Diffraction de la lumière à travers un tamis

Bac S 2011 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Définir la notion d'onde.

Une onde est le phénomène de propagation d'une perturbation, de proche en proche, dans un milieu.

Elle transporte de l'énergie **sans transport de matière**.

COMPRENDRE
Cette définition vaut pour les ondes mécaniques (son, houle), qui ont besoin d'un milieu matériel. La lumière est une onde électromagnétique : elle se propage aussi dans le vide.

1.2 Nommer les deux types d'onde que l'on distingue selon la direction de la propagation et celle de la perturbation, et donner un exemple pour chacun.

- Onde **transversale** : la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. Exemple : l'onde le long d'une corde, ou une ride à la surface de l'eau.
- Onde **longitudinale** : la perturbation est parallèle à la direction de propagation. Exemple : le son dans l'air, ou la compression le long d'un ressort.

Transversale (corde, surface de l'eau) ; longitudinale (son, ressort).

PIÈGE
Donner le nom sans la définition, ou oublier l'exemple : la question demande les deux pour chaque type.

2.1 Quel caractère de la lumière l'apparition d'une figure de diffraction met-elle en évidence ?

La diffraction est un phénomène propre aux ondes : on l'observe aussi avec la houle ou le son.

La figure de diffraction met en évidence le **caractère ondulatoire** de la lumière.

2.2 Dans quelle condition le phénomène de diffraction est-il observable ?

Il faut que l'onde rencontre une ouverture (ou un obstacle) de petite dimension : la diffraction est d'autant plus marquée que la taille a de l'ouverture est petite.

Diffraction nette si a est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ, ou inférieure.

COMPRENDRE
Pour la lumière, la diffraction reste visible avec une ouverture bien plus grande que λ, jusqu'à une centaine de fois environ : c'est le cas ici, la maille mesure quelques dizaines de micromètres.

2.3 Nommer la périodicité spatiale et la périodicité temporelle d'une onde lumineuse et préciser leur unité.

- Périodicité spatiale : la **longueur d'onde** λ, en mètre (m).
- Périodicité temporelle : la **période** T, en seconde (s).

λ en m (spatiale) ; T en s (temporelle).

PIÈGE
Citer la fréquence pour la périodicité temporelle : elle s'en déduit ($\nu = 1/T$, en hertz), mais la durée au bout de laquelle l'onde se répète est la période.

2.4 Rappeler la relation entre la longueur d'onde dans le vide λ_0, la célérité c et la période T_0. Exprimer puis calculer la fréquence ν_0 correspondante.

Données utiles $\lambda_0 = 532\ \text{nm} = 532 \times 10^{-9}\ \text{m}$; $c = 3 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période : $\lambda_0 = c\,T_0$.

Comme $\nu_0 = \dfrac{1}{T_0}$: $\quad \nu_0 = \dfrac{c}{\lambda_0}$

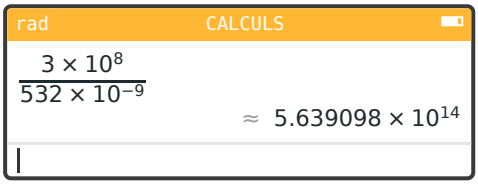
$$\nu_0 = \frac{3 \times 10^{8}}{532 \times 10^{-9}} = 5{,}6 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

$\lambda_0 = c\,T_0$ et $\nu_0 = \dfrac{c}{\lambda_0} \approx 6 \times 10^{14}\ \text{Hz}$

PIÈGE
Laisser λ_0 en nanomètres. Il faut 532×10^{-9} m pour obtenir des hertz.

COMPRENDRE
Le sujet donne c avec un seul chiffre significatif : le résultat n'en garde qu'un. On conserve $5{,}64 \times 10^{14}$ Hz pour le calcul suivant, afin de ne pas cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE



2.5 Calculer l'énergie associée à un photon LASER de fréquence ν_0.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $\nu_0 = 5{,}64 \times 10^{14}\ \text{Hz}$ (2.4)

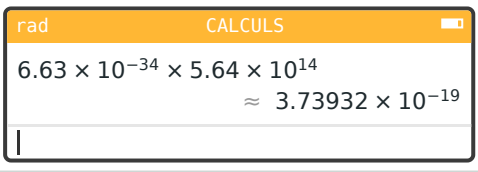
$E = h\,\nu_0$

$$E = 6{,}63 \times 10^{-34} \times 5{,}64 \times 10^{14} = 3{,}7 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$E = h\,\nu_0 \approx 4 \times 10^{-19}\ \text{J}$

COMPRENDRE
Cela correspond à environ 2,3 eV ($1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J), ordre de grandeur habituel pour un photon du visible ; 532 nm est une lumière verte.

À LA CALCULATRICE



2.6 Quelle propriété de l'air, vis-à-vis de la lumière, permet de considérer que les longueurs d'onde dans l'air et dans le vide sont identiques ? Citer un milieu qui n'a pas cette propriété.

Dans l'air, la lumière se propage pratiquement à la célérité c, quelle que soit sa fréquence : l'indice de l'air vaut $n \approx 1{,}00$ et l'air est un milieu **non dispersif** pour la lumière. Comme $\lambda = \dfrac{v}{\nu}$ et que la fréquence ne change pas, $\lambda_{\text{air}} \approx \lambda_0$.

L'air est non dispersif (célérité $\approx c$ pour toutes les fréquences) ; le **verre** n'a pas cette propriété.

COMPRENDRE
Dans un milieu dispersif, la célérité dépend de la fréquence. C'est pour cela qu'un prisme de verre sépare les couleurs de la lumière blanche. L'eau convient aussi comme exemple.

3.1 Montrer, à l'aide du schéma, que l'écart angulaire θ peut s'écrire $\theta = \dfrac{L}{2D}$ dans l'approximation des petits angles.

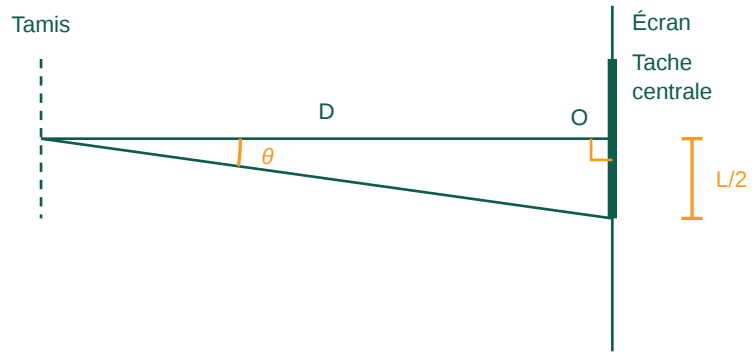
Sur la vue de dessus, θ est l'angle entre l'axe du faisceau (du tamis au centre O de la tache) et la direction du bord de la tache centrale. Ce bord est à la distance $\dfrac{L}{2}$ de O.

Dans le triangle rectangle en O : $\tan\theta = \dfrac{L/2}{D} = \dfrac{L}{2D}$

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

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

PIÈGE
Écrire $\tan\theta = \dfrac{L}{D}$: θ est le demi-angle sous lequel on voit la tache centrale, le côté opposé est donc la demi-largeur $\dfrac{L}{2}$.



3.1 · Vue de dessus : le triangle rectangle utilisé

3.2 Rappeler la relation qui lie l'écart angulaire θ à la longueur d'onde λ et au côté a de la maille.

Le tamis se comporte comme deux fentes perpendiculaires de largeur a ; pour une fente de largeur a :

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

COMPRENDRE
Plus la maille est petite, plus θ est grand et plus la tache centrale est large. Mesurer la tache revient donc à mesurer la maille.

3.3 Exprimer puis calculer la dimension a d'une maille du tamis à partir des données expérimentales.

Données utiles $\lambda = \lambda_0 = 532 \times 10^{-9}$ m ; $D = 2{,}0$ m ; $L = 2{,}66$ cm $= 2{,}66 \times 10^{-2}$ m

En égalant les deux expressions de θ (3.1 et 3.2) : $\dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{L}{2D}$, donc $a = \dfrac{2\,D\,\lambda}{L}$

$$a = \frac{2 \times 2{,}0 \times 532 \times 10^{-9}}{2{,}66 \times 10^{-2}} = 8{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

$$a = \frac{2\,D\,\lambda}{L} = 8{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m} = 80\ \mu\text{m}$$

PIÈGE
Laisser L en centimètres, ou oublier le facteur 2. Vérifier l'ordre de grandeur : une maille de tamis fin mesure quelques dizaines de micromètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme D. La distance $d = 40$ cm entre le LASER et le tamis ne sert pas : seule la distance tamis-écran intervient.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2 \times 2.0 \times 532 \times 10^{-9}}{2.66 \times 10^{-2}} \approx 8 \times 10^{-5}$$