Le laser au quotidien

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Nommer le phénomène physique responsable de l'irisation d'un CD ou d'un DVD éclairé en lumière blanche.

Les motifs gravés ont une taille comparable aux longueurs d'onde du visible : chaque radiation est déviée dans une direction qui dépend de sa longueur d'onde.

L'irisation est due à la **diffraction** de la lumière blanche par la surface gravée du disque.

COMPRENDRE
Les ondes diffractées par les sillons voisins se superposent ensuite : ce sont leurs interférences qui renforcent chaque couleur dans une direction particulière. Le disque se comporte comme un réseau.

1.2 Calculer la fréquence ν de la radiation utilisée dans la technologie blu-ray.

Données utiles $\lambda_B = 405$ nm dans le vide ; $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Dans le vide, $\lambda_B = \dfrac{c}{\nu}$, donc $\nu = \dfrac{c}{\lambda_B}$.

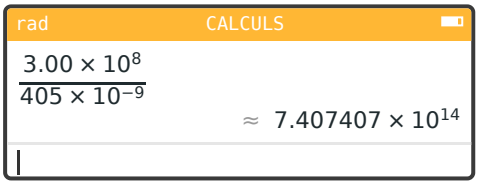
$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^8}{405 \times 10^{-9}}$$

$\nu = 7{,}41 \times 10^{14}$ Hz

PIÈGE
Laisser la longueur d'onde en nanomètres : il faut $405 \text{ nm} = 405 \times 10^{-9}$ m pour obtenir des hertz.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c et λ_B.

À LA CALCULATRICE



1.3 Comparer la longueur d'onde du laser blu-ray à celle des systèmes CD ou DVD.

D'après le texte, le laser du CD est infrarouge (au-delà de 800 nm) et celui du DVD est rouge (vers 650 à 800 nm). Le laser blu-ray, à 405 nm, est à l'extrémité violette du visible.

$\lambda_B < \lambda_{\text{DVD}} < \lambda_{\text{CD}}$: le laser blu-ray a la plus petite longueur d'onde des trois.

COMPRENDRE
Une longueur d'onde plus petite donne une tache de diffraction plus petite : le spot est plus fin, les motifs gravés plus serrés, et le disque contient plus de données (25 GB contre 4,7 GB et 700 MB).

2.1.1 Établir la relation entre θ, la largeur L de la tache centrale de diffraction et la distance D entre le fil et l'écran.

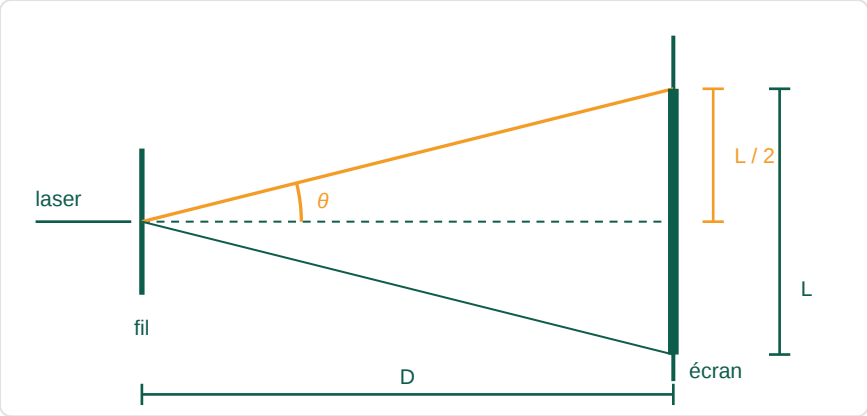
Dans le triangle rectangle de la figure, le côté opposé à θ vaut $\dfrac{L}{2}$ et le côté adjacent vaut D :

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

L'angle étant petit, $\tan\theta \approx \theta$ (en radian).

$\theta = \dfrac{L}{2D}$

PIÈGE
Écrire $\theta = \dfrac{L}{D}$: θ est le demi-écart angulaire, il correspond à la demi-largeur $\dfrac{L}{2}$ de la tache centrale.



2.1.1 · Figure 2 vue de dessus : le triangle rectangle utilisé

2.1.2 Donner la relation entre θ, λ_D et a en indiquant l'unité de chaque grandeur.

$\theta = \dfrac{\lambda_D}{a}$, avec θ en radian (rad), λ_D en mètre (m) et a en mètre (m).

