A propos de lumière

Bac S 2006 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Quel phénomène subit la lumière émise par le laser dans cette expérience ? Que peut-on en conclure par analogie avec les ondes mécaniques ?

Après la fente fine, le faisceau s'étale et donne plusieurs taches sur l'écran : la lumière subit une **diffraction**.

Les ondes mécaniques (à la surface de l'eau, par exemple) sont elles aussi diffractées par une ouverture étroite.

Phénomène de diffraction ; par analogie, la lumière a un caractère ondulatoire.

COMPRENDRE
La fente est horizontale et la figure s'étale verticalement : l'étalement se fait toujours perpendiculairement à la fente.

1.2.1 Que représente l'angle θ de la relation (1) $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$?

θ est l'angle, vu depuis la fente, entre la direction du faisceau incident (centre de la tache centrale) et la direction de la première extinction (bord de la tache centrale).

θ est la demi-largeur angulaire de la tache centrale de diffraction (écart angulaire).

PIÈGE
Dire que θ couvre toute la tache centrale. L'angle sous lequel on voit la tache entière depuis la fente vaut 2θ.

1.2.2 Préciser les unités de chaque terme intervenant dans la relation (1).

θ en radians (rad) ; λ en mètres (m) ; a en mètres (m).

COMPRENDRE
Le quotient de deux longueurs est sans dimension, ce qui est cohérent avec un angle en radians. La relation est fausse si θ est exprimé en degrés.

1.2.3 Comment évolue la largeur de la tache centrale lorsqu'on réduit la largeur de la fente ?

D'après la relation (1), à λ fixée, θ est inversement proportionnel à a : si a diminue, θ augmente.

Quand on réduit la largeur de la fente, la tache centrale s'élargit.

1.3 Exprimer θ en fonction de la largeur ℓ de la tache centrale et de la distance D (relation (2)), avec l'approximation $\tan\theta \approx \theta$.

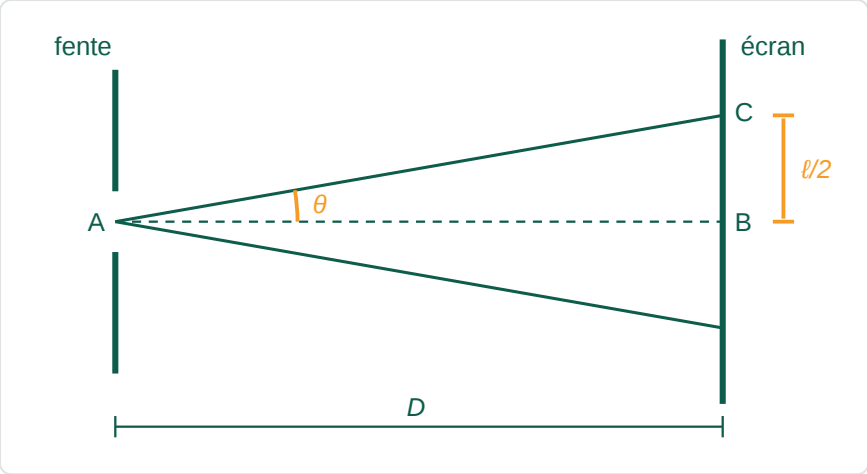
Dans le triangle ABC rectangle en B (A : fente, B : centre de la tache, C : bord de la tache centrale) :

$$\tan\theta = \frac{BC}{AB} = \frac{\ell/2}{D} = \frac{\ell}{2D}$$

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

$\theta = \dfrac{\ell}{2D}$ (relation (2))

PIÈGE
Écrire $\theta = \dfrac{\ell}{D}$. Le côté opposé à θ est la moitié de la tache centrale, pas sa largeur entière.



1.3 · Demi-largeur angulaire θ de la tache centrale (vue de profil)

1.4 À l'aide des relations (1) et (2), montrer que $a = \dfrac{2\lambda D}{\ell}$. Calculer a.

