BURHAN

# Propagation des ondes lumineuses : exercices, application

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/propagation-des-ondes-lumineuses/exercices/application

| Chapitre | Palier | Exercices |
| --- | --- | --- |
| Propagation des ondes lumineuses | Application | 8 |

Exercice 1

## Fréquence et domaine de deux diodes

Un télémètre de chantier mesure les distances avec une diode laser qui émet, dans l'air, une radiation de longueur d'onde $\lambda_1 = 905\,\text{nm}$. Une diode d'un vidéoprojecteur émet une radiation de fréquence $\nu_2 = 6{,}52 \times 10^{14}\,\text{Hz}$.

On assimile l'air au vide, et $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

### 1.

Calculer la fréquence $\nu_1$ de la radiation du télémètre.

INDICE

**Outil :** la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la fréquence. **Point délicat :** convertis d'abord $\lambda_1$ en mètres.

CORRIGÉ

**Conversion.** $\lambda_1 = 905\,\text{nm} = 9{,}05 \times 10^{-7}\,\text{m}$.

**Fréquence.**

$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1}$$
$$\nu_1 = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{9{,}05 \times 10^{-7}}$$
$$\nu_1 = 3{,}31 \times 10^{14}\,\text{Hz}$$

**Conclusion.** La radiation du télémètre a une fréquence de $3{,}31 \times 10^{14}\,\text{Hz}$, avec trois chiffres significatifs comme les données.

### 2.

En déduire la période $T_1$ de cette radiation.

INDICE

**Outil :** la période est l'inverse de la fréquence.

CORRIGÉ

**Période.** $T_1 = \dfrac{1}{\nu_1} = \dfrac{\lambda_1}{c}$, d'où

$$T_1 = \frac{9{,}05 \times 10^{-7}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$
$$T_1 = 3{,}02 \times 10^{-15}\,\text{s}$$

**Conclusion.** La période de la radiation du télémètre vaut $3{,}02 \times 10^{-15}\,\text{s}$.

### 3.

Calculer la longueur d'onde $\lambda_2$ de la radiation du vidéoprojecteur. Situer chacune des deux radiations par rapport au spectre visible.

INDICE

**Début :** $\lambda_2 = \dfrac{c}{\nu_2}$, à exprimer en nanomètres. **Ensuite :** compare chaque longueur d'onde à $400\,\text{nm}$ et à $800\,\text{nm}$.

CORRIGÉ

**Longueur d'onde.**

$$\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2}$$
$$\lambda_2 = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{6{,}52 \times 10^{14}}$$
$$\lambda_2 = 4{,}60 \times 10^{-7}\,\text{m}$$

soit $\lambda_2 = 460\,\text{nm}$.

**Domaines.** $460\,\text{nm}$ est compris entre $400$ et $800\,\text{nm}$ : la radiation est visible, bleue. $905\,\text{nm}$ dépasse $800\,\text{nm}$ : la radiation du télémètre est infrarouge.

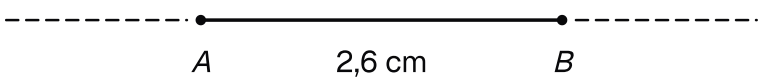
**Conclusion.** Le vidéoprojecteur émet une radiation visible bleue de $460\,\text{nm}$ ; le télémètre émet dans l'infrarouge, invisible pour l'œil.

### Exercice 2

## Longueur d'onde tirée d'un relevé de tache

Un pointeur laser éclaire une fente verticale de largeur $a = 50\,\mu\text{m}$. Un écran est placé à $D = 1{,}25\,\text{m}$ de la fente. Sur l'écran, un élève a reporté sur une bande de papier les extinctions qui bordent les taches lumineuses.

Le relevé ci-dessous indique la largeur $L$ de la tache centrale.




**Relevé de la figure de diffraction sur l'écran**

#### 1.

Calculer l'écart angulaire $\theta$ de diffraction et vérifier qu'il s'agit d'un petit angle.

