

Modélisation de la lumière

QUESTIONS DE COURS

En vérifiant que vous savez répondre à ces questions, vous contrôlez votre apprentissage du cours.

- ↪ Donner l'intervalle des longueurs d'onde du domaine du visible. Préciser en particulier l'ordre de grandeur des longueurs d'onde dans le vide pour les couleurs bleu, vert, jaune et rouge.
- ↪ Définir l'indice optique d'un milieu transparent.
- ↪ Relier longueur d'onde, fréquence, célérité, indice optique.
- ↪ Expliquer l'approximation de l'optique géométrique.
- ↪ Définir un rayon lumineux et donner ses propriétés dans le cadre de l'optique géométrique.
- ↪ Énoncer les lois de Descartes. Tracer les rayons lumineux sur un schéma dans le cas $n_1 > n_2$ et inversement. Que se passe-t-il si l'angle d'incidence est nul ?
- ↪ Dans quel cas y a-t-il un angle de réfraction limite ? Exprimer l'angle en fonction de n_1 et n_2 .
- ↪ Qu'appelle-t-on réflexion totale ? A quelle condition sur n_1 et n_2 peut-on avoir une réflexion totale ? Démontrer l'expression de l'angle d'incidence limite i_{lim} en fonction de n_1 et n_2 au-delà duquel le phénomène apparaît.
- ↪ Donner les différentes sources lumineuses et décrire les spectres associés.
- ↪ Qu'appelle-t-on une source ponctuelle monochromatique ? Quelle source réelle se rapproche le plus d'une source monochromatique ?
- ↪ Établir l'expression de l'angle au sommet du cône d'acceptance d'une fibre optique à saut d'indice.
- ↪ Établir l'expression de la dispersion intermodale d'une fibre optique à saut d'indice.

SAVOIR-FAIRE

Ces exercices sont à savoir résoudre en priorité. Ne passez pas aux exercices suivants sans avoir compris la correction de ceux-ci.

Savoir-faire 1 : Appliquer les lois de Descartes

Un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 550$ nm passe de l'air à un prisme en verre. L'angle d'incidence vaut $i_1 = 30^\circ$.

- 1/ Faire un schéma légendé dans le plan d'incidence en précisant si le rayon réfracté se rapproche ou s'écarte de la normale.
- 2/ Calculer l'angle de réfraction i_2 .
- 3/ On remplace le verre par un bloc de diamant. L'angle de réfraction vaut alors $i_2' = 12^\circ$. Calculer l'indice de réfraction du diamant.

Savoir-faire 2 : Établir la condition de réflexion totale

Pour que la lumière reste piégée dans le cœur d'une fibre optique, elle ne doit pas subir de réfraction dans la gaine.

Soit n_c l'indice du cœur de la fibre et n_g l'indice de la gaine. Énoncer la condition limite sur l'angle d'incidence i_1 afin d'obtenir la réflexion totale.

LES INCONTOURNABLES

Ces exercices sont classiques et doivent être maîtrisés avant d'aller plus loin.

Exercice 1 : Projecteur dans l'eau

Un bassin de profondeur $d = 1,5$ m est rempli d'eau. Un projecteur se trouve au fond du bassin. On considère que cette source de lumière est un point et émet de la lumière dans toutes les directions. Quel est le rayon de la tache lumineuse formée à la surface de l'eau ?

Exercice 2 : Angle de Brewster

Un rayon lumineux se propage dans l'air et arrive sur un bloc de verre. Calculer l'angle d'incidence pour que le rayon réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté.

Cet angle est appelé angle de Brewster et possède d'autres caractéristiques que nous ne pouvons pas étudier cette année.

POUR S'ENTRAÎNER

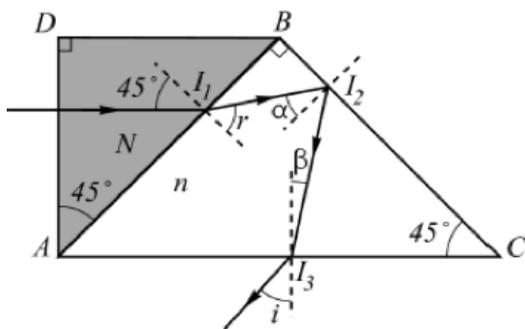
Ces exercices sont un peu plus étoffés et permettent d'approfondir la maîtrise des outils abordés jusqu'alors.

