

Master-2 Astrophysique - INSTRUMENTATION

Examen1997/1998 - CORRECTION

NB. Le lecteur est invité à vérifier soigneusement les calculs numériques.

1) L'intérêt de l'intensité spécifique est de ne varier qu'en présence d'interaction avec la matière (milieu interstellaire, atmosphère).

2) La solution est donnée dans le cours ; attention à l'orientation de la propagation, selon qu'on part de $\tau = 0$ pour $z = 0$ (avantage : position connue pour l'observateur, mais alors $d\tau = -\kappa ds$) ou de l'extérieur de l'atmosphère (avantage $\tau = 0$ démarre là où physiquement il n'y a pas de matière et $d\tau = +\kappa ds$). Dans les deux cas, on trouve que l'intensité au sol est la somme de l'intensité stellaire atténuée d'un terme exponentiel (dépendant de l'angle horaire θ) et d'un terme correspondant à l'émission de l'atmosphère intégrée le long du parcours de la lumière).

3) $\tau(\theta) \cos \theta = \tau_o$.

4) émission parasite au zénith : $E_o = S(1 - e^{-\tau_o})$; à l'angle zénithal θ : $E_\theta = S(1 - e^{-\tau\theta})$.
 $E_\theta = 2.E_o \rightarrow e^{-\tau} = 2e^{-\tau_o} - 1$. Cas optiquement mince : $\tau, \tau_o \ll 1 \rightarrow \tau = 2\tau_o \rightarrow \theta = 60^\circ$.

5) Les deux courbes se croisent à peu près exactement à mi-chemin entre 1 et 10 microns, donc dans la bande L ($\approx 3 \mu$).

6) L'émission constante à courte longueur d'onde est due à la désexcitation des molécules OH de la haute atmosphère ("*OH airglow*"). La fonction source S est la fonction de corps noir $B_\nu(T)$. L'émissivité est égale au terme κ dans le passage de la distance parcourue à la profondeur optique.

7) On en déduit que $\tau_o = 0.18$. NB. En toute rigueur, $(1 - e^{-\tau_o}) = 0.18 \rightarrow \tau_o = 0.198$.

8) Pour un nombre N_λ de photons par $\text{s.m}^2.\text{arcsec}^2.\mu\text{m}$, le flux correspondant peut s'écrire : $F_\lambda = N_\lambda.h\nu [\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}.\text{arcsec}^{-2}] = N_\lambda.hc/\lambda [\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}.\text{arcsec}^{-2}] = 10^6 \times N_\lambda.hc/\lambda [\text{W.m}^{-2}.\text{m}^{-1}.\text{arcsec}^{-2}]$ (en passant par mètre de longueur d'onde).

On en déduit F_ν (pour passer aux magnitudes) : $F_\nu d\nu = F_\lambda d\lambda$, soit $F_\nu = \times N_\lambda h \lambda_{(\mu\text{m})} [\text{W.m}^{-2}.\text{Hz}^{-1}.\text{arcsec}^{-2}]$.
Et la magnitude par arcsec^2 dans la bande X (flux de référence F_X) : $m_X / \text{''}^{-2} = -2.5 \log(10^{26} N_\lambda h \lambda_{(\mu\text{m})} / F_X)$.

On trouve alors pour les bandes de J à M (en consultant le tableau des flux de référence F_X dans le proche IR : $N_\lambda = 10^4$: $m_J = 15.7$; $N_\lambda = 10^4$: $m_H = 14.9$; $N_\lambda = 10^4$: $m_K = 14.1$; $N_\lambda = 10^4$: $m_L = 12.6$; $N_\lambda = 10^6$: $m_M = 11.7$. Pour mémoire, le modèle de calcul de performances de l'instrument ISAAC à l'ESO suppose $m_J = 16$; $m_H = 14$; $m_K = 13$.

9) L'utilisation à mi-dynamique permet de rester sur une partie de la réponse du détecteur qui soit bien linéaire. On est aussi "protégé" des légères fluctuations de seeing qui peuvent faire varier le flux par pixel et risquer la saturation.