INDICE

**Outil :** dans le triangle formé par la fente, le centre et un bord de la tache, le côté opposé à $\theta$ est la moitié de $L$.

CORRIGÉ

**Mesure.** Le relevé donne $L = 2{,}6\,\text{cm} = 2{,}6 \times 10^{-2}\,\text{m}$, et $2D = 2{,}50\,\text{m}$.

**Écart angulaire.** Pour un petit angle, $\tan\theta \approx \theta$ :

$$\theta = \frac{L}{2D} = \frac{2{,}6 \times 10^{-2}}{2{,}50}$$
$$\theta = 1{,}0 \times 10^{-2}\,\text{rad}$$

**Conclusion.** L'écart angulaire vaut environ $1{,}0 \times 10^{-2}\,\text{rad}$, bien inférieur à $0{,}05\,\text{rad}$ : c'est un petit angle.

### 2.

En déduire la longueur d'onde $\lambda$ de la lumière du pointeur, puis sa couleur.

INDICE

**Outil :** la relation de l'écart angulaire de diffraction, avec $a$ en mètres. **Point délicat :** garde la valeur non arrondie de $\theta$.

CORRIGÉ

**Longueur d'onde.** $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$, donc $\lambda = a\,\theta$, avec $a = 5{,}0 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}$ et $\theta = 1{,}04 \times 10^{-2}\,\mathrm{rad}$ :

$$\lambda = 5{,}2 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

**Couleur.** $520\,\mathrm{nm}$ se situe dans le vert du spectre visible.

**Conclusion.** Le pointeur émet une lumière verte de longueur d'onde voisine de $520\,\mathrm{nm}$, avec deux chiffres significatifs comme $L$ et $a$.

### 3.

Sans la fente, le faisceau dessinerait sur l'écran un petit point. Quelle propriété de la lumière l'étalement observé met-il en évidence ? Justifier.

INDICE

**Outil :** ce que fait une onde à la surface de l'eau quand elle traverse une ouverture étroite d'une cuve à ondes.

CORRIGÉ

**Comparaison.** Dans une cuve à ondes, une onde qui traverse une ouverture étroite s'étale au-delà : c'est la diffraction, un comportement propre aux ondes.

**Observation.** Ici, la lumière s'étale de la même façon au-delà de la fente, au lieu de continuer en ligne droite.

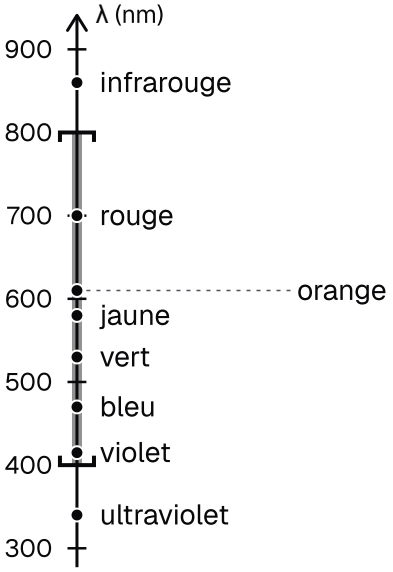
**Conclusion.** La lumière se diffracte comme une onde : cette expérience met en évidence son aspect ondulatoire.

### Exercice 3

## Situer trois radiations dans le spectre

Une boutique utilise trois sources : une lampe qui fait briller les encres de sécurité des billets, une diode de voyant et une diode de détecteur de présence.

Le document situe les couleurs du spectre visible selon la longueur d'onde dans le vide. On assimile l'air au vide, et $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.




**Spectre visible et domaines voisins**

#### 1.

La lampe émet une radiation de fréquence $\nu_1 = 8{,}22 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$. Calculer sa longueur d'onde $\lambda_1$ et indiquer son domaine.

INDICE

**Outil :** $\lambda_1 = \dfrac{c}{\nu_1}$, puis conversion en nanomètres.

CORRIGÉ

**Longueur d'onde.**

$$\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{8{,}22 \times 10^{14}}$$
$$\lambda_1 = 3{,}65 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$$

soit $365\ \mathrm{nm}$.

