. schéma de principe
2. $gy_{M_2} = +5,5$
3. $S_1S_2 = -580 \text{ mm}$ et $S_1F' = 410 \text{ mm}$
4. $\Phi_{Pe} = f'/N = 380 \text{ mm}$
5. Tracé sur l'axe
6. $S_2Ps = -287 \text{ mm}$ et $\Phi_{Ps} = 116 \text{ mm}$
7. $\Theta_{CPL_objet} = (\Phi_{M_1} - \Phi_{Pe})/R_1 = 13 \text{ mrad} = 0,75^\circ$
 $\phi_{CPL_int} = 10 \text{ mm}$
 $\phi_{CPL_image} = 55 \text{ mm}$.
8. Schéma en bord de CPL
9. $\Phi_{trou} = 75 \text{ mm}$
 $\Phi_{M_2} = 105 \text{ mm}$
10. $\text{Taux_obt_min} = (\Phi_{M_2}/\Phi_{Pe})^2 = 7,6\% < 10\%$ (due à la monture)
11. Bafflage possible
12. $\Phi_{diffraction} = 2,44 \cdot \lambda \cdot N = 16 \mu\text{m}$
critère de Rayleigh = $\Delta_{\theta_resolution} = 8\mu\text{m}/f' = 1,9 \mu\text{rad} = 0,4''$
13. $f'_{oculaire} = f_1 \cdot f_2 / (f_1 + f_2) = +120 \text{ mm}$
14. $G = f'/f'_{oculaire} = -34,8$
15. $\Phi_{Ps} = 2 \cdot \alpha' \cdot f'_{oculaire} = f'_{oculaire}/N = f'_{oculaire}/f' \cdot \Phi_{Pe} = G \cdot \phi_{Pe}$
 $\Phi_{Ps} = \Phi_{Pe}/G = 10,9 \text{ mm}$
16. Schéma + oculaire et PS finale
17. $\Phi_{L_1L_2} = 75 \text{ mm}$
18. $F_{sans} = E_{sol} \cdot S_{oeil} = 1,6 \text{ nW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \pi \cdot 0,008^2/4 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ nW}$
19. $F_{avec} = \text{Transmission} \times E_{sol} \times S_{PE} \times S_{oeil}/S_{oc_Ps}$
 $= 0,9 \cdot 0,9 \cdot (1-0,1) \cdot 0,95 \cdot 1,6 \text{ nW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \pi/4 \cdot 0,380^2 \cdot (8/10,9)^2 = 0,068 \text{ nW}$
Clarté = 850
20. $1,5 \cdot (2 \cdot \Delta_{\theta_resolution}) = 1,2''$
21. $\text{Outil_DiaphLyot} = 1/(1/200 - 1/(200+410+580+287,2)) = 231 \text{ mm}$
22. $\Phi_{diaph_Lyot} = 0,95 \cdot 116 \cdot 231,3 / (200+410+580+287,2) = 17 \text{ mm}$

