

Master-2 Astrophysique - INSTRUMENTATION

Examen 2005 - 2006 31 janvier 2006 Durée 2 Heures

CORRECTION

Rapport signal / bruit en comptage de photons

Les calculs des questions 1) et 2) sont des calculs classiques de statistique.

3) Signal = n ; bruit = \sqrt{n} ; $SN_p = \sqrt{n}$.

4) $n_e = \eta n$; en électrons le signal est donc $n_e = \eta n$ et le bruit $\sqrt{n_e} = \sqrt{\eta n}$. Donc $SN_e = \sqrt{\eta n}$. Le rapport s/n est dégradé du facteur $\sqrt{\eta}$.

5) le PM bleu est celui dont la courbe de sensibilité est meilleure dans le bleu ; l'autre est le rouge. Les longueurs d'onde de coupure (à 50%) sont respectivement 680 et 860 nm (à 20 nm près). à 500nm, le rendement quantique est estimé à 45%. $SN_e = \sqrt{10^4 \times 0.1 \times 0.45} = 21.2$

6) à 725 nm le rendement quantique tombe à 0.1%. Le rapport s/n devient : $SN_e = \sqrt{10^4 \times 0.1 \times 0.001} = 1$.

7) le signal est toujours n_e . Lors de l'opération de soustraction, les bruits s'ajoutent quadratiquement. Le bruit devient donc $\sqrt{n_e + d + d}$. le rapport s/n devient alors celui de l'équation 1.

8) on remplace n_e par ηn .

9) 1.6fA correspond à 10^4 e/s ; le PM rouge a $\eta(880 \text{ nm}) \approx 1\%$; le signal est $n_e = 5 \times 10^4 \times 1 \times 0.01 = 500$; le bruit est $\sqrt{500 + 20000} = 143$ le s/n est de 3.5.

10) si η est doublé, le s/n passe à 6.9 ; si d est doublé, le s/n tombe à 2.5. Dans ce domaine de valeurs, l'influence du rendement quantique est prédominante.

11) le NEP est le plus petit signal détectable ; c'est le signal équivalent au bruit, ou encore le signal pour lequel le rapport s/n = 1.

12) en écrivant s/n = 1 dans l'équation 1, on obtient $n_e^2 = n_e + 2d$ d'où l'on tire l'équation demandée en remplaçant n_e par ηn .

13) le nombre d d'électrons intégré pendant une pose est facilement plus élevé que 1/8 d'électron. L'approximation est donc correcte. L'équation admet 2 solutions : $X = \frac{1 \pm \sqrt{1+8d}}{2}$. L'approximation sert 2 fois et la solution positive est $\eta n \approx \sqrt{2d}$.

14) $NEP = \frac{nhc}{\lambda t_{int}} \propto 1/\lambda$; $n = \frac{2d}{\eta}$.

15) 1.6 fA pendant une seconde donne 10000 électrons. On a donc : $NEP (W) = \sqrt{20000} hc/\eta \lambda = 2.8 \times 10^{-16} / \lambda (\mu\text{m})$

16) Pour $\lambda = 500, 600, 700, 800$ nm ; $\eta = 12, 15, 16, 15\%$; $NEP = 4.7, 3.1, 2.5, 2.3 \times 10^{-16}$ W. Le NEP augmente avec λ car les photons sont de moins en moins énergétiques.

17) Le NEP dépend de t_{int} comme $1/\sqrt{t_{int}}$. Si $t_{int} \times 2$, le NEP est diminué de $\approx 40\%$ (facteur $1/\sqrt{2}$).

18) Le NEP varie comme $1/\eta$. Plus η augmente et plus la puissance nécessaire pour égaler un bruit donné diminue.

19) La réponse en A/W et le rendement quantique sont reliés : $R_{A/W} = 0.8 \eta \lambda_{\mu\text{m}}$. On lit les valeurs de η sur la figure et on en déduit la courbe demandée.