Vrai/Faux

1. La lumière se propage plus vite dans l'eau que dans l'air.

Vrai ❐ Faux ❐

2. Lors du passage d'un milieu d'indice faible à un milieu d'indice plus élevé, le rayon se rapproche de la normale.

Vrai ❐ Faux ❐

3. La lumière d'un laser peut être considérée comme monochromatique.

Vrai ❐ Faux ❐

4. La lumière solaire peut être considérée comme monochromatique.

Vrai ❐ Faux ❐

5. Une longueur d'onde dans le vide de 530 nm correspond à une couleur rouge.

Vrai ❐ Faux ❐

6. Lors du phénomène de réflexion, la direction du rayon réfléchi dépend de la longueur d'onde de la lumière.

Vrai ❐ Faux ❐

7. On peut observer un phénomène de réflexion totale lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu peu réfringent à un milieu plus réfringent.

Vrai ❐ Faux ❐

Avec le cahier d'entraînement

⇝ **Célérité et longueur d'onde :** entraînement 8.12

⇝ **Conversions d'angles :** entraînements 8.1 et 8.2

⇝ **Exprimer des angles :** entraînements 8.5 et 8.6

⇝ **Réflexion totale :** entraînements 8.8 et 8.9

Pour bien démarrer

Exercice n°1 - Réfraction et dispersion (★)

Un rayon lumineux se propageant dans l'air, arrive avec un angle d'incidence $i = 40°$ sur un dioptre air/verre plan.

1. Le rayon réfracté va-t-il se rapprocher de la normale au dioptre ? Justifier. Faire alors un schéma correct de la situation.
2. On considère que ce rayon est constitué de lumière blanche. Calculer l'angle de réfraction pour les deux rayons refractés extrêmes, c'est-à-dire pour un rayon violet (de longueur d'onde $\lambda_v = 400$ nm) et pour un rayon rouge (de longueur d'onde $\lambda_r = 800$ nm).
3. En déduire l'écart angulaire entre les deux rayons réfractés extrêmes.

Donnée : l'indice du verre est donné par la formule de Cauchy :

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

avec $A = 1,504$ et $B = 4,188.10^{-15}$ USI. L'indice de l'air est $n_{\text{air}} = 1,000$.

Exercices essentiels (traités en TD)

Exercice n°2 - Déviation par une vitre (★★)

⇝ *Aidez-vous du formulaire de trigonométrie !*

On considère une vitre de verre représentée figure 1, d'épaisseur e = 1,0 cm, et un rayon arrivant dessus avec une incidence i_1. On note n_1 = 1,0 l'indice de l'air et n_2 = 1,5 l'indice du verre.

1. Montrer que le rayon sortant de la vitre le fait avec un angle d'incidence égal à i_1.
2. Y a-t-il toujours un rayon sortant, ou peut-il y avoir réflexion totale quelque part ?
3. Donner l'expression de la déviation d du rayon lumineux en fonction de e, i_1 et i_2.

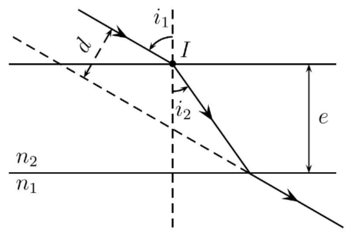


Figure 1: Schéma de la déviation par une vitre

4. Déduire de la relation précédente que l'on a :

$$d = e \sin i_1 \left(1 - \frac{n_1 \cos i_1}{n_2 \cos i_2}\right)$$

5. En déduire une expression de d dans laquelle ne figurent plus que i_1 et e.

6. Calculer numériquement la déviation pour $i_1 = 45°$.

Exercice n°3 - Étude d'une fibre optique (★★)

Les câbles à fibre optique permettent le transport de données numériques avec des débits importants. Ce sont par exemple eux qui acