

Capteurs optiques

La calculatrice est autorisée, tout document est en revanche interdit.

Durée : 2h00

Questions du cours:

1. Citer les trois modèles de la lumière et donner une brève description et un exemple d'application pour chaque modèle.
2. Quelle est la gamme de longueur d'onde du visible ? Quelles sont l'énergie maximale et l'énergie minimale des photons correspondants ?

Exercice I. Efficacité d'une lampe

On considère une lampe de tungstène qui consomme 500 W d'électricité et émet un rayonnement de 400 W. Le flux lumineux est de 6000 lm. En supposant que le rayonnement est homogène dans un demi-espace:

1. Calculer l'efficacité énergétique et l'efficacité lumineuse de la lampe. Quelle est alors son intensité lumineuse (lm/sr)?
2. La lampe peut être considérée comme un corps noir. Le filament a pour diamètre de 0,2 mm et il peut supporter une température maximale de 4000 K. Quelle est alors la longueur du filament pour assurer une émission de 400 W ?
3. Déterminer la longueur d'onde d'émission maximale.
4. Un détecteur de surface de 3 mm^2 est situé à 10 cm de la lampe. Calculer le flux énergétique reçu par le détecteur orienté vers la source. Quel est le flux reçu si le détecteur est incliné de 30° par rapport à la direction de la lumière arrivant sur le détecteur ?
5. Le flux énergétique est trop fort pour ce détecteur et on installe un atténuateur d'épaisseur de 1 mm et d'indice d'extinction de 2 mm^{-1} . Calculer le flux lumineux reçu par le détecteur dans les deux cas cités ci-dessus (question 4).

Dans les deux questions suivantes, on ne considère que le cas où la lumière traverse l'atténuateur et le détecteur soit orienté vers la source. Ceux qui n'ont pas trouvé le flux énergétique peuvent prendre la valeur de 2,5 mW pour les calculs suivants.

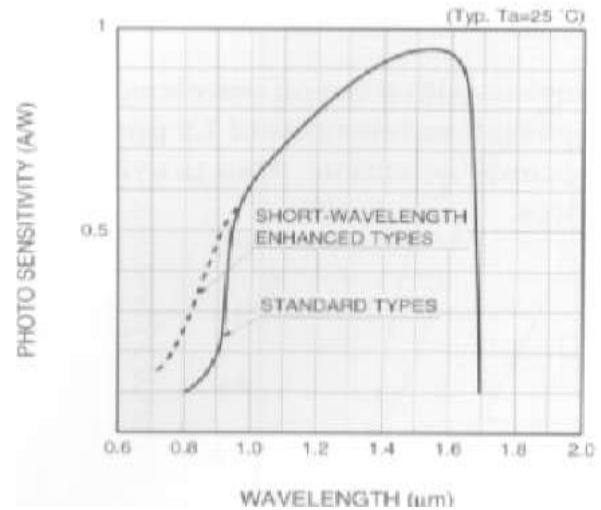
6. Pour simplifier le calcul, on suppose maintenant que le rayonnement de la lampe est monochromatique et la longueur d'onde équivalente est de $0.75 \text{ }\mu\text{m}$. Déterminer le nombre de photons reçus par seconde par le détecteur.
7. En supposant encore que le rendement quantique du détecteur est de 0.1 %, en déduire le courant généré par le flux reçu.

Exercice II. Rendement de capteurs

Le rendement quantique η en fonction de la longueur d'onde λ d'un détecteur est donné dans le tableau suivant :

$\lambda(\mu\text{m})$	0.8	1.0	2.2	3.0	3.6	4.2	5.1
$\eta(\lambda)$	0.1	0.5	0.6	0.75	0.7	0.5	0.2

- Montrer que la relation entre la réponse en courant en fonction de la longueur d'onde $R(\lambda)$ et le rendement quantique η est donnée par $R(\lambda) = \eta e \lambda / hc$.
- Tracer sur un graphe la variation de la réponse en courant $R(\lambda)$ en fonction de la longueur d'onde, puis en déduire:
 - Le domaine de sensibilité en longueur d'onde du détecteur (avec un critère de mi-hauteur).
 - La longueur d'onde au pic λ_p .
 - La réponse en courant au pic $R(\lambda_p)$.
- Tracer sur le même graphe la réponse en courant idéale (théorique) d'un détecteur de rendement quantique unité.
- Comparer les caractéristiques principales du détecteur étudié ci-dessus avec la photodiode InGaAs-PIN G3476-05 dont la réponse en courant $R(\lambda)$ est donnée sur la figure ci-contre (longueur d'onde au pic, domaine de sensibilité, ...).
- Déterminer son rendement quantique à la longueur d'onde au pic du détecteur InGaAs.



Constantes et formules

• Constantes :

- Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s ;
- Vitesse de la lumière dans le vide: $c = 3 \times 10^8$ m/s ;
- Charge d'un électron : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C ;

• Formules :

- Angle solide : $\Omega = 2\pi(1 - \cos\alpha) = S/R^2$
- Loi de Stefan: $P = \sigma ST^4$ où $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W.m⁻².K⁻⁴
- Loi de Wien : $\lambda_{max}T = 2898$ μm.K