PHY AST – Astrophysique

SECTION 8

QUESTIONS

Q1 De nos jours, tous les télescopes professionnels utilisés en astronomie sont des télescopes réflecteurs. Pourquoi ?

Q2 Qu'est-ce que l'efficacité quantique d'un détecteur ?

Q3 De nos jours, quel type de détecteur est utilisé dans les télescopes ? Quel est son principal avantage sur les détecteurs qui étaient utilisés auparavant ?

Q4 Comment peut-on reproduire une image fidèle à la réalité, en couleurs, si les pixels individuels d'un CCD ne font pas de distinction entre les différentes longueurs d'onde de la lumière ?

Q5 Pourquoi refroidit-on les CCD à très basses température ?

Q6 Lorsqu'on parle de la détection d'un signal :
(a) Expliquez brièvement ce que signifie le signal (S).
(b) Expliquez brièvement ce que signifie le bruit (B).
(c) Pour obtenir une image nette, est-il préférable d'avoir un rapport signal-sur-bruit $\left(\frac{S}{B}\right)$ qui est faible ou qui est élevé ?

Q7 Si on cherche à maximiser le rapport signal-sur-bruit pour une observation donnée, est-il préréfable de doubler le temps d'exposition ou de doubler le diamètre du télescope ?

Q8 Pourquoi est-il important que les télescopes puissent tourner et pivoter lorsqu'ils effectuent des observations ? Qu'arrive-t-il si un télescope demeure immobile lors de sa prise de mesure ?

Q9 Que se produit-il quand un CCD est frappé par un rayon cosmique ?

Q10 Expliquez brièvement ce que signifie l'échantillonnage d'un pixel (« pixel scale » en anglais). Quelles sont typiquement les unités utilisés pour exprimer cette quantité ?

Q11 Expliquez ce que représente la limite de résolution α_{lim} d'un télescope. Est-il préférable que cette quantité soit petite ou grande ?

Q12 Expliquez ce qu'est le « seeing ».

Q13 Pourquoi tous les plus grands télescopes (sauf les télescopes radios) sont-ils construits dans les montagnes ?

Q14 Expliquez ce qu'est l'optique adaptative.

Q15 Pourquoi n'est-il pas grave qu'un télescope radio soit construit d'un simple grillage (et donc qu'il soit en quelque sorte « troué ») ?

Q16 Expliquez brièvement en quoi consiste l'interférométrie.

EXERCICES

8.1 **Le nombre de photons détectés.** On observe l'étoile Procyon à l'aide d'un télescope de $1,6\,\mathrm{m}$ de diamètre. La mesure de sa parallaxe annuelle permet de déterminer qu'elle est située à $11,46\,\mathrm{al}$. Aussi, en analysant son spectre, on détermine que le maximum d'intensité se produit à une longueur d'onde de $444,1\,\mathrm{nm}$. On estime que son rayon est de $1,4313 \times 10^9\,\mathrm{m}$.

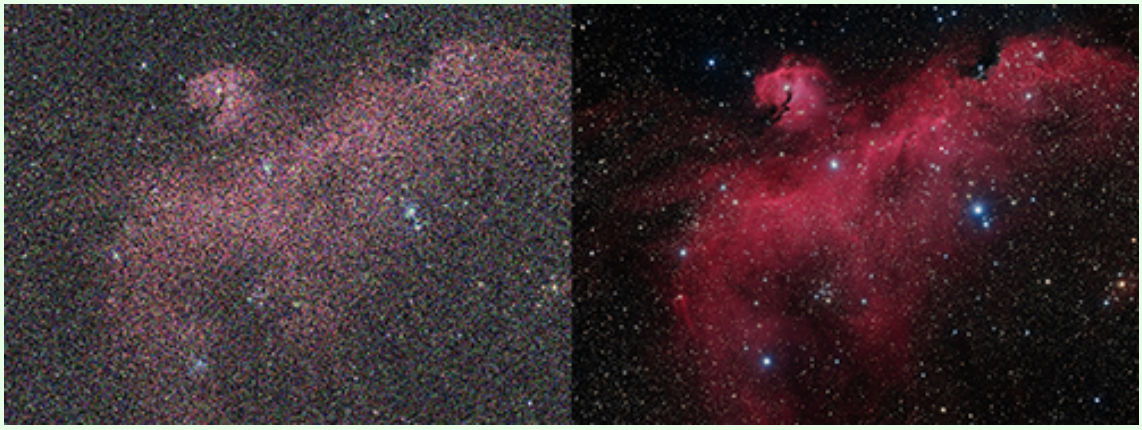
(a) Quelle est la luminosité de Procyon ? Exprimez votre réponse en $\mathrm{L}_\odot$.

(b) Procyon A émet $40\,\%$ de sa luminosité dans le domaine des longueurs d'ondes visibles. Pour simplifier, nous allons supposer que cette fraction de lumière est toute émise en photons possédant une longueur d'onde égale à $444,1\,\mathrm{nm}$. Calculez combien de photons seront détectés par la caméra CCD du télescope qui est seulement sensible aux longueurs d'ondes visibles si le temps d'exposition est de $40\,\mathrm{s}$.

8.2 **Le meilleur rapport signal-sur-bruit.** Les trois photos ci-dessous ont été prises avec la même caméra. Laquelle possède le meilleur rapport signal-sur-bruit ? Qu'est-ce que l'observateur a fait de différent pour obtenir un meilleur signal-sur-bruit ?



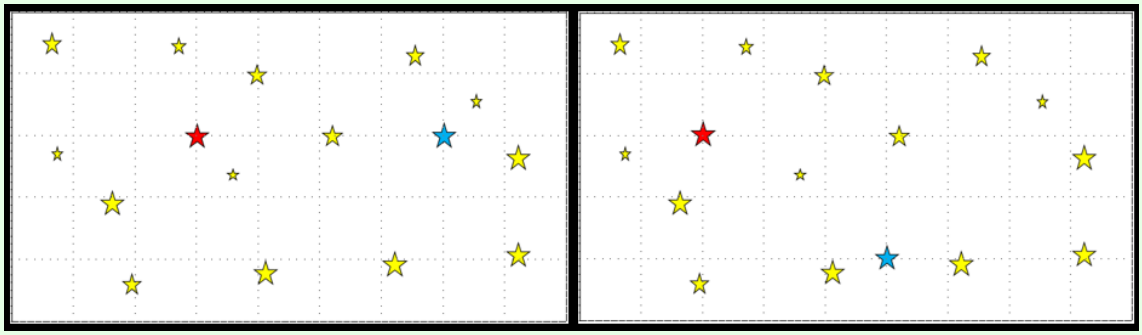
8.3 **Le temps arrange les choses.** Les deux images ci-dessous ont été prises avec le même instrument. L'image de gauche a un rapport S/B de 5 et l'image de droite a un rapport S/B de 20. Par quel facteur a-t-on augmenté le temps d'exposition de l'image de gauche pour obtenir l'image de droite ?



8.4 **La distance de la glissoire.** L'image ci-dessous a été prise avec une caméra dont l'échantillonnage d'un pixel (pixel scale) est de $70,5''$/pix. Sachant que la plateforme de la glissoire est à une hauteur $h = 1,8\,\text{m}$ du sol et que cette hauteur occupe 350 pixels sur l'image, déterminez quelle était la distance entre la plateforme et le photographe.

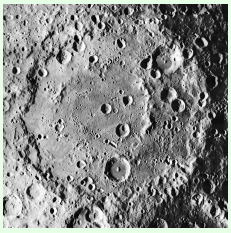


8.5 **L'échantillonage d'un pixel.** Les deux images ci-dessous couvrent la même région du ciel et ont été prises à 6 mois d'intervalle avec le même télescope et la même caméra. La résolution de chaque image est de 900×500 pixels.
(a) Sachant que l'étoile rouge est située à une distance de 4 pc de la Terre, calculez l'échantillonnage d'un pixel (pixel scale) du CCD.
(b) À quelle distance de la Terre l'étoile bleue se trouve-t-elle ?



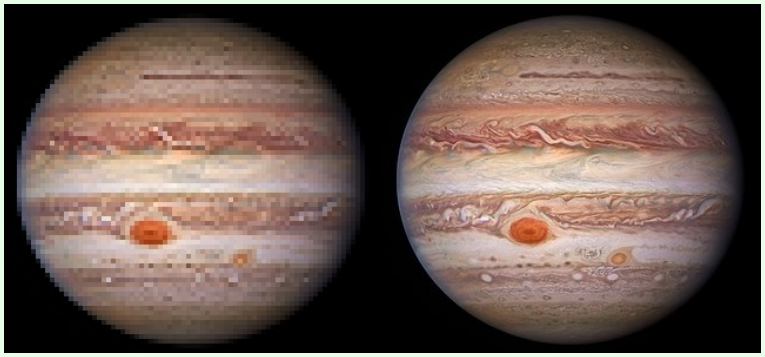
8.6 **La limite de résolution d'un radiotélescope.** Quelle est la limite de résolution d'un radiotélescope de 100 m de diamètre opérant à la longueur d'onde de 1 m ?

8.7 **Distinguer deux cratères sur la Lune.** Deux cratères à la surface de la Lune sont distants de 50 km.



(a) Est-il possible de résoudre (de distinguer clairement) les deux cratères à l'aide d'un télescope terrestre de 15 cm de diamètre ? Justifiez votre réponse. Supposez que le télescope opère à une longueur d'onde de 700 nm. Négligez les effets de turbulence atmosphérique.
(b) Quelle distance minimale doit séparer deux objets sur la Lune afin qu'on puisse les distinguer avec ce télescope de 15 cm de diamètre ?

8.8 **Jupiter observée par deux télescopes.** Les deux images de Jupiter ci-dessous ont été obtenues par deux télescopes différents. Appelons « télescope **1** » celui de gauche et « télescope **2** » celui de droite. On suppose que les deux télescopes se trouvaient chacun à $4,2$ UA de Jupiter au moment de prendre leur photo (on néglige les perturbations de l'atmosphère). Sur l'image de gauche le diamètre de Jupiter occupe 70 pixels. Sur l'image de droite, son dimaètre occupe 290 pixels. Le diamètre de Jupiter est de 143 000 km.



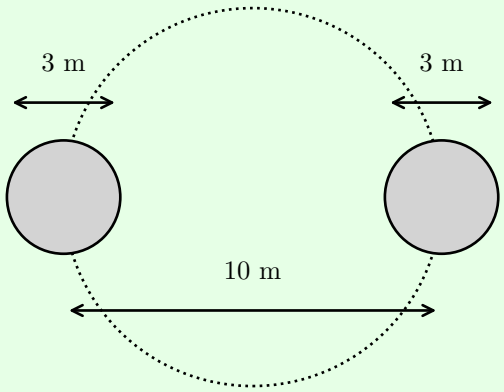
(a) Calculez l'échantillonnage d'un pixel (pixel scale) de chacune des deux images.
(b) Calculez le diamètre D de chacun des deux télescopes. On suppose que les télescopes opèrent chacun à une longueur d'onde de 600 nm. Considérez également et que pour chaque télescope, la limite de résolution théorique est atteinte.
(c) En considérant que les deux images possèdent le même rapport signal-sur-bruit et que le télescope **1** a obtenu son image après un temps d'exposition de 30 s, calculez le temps d'exposition qu'il a fallu au télescope **2** pour obtenir son image.

