Caractère ondulatoire de la lumière

Bac S 2009 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Quel est le nom du phénomène observé ?

Après la fente, le faisceau s'étale : l'écran montre une tache centrale lumineuse bordée de zones sombres, au lieu d'un simple point.

Le phénomène observé est la **diffraction** de la lumière par la fente.

COMPRENDRE
La diffraction est propre aux ondes : elle se manifeste nettement quand l'ouverture a une taille peu différente de la longueur d'onde, ou jusqu'à quelques centaines de fois plus grande pour la lumière.

2.1 Avec l'approximation $\tan\theta \approx \theta$ (en rad), calculer la valeur de l'angle θ en radians à partir des mesures.

Données utiles $D = 2{,}00$ m ; $2d = 12{,}6$ mm

Dans le triangle rectangle formé par l'axe du faisceau, l'écran et le rayon dirigé vers la première zone sombre : $\tan\theta = \dfrac{d}{D}$.

L'angle étant petit, $\theta \approx \tan\theta$, donc $\theta = \dfrac{d}{D}$ avec $d = \dfrac{12{,}6}{2} = 6{,}30\ \text{mm} = 6{,}30 \times 10^{-3}$ m.

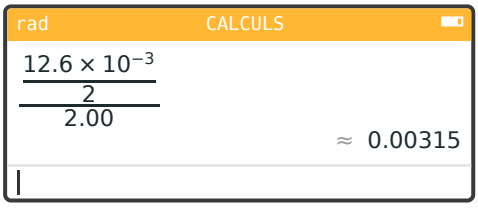
$$\theta = \frac{6{,}30 \times 10^{-3}}{2{,}00}$$

$\theta = 3{,}15 \times 10^{-3}$ rad

PIÈGE
La mesure donnée est $2d$, largeur totale de la tache centrale. Utiliser $12{,}6$ mm à la place de d double l'angle. Penser aussi à convertir les millimètres en mètres.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. L'angle trouvé est très petit, ce qui justifie l'approximation proposée.

À LA CALCULATRICE



2.2 Donner la relation liant θ, λ et a, avec les unités du système international. Calculer la longueur d'onde λ.

Données utiles $a = 0{,}200$ mm ; $\theta = 3{,}15 \times 10^{-3}$ rad (2.1)

Pour une fente de largeur a, l'écart angulaire vérifie :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

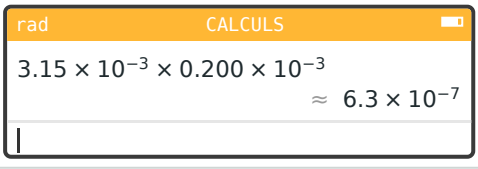
avec θ en radians (rad), λ en mètres (m) et a en mètres (m).

On en tire $\lambda = \theta \times a = 3{,}15 \times 10^{-3} \times 0{,}200 \times 10^{-3} = 6{,}30 \times 10^{-7}$ m.

$\lambda = 6{,}30 \times 10^{-7}\ \text{m} = 630\ \text{nm}$

COMPRENDRE
630 nm appartient au domaine visible (400 à 800 nm), côté rouge : le résultat est cohérent avec le laser rouge mentionné à la question 2.4.

À LA CALCULATRICE



2.3 Quelle est la relation entre λ, c et ν ? Indiquer les unités dans le système international.

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période $T = \frac{1}{\nu}$:

$\lambda = \frac{c}{\nu}$, avec λ en mètres (m), c en mètres par seconde ($\mathrm{m \cdot s^{-1}}$) et ν en hertz (Hz).

2.4 Indiquer comment varie d lorsqu'on remplace la lumière rouge du laser par une lumière bleue, puis lorsqu'on diminue la largeur a de la fente.

Les deux expressions de l'écart angulaire donnent $\frac{d}{D} = \frac{\lambda}{a}$, soit $d = \frac{\lambda D}{a}$.

- Lumière bleue : sa longueur d'onde est plus petite que celle du rouge. Avec a et D inchangés, d est proportionnelle à λ, donc d diminue.
- Fente plus étroite : avec λ et D inchangés, d est inversement proportionnelle à a, donc d augmente.

