BURHAN

Propagation des ondes lumineuses : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Corrigé détaillé en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/propagation-des-ondes-lumineuses/exercices/examen

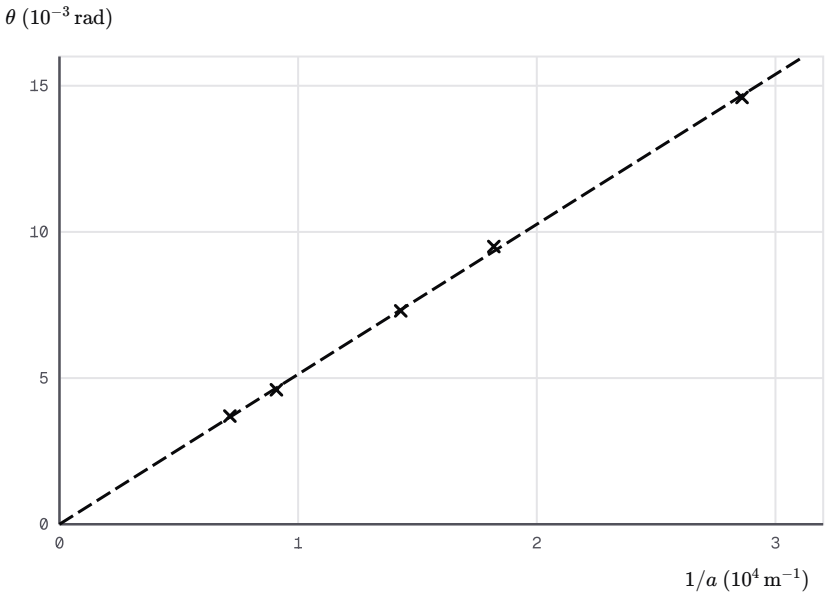
Chapitre	Palier	Exercices
Propagation des ondes lumineuses	Niveau examen	5

Exercice 1 6 pts

Identifier une diode laser

Un technicien retrouve une diode laser sans étiquette. Elle correspond à l'une des quatre références du catalogue : $450\,\text{nm}$ (bleu), $515\,\text{nm}$ (vert), $638\,\text{nm}$ (rouge) ou $850\,\text{nm}$. Allumée, elle dessine une tache lumineuse sur un mur. On assimile l'air au vide, et $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Document. Série de mesures de la partie B : écart angulaire θ en fonction de $\dfrac{1}{a}$, avec la droite de modélisation.



Écart angulaire mesuré en fonction de l'inverse de la largeur

A.1. 0,5 pts

Partie A : figure de diffraction.

Situer chacune des quatre références du catalogue par rapport au spectre visible. Pourquoi le technicien peut-il écarter d'emblée l'une d'elles ?

INDICE

Outil : les deux bornes du spectre visible dans le vide.

A.2. 0,75 pts

Avec une fente de $65\,\mu\text{m}$ et un écran à $2{,}60\,\text{m}$, on mesure $L = 41\,\text{mm}$. Calculer θ et vérifier que l'approximation des petits angles est justifiée.

INDICE

Outil : la relation entre l'écart angulaire, la demi-largeur de la tache et la distance à l'écran. **Point délicat :** L en mètres.

A.3. 1 pts

On admet que la tache centrale a pour largeur $L = \dfrac{2\lambda D}{a}$. Montrer que la longueur d'onde de la diode vérifie

$$\lambda = \frac{a\,L}{2D}$$

puis la calculer.

INDICE

Début : isole λ dans la relation admise. **Point délicat :** a et L en mètres.

A.4. 0,75 pts

Identifier la diode dans le catalogue, puis calculer la période T de la radiation de la référence retenue.

INDICE

Outil : la période est la durée que met la lumière à parcourir une longueur d'onde dans le vide.

B.1. 0,75 pts

Partie B : série de mesures.

Avec la même diode, on éclaire cinq fentes de largeurs 35, 55, 70, 110 et $140\ \mu\mathrm{m}$, l'écran restant à $1{,}50\ \mathrm{m}$. Le document donne θ en fonction de $\dfrac{1}{a}$. Ce graphique confirme-t-il la loi de diffraction par une fente ? Justifier.

INDICE

Outil : l'allure d'une relation de proportionnalité sur un graphique.

B.2. 1 pts

Lire sur le document le coefficient directeur de la droite et en tirer la longueur d'onde λ_{B} de la diode. Calculer son écart relatif à la référence verte du catalogue, de $515\ \mathrm{nm}$.

INDICE

Début : choisis un point de la droite loin de l'origine. **Point délicat :** les puissances de dix des deux axes ; garde la valeur non arrondie pour l'écart relatif.

B.3. 0,5 pts

Calculer la fréquence ν de la radiation correspondant à λ_{B}.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde dans le vide et fréquence.

B.4. `0,75 pts`

Un collègue pensait que la diode était la référence rouge de $638\,\mathrm{nm}$. Établir l'expression du rapport $\dfrac{L_{\mathrm{R}}}{L_{\mathrm{V}}}$ des largeurs de tache centrale données, avec la même fente et le même écran, par la référence rouge et par la référence verte de $515\,\mathrm{nm}$. Le calculer et conclure.

INDICE

Début : écris la largeur de la tache centrale pour chaque référence. **Point délicat :** a et D sont les mêmes.

Exercice 2 6 pts

Diamètre d'un fil de soie

Un atelier de tissage contrôle le diamètre a d'un fil de soie. Il dispose d'un laser hélium-néon vert de longueur d'onde $\lambda = 543\,\text{nm}$, d'un support pour tendre le fil, d'un écran, d'un mètre ruban et d'une règle graduée en millimètres.

Document. Le fil est tendu verticalement à $D = 1{,}10\,\text{m}$ de l'écran. Trois élèves mesurent la largeur L de la tache centrale.

Élève	L (mm)
1	13
2	14
3	15

A.1. 1 pts

Partie A : montage et mesure.

Proposer le schéma du montage, vu de dessus. Indiquer la direction dans laquelle la tache s'étale sur l'écran.

INDICE

Outil : l'ordre des éléments le long du faisceau, puis la direction de l'étalement par rapport au fil.

A.2. 0,75 pts

On admet que, pour une fente de largeur a, la tache centrale a pour largeur $L = \dfrac{2\lambda D}{a}$. Montrer que le diamètre du fil vérifie

$$a = \frac{2\lambda D}{L}$$

INDICE

Outil : un fil diffracte comme une fente de même largeur. **Ensuite :** isole a dans la relation admise.

A.3. 0,75 pts

Exploiter le document pour calculer le diamètre a du fil à partir de la largeur moyenne mesurée.

INDICE

Début : calcule la moyenne des trois mesures. **Point délicat :** λ et L en mètres.

A.4. 0,5 pts

À partir des valeurs extrêmes du document, encadrer le diamètre du fil. Le fournisseur annonce $80\,\mu\text{m}$: la mesure est-elle compatible ?

INDICE

Outil : a diminue quand L augmente : la plus grande largeur donne le plus petit diamètre.

B.1. 0,5 pts

Partie B : fente et fil, précision.

On admet que le fil a un diamètre $a = 80\,\mu\text{m}$; le laser émet toujours à $\lambda = 543\,\text{nm}$. On remplace le fil par une fente de même largeur. Que devient la figure de diffraction ?

INDICE

Outil : compare la diffraction par une fente et par un fil de même dimension.

B.2. 0,75 pts

Calculer la largeur L de la tache centrale attendue pour ce fil, l'écran étant à $D = 1{,}10\,\text{m}$.

INDICE

Outil : la relation de la largeur de la tache centrale.

B.3. 1 pts

La lecture de L se fait à $1\,\text{mm}$ près. Pour que cette erreur ne dépasse pas $5\,\%$ de L, il faut $L \geq 20\,\text{mm}$. Déterminer la distance minimale D_{min} entre le fil et l'écran.

INDICE

Début : isole D dans la relation de la largeur de la tache. **Ensuite :** L augmente avec D.