Exercice 3 : Détecteur de pluie d'un pare brise

On modélise un pare-brise par une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur $e = 5$ mm, d'indice optique $n_v = 1,5$. Un fin pinceau de lumière issu d'un émetteur situé en E arrive à l'intérieur du verre sur le dioptre verre/air en I avec un angle d'incidence $i = 60^\circ$.

- 1/ Montrer que le flux lumineux revient intégralement sur un détecteur situé en un point D . Déterminer la distance ED .
- 2/ Lorsqu'il pleut, une lame d'eau d'épaisseur $e' = 1$ mm et d'indice optique $n_e = 1,33$ se dépose sur le pare-brise. A quelle distance du détecteur arrive-t-il ?

Exercice 4 : Prismes accolés

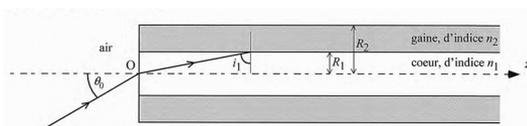


Deux morceaux de verre taillés sous forme de triangles rectangles et isocèles d'indices respectifs N et n ont leur face AB commune. Un rayon incident frappe AD sous une incidence normale, se réfracte en I_1 , se réfléchit en I_2 puis ressort en I_3 sous l'incidence i . Les valeurs de N et n sont telles que la réflexion en I_2 soit totale, avec un angle de réflexion égal à l'angle limite.

- 1/ Écrire la relation de Snell-Descartes aux points I_1 et I_3 .
- 2/ Écrire la relation entre r et α .
- 3/ Écrire la relation entre α et β .
- 4/ Montrer que si la réflexion est totale (avec un angle limite) en I_2 , alors N et n sont reliés par la relation suivante : $N^2 = 2(n^2 - 1)$.
- 5/ Écrire la relation vérifiée par N et n pour que $i = 0$. Que vaut alors N ?

DEVOIR-MAISON

Cet exercice est un premier pas vers le travail du devoir surveillé. Assurez-vous que vos réponses manifestent d'une maîtrise des compétences données ci-après.



On considère une fibre optique à saut d'indice, formée d'un cœur cylindrique d'axe (Oz) , de rayon R_1 , d'indice uniforme n_1 , entouré d'une gaine d'axe (Oz) , de rayon extérieur R_2 , et d'indice $n_2 < n_1$. Le milieu extérieur est l'air. Un rayon pénètre dans la fibre avec une incidence θ_0 .

- 1/ Montrer que le rayon lumineux est guidé dans le cœur (c'est-à-dire qu'il n'en sort pas) si l'angle i_1 est supérieur à une valeur critique i_c , que l'on exprimera en fonction de n_1 et n_2 . Calculer i_c pour $n_1 = 1,456$ (silice) et $n_2 = 1,410$ (silicone).
- 2/ Exprimer, en fonction de n_1 et n_2 , l'angle limite θ_{lim} d'incidence du rayon sur la face d'entrée de la fibre optique, correspondant à une propagation possible dans la fibre.
- 3/ On définit l'ouverture numérique d'une fibre optique par la grandeur $O.N. = n_0 \sin \theta_{lim}$, où $n_0 = 1,000$ ici (air). Calculer l'ouverture numérique pour une fibre en silicone/silice. Calculer l'ouverture numérique pour une fibre à arsénure de gallium, caractérisée par $n_1 = 3,9$ et $n_2 = 3,0$. Commenter.

On envoie un faisceau lumineux comportant toutes les incidences entre 0 et θ_{lim} .

- 4/ Calculer la différence $\delta\tau$ entre la durée minimale et la durée maximale de propagation d'un bout à l'autre de la fibre (on considérera la fibre droite). On exprimera ce résultat en fonction de L la longueur de la fibre, n_1 , n_2 et c la célérité de la lumière dans le vide.
Effectuer l'application numérique de $\delta\tau$ pour $L = 1,0$ km.

Type	Compétences	Niveau de maîtrise
RES	Expliciter la condition de réflexion totale	
	Utiliser les lois de Descartes	
APP	Identifier les relations géométriques à utiliser dans un système	
	Utiliser les notations introduites dans l'énoncé	
	Identifier les rayons parcourant la fibre en des durées extrémales	
ANA	Traduire la propagation du signal en une condition sur les angles	
	Écrire les relations nécessaires entre les différents angles pour aboutir à la condition attendue	
REA	Mesurer graphiquement une période	
	Manipuler une expression littérale	
	Effectuer un calcul numérique	
COM	Présenter clairement le raisonnement suivi	
	Utiliser un schéma clair pour expliquer son raisonnement	