

PS80 : Sujet d'entraînement corrigé

Observations astronomiques

1 Parallaxe (3 pts)

1. La distance du Soleil à Altaïr s'écrit :

$$D = \frac{R_T}{\tan \alpha}$$

où α est la parallaxe d'Altaïr. Application numérique : $D = 1,52 \cdot 10^{14} \text{ km}$.

2. Le temps de propagation de la lumière entre Altaïr et le système solaire vaut :

$$\tau = \frac{D}{c_0}$$

Application numérique : $\tau = 5 \cdot 10^8 \text{ s} \simeq 16 \text{ ans}$. La lumière reçue sur Terre en 2016 a donc été émise en 2000.

2 Lunette de Galilée (6 pts)

1. La lentille L_1 est de distance focale positive : elle est convergente. La lentille L_2 est de distance focale négative : elle est divergente.

2. Schéma optique de la lunette : voir feuille quadrillée jointe.

3. L'angle sous lequel la lumière du point B arrive à L_1 vaut :

$$\theta \simeq \tan \theta = \frac{D_L}{D_{TL}}$$

Application numérique : $\theta = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 0,5^\circ$.

4. Construction d'image : voir feuille quadrillée jointe.

L'angle sous lequel est vu B'' vaut :

$$\theta'' \simeq \tan \theta'' = \frac{A'B'}{f'_2}$$

$$\text{ssi } \theta'' = \theta \frac{f'_1}{f'_2}$$

car $A'B' = f'_1 \tan \theta$. Application numérique : $\theta'' = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ rad} = 1,3^\circ$.

Question bonus : quel est le grossissement $G = \theta''/\theta$ de la lunette de Galilée ?

3 Période de rotation de Jupiter (6 pts)

1. Le phénomène expliquant l'inclinaison des raies (3) et (4) est l'effet Doppler-Fizeau. La lumière réémise par le point en rapprochement (O) est vue avec une fréquence plus grande, i.e. une longueur d'onde plus courte : le spectre du point O est le bord inférieur de la figure en annexe A.

La lumière réémise par le point E (en éloignement) est vue avec une longueur d'onde plus grande que la même lumière réémise par le point S : le spectre du point E est donc le bord supérieur de la figure.

2. La longueur d'onde de la lumière reçue au point O s'écrit :

$$\lambda_{O,r} = \lambda_{S,r} \frac{c_0 - v}{c_0}$$

où $\lambda_{S,r}$ est la longueur d'onde de la même radiation reçue au point S (à distance constante de la Terre).

La longueur d'onde de la lumière reçue sur Terre, provenant du point O, s'écrit :

$$\lambda_O = \lambda_{O,e} \frac{c_0 - v}{c_0}$$

où $\lambda_{O,e}$ est la longueur d'onde de la radiation réémise par le point O en direction de la Terre.

La longueur d'onde de la lumière réémise par le point O est égale à celle de la lumière reçue (dans le référentiel lié à O) : $\lambda_{O,e} = \lambda_{O,r}$. Et la longueur d'onde de la lumière reçue au point S est égale à celle de la lumière observée provenant de S, car S est à distance constante de la Terre : $\lambda_{S,r} = \lambda_S$.

On obtient alors la relation entre λ_O et λ_S :

$$\lambda_O = \lambda_S \left(\frac{c_0 - v}{c} \right)^2$$

De manière équivalente, on a la relation entre λ_E et λ_S (le point E s'éloigne de la Terre) :

$$\lambda_E = \lambda_S \left(\frac{c_0 + v}{c} \right)^2$$

On peut en déduire le décalage spectral entre une extrémité et le centre de la raie inclinée :

$$|\Delta\lambda| = |\lambda_S - \lambda_O| = \lambda_S \left| 1 - \left(\frac{c_0 - v}{c_0} \right)^2 \right| = \lambda_S \frac{2v}{c_0}$$

(en observant que $v \ll c_0$ et en négligeant les termes d'ordres de grandeur les plus faibles).

On peut écrire de la même manière :

$$|\Delta\lambda| = |\lambda_E - \lambda_S| = \lambda_S \left| \left(\frac{c_0 + v}{c_0} \right)^2 - 1 \right| = \lambda_S \frac{2v}{c_0}$$

3. L'écart entre les raies (1) et (2) donne l'échelle de la figure en annexe : $\lambda_1 - \lambda_2 = 2,035 \text{ nm} \rightarrow \Delta x = 4,6 \text{ cm}$.

Ainsi les écarts entre la raie (1) et 3 points de la raie (3) (centre, bords inférieur et supérieur) donnent les différentes longueurs d'onde :

$$\Delta x (\lambda_1 - \lambda_{3,E}) = 5,7 \text{ cm} \text{ donc } \lambda_1 - \lambda_{3,E} = 2,522 \text{ nm} \text{ et donc } \lambda_{3,E} = 589,614 \text{ nm};$$

$$\Delta x (\lambda_1 - \lambda_{3,S}) = 5,8 \text{ cm} \text{ donc } \lambda_1 - \lambda_{3,S} = 2,566 \text{ nm} \text{ et donc } \lambda_{3,S} = 589,570 \text{ nm};$$

$$\Delta x (\lambda_1 - \lambda_{3,O}) = 5,9 \text{ cm} \text{ donc } \lambda_1 - \lambda_{3,O} = 2,610 \text{ nm} \text{ et donc } \lambda_{3,O} = 589,536 \text{ nm}.$$

D'où on déduit : $|\Delta\lambda| = 0,044 \text{ nm}$.

