La lumière une onde

Bac S 2003 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Quelle erreur commet Huyghens en comparant la propagation de la lumière à celle des ondes mécaniques ?

Une onde mécanique (son, vague) a besoin d'un milieu matériel pour se propager. La lumière, elle, se propage aussi dans le vide.

Huyghens constate que la lumière traverse l'enceinte vide d'air, mais il lui attribue quand même un support matériel, l'éther.

L'erreur est de croire que la lumière a besoin d'un milieu matériel (l'éther) : elle se propage dans le vide.

COMPRENDRE
La lumière est une onde électromagnétique, pas une onde mécanique. L'éther n'a jamais été mis en évidence et l'idée a été abandonnée.

1.1.2 Citer deux propriétés générales des ondes que l'on peut retrouver dans le texte de Huyghens.

- « La lumière s'étend de toutes parts » : une onde se propage, à partir de la source, dans toutes les directions possibles.
- « Les ondes lumineuses se traversent l'une l'autre sans s'empêcher » : deux ondes se croisent sans se perturber.

Propagation dans toutes les directions offertes ; croisement de deux ondes sans perturbation.

COMPRENDRE
Une troisième propriété figure dans le texte et convient aussi : la propagation ne se fait pas « par le transport d'une matière ». Une onde transporte de l'énergie, pas de matière.

MÉTHODE
Pour une question sur un texte, citer entre guillemets le passage utilisé, puis le traduire avec le vocabulaire du cours.

1.2.1 La lumière du Soleil utilisée par Fresnel est-elle monochromatique ou polychromatique ?

La lumière solaire est une lumière blanche : elle est composée d'une infinité de radiations de fréquences (donc de couleurs) différentes.

La lumière du Soleil est **polychromatique**.

1.2.2 Le diamètre du fil a-t-il une importance pour observer la diffraction ? Si oui, quel doit être son ordre de grandeur ?

Oui : la diffraction est d'autant plus marquée que le fil est fin.

Pour qu'elle soit bien visible, le diamètre du fil doit se rapprocher de la longueur d'onde de la lumière, comprise entre 400 nm et 800 nm dans le visible. En pratique, un fil de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres convient.

Oui ; diamètre de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-5} m, le plus proche possible de λ.

PIÈGE
Ne pas écrire que le fil doit être plus petit que λ. Dans la partie 2, le fil le plus gros mesure $a = 10^{-4}$ m, soit près de 200 fois λ, et il diffracte.

2.1 Donner la relation entre L et D qui a permis de calculer θ pour chacun des fils.

Données utiles $D = 1{,}60$ m ; $\tan\theta \approx \theta$ (θ en radian)

Sur la figure 1, dans le triangle rectangle formé par le fil, le centre de la tache et son bord, le côté opposé à θ vaut $\frac{L}{2}$ et le côté adjacent vaut D :

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

Comme θ est petit, $\tan\theta \approx \theta$.

$\theta = \frac{L}{2D}$ avec θ en radian, L et D dans la même unité.

PIÈGE
Oublier le facteur 2. L'angle θ est le demi-angle : il s'appuie sur la moitié de la tache centrale, pas sur sa largeur L entière.

2.2 Donner la relation liant θ, λ et a. Préciser les unités.

$\theta = \frac{\lambda}{a}$ avec θ en radian (rad), λ et a en mètre (m).

COMPRENDRE
Un rapport de deux longueurs est sans dimension, comme un angle en radian. Plus le fil est fin, plus θ est grand : la tache centrale s'élargit.

2.3 Montrer que la courbe $\theta = f\left(\frac{1}{a}\right)$ de la figure 2 est en accord avec l'expression de θ donnée en 2.2.

La courbe de la figure 2 est une droite qui passe par l'origine : θ est proportionnel à $\frac{1}{a}$, soit $\theta = k \times \frac{1}{a}$ avec k constant.