10) Sur la courbe, on compte environ 10^5 photons/s/m²/μm/arcsec², ce qui donne
 $N_{0.2} = 10^5(\text{photons}) \times 0.6(\eta) \times 0.1(\text{transm}) \times 12.6(\text{m}^2) \times 0.04(\text{arcsec}^2/\text{pixel}) \times 0.5(\Delta\lambda) \approx 1500 \text{ e/s}$.
 $N_{0.05} = N_{0.2} \times 2.5 \cdot 10^{-3} / 0.04 = 95 \text{ e/s}$. A mi-dynamique (200000 e), on peut poser : $t_{0.2} = 200000/1500 = 130 \text{ sec}$ et $t_{0.05} = 200000/95 = 2100 \text{ sec}$.

11) Le bruit de signal de fond de ciel est l'incertitude amenée sur la mesure par le compte des

photons (souvent majoritaires) dus à l'émission de fond de ciel.

12) Ce temps de pose est celui pour lequel le bruit de lecture (σ_L , fixe) devient inférieur au bruit de photon du fond de ciel. Pour l'échelle focale $0.2''/\text{px}$, le flux d'électrons du fond est de 1500 e/s ; on a donc $t(\text{lim}) = \sigma_L^2/N_{0.2} = 10^4/1500 \approx 6.7 \text{ s}$. Du point de vue stratégie d'observation, dans le premier cas (lecture dominant), on a avantage à poser le plus longtemps possible, dans le second cas (fond dominant), on peut co-additionner des poses après intégration, on ne diminue pas le rapport signal / bruit.

13) Le courant d'obscurité (10 e/s) est toujours nettement inférieur au flux d'électrons dus au fond de ciel. Ce n'est donc pas un paramètre du problème dans la bande L.

14) Avec un seeing de $0.7''$ et une échelle focale de $0.2''/\text{px}$, le flux stellaire se répartit sur $9.6 (=10)$ pixels. Le bruit de lecture est de 100 e mais en une minute le flux de fond de ciel génère $60 \times 1500 \approx 10^5 \text{ e}$ (on vérifie qu'on ne sature pas). Le bruit sur la mesure est dominé par le bruit de signal, soit $\approx 300 \text{ e}$. A 3σ , la limite de détection est donc (en utilisant les valeurs indicatives des paramètres des bandes photométriques dans le cours) :

$$F(\text{lim}) = \frac{3 \times 300}{0.06} \times \frac{h\nu}{60} [\text{W}] \frac{1}{12.6} [\text{m}^{-2}] \frac{1}{11.1 \cdot 10^{12}} [\text{Hz}^{-1}] \approx 9.3 \cdot 10^{-6} \text{ Jy}$$

D'où une magnitude limite $m_L = 18.7$ obtenue si tout le signal de l'étoile tombait sur un pixel. Avec le seeing considéré, le signal est distribué sur 10 pixels et la magnitude limite à 3σ tombe donc à $18.7 - 2.5 = 16.2$.

15) Si le seeing passe à $0.4''$, le signal est $(0.7/0.4)^2 = 3$ fois plus fort sur chaque pixel, et la magnitude limite est $18.7 - 2.5 \log(3) \approx 17.5$, elle s'améliore avec le seeing.

16) Si on cherche la résolution spatiale maximum, il faut analyser l'image fournie par l'AO en respectant le critère de Shannon. On utilisera alors l'échelle focale de $0.05''/\text{px}$. Dans ce cas, le signal d'une étoile donnée tombe sur 3 pixels. Si on recherche la sensibilité maximum, on utilisera l'échelle focale de $0.2''/\text{px}$. Dans ce cas, le signal d'un objet ponctuel tombe sur un seul pixel et la sensibilité est meilleure.

17) A la résolution maximale, le signal d'une étoile tombe sur 3 pixels (surface d'un cercle de diamètre $0.1''$ calculée en pixels de $0.05''$) et on est dans le cas calculé à la question 15 : la magnitude limite vaut 17.5 . A la sensibilité maximum, tout le signal stellaire tombe sur un pixel et on retrouve le calcul initial de la question 14 : la magnitude limite vaut 18.7 . Dans ce cas, la résolution est de $0.2''$.

18) Si l'objet est étendu, on mesure sa brillance (en magnitude par pixel ou en magnitude par arcsec^2 par exemple). La sensibilité calculée précédemment de 18.7 par pixel peut s'appliquer. Si le seeing varie, cette sensibilité ne varie pas.