Données utiles $\lambda = 633$ nm ; $\ell = 38$ mm ; $D = 3{,}00$ m

En égalant les deux expressions de θ : $\dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{\ell}{2D}$, d'où $a\,\ell = 2\lambda D$, soit $a = \dfrac{2\lambda D}{\ell}$.

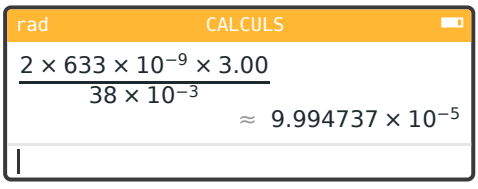
$$a = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 3{,}00}{38 \times 10^{-3}} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$a = \dfrac{2\lambda D}{\ell} = 1{,}0 \times 10^{-4}$ m, soit 0,10 mm

PIÈGE
Laisser λ en nm ou ℓ en mm : toutes les longueurs se convertissent en mètres avant le calcul.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, comme $\ell = 38$ mm, la donnée la moins précise. Vérification : $\theta = \ell/(2D) \approx 6{,}3 \times 10^{-3}$ rad, l'approximation des petits angles est justifiée.

À LA CALCULATRICE



2.1 Quelle est la nature de la lumière émise par le laser ? Justifier.

Après le prisme, milieu dispersif, on observe un seul point lumineux, de la même couleur que le faisceau incident : la lumière n'est pas décomposée. Elle ne contient donc qu'une seule radiation, de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 633$ nm.

La lumière du laser est monochromatique.

2.2.1 Rappeler la relation entre la longueur d'onde λ de l'onde émise par le laser, sa fréquence ν et sa célérité c. Calculer ν.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\lambda = 633$ nm

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

$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{633 \times 10^{-9}} = 4{,}74 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

$\nu = \dfrac{c}{\lambda} = 4{,}74 \times 10^{14}$ Hz

COMPRENDRE
Le sujet écrit « Calculer v » : c'est une coquille, la grandeur demandée est la fréquence ν (lettre grecque nu), à ne pas confondre avec la vitesse v dans le milieu.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3.00 \times 10^{8}}{633 \times 10^{-9}} \approx 4.739336 \times 10^{14}$$

2.2.2 La valeur de ν varie-t-elle lorsque cette onde change de milieu de propagation ?

La fréquence est imposée par la source ; elle caractérise la radiation.

Non : ν garde la même valeur dans tous les milieux transparents.

COMPRENDRE
Ce sont la célérité et la longueur d'onde qui changent d'un milieu à l'autre. La couleur perçue, liée à la fréquence, reste la même.

2.3 Donner les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible et les couleurs correspondantes. Situer les domaines ultraviolet et infrarouge.

Le spectre visible s'étend d'environ 400 nm (violet) à environ 800 nm (rouge).

Visible : $400 \text{ nm} \leqslant \lambda \leqslant 800 \text{ nm}$, du violet au rouge ; ultraviolets : $\lambda < 400$ nm ; infrarouges : $\lambda > 800$ nm.

MÉTHODE
Pour retenir l'ordre : l'ultraviolet est « au-delà du violet » (courtes longueurs d'onde, hautes fréquences), l'infrarouge « en deçà du rouge » en fréquence, donc aux grandes longueurs d'onde.

2.4.1 Pourquoi précise-t-on la fréquence ν de l'onde lorsqu'on donne la valeur de n ?

Le verre est un milieu dispersif : la vitesse v de la lumière y dépend de la fréquence de la radiation. Comme $n = \dfrac{c}{v}$ et que c est une constante, n dépend lui aussi de la fréquence.

L'indice n du verre dépend de la fréquence : la valeur $1{,}61$ n'est valable que pour la radiation utilisée.