4. Alors la vitesse v de déplacement des points O et E vaut :

$$v = \frac{|\Delta\lambda|c_0}{2\lambda_S}$$

Application numérique : $v = 1,12 \cdot 10^4 \text{ m.s}^{-1}$.

Et donc on en déduit la période de rotation de Jupiter :

$$v = \frac{2\pi R_J}{T_J} \quad \text{ssi} \quad T_J = \frac{2\pi R_J}{v}$$

Application numérique : $T_J = 4,0 \cdot 10^4 \text{ s} = 11 \text{ h}$.

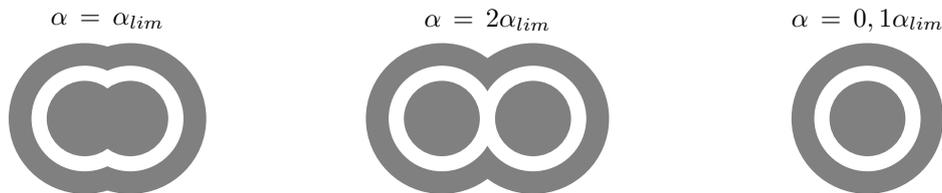
4 Critère de Rayleigh (3 pts)

1. La tache de diffraction obtenue avec une ouverture circulaire est une tache circulaire (plus grande que l'image géométrique de l'ouverture) entourée d'une alternance d'anneaux sombres et brillants. La tache centrale est appelée tache d'Airy.

L'écart angulaire de diffraction pour une ouverture circulaire de diamètre a s'écrit : $\theta = 1,22 \lambda / a$.

2. Cette expression de l'angle limite signifie que si les deux lignes de visée sont espacées de α_{lim} alors le centre d'une des taches de diffraction se trouve sur le premier anneau sombre de l'autre tache de diffraction. Donc si les deux astres sont plus proches α_{lim} on ne voit qu'une tache, et dans le cas contraire on en voit deux.

Voici les images obtenues pour :



3. L'angle de séparation entre Pluton et Charon s'écrit :

$$\alpha_{PC} \simeq \tan \alpha_{PC} = \frac{D_{PC}}{D_{TP}}$$

Application numérique : $\alpha_{PC} = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$.

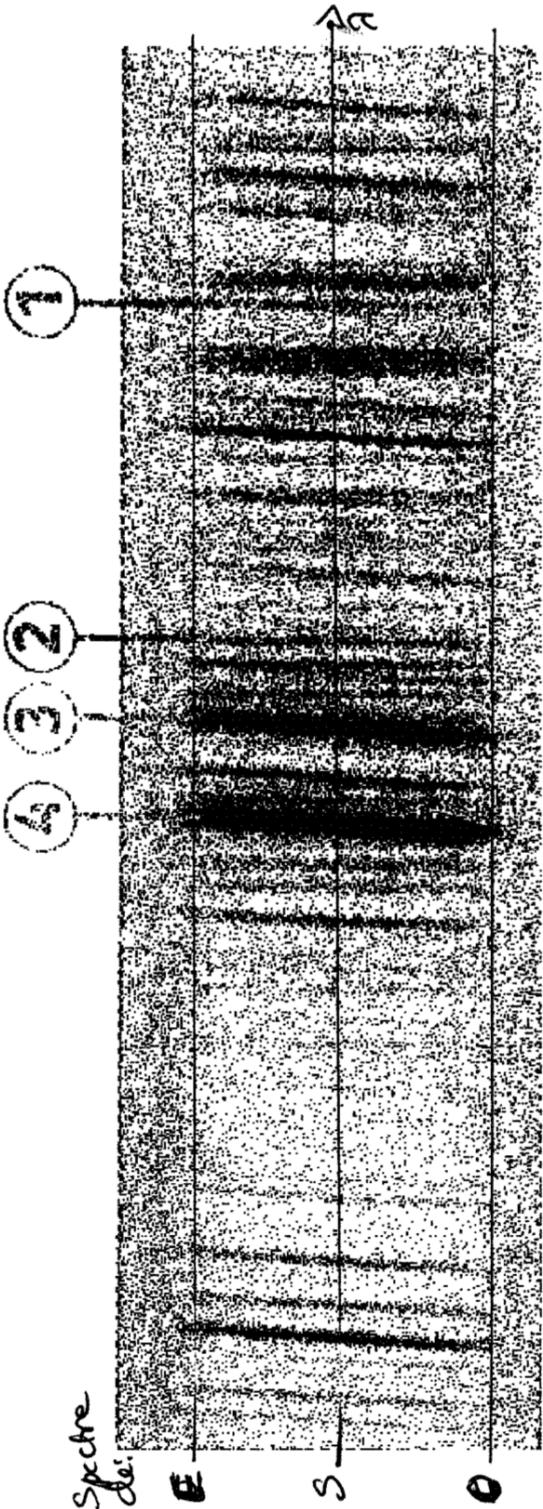
L'angle limite pour le télescope utilisé s'écrit :

$$\alpha_{lim} = 1,22 \frac{\lambda}{a}$$

Application numérique : $\alpha_{lim} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$.

On peut donc distinguer Pluton de sa lune Charon au cours de cette observation.

Annexe A : Spectre de la lumière solaire diffusée par Jupiter et observée sur Terre.



Références : les exercices de ce sujet sont extraits des ouvrages suivants : *Physique, Tle C & E*, Ed. Nathan (1989), *Physique et Chimie, Tle S*, Ed. Nathan (2012), *Objectif Prépa : Physique*, Ed. Hachette (2008).

Schéma optique de la lunette de Galilée sur papier quadrillé.

