Spécialité : Des alternatives aux lampes à incandescence

Bac S 2016 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Calculer la puissance électrique d'une lampe blanche à DEL avec luminophore qui fournit la même puissance lumineuse qu'une lampe à incandescence de 60 W. Montrer que le pourcentage d'économie réalisée est de l'ordre de 93 %.

Données utiles efficacité lumineuse : $10\ \text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ (incandescence), $150\ \text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ (DEL avec luminophore) ; $P_{\text{inc}} = 60\ \text{W}$

L'efficacité lumineuse k est le rapport de la puissance lumineuse P_{lum} (en lm) sur la puissance électrique P (en W) : $k = \dfrac{P_{\text{lum}}}{P}$, soit $P_{\text{lum}} = k \times P$.

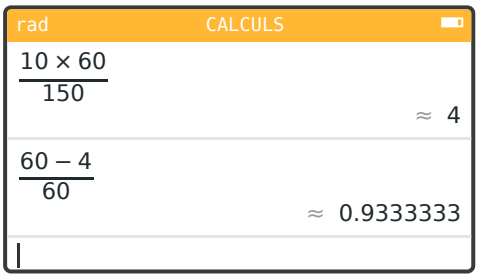
Lampe à incandescence : $P_{\text{lum}} = k_{\text{inc}} \times P_{\text{inc}} = 10 \times 60 = 6{,}0 \times 10^2\ \text{lm}$

Lampe à DEL de même puissance lumineuse : $P_{\text{DEL}} = \dfrac{P_{\text{lum}}}{k_{\text{DEL}}} = \dfrac{6{,}0 \times 10^2}{150} = 4{,}0\ \text{W}$

Économie relative : $\dfrac{P_{\text{inc}} - P_{\text{DEL}}}{P_{\text{inc}}} = \dfrac{60 - 4{,}0}{60} = 0{,}93$

$P_{\text{DEL}} = 4{,}0\ \text{W}$; l'économie est de 56 W sur 60 W, soit 93 % : c'est bien la valeur attendue.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Calculer $\dfrac{4{,}0}{60} = 6{,}7\ \%$ et s'arrêter là : c'est la part encore consommée, pas l'économie. Il faut rapporter la puissance économisée (56 W) à la puissance initiale.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 60 W et $10\ \text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. L'économie ne dépend que des efficacités : $1 - \dfrac{10}{150} = 0{,}93$, quelle que soit la puissance de la lampe remplacée.

COMPRENDRE
Le lumen et l'efficacité lumineuse ne figurent plus au programme actuel de spécialité de terminale ; la définition donnée par le sujet suffit pour répondre.

2 Associer chacun des trois spectres à une lampe à incandescence (filament à 3000 K), à une DEL ou à une lampe blanche à DEL bleue avec luminophore. Problème : indiquer les constituants des deux lampes de remplacement possibles (YAG, DEL) et justifier par le calcul le choix des semi-conducteurs.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J ; énergie des photons : GaSb 0,68 eV, GaAs 1,43 eV, AlGaAs 1,77 eV, GaP 2,25 eV, InGaN 2,67 eV ; figures 1 et 2 ; tableau des couleurs

Question 2.

- Spectre 1 : un pic étroit vers 460 nm (bleu), puis une large bande de 500 à 750 nm, semblable à l'émission du YAG de la figure 2. Le pic est la lumière de la DEL bleue non absorbée, la bande celle du luminophore.
- Spectre 2 : spectre continu dont l'intensité croît de 400 à 800 nm. C'est l'allure de la courbe à 3000 K de la figure 1, dont le maximum est situé dans l'infrarouge, vers 1000 nm.
- Spectre 3 : un seul pic étroit vers 630 nm, donc une lumière quasi monochromatique.

Spectre 1 : lampe blanche à DEL bleue avec luminophore ; spectre 2 : lampe à incandescence ; spectre 3 : DEL.

Problème. Une lampe d'éclairage domestique doit émettre une lumière blanche. On calcule la longueur d'onde émise par chaque DEL pour connaître sa couleur, puis on choisit les constituants pour chacune des deux techniques.

Longueur d'onde émise par chaque DEL

L'énergie d'un photon est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, avec E en joules.

Pour InGaN : $\lambda = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}67 \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = 4{,}65 \times 10^{-7}\ \text{m} = 465\ \text{nm}$

De la même façon :

- GaSb (0,68 eV) : $\lambda = 1{,}8 \times 10^{3}$ nm, infrarouge ;
- GaAs (1,43 eV) : $\lambda = 868$ nm, infrarouge ;
- AlGaAs (1,77 eV) : $\lambda = 701$ nm, rouge (620-750 nm) ;
- GaP (2,25 eV) : $\lambda = 552$ nm, vert (500-578 nm) ;
- InGaN (2,67 eV) : $\lambda = 465$ nm, bleu (446-500 nm).

Les DEL au GaSb et au GaAs émettent hors du visible (au-delà de 750 nm) : elles ne conviennent pas pour éclairer.

Lampe à DEL multiples

D'après la synthèse additive, la superposition de lumières rouge, verte et bleue donne du blanc. On associe donc trois DEL : AlGaAs (rouge), GaP (vert) et InGaN (bleu).

Lampe à DEL avec luminophore

D'après la figure 2, le YAG absorbe entre 400 et 520 nm environ, avec un maximum vers 460 nm. La DEL doit émettre dans ce domaine : seule celle à l'InGaN (465 nm) convient. Le YAG réémet une large bande de 500 à 750 nm (vert, jaune, orange, rouge) qui, ajoutée au bleu de la DEL non absorbé, donne une lumière blanche.

PIÈGE

Laisser l'énergie en électronvolts dans $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$: avec h en J · s, il faut multiplier E par $1{,}602 \times 10^{-19}$. Le résultat sort en mètres, à convertir en nanomètres pour lire la couleur.

COMPRENDRE

Le spectre 1 confirme la seconde lampe : son pic vers 460 nm correspond à la DEL InGaN. La relation $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$ reste au programme actuel ; la synthèse additive relève aujourd'hui des classes antérieures.

MÉTHODE

Calculer une fois $h\,c = 1{,}24 \times 10^{3}$ eV · nm, puis $\lambda\,(\text{nm}) = \dfrac{1{,}24 \times 10^{3}}{E\,(\text{eV})}$ pour chaque DEL. Plus l'énergie du photon est grande, plus la longueur d'onde est courte.

Lampe 1 : trois DEL, AlGaAs (701 nm, rouge), GaP (552 nm, vert) et InGaN (465 nm, bleu). Lampe 2 : une DEL InGaN (465 nm) recouverte de YAG.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{0.68 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 1.825843 \times 10^{-6}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{1.43 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 8.682329 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{1.77 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 7.014537 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2.25 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 5.518102 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2.67 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 4.650086 \times 10^{-7}$$