B.4. 0,75 pts

La salle ne permet pas d'éloigner l'écran au-delà de $1{,}10\,\text{m}$; on veut toujours $L \geq 20\,\text{mm}$ avec ce fil. Établir l'expression de la longueur d'onde minimale λ_{min} à utiliser, la calculer, puis dire si une diode laser rouge de $690\,\text{nm}$ convient.

INDICE

Début : à fil et distance fixés, regarde comment L dépend de λ. **Ensuite :** isole λ.

Exercice 3 — 6 pts

Diode laser et barreaux de silice

Au laboratoire, une diode laser émet une radiation de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 1{,}31\ \mu\text{m}$. On l'envoie dans des barreaux de silice, un verre très pur. On assimile l'air au vide, et $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Document. Indice de la silice pour trois radiations.

λ dans le vide	Indice n
$980\ \text{nm}$	$1{,}4507$
$1310\ \text{nm}$	$1{,}4468$
$1550\ \text{nm}$	$1{,}4440$

A.1. — 0,75 pts

Partie A : la radiation émise.

Calculer la fréquence ν de la radiation émise par la diode.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde dans le vide et fréquence, λ en mètres.

A.2. — 0,5 pts

À quel domaine cette radiation appartient-elle ? Peut-on la voir ?

INDICE

Outil : les bornes du spectre visible dans le vide.

A.3. — 0,5 pts

La lumière de la diode est dite monochromatique. Que signifie ce mot ? Donner un exemple de lumière qui ne l'est pas.

INDICE

Outil : le nombre de radiations contenues dans la lumière.

A.4. — 0,75 pts

Calculer la période T de la radiation.

INDICE

Outil : la période est la durée que met l'onde à parcourir une longueur d'onde dans le vide.

B.1. 1 pts

Partie B : propagation dans la silice.

On admet que la radiation de longueur d'onde $\lambda = 1{,}31\ \mu\mathrm{m}$ traverse la silice à sa célérité v. Elle parcourt un barreau de longueur $\ell = 1{,}00\ \mathrm{m}$ en $\Delta t = 4{,}82\ \mathrm{ns}$. Montrer que l'indice de la silice vérifie $n = \dfrac{c\,\Delta t}{\ell}$, le calculer et le comparer au document.

INDICE

Début : exprime la célérité v dans la silice. **Ensuite :** la définition de l'indice de réfraction.

B.2. 0,75 pts

Calculer la longueur d'onde λ' de cette radiation dans la silice, avec l'indice du document.

INDICE

Outil : la longueur d'onde dans un milieu d'indice n.

B.3. 0,5 pts

La fréquence de la radiation dans la silice est-elle la même que dans l'air ? Justifier.

INDICE

Outil : ce qui se conserve quand une radiation change de milieu transparent.

B.4. 1,25 pts

Deux radiations, de longueurs d'onde dans le vide $1310\ \mathrm{nm}$ et $1550\ \mathrm{nm}$, traversent le même barreau de longueur $\ell = 1{,}00\ \mathrm{m}$. On admet que chacune s'y propage à sa célérité $v = \dfrac{c}{n}$, avec les indices n_1 et n_2 du document.

Laquelle a la plus grande célérité ? Montrer que la différence de leurs durées de parcours vaut

$$\tau = \frac{(n_1 - n_2)\,\ell}{c}$$

puis la calculer. Que confirme ce résultat sur la silice ?

INDICE

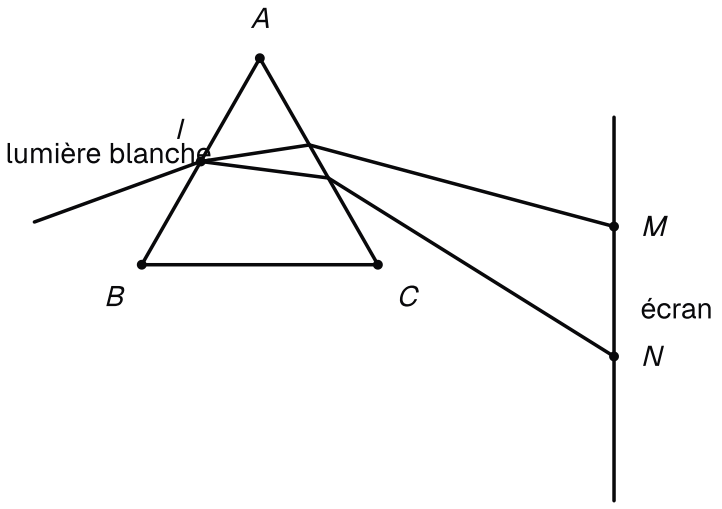
Début : compare les indices des deux radiations. **Ensuite :** exprime chaque durée de parcours à l'aide de la célérité dans la silice.