COMPRENDRE
Plus le fil est fin, plus la tache centrale est large. La relation suppose seulement que λ_D et a sont dans la même unité, mais θ est obligatoirement en radian.

2.1.3 En déduire la relation $\lambda_D = \dfrac{L\,a}{2D}$.

Les deux expressions de θ (questions 2.1.1 et 2.1.2) sont égales :

$$\frac{\lambda_D}{a} = \frac{L}{2D}$$

En multipliant les deux membres par a :

$\lambda_D = \dfrac{L\,a}{2D}$, qui est bien la relation attendue.

2.2 À partir des deux expériences, calculer la longueur d'onde λ_D de la radiation d'un lecteur DVD et la comparer au résultat de la question 1.3.

Données utiles laser DVD : $L = 4{,}8$ cm ; laser blu-ray : $L' = 3{,}0$ cm et $\lambda_B = 405$ nm

Le fil et la distance D sont les mêmes dans les deux expériences.
Pour chaque laser :

$$\lambda_D = \frac{L\,a}{2D} \qquad \text{et} \qquad \lambda_B = \frac{L'\,a}{2D}$$

En faisant le rapport, a et D se simplifient : $\dfrac{\lambda_D}{\lambda_B} = \dfrac{L}{L'}$, donc $\lambda_D = \lambda_B \times \dfrac{L}{L'}$.

$$\lambda_D = 405 \times \frac{4{,}8}{3{,}0} = 648 \text{ nm}$$

Deux chiffres significatifs, comme L et L'.

$\lambda_D = 6{,}5 \times 10^2$ nm : radiation rouge, et $\lambda_D > \lambda_B$, en accord avec la question 1.3.

PIÈGE
Chercher une valeur de a ou de D : le sujet n'en donne aucune. Inverser le rapport donnerait 253 nm, un ultraviolet, ce qui contredit le texte.

MÉTHODE
Quand deux mesures sont faites avec le même montage, le rapport des deux relations élimine les grandeurs inconnues. Les unités se simplifient aussi : L et L' restent en cm, λ_D sort dans l'unité de λ_B.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{405 \times 4.8}{3.0} \approx 648$

3.1 Donner la relation entre l'indice n du polycarbonate, la célérité c et la vitesse v de la radiation dans le polycarbonate.

$n = \dfrac{c}{v}$

COMPRENDRE
Comme $v < c$, l'indice est toujours supérieur à 1 et n'a pas d'unité. Ici $v = \dfrac{c}{n} \approx 1{,}94 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.00 \times 10^8}{1.55} \approx 1.935484 \times 10^8$

3.2 Quelle grandeur caractéristique de la radiation du laser n'est pas modifiée lorsque le rayon passe de l'air dans le disque ?

La fréquence est imposée par la source : elle ne dépend pas du milieu traversé.

La **fréquence** ν de la radiation (donc aussi sa période) n'est pas modifiée.

PIÈGE
Répondre « la longueur d'onde » ou « la couleur donc la longueur d'onde ». La couleur perçue est liée à la fréquence ; la longueur d'onde diminue dans le disque.

3.3.1 Montrer que la longueur d'onde λ du laser CD dans le polycarbonate vérifie $\lambda = \dfrac{\lambda_C}{n}$.

Données utiles $n = \dfrac{c}{v}$ (question 3.1) ; fréquence ν inchangée (question 3.2)

Dans le vide : $\lambda_C = \dfrac{c}{\nu}$.

Dans le polycarbonate, la radiation garde la même fréquence ν mais se propage à la vitesse $v = \dfrac{c}{n}$:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\,\nu} = \frac{1}{n} \times \frac{c}{\nu}$$

$\lambda = \dfrac{\lambda_C}{n}$, qui est bien la relation attendue.

MÉTHODE
Pour passer d'un milieu à un autre, écrire $\lambda = \dfrac{\text{vitesse}}{\nu}$ dans chacun des deux milieux, avec la même fréquence, puis faire le lien grâce à l'indice.

3.3.2 Calculer la longueur d'onde λ du laser CD dans le polycarbonate.

Données utiles $\lambda_C = 780$ nm ; $n = 1{,}55$

$$\lambda = \frac{\lambda_C}{n} = \frac{780}{1{,}55}$$

$\lambda = 503$ nm

COMPRENDRE
La radiation reste infrarouge dans le disque : sa fréquence n'a pas changé. La valeur 503 nm ne signifie pas qu'elle devient verte, les couleurs étant repérées par la longueur d'onde dans le vide.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{780}{1.55} \approx 503.2258$