La relation de la question 2.2 s'écrit $\theta = \lambda \times \frac{1}{a}$: pour une lumière monochromatique, λ est constante, donc θ est bien proportionnel à $\frac{1}{a}$.

Droite passant par l'origine : θ proportionnel à $\frac{1}{a}$, en accord avec $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

PIÈGE
« C'est une droite » ne suffit pas. La proportionnalité exige une droite qui passe par l'origine : il faut écrire les deux.

2.4 Comment, à partir de la courbe précédente, pourrait-on déterminer la longueur d'onde λ ?

En identifiant $\theta = k \times \frac{1}{a}$ et $\theta = \lambda \times \frac{1}{a}$, on obtient $k = \lambda$.

λ est le coefficient directeur de la droite : on le calcule à partir d'un point de la droite.

MÉTHODE
Pour exploiter une loi en $\frac{1}{a}$, on trace la grandeur en fonction de $\frac{1}{a}$: on obtient une droite, dont le coefficient directeur donne la constante cherchée.

2.5 En utilisant la figure 2, préciser quelle est la longueur d'onde de la lumière utilisée : 560 cm ; 560 mm ; 560 µm ; 560 nm.

Données utiles figure 2 : θ en 10^{-2} rad, $\frac{1}{a}$ en 10^{4} m^{-1}

La droite passe par l'origine et par le point d'abscisse $\frac{1}{a} = 5{,}0 \times 10^{4}$ m^{-1} et d'ordonnée $\theta = 2{,}8 \times 10^{-2}$ rad.

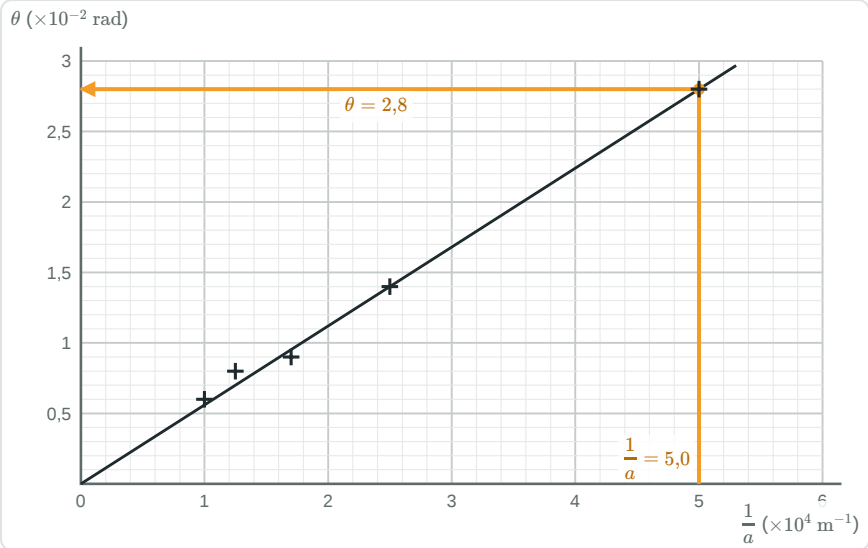
$$\lambda = \frac{\theta}{1/a} = \frac{2{,}8 \times 10^{-2}}{5{,}0 \times 10^{4}} = 5{,}6 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

Or $5{,}6 \times 10^{-7}\ \text{m} = 560 \times 10^{-9}\ \text{m}$.

$\lambda = 5{,}6 \times 10^{-7}$ m : la valeur à retenir est 560 nm.

PIÈGE
Oublier les puissances de dix des axes : $2{,}8 \div 5{,}0 = 0{,}56$ n'est pas λ. Il faut multiplier par $10^{-2} \div 10^{4} = 10^{-6}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les lectures graphiques. Sans calculer, seule 560 nm est dans le domaine visible (400 à 800 nm) : les autres valeurs sont absurdes pour un laser visible.



2.5 · Figure 2 du sujet, avec le point de la droite utilisé

MÉTHODE
Choisir un point de la droite tracée, loin de l'origine et sur un croisement du quadrillage, plutôt qu'un point de mesure.