8.9 **La limite de résolution du Keck.** Quelle est la limite de résolution du télescope Keck dont les 36 miroirs hexagonaux (équivalent à un seul miroir de 10 m de diamètre) lorsque celui-ci observe une source dont la longueur d'onde est 600 nm ?

8.10 **Deux Keck valent mieux qu'un.** Les deux télescopes Keck I et Keck II sont séparés par une distance de 85 m. Ils peuvent travailler ensemble en interférométrie de façon à créer un seul télescope. Déterminer la limite de résolution équivalente alors obtenue, toujours s'ils observent à 600 nm.



8.11 **Le point faible de l'interférométrie.** On construit deux télescopes de 3 m de diamètre chacun, on les place à 10 m de distance centre-à-centre et on les relie ensemble de manière à pouvoir les utiliser en interférométrie (voir schéma ci-contre).



(a) Cet configuration possède la même limite de résolution qu'un télescope unique possédant quel diamètre ?
(b) Cet configuration possède la même surface réfléchissante totale qu'un télescope unique possédant quel diamètre ?
(c) Si un seul télescope de 10 m de diamètre réalise une observation avec un temps d'exposition de 125 s, quel temps d'exposition les deux télescopes en interférométrie doivent-ils effectuer afin d'obtenir une image possédant le même rapport image-sur-bruit ?

RÉPONSES

8.1 **(a)** À partir de la loi de Wien, on trouve $T = 6\,530\,\mathrm{K}$.
À partir de la loi de Stefan-Boltzmann, on trouve $\ell = 1,031 \times 10^{8}\,\mathrm{W/m^2}$.
On trouve finalement $L = 2,65 \times 10^{27}\,\mathrm{W} = 6,93\,\mathrm{L_\odot}$.
(b) Intensité reçue sur Terre : $I_{\text{recue}} = 1,797 \times 10^{-8}\,\mathrm{W/m^2}$, donc : $I_{\text{visible}} = 0,4 I_{\text{recue}} = 7,188 \times 10^{-9}\,\mathrm{W/m^2}$.
Puissance captée : $1,445 \times 10^{-8}\,\mathrm{W}$ (obtenue en multipliant I_{visible} par l'aire du miroir primaire du télescope).
Énergie de 1 photon à 444,1 nm : $4,4787 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$.
Donc, $1,29 \times 10^{12}$ photons captés par le détecteur en 40 s.

8.2 Celle de gauche. Comme il utilise la même caméra, il n'avait d'autre choix que d'augmenter le temps d'exposition pour obtenir un meilleur rapport signal-sur-bruit.

8.3 16

8.4 $\approx 15\,\mathrm{m}$

8.5 **(a)** La parallaxe annuelle de l'étoile rouge est $\theta = 0,25''$, donc $\alpha = 0,50''$ et $PS = \frac{0,50''}{100\,\text{pix}} = 0,005''/\text{pix}$
(b) $1,41\,\text{pc}$

8.6 $2\,500''$

8.7 **(a)** La séparation angulaire entre les deux cratère est $\alpha = 26,9''$
La limite de résolution du télescope est $\alpha_{\text{lim}} = 1,17''$
Donc : oui, on arrive à distinguier clairement les deux cratère car $\alpha > \alpha_{\text{lim}}$.
(b) $2,19\,\text{km}$

8.8 **(a)** $PS_1 = 0,673\,''/\text{pix}$ et $PS_2 = 0,163\,''/\text{pix}$
(b) $D_1 = 22,3\,\text{cm}$ et $D_2 = 92,3\,\text{cm}$
(c) $1,75\,\text{s}$

8.9 $0,015''$

8.10 $1,765\,\text{mas}$ (« mas » = *milliarcsecond* (en anglais) = millisecondes d'arc)

8.11 **(a)** $10\,\text{m}$
(b) $4,24\,\text{m}$
(c) $695\,\text{s}$