Étude d'un film de savon

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 2 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 En utilisant la figure 3, expliquer comment distinguer les zones d'interférences constructives des zones d'interférences destructives.

Sur la figure 3, le film présente une alternance de bandes horizontales claires et sombres.

Dans les bandes claires, l'intensité lumineuse est maximale : les rayons 2 et 3 s'y renforcent. Dans les bandes sombres, l'intensité est minimale : les rayons 2 et 3 s'y compensent.

Bandes claires : interférences constructives. Bandes sombres : interférences destructives.

COMPRENDRE
Les franges sont horizontales car l'épaisseur du film ne dépend que de la hauteur : chaque frange relie des points de même épaisseur.

1.2 Donner qualitativement la condition d'interférences constructives et celle d'interférences destructives.

Les interférences sont constructives en un point si les deux ondes qui s'y superposent sont en phase : leurs maxima coïncident.

Elles sont destructives si les deux ondes sont en opposition de phase : les maxima de l'une coïncident avec les minima de l'autre.

En phase : interférences constructives. En opposition de phase : interférences destructives.

MÉTHODE
Traduction quantitative, utile pour la suite : $\delta = k\,\lambda$ pour des interférences constructives, $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$ pour des interférences destructives, avec k entier.

1.3 Déterminer à l'aide d'un calcul si les interférences au point M sont destructives ou constructives.

Données utiles $\delta(\mathrm{M}) = 2\,n\,e - \frac{\lambda}{2}$; $n = 1{,}34$; $e = 900$ nm ; $\lambda = 600$ nm

Différence de chemin optique au point M :

$$\delta(\mathrm{M}) = 2 \times 1{,}34 \times 900 - \frac{600}{2} = 2{,}11 \times 10^3 \text{ nm}$$

On la compare à la longueur d'onde :

$$\frac{\delta(\mathrm{M})}{\lambda} = \frac{2\,112}{600} = 3{,}52 \approx 3{,}5$$

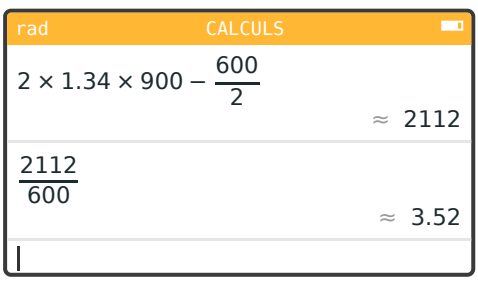
Donc $\delta(\mathrm{M}) \approx \left(3 + \frac{1}{2}\right)\lambda$: c'est un nombre demi-entier de longueurs d'onde, les rayons 2 et 3 sont en opposition de phase.

$\frac{\delta(\mathrm{M})}{\lambda} \approx 3{,}5$: les interférences au point M sont destructives.

PIÈGE
S'arrêter à la valeur de δ sans la diviser par λ : seul le rapport $\frac{\delta}{\lambda}$, entier ou demi-entier, permet de conclure.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme n, e et λ. Les deux longueurs restent en nanomètres : inutile de convertir pour un rapport.

À LA CALCULATRICE



2.1 Montrer que les épaisseurs correspondant à des interférences constructives sont données par $e_k = \left(\frac{2k+1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}$.

Données utiles $\delta = 2\,n\,e - \frac{\lambda}{2}$

Les interférences sont constructives si $\delta = k\,\lambda$, avec k entier.

$$2\,n\,e_k - \frac{\lambda}{2} = k\,\lambda$$

$$2\,n\,e_k = k\,\lambda + \frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\,\lambda}{2}$$

On divise par $2\,n$:

$$e_k = \frac{(2k+1)\,\lambda}{4\,n}$$

Une épaisseur est positive, ce qui impose $2k+1 > 0$, donc $k \geqslant 0$.

$e_k = \left(\frac{2k+1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}$ avec k entier, $k \geqslant 0$: relation attendue.

MÉTHODE
Pour un « montrer que » : écrire la condition physique, y remplacer l'expression admise de δ, puis isoler la grandeur demandée ligne après ligne, sans sauter d'étape.

2.2 Calculer l'épaisseur minimale pour que des interférences constructives en lumière bleue apparaissent.

Données utiles $\lambda_{\text{bleu}} = 458$ nm ; $n = 1{,}34$; relation de la question 2.1

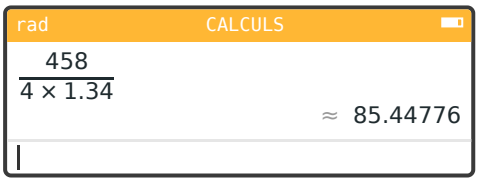
e_k augmente avec k : l'épaisseur minimale correspond à $k = 0$.

$$e_0 = \frac{\lambda_{\text{bleu}}}{4\,n} = \frac{458}{4 \times 1{,}34}$$

$e_0 = 85{,}4$ nm

PIÈGE
Taper 458÷4×1.34 sans parenthèses : la calculatrice multiplie alors par n et affiche 153 nm.

À LA CALCULATRICE



2.3 La zone sans couleur, en haut du support, correspond à une épaisseur très faible (interférences destructives). Au cours du temps, elle s'étend vers le bas. Proposer une explication.

Le film est vertical : sous l'effet de son poids, l'eau savonneuse s'écoule lentement vers le bas du cadre. Le film s'amincit donc au cours du temps, en commençant par le haut.

L'épaisseur devient très faible sur une hauteur de plus en plus grande, et les interférences y sont destructives pour toutes les couleurs.

La gravité draine le liquide vers le bas : la partie très mince du film, sans couleur, gagne du terrain vers le bas.

COMPRENDRE
Si e est très petite devant λ, alors $\delta \approx -\frac{\lambda}{2}$ quelle que soit λ : opposition de phase pour toutes les couleurs, donc aucune lumière réfléchie.

2.4 Au point A de la figure 5, les interférences sont constructives à la fois en lumière bleue et en lumière rouge-orangée. Déterminer l'épaisseur du film de savon au point A.

Données utiles $\lambda_{\text{bleu}} = 458$ nm ; $\lambda_{\text{rouge}} = 600$ nm ; $n = 1{,}34$; relation de la question 2.1

Sur la figure 5, on compte les franges brillantes à partir de celles repérées $k = 1, 2, 3$, jusqu'au point A :

- en lumière bleue, A est sur la frange $k = 8$;
- en lumière rouge-orangée, A est sur la frange $k = 6$.

En lumière bleue :

$$e_8 = \frac{(2 \times 8 + 1) \times 458}{4 \times 1{,}34} = 1{,}45 \times 10^3 \text{ nm}$$

En lumière rouge-orangée :

$$e_6 = \frac{(2 \times 6 + 1) \times 600}{4 \times 1{,}34} = 1{,}46 \times 10^3 \text{ nm}$$

Les deux valeurs ne diffèrent que de $0{,}2\ \%$: elles décrivent bien la même épaisseur.

$e_{\text{A}} \approx 1{,}45 \times 10^3$ nm, soit environ $1{,}5\ \mu$m

PIÈGE

Se tromper d'une frange dans le comptage : avec $k = 7$ en bleu et $k = 6$ en rouge, on trouve 1 282 nm et 1 455 nm, deux valeurs incompatibles. L'accord des deux calculs valide le comptage.

MÉTHODE

Vérification sans la figure : il faut $(2k + 1) \times 458 = (2k' + 1) \times 600$, soit un rapport de nombres impairs proche de $1{,}31$. Or $\frac{17}{13} \approx 1{,}31$: $k = 8$ et $k' = 6$.

À LA CALCULATRICE