2.6 En lumière blanche, on observerait des franges irisées. Justifier succinctement cet aspect à l'aide de la réponse à la question 2.2.

La lumière blanche contient toutes les radiations du visible. D'après $\theta = \frac{\lambda}{a}$, pour un même fil, l'écart angulaire dépend de λ : la tache centrale du rouge est plus large que celle du bleu.

Chaque radiation donne donc sa propre figure de diffraction, de taille différente. Au centre, toutes les couleurs se superposent : on voit du blanc. Ailleurs, seules certaines radiations sont présentes : on voit des couleurs.

θ dépend de λ : les figures des différentes couleurs ne coïncident pas, d'où un centre blanc bordé de franges colorées.

COMPRENDRE
Le bord de la tache centrale est rougeâtre : le rouge ($\lambda \approx 800$ nm) est diffracté environ deux fois plus que le violet ($\lambda \approx 400$ nm) et s'étale donc plus loin.

3.1 Quelle caractéristique d'une onde lumineuse monochromatique est invariante quel que soit le milieu transparent traversé ?

La **fréquence** ν de l'onde (donc sa période) ne dépend pas du milieu traversé.

PIÈGE
Ne pas répondre « la longueur d'onde ». La célérité v change avec le milieu, donc $\lambda = \frac{v}{\nu}$ change aussi. C'est la fréquence, imposée par la source, qui caractérise la couleur.

3.2 Donner la définition de l'indice de réfraction n d'un milieu homogène transparent, pour une radiation de fréquence donnée.

L'indice de réfraction est le rapport de la célérité c de la lumière dans le vide à la célérité v de la radiation dans le milieu considéré.

$n = \frac{c}{v}$, grandeur sans unité.

COMPRENDRE
Comme $v \leqslant c$, on a toujours $n \geqslant 1$: $n = 1$ dans le vide (et pratiquement dans l'air), $n \approx 1{,}5$ dans le verre.

3.3 Rappeler la définition d'un milieu dispersif. Pour un tel milieu, l'indice de réfraction dépend-il de la fréquence de la radiation ?

Un milieu est dispersif si la célérité v d'une onde dans ce milieu dépend de sa fréquence.

Comme $n = \dfrac{c}{v}$ avec c constante, si v dépend de la fréquence, alors n en dépend aussi.

Milieu dispersif : v dépend de la fréquence ; oui, l'indice n dépend alors de la fréquence.

COMPRENDRE
Le vide n'est pas dispersif : toutes les radiations s'y propagent à la même célérité c. Le verre l'est : son indice est un peu plus grand pour le bleu que pour le rouge.

3.4 Expliquer succinctement, sans calcul, la phrase « Un prisme est un milieu dispersif : convenablement éclairé, il décompose la lumière du faisceau qu'il reçoit ».

Données utiles $\sin(i_1) = n_v \sin(i_2)$; $n_a = 1$

Le verre est dispersif : son indice n_v dépend de la fréquence de la radiation (3.3).

Un faisceau de lumière polychromatique arrive sur le prisme : toutes ses radiations ont le même angle d'incidence i_1. D'après $\sin(i_2) = \dfrac{\sin(i_1)}{n_v}$, l'angle de réfraction i_2 dépend de n_v, donc de la fréquence.

Chaque radiation est donc déviée dans une direction différente : les couleurs, mélangées à l'entrée, sont séparées à la sortie.

n_v dépend de la fréquence, donc i_2 aussi : chaque couleur est déviée différemment et le prisme sépare les radiations.

PIÈGE
« Convenablement éclairé » signifie en lumière polychromatique. Une lumière monochromatique est déviée par le prisme, mais elle n'est pas décomposée.

COMPRENDRE
La seconde face du prisme accentue la séparation : chaque radiation y est de nouveau réfractée avec son propre indice. On obtient le spectre de la lumière.