2.4.2 Calculer la longueur d'onde λ' de cette onde dans le verre.

Données utiles $n = 1{,}61$; $\lambda = 633$ nm

Dans le verre, l'onde se propage à la vitesse $v = \dfrac{c}{n}$ avec la même fréquence ν (2.2.2) :

$$\lambda' = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n} \quad \text{car } \frac{c}{\nu} = \lambda$$

$$\lambda' = \frac{633}{1{,}61} = 393 \text{ nm}$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n} = 393 \text{ nm} = 3{,}93 \times 10^{-7} \text{ m}$$

PIÈGE
Conclure que la lumière devient violette ou ultraviolette parce que $\lambda' < 400$ nm. La couleur est fixée par la fréquence, inchangée ; les limites du visible sont données pour le vide.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{633}{1.61} \approx 393.1677$$

2.5 On remplace le laser par une lumière blanche. Qu'observe-t-on sur l'écran ?

La lumière blanche est polychromatique. L'indice du verre dépendant de la fréquence, chaque radiation est déviée différemment par le prisme : la lumière est décomposée.

On observe une tache étalée et colorée, continue du rouge au violet : le spectre de la lumière blanche.

2.6 Sur la figure 3, tracer en les identifiant clairement les deux rayons, rouge et bleu, correspondant aux traits en pointillé.

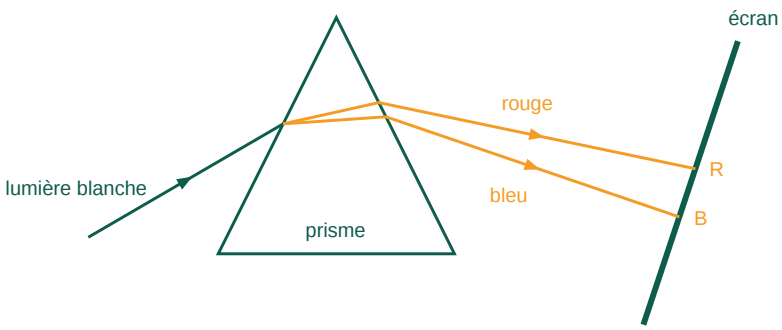
Données utiles la déviation d augmente quand la longueur d'onde diminue

$\lambda_{\text{bleu}} < \lambda_{\text{rouge}}$, donc $d_{\text{bleu}} > d_{\text{rouge}}$: le rayon bleu s'écarte davantage de la direction du rayon incident.

Sur la figure, la déviation se fait vers la base du prisme, donc vers le bas de l'écran.

Le rayon bleu est le trajet du bas (le plus dévié), le rayon rouge celui du haut (le moins dévié).

MÉTHODE
Repasser chaque trajet en trait plein depuis le point d'entrée jusqu'à l'écran, avec une flèche pour le sens de propagation et le nom de la couleur écrit le long du rayon.



2.6 · Figure 3 de l'annexe complétée : le bleu est plus dévié que le rouge

3.1 Rappeler la relation qui lie ΔE et ν.

En passant de l'état d'énergie E_2 à l'état d'énergie E_1, l'atome émet un photon dont l'énergie est égale à ΔE.

$\Delta E = E_2 - E_1 = h\,\nu$, avec h la constante de Planck, ΔE en joules et ν en hertz.

COMPRENDRE
Le fonctionnement du laser (émission stimulée) ne figure plus au programme actuel de spécialité. La relation $\Delta E = h\,\nu$, elle, reste exigible.

3.2 Calculer ΔE. Donner le résultat en eV.

Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\lambda = 633\ \text{nm}$

$$\Delta E = h\nu = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{633 \times 10^{-9}} = 3{,}14 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

Conversion : $\Delta E = \dfrac{3{,}14 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 1{,}96\ \text{eV}$

$$\boxed{\Delta E = 3{,}14 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1{,}96\ \text{eV}}$$

PIÈGE
Multiplier par $1{,}60 \times 10^{-19}$ au lieu de diviser. Un électronvolt est très petit devant un joule : la valeur en eV est un nombre de l'ordre de l'unité.

À LA CALCULATRICE

