

Série N°3 : Les ondes lumineuses

Niveau : Terminale : SM A et B

Exercice 1 – Définitions Niveau : ★

A) Définir :

1. onde électromagnétique ; lumière monochromatique ; lumière polychromatique.
2. diffraction ;
3. indice de réfraction ;
4. milieu dispersif.

B) Compléter le tableau.

Grandeur	Symbole	Unité SI
Célérité de la lumière		
Fréquence		
Longueur d'onde		
Indice de réfraction		
Écart angulaire		

Exercice 2 – Vrai ou Faux Niveau : ★

Indiquer si chaque affirmation est vraie ou fausse, puis justifier.

1. La lumière peut se propager dans le vide.
2. La fréquence d'une radiation change lorsqu'elle passe de l'air au verre.
3. Dans un milieu transparent, $v < c$.
4. La longueur d'onde reste toujours constante lors d'un changement de milieu.
5. Une lumière monochromatique contient une seule fréquence.
6. La lumière blanche est monochromatique.
7. Un milieu dispersif possède un indice indépendant de la fréquence.
8. La diffraction est plus marquée lorsque la fente est étroite.

Exercice 3 – Changement de milieu Niveau : **

A) Une radiation monochromatique a une fréquence : $\nu = 5,00 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

On donne $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

1. Calculer sa longueur d'onde dans le vide. Convertir le résultat en nanomètre.
2. Cette radiation appartient-elle au domaine visible ? Justifier.

B) Une lumière de fréquence $\nu = 4,50 \times 10^{14} \text{ Hz}$ se propage dans un verre à la célérité : $v = 2,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

On donne la célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

1. Calculer λ sa longueur d'onde dans le verre .
2. Calculer λ_0 sa longueur d'onde dans le vide.
3. Quelle grandeur reste inchangée lors du changement de milieu ?
4. Calculer la valeur de l'indice de réfraction du verre et établir une relation entre λ et λ_0

Exercice 4 – Loi de Descartes Niveau : **

A) Un rayon lumineux passe de l'air ($n_1 = 1.00$) dans un verre ($n_2 = 1.50$) avec un angle d'incidence : $i_1 = 30^\circ$.

1. Calculer l'angle de réfraction i_2 .
2. Le rayon se rapproche-t-il ou s'éloigne-t-il de la normale ?

B) Un rayon passe du verre ($n_1 = 1.50$) vers l'air ($n_2 = 1.00$) avec : $i_1 = 25^\circ$.

1. Calculer l'angle i_2 .
2. Calculer l'angle de déviation du rayon incident.

C) Pour plusieurs valeurs de i_1 , on mesure i_2 . On obtient : $\sin i_1 = 1.42 \sin i_2$.

1. Identifier le rapport $\frac{n_2}{n_1}$.
2. Si le milieu 1 est l'air, déterminer n_2 .
3. Calculer la célérité de la lumière dans le milieu 2.

Exercice 5 – Monochromatique ou polychromatique Niveau : **

A) Indiquer si la lumière émise est monochromatique ou polychromatique.

- laser rouge - lampe blanche -Soleil.

B) Classer par longueur d'onde croissante : rouge, bleu, vert, violet, orange. Puis classer ces mêmes couleurs par fréquence croissante.

C) Une lumière blanche traverse un prisme.

1. Pourquoi obtient-on un spectre ? Quelle propriété du prisme est mise en évidence ?
2. Quelle radiation est la plus déviée : rouge ou violet ?

Exercice 6 – Influence de la largeur de fente Niveau : **

A) Une lumière monochromatique traverse une fente de largeur a .

1. Que devient la largeur de la tache centrale si a diminue ?
2. Que devient-elle si D augmente ?
3. Que devient-elle si λ augmente ?

B) Une lumière de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ traverse une fente de largeur : $a = 0,10 \text{ mm}$.. L'écran est placé à : $D = 2,0 \text{ m}$.

1. Calculer θ l'écart angulaire .
2. Établir l'expression L la largeur de la tache centrale. Calculer sa valeur.
3. Convertir le résultat en centimètre.

C) Vérifier par analyse dimensionnelle l'homogénéité des relations : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et $L = \frac{2D\lambda}{a}$.

Exercice 7 – Graphique $L = f(D)$ Niveau : **

A) On mesure la largeur L de la tache centrale pour plusieurs distances D . Le graphique $L = f(D)$ est une droite passant par l'origine.

1. Quelle relation entre L et D est vérifiée ?
2. Exprimer la pente en fonction de λ et a .
3. Comment déterminer λ à partir de la pente ?

B) On trace L en fonction de $\frac{1}{a}$.

1. Quelle allure doit avoir le graphique ?
2. Exprimer sa pente.
3. Que permet de déterminer cette pente ?

Exercice 8 – Milieu dispersif Niveau : ***

Pour certains milieux transparents, l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde selon la loi de Cauchy : $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$ où A et B sont deux constantes caractéristiques du milieu.

On donne : $\lambda_R = 650 \text{ nm}$, $n_R = 1,51$ $\lambda_V = 400 \text{ nm}$, $n_V = 1,53$ et $c = 3,00.10^8 \text{ m/s}$

1. Déterminer par analyse dimensionnelle la dimension de A et B .
2. Déterminer les constantes A et B de la loi de Cauchy ; en précisant leur unités.
3. Calculer l'indice de réfraction du verre pour une radiation de longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$.
4. Déterminer la célérité de cette radiation dans le verre ainsi que les célérités des radiations rouge et violette.
5. Montrer que le verre est un milieu dispersif.

– Problèmes de synthèse

Problème 1 – Réfraction dans une lame de verre Niveau : ★★★

Une radiation de longueur d'onde dans le vide : $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$ pénètre de l'air dans un verre d'indice $n = 1.52$ avec un angle d'incidence : $i_1 = 40^\circ$.

On donne $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

1. Calculer la fréquence de la radiation.
2. Calculer la célérité dans le verre et la longueur d'onde dans le verre.
3. Déterminer l'angle de réfraction.

Problème 2 – Phénomène de diffraction Niveau : ★★★

On éclaire une fente, de largeur $a = 120 \mu\text{m}$, avec un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ émis par une diode laser. Le schéma ci-dessous est une reproduction de ce qui est obtenu sur un écran situé à une distance $D = 1,8 \text{ m}$ de la fente.



1. Nommer le phénomène qui est à l'origine de ce que l'on observe sur l'écran.
2. Quel enseignement sur la nature de la lumière ce phénomène apporte-t-il ? Dans quelles conditions se produit-il ?
3. Définir à partir d'un schéma l'écart angulaire.
4. Donner la relation entre l'écart angulaire θ , la longueur d'onde λ et la largeur a de la fente.
5. Établir la relation entre la largeur a de la fente, la largeur L de la tache centrale de diffraction et la distance D séparant l'écran de la fente, lorsque l'angle θ est petit.
6. Calculer la longueur d'onde λ , dans le vide, de la lumière émise par cette diode laser si la largeur de la tache centrale de diffraction est $L = 2,0 \text{ cm}$.
7. Avec le même dispositif :
 - (a) L'angle serait-il plus grand en lumière bleue qu'en lumière rouge ?
 - (b) Prévoir l'évolution de la figure observée si on diminue la largeur de la fente ; les autres paramètres restants inchangés.
 - (c) On dispose de deux fentes de diamètres respectifs $a_1 = 60 \mu\text{m}$ et $a_2 = 80 \mu\text{m}$. On obtient sur l'écran deux figures de diffraction distinctes notées A et B ci-dessous.



Associer, en le justifiant à chacune des deux fentes la figure de diffraction qui lui correspond.

- (d) Quel serait l'aspect de la tache centrale de diffraction avec une lumière blanche ?

Problème 3 – Détermination de la longueur d'onde Niveau : ★★★

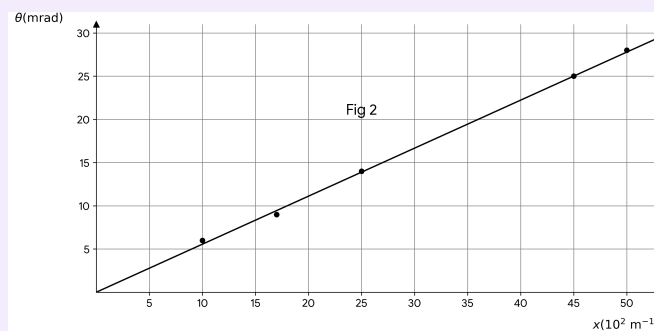
Le caractère ondulatoire de la lumière fut établi au XIX^e siècle par des expériences d'interférences et de diffraction montrant, par analogie avec les ondes mécaniques, que la lumière peut être décrite comme une onde

1. Expérience de Fresnel

- Fresnel a utilisé les rayons solaires pour réaliser son expérience. Une telle lumière est-elle monochromatique ou polychromatique ?
- Fresnel exploite le phénomène de diffraction de la lumière par un fil de fer. Le phénomène est identique avec un fil et une fente de même largeur. Le diamètre du fil a-t-il une importance pour observer le phénomène de diffraction ? Si oui, indiquer quel doit être l'ordre de grandeur de ce diamètre.

2. Mesure de longueur d'onde par diffraction

- Établir la relation entre L et D qui a permis de calculer θ pour chacun des fils.
- L'angle θ étant petit, on peut considérer que $\tan(\theta) \approx \theta$ (avec θ en radians). On trace la courbe $\theta = f(1/a)$ (Fig. 2). Montrer que la courbe obtenue est en accord avec l'expression de θ .

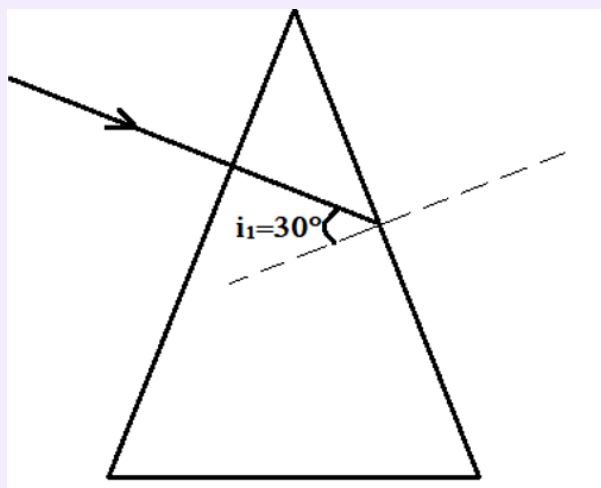


- Comment pourrait-on déterminer graphiquement la longueur d'onde λ de la lumière monochromatique utilisée ? Calculer sa valeur.

Problème 4 – Déviation par un prisme Niveau : ★★★

On envoie, sous incidence normale, un étroit faisceau de lumière parallèle comportant des radiations rouges de longueur d'onde $\lambda_1 = 656,3 \text{ nm}$ et des radiations bleues de longueur d'onde $\lambda_2 = 487,6 \text{ nm}$ sur un prisme de verre. Pour ces radiations, l'indice du verre vaut respectivement $n_R = 1,612$ et $n_B = 1,671$.

- Les radiations rouges arrivent sur la deuxième face sous un angle d'incidence $i_1 = 30^\circ$, comme le montre la figure ci-dessous.

Problème 4 – Suite

- (a) Quel est l'angle r_1 de réfraction dans l'air ?
- (b) Quel est l'angle de déviation d_1 (angle entre le faisceau arrivant sur le prisme et le faisceau émergent du prisme) ?
2. Pour les radiations bleues, déterminer :
 - (a) l'angle r_2 de réfraction dans l'air ;
 - (b) l'angle de déviation d_2 .
3. (a) Quelles sont les radiations les plus déviées ? Calculer l'angle entre les deux radiations à la sortie du prisme. Comment évolue la déviation de la radiation en fonction de la longueur d'onde.
- (b) Quelle propriété optique possède le prisme ?

Problème 5 – Déviation minimale Niveau : ★★★

On considère un prisme d'angle au sommet $A = 30^\circ$ et d'indice n placé dans l'air. Un rayon lumineux arrive avec un angle d'incidence i_1 , subit une réfraction d'angle r_1 , puis atteint la deuxième face avec un angle interne r_2 et émerge avec i_2 . On note δ la déviation totale.

1. Schématiser la situation et montrer que $r_1 + r_2 = A$.
2. Démontrer que $\delta = i_1 + i_2 - A$.
3. Écrire les lois de Snell-Descartes aux deux faces. Sachant que la déviation est minimale ($\delta_{\min}$) quand le trajet est symétrique dans le prisme ($r_1 = r_2$).

Montrer la relation
$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_{\min}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}.$$

4. Application : calculer $\delta_{\min}$ et l'incidence correspondante pour $A = 30^\circ$ et $n = 1.50$.