En lumière bleue, d **diminue** ; si a diminue, d **augmente**.

PIÈGE
L'intuition trompe : resserrer la fente élargit la tache centrale. La diffraction est d'autant plus marquée que l'ouverture est étroite.

MÉTHODE
Pour prévoir l'effet d'un changement, écrire d'abord la grandeur étudiée en fonction des seuls paramètres de l'expérience, puis raisonner en proportionnalité, un paramètre à la fois.

2.5 Qu'est-ce qui différencie une lumière monochromatique d'une lumière polychromatique ?

Une lumière monochromatique ne contient qu'une seule radiation, caractérisée par une fréquence unique. Une lumière polychromatique est la superposition de plusieurs radiations de fréquences différentes.

Monochromatique : **une seule fréquence** ; polychromatique : **plusieurs fréquences**.

COMPRENDRE
Le laser est une source quasi monochromatique ; la lumière blanche de la partie 3 est polychromatique. On caractérise une radiation par sa fréquence, car elle ne dépend pas du milieu traversé.

3.1 Quelle grandeur ne change pas lorsqu'une radiation passe de l'air dans le verre : la longueur d'onde, la fréquence ou la célérité ?

La fréquence d'une radiation est fixée par la source. La célérité diminue en entrant dans le verre, et la longueur d'onde $\lambda = \frac{v}{\nu}$ diminue avec elle.

Seule la **fréquence** reste inchangée.

3.2 Donner la relation définissant l'indice de réfraction d'un milieu transparent pour une radiation monochromatique, en précisant la signification des symboles.

$n = \frac{c}{v}$, où n est l'indice de réfraction du milieu (sans unité), c la célérité de la lumière dans le vide et v la célérité de la radiation dans le milieu considéré, toutes deux en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

COMPRENDRE
Comme $v \leqslant c$, un indice de réfraction est toujours supérieur ou égal à 1. Celui de l'air vaut pratiquement 1.

3.3 Calculer la célérité de la radiation dans le verre.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $n = 1{,}50$

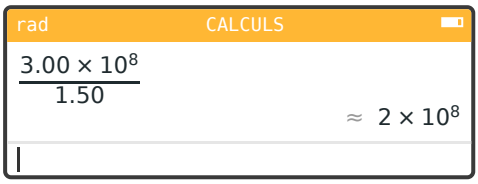
De la définition de l'indice : $v = \dfrac{c}{n}$.

$$v = \frac{3{,}00 \times 10^8}{1{,}50}$$

$v = 2{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Multiplier c par n donnerait une célérité supérieure à celle de la lumière dans le vide, ce qui est impossible : ce contrôle rapide évite l'erreur.

À LA CALCULATRICE



3.4 Qu'appelle-t-on milieu dispersif ?

Un milieu est **dispersif** si la célérité d'une onde qui s'y propage dépend de sa fréquence.

COMPRENDRE
Pour la lumière, cela revient à dire que l'indice $n = \dfrac{c}{v}$ dépend de la fréquence : chaque couleur est déviée différemment, d'où le spectre obtenu avec un prisme.

3.5 Déduire de la relation de Descartes et de la définition de l'indice de réfraction que le verre est dispersif.

Données utiles $n_a = 1{,}0$; $n_a \sin i = n_v \sin r$; à i fixé, r varie avec la fréquence

Avec $n_a = 1{,}0$, la relation de Descartes s'écrit $\sin i = n_v \sin r$, soit $n_v = \dfrac{\sin i}{\sin r}$.

L'angle i est fixé et r change quand la fréquence change : $\sin r$ varie, donc n_v dépend de la fréquence.

Par définition, $n_v = \dfrac{c}{v}$, soit $v = \dfrac{c}{n_v}$. Comme c est une constante, la célérité v dans le verre dépend elle aussi de la fréquence.

La célérité de la lumière dans le verre dépend de la fréquence : le verre est un milieu **dispersif**.

MÉTHODE
Enchaîner trois maillons : l'observation (r varie avec ν), la loi de Descartes (n_v varie avec ν), la définition de l'indice (v varie avec ν). Conclure avec la définition donnée en 3.4.