**Conclusion.** $365\ \mathrm{nm}$ est inférieur à $400\ \mathrm{nm}$ : la lampe émet dans l'ultraviolet.

### 2.

La diode du voyant émet une radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 0{,}610\,\mu\text{m}$. Donner son domaine et sa couleur.

INDICE

**Outil :** $1\,\mu\text{m} = 1000\,\text{nm}$ ; place ensuite la valeur sur le document.

CORRIGÉ

**Conversion.** $\lambda_2 = 0{,}610\,\mu\text{m} = 610\,\text{nm}$.

**Conclusion.** Cette valeur est comprise entre $400$ et $800\,\text{nm}$ : la radiation est visible, de couleur orange d'après le document.

### 3.

La diode du détecteur émet une radiation de fréquence $\nu_3 = 3{,}41 \times 10^{14}\,\text{Hz}$. Calculer $\lambda_3$ et indiquer son domaine.

INDICE

**Outil :** la même relation qu'à la première question.

CORRIGÉ

**Longueur d'onde.**

$$\lambda_3 = \frac{c}{\nu_3} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{3{,}41 \times 10^{14}}$$
$$\lambda_3 = 8{,}80 \times 10^{-7}\,\text{m}$$

soit $880\,\text{nm}$.

**Conclusion.** $880\,\text{nm}$ dépasse $800\,\text{nm}$ : le détecteur émet dans l'infrarouge, invisible pour l'œil.

### Exercice 4

## Écart angulaire pour deux fentes de largeurs différentes

Une diode laser bleue émet une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 445\,\text{nm}$. On l'envoie successivement sur deux fentes de largeurs $a_1 = 0{,}20\,\text{mm}$ et $a_2 = 0{,}050\,\text{mm}$.

**1.**

Calculer l'écart angulaire $\theta_1$ obtenu avec la fente de largeur $a_1$.

INDICE

**Outil :** la relation de l'écart angulaire de diffraction. **Point délicat :** $\lambda$ et $a_1$ en mètres tous les deux.

CORRIGÉ

**Conversions.** $\lambda = 4{,}45 \times 10^{-7}\,\text{m}$ et $a_1 = 2{,}0 \times 10^{-4}\,\text{m}$.

**Écart angulaire.**

$$\theta_1 = \frac{\lambda}{a_1} = \frac{4{,}45 \times 10^{-7}}{2{,}0 \times 10^{-4}}$$
$$\theta_1 = 2{,}2 \times 10^{-3}\,\text{rad}$$

**Conclusion.** Avec la fente de $0{,}20\,\text{mm}$, l'écart angulaire vaut $2{,}2 \times 10^{-3}\,\text{rad}$.

**2.**

Calculer l'écart angulaire $\theta_2$ obtenu avec la fente de largeur $a_2$.

INDICE

**Outil :** la même relation, avec $a_2 = 5{,}0 \times 10^{-5}\,\text{m}$.

CORRIGÉ

**Écart angulaire.**

$$\theta_2 = \frac{\lambda}{a_2} = \frac{4{,}45 \times 10^{-7}}{5{,}0 \times 10^{-5}}$$
$$\theta_2 = 8{,}9 \times 10^{-3}\,\text{rad}$$

**Conclusion.** Avec la fente de $0{,}050\,\text{mm}$, l'écart angulaire vaut $8{,}9 \times 10^{-3}\,\text{rad}$.

**3.**

Avec quelle fente la tache centrale est-elle la plus large ? Combien de fois plus large ?

INDICE

**Outil :** à distance fixée, la largeur de la tache est proportionnelle à l'écart angulaire.

CORRIGÉ

**Rapport.** $\dfrac{\theta_2}{\theta_1} = \dfrac{a_1}{a_2} = \dfrac{0{,}20}{0{,}050} = 4{,}0$.

**Conclusion.** La fente la plus étroite, de $0{,}050\,\text{mm}$, donne la tache la plus large : environ quatre fois plus large qu'avec la fente de $0{,}20\,\text{mm}$.