Exercice 4 6 pts

Prisme et spectre : dispersion et déviations

Un prisme en verre lourd, d'angle au sommet $A = 60{,}0^\circ$, est éclairé par un faisceau de lumière blanche. Pour ce verre, l'indice vaut $n_{\mathrm{R}} = 1{,}640$ pour une radiation rouge et $n_{\mathrm{V}} = 1{,}672$ pour une radiation violette. On assimile l'air au vide, et $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Document. Marche de deux rayons émergents jusqu'à l'écran, sans échelle, écart entre les deux rayons exagéré ; ils arrivent en M et en N.



Prisme éclairé en lumière blanche et taches sur l'écran, schéma sans échelle, écart entre les rayons rouge et violet exagéré

A.1. 0,5 pts

Partie A : dispersion par le prisme.

La lumière blanche est-elle monochromatique ou polychromatique ? Justifier.

INDICE

Outil : le nombre de radiations que contient la lumière blanche.

A.2. 0,75 pts

Le verre est-il dispersif ? Laquelle des deux radiations est la plus déviée ? En déduire laquelle arrive en M et laquelle arrive en N.

INDICE

Outil : la définition d'un milieu dispersif, puis le lien entre indice et déviation.

A.3. 0,75 pts

Calculer la célérité de chacune des deux radiations dans le verre.

INDICE

Outil : la définition de l'indice de réfraction, résolue pour la célérité.

A.4. 0,75 pts

Un élève affirme : « le violet est plus dévié parce qu'il va plus vite dans le verre ». Discuter cette affirmation.

INDICE

Outil : compare les deux célérités calculées, et relie la célérité à l'indice.

B.1. 0,75 pts

Partie B : déviation d'une radiation.

Le faisceau arrive sur la première face sous l'incidence $i = 45{,}0°$. On admet les relations du prisme, d'angle au sommet $A = 60{,}0°$, pour une radiation d'indice n :

$$\sin i = n \, \sin r$$

$$r + r' = A$$

$$n \, \sin r' = \sin i'$$

$$\delta = i + i' - A$$

Pour la radiation rouge, d'indice $n_{\mathrm{R}} = 1{,}640$, calculer l'angle de réfraction r sur la première face.

INDICE

Outil : la première relation, résolue pour $\sin r$.

B.2. 0,75 pts

En déduire l'angle r', puis l'angle d'émergence i' de la radiation rouge.

INDICE

Outil : les deux relations du prisme qui contiennent r'.

B.3. 0,75 pts

Calculer la déviation δ_{R} de la radiation rouge.

INDICE

Outil : la quatrième relation.

B.4. 1 pts

Le même calcul, pour la radiation violette d'indice $n_{\mathrm{V}} = 1{,}672$, donne $\delta_{\mathrm{V}} = 58{,}5^{\circ}$. Montrer que ces résultats confirment l'ordre des déviations, et calculer l'écart angulaire entre les deux rayons émergents.

INDICE

Début : compare δ_{V} et δ_{R}. **Ensuite :** l'écart entre les rayons émergents est la différence des déviations.

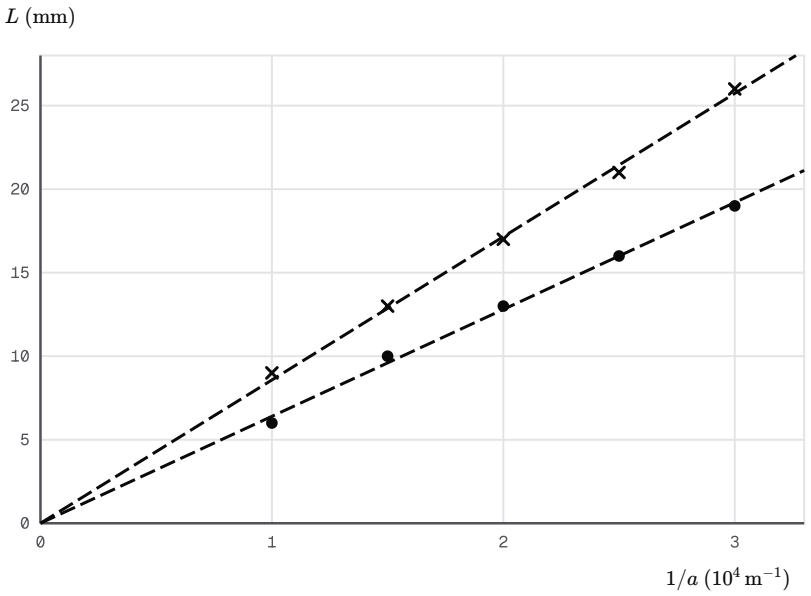
Exercice 5 — 6 pts

Diffraction dans une cuve vide puis remplie d'eau

Une fente de largeur $a = 45\,\mu\text{m}$ est collée sur la paroi d'entrée d'une cuve transparente. Un laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 658\,\text{nm}$ l'éclaire. La tache se forme sur un calque collé sur la paroi opposée, à $D = 0{,}650\,\text{m}$ de la fente.

On étudie la cuve vide, puis remplie d'eau d'indice $n = 1{,}33$. On assimile l'air au vide.

Document. Pour plusieurs fentes, largeur L de la tache centrale en fonction de $\frac{1}{a}$, cuve vide et cuve pleine, avec les droites de modélisation.



Largeur de la tache selon l'inverse de la largeur de fente, dans l'air et dans l'eau

A.1. — 0,5 pts

Partie A : cuve vide.

Pourquoi utilise-t-on une lumière monochromatique pour cette étude ?

INDICE

Outil : l'écart angulaire dépend de la longueur d'onde.

A.2. — 0,75 pts

Calculer l'écart angulaire θ dans la cuve vide, et vérifier que c'est un petit angle.

INDICE

Outil : la relation de l'écart angulaire, λ et a en mètres.

A.3. 1 pts

Montrer que la largeur de la tache centrale vaut $L = \dfrac{2\lambda D}{a}$, puis la calculer.

INDICE

Début : la demi-largeur de la tache est vue depuis la fente sous l'angle θ. **Ensuite :** approximation des petits angles.

B.1. 1 pts

Partie B : cuve remplie d'eau.

La radiation, de longueur d'onde $\lambda = 658\,\text{nm}$ dans le vide, se propage maintenant dans l'eau d'indice $n = 1{,}33$. Montrer que sa longueur d'onde dans l'eau vaut $\lambda' = \dfrac{\lambda}{n}$, puis la calculer.

INDICE

Début : la longueur d'onde est la distance parcourue en une période. **Point délicat :** que devient la période dans l'eau ?

B.2. 0,75 pts

Avec la fente de $45\ \mu\text{m}$ et l'écran à $0{,}650\,\text{m}$, calculer la largeur L' de la tache centrale dans la cuve pleine.

INDICE

Outil : la diffraction dans l'eau dépend de la longueur d'onde dans l'eau.

B.3. 1,25 pts

Exploiter le document : déterminer le rapport des coefficients directeurs des deux droites, et le comparer à l'indice de l'eau.

INDICE

Début : lis l'ordonnée de chaque droite à une même abscisse. **Ensuite :** à fente et distance fixées, L est proportionnelle à la longueur d'onde du milieu.

B.4. 0,75 pts

La diffraction est-elle plus marquée dans l'air ou dans l'eau ? Expliquer à l'aide de la longueur d'onde.

INDICE

Outil : l'écart angulaire dépend du rapport entre la longueur d'onde du milieu et la largeur de la fente.