

INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES

POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA CULTURE, DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE EN BULGARIE

[http ://www.iheb.org/](http://www.iheb.org/)

Concours Général de Physiques “Minko Balkanski”

7 mai 2005

Les trois parties du problème sont indépendantes.

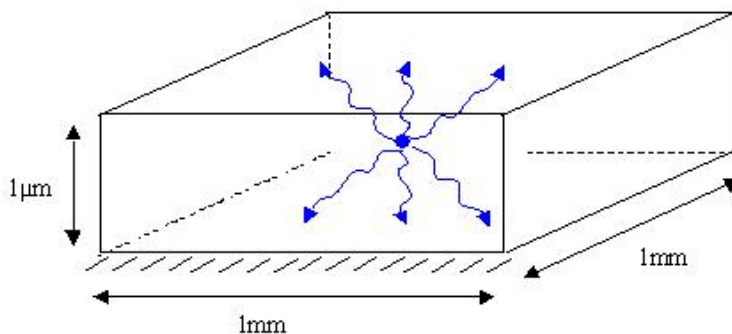
*La clarté et la précision de la rédaction, qui doit être obligatoirement en **français**, seront prises en compte dans la note finale.*

La durée de la composition est de 4 heures.

Problème : Les LED pour l'éclairage

Une LED est un dispositif semi-conducteur qui transforme un courant électrique en lumière. Actuellement les LED sont considérés comme le futur de l'éclairage qui permettra de faire des grandes économies d'énergie. Le but de ce problème est d'évaluer par des modèles simples l'efficacité de la LED et de la comparer au rendement d'une ampoule à filament.

Pour modéliser la LED on va considérer le schéma suivant :



Les dimensions de la LED sont $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\mu\text{m}$. La lumière (dans ce modèle simpliste) est générée de manière homogène dans un point au milieu de la LED. La LED est formé d'un cristal de GaN, dont les caractéristiques physiques sont données dans le tableau :

Caractéristique physique du GaN	Valeur (en unités SI)
Indice de réfraction à 410nm (n)	2,5
Densité (D)	$6,15 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Coefficient de chaleur spécifique (C)	$4,9 \cdot 10^{-5} \text{ J/(kg.K)}$
Température de fusion	2500°C

On rappelle aussi que l'énergie d'un photon est liée à la fréquence ν de ce photon par la formule $E = h\nu$, ou la constante de Planck h vaut $6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$. La vitesse de la lumière c est de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

On va considérer que chaque rayon qui touche les côtés de la LED est absorbé, que la lumière peut sortir que par le haut de la LED, et finalement, que le bas de la LED est parfaitement réfléchissant.

Partie 1 : Fonctionnement d'une LED simple

1. Expliquer ce qui se passe quand un rayon de lumière passe d'un milieu avec un indice de réfraction n_1 dans un milieu avec un indice de réfraction n_2 .

2. Si $n_1 > n_2$ donner à quelle condition le rayon de lumière passera du milieu n_1 dans le milieu n_2 .

3. Calculer quelle proportion de lumière générée dans la LED sort de la LED.

4. Pour créer de la lumière on envoie du courant dans la LED. En supposant que chaque électron injecté dans la LED génère 1 photon déterminer la puissance de la lumière émise la LED en fonction du courant injecté.

5. Calculer la puissance absorbée par la LED.

On va considérer aussi que la diode possède une résistance de 12Ω , et qu'elle se comporte comme un élément Ohmique.

6. Donner pour une tension de fonctionnement $V = 12\text{V}$ quelle est la puissance totale qui est convertie en chaleur.

7. Donner en absence de toute dissipation de chaleur la vitesse d'augmentation de la température de la LED. Au bout de combien de temps elle va fondre.

En réalité tout corps chaud dissipe de la puissance par rayonnement suivant la loi de Stefan-Boltzmann : $P = \sigma T^4 S$ où S est la surface du corps T est la température et $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(K}^4 \cdot \text{m}^2)$ est la constante de Stefan-Boltzmann.

8. Calculer la température d'équilibre de la LED.

9. Comparer la puissance émise par dissipation thermique à celle émise par le fonctionnement de la LED.

10. Calculer pour quelle surface la température de la LED sera de 27°C . Qu'est ce que vous pouvez proposer pour diminuer la température de la LED ?

Partie 2 : L'ampoule classique

Une ampoule est un fil de tungstène avec une résistance de 500Ω , d'une longueur de 1m et d'une section circulaire de $20\mu m$ de diamètre. Le fil électrique est soumis à une tension de 230V.

1. Quelle est la puissance électrique consommée par la lampe ?
2. Quelle est la température du fil ?
3. Sachant qu'à cette température 90% de la lumière n'est pas visible, calculer la puissance de lumière visible émise par la lampe. Quel est le rendement de la lampe ? Comparer avec celui de la LED.

Partie 3 : Amélioration des LED et LED blanches

On peut améliorer la LED en traitant la face haut de la LED de sorte que tout rayon qui l'atteint sort de la LED.

1. Recalculer dans ce cas les questions 3 à 10 de la partie 1.
2. En quoi le traitement améliore la LED.
3. Pour créer de la lumière blanche on dépose sur la LED améliorée une couche qui convertie la lumière violette en lumière blanche. L'efficacité de cette conversion est de 80%. Calculer quelle puissance doit on fournir à une LED blanche pour qu'elle émette la même puissance de lumière visible que l'ampoule de la partie 2.
4. Combien de LED blanches alimentées à 12V sont ils nécessaires pour fournir au moins la même puissance lumineuse que l'ampoule de la partie 2 ?
5. Le prix d'une LED blanche améliorée est de 7euros contrairement à une ampoule qui coûte 50cts. Une ampoule a une durée de vie de 1000h contrairement à une LED qui a une durée de vie de 20000h. Est il économiquement viable d'utiliser des LED pour l'éclairage ? Quel devrait être le prix des LED pour que l'éclairage LED soit aussi cher que l'éclairage par ampoule classique.

FIN