### Exercice 5

## Célérité de la lumière dans l'éthanol

Une impulsion lumineuse traverse un tube rempli d'éthanol, de longueur $d = 4{,}00\,\mathrm{m}$. Deux capteurs rapides mesurent la durée du parcours : $\Delta t = 18{,}1\,\mathrm{ns}$. On admet que l'impulsion se propage dans l'éthanol à la célérité $v$ de la lumière dans ce liquide. On donne $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

### 1.

Calculer la célérité $v$ de la lumière dans l'éthanol.

INDICE

**Outil :** une célérité est une distance divisée par une durée. **Point délicat :** $1\,\mathrm{ns} = 10^{-9}\,\mathrm{s}$.

CORRIGÉ

**Conversion.** $\Delta t = 18{,}1\,\mathrm{ns} = 1{,}81 \times 10^{-8}\,\mathrm{s}$.

**Célérité.**

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{4{,}00}{1{,}81 \times 10^{-8}}$$
$$v = 2{,}21 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

**Conclusion.** Dans l'éthanol, la lumière se propage à $2{,}21 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, moins vite que dans le vide.

### 2.

En déduire l'indice de réfraction $n$ de l'éthanol.

INDICE

**Outil :** la définition de l'indice de réfraction. **Point délicat :** n'utilise pas la valeur arrondie de $v$ ; repars des données $d$ et $\Delta t$.

CORRIGÉ

**Indice.** $n = \dfrac{c}{v} = \dfrac{c\,\Delta t}{d}$ :

$$n = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{4{,}00} \times 1{,}81 \times 10^{-8}$$
$$n = 1{,}36$$

**Conclusion.** L'indice de réfraction de l'éthanol vaut $1{,}36$ : un nombre sans unité, supérieur à 1.

### Exercice 6

## Une radiation orange dans un verre de lentille

Une radiation de fréquence $\nu = 4{,}90 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz}$ passe de l'air dans le verre d'une lentille, d'indice $n = 1{,}58$ pour cette radiation. On assimile l'air au vide, et $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

### 1.

Calculer la longueur d'onde $\lambda$ de la radiation dans l'air et donner sa couleur.

INDICE

**Outil :** la relation entre longueur d'onde dans le vide et fréquence, puis les bandes de couleurs du spectre visible.

CORRIGÉ

**Longueur d'onde.**

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{4{,}90 \times 10^{14}}$$
$$\lambda = 6{,}12 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

**Conclusion.** Dans l'air, $\lambda = 612\,\mathrm{nm}$, entre $590$ et $620\,\mathrm{nm}$ : la radiation est visible, de couleur orange.

### 2.

Donner la fréquence de la radiation dans le verre, puis calculer sa célérité $v$ dans le verre.

INDICE

**Outil :** la fréquence d'une radiation ne dépend pas du milieu ; la célérité se tire de la définition de l'indice.

CORRIGÉ

**Fréquence.** Elle ne change pas d'un milieu transparent à l'autre : $\nu = 4{,}90 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz}$ dans le verre.

**Célérité.**

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}58}$$
$$v = 1{,}90 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

**Conclusion.** Dans le verre, la fréquence reste $4{,}90 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz}$ et la célérité vaut $1{,}90 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

### 3.

Calculer la longueur d'onde $\lambda'$ dans le verre. La radiation change-t-elle de couleur dans le verre ?

INDICE

**Outil :** la longueur d'onde dans un milieu d'indice $n$. **Point délicat :** la couleur est liée à la fréquence.

CORRIGÉ

**Longueur d'onde dans le verre.** Avec $\lambda = 612\,\text{nm}$ :

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n} = \frac{612}{1{,}58}$$
$$\lambda' = 387\,\text{nm}$$

**Couleur.** $387\,\text{nm}$ est inférieur à $400\,\text{nm}$, mais les bornes du visible portent sur la longueur d'onde dans le vide. La fréquence n'a pas changé.

**Conclusion.** Dans le verre, $\lambda' = 387\,\text{nm}$, et la radiation reste orange : sa couleur ne change pas.

Exercice 7

## Diamètre d'un cheveu mesuré par diffraction

Un cheveu est tendu verticalement devant une diode laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 670\,\text{nm}$. Sur un écran placé à $D = 2{,}50\,\text{m}$ du cheveu, on mesure à la règle la largeur de la tache centrale : $L = 3{,}4\,\text{cm}$.

### 1.

Calculer l'écart angulaire $\theta$.

INDICE

**Outil :** le triangle rectangle formé par le cheveu, le centre et un bord de la tache, puis l'approximation des petits angles.

CORRIGÉ

**Écart angulaire.** Avec $L = 3{,}4 \times 10^{-2}\,\text{m}$ et $2D = 5{,}00\,\text{m}$ :

$$\theta = \frac{L}{2D} = \frac{3{,}4 \times 10^{-2}}{5{,}00}$$
$$\theta = 6{,}8 \times 10^{-3}\,\text{rad}$$

**Conclusion.** L'écart angulaire vaut $6{,}8 \times 10^{-3}\,\text{rad}$, un petit angle.

### 2.

En déduire le diamètre $a$ du cheveu.

INDICE

**Outil :** un fil de diamètre $a$ diffracte comme une fente de largeur $a$.

CORRIGÉ

**Diamètre.** $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$, donc $a = \dfrac{\lambda}{\theta}$, avec $\lambda = 6{,}70 \times 10^{-7}\,\text{m}$ :

$$a = \frac{6{,}70 \times 10^{-7}}{6{,}8 \times 10^{-3}}$$
$$a = 9{,}9 \times 10^{-5}\,\text{m}$$

**Conclusion.** Le cheveu a un diamètre d'environ $99\,\mu\text{m}$, avec deux chiffres significatifs comme $L$.

### 3.

Un second cheveu, dans le même montage, donne une tache centrale de $4{,}1\,\text{cm}$. Est-il plus fin ou plus épais que le premier ?

INDICE

**Outil :** à $\lambda$ et $D$ fixés, regarde comment $L$ varie quand $a$ diminue.

CORRIGÉ

**Raisonnement.** $L = \dfrac{2\lambda D}{a}$ : à $\lambda$ et $D$ fixés, la tache est d'autant plus large que $a$ est petit.

**Conclusion.** La tache de $4{,}1\,\text{cm}$ est plus large que celle de $3{,}4\,\text{cm}$ : le second cheveu est plus fin que le premier.

### Exercice 8

## Dispersion du diamant et du plexiglas

Le tableau donne l'indice de réfraction du diamant et du plexiglas pour une radiation rouge et pour une radiation violette.

| Matériau | $n$ rouge | $n$ violet |
|---|---|---|
| diamant | $2{,}410$ | $2{,}458$ |
| plexiglas | $1{,}488$ | $1{,}502$ |

### 1.

Ces deux matériaux sont-ils dispersifs ? Lequel l'est le plus ?

INDICE

**Outil :** la définition d'un milieu dispersif. **Ensuite :** compare l'écart entre les deux indices de chaque matériau.

CORRIGÉ

**Dispersifs.** Pour chaque matériau, l'indice change avec la radiation : les deux sont dispersifs.

**Écarts d'indice.** Diamant : $2{,}458 - 2{,}410 = 0{,}048$. Plexiglas : $1{,}502 - 1{,}488 = 0{,}014$.

**Conclusion.** Le diamant, dont l'indice varie le plus du rouge au violet, est le plus dispersif des deux.

### 2.

Un faisceau de lumière blanche traverse un prisme de diamant. Quelle radiation est la plus déviée ?

INDICE

**Outil :** le lien entre l'indice d'une radiation et sa déviation par un prisme.

CORRIGÉ

**Indices.** Dans le diamant, l'indice du violet, $2{,}458$, dépasse celui du rouge, $2{,}410$.

**Conclusion.** Plus l'indice est grand, plus la déviation est grande : la radiation violette est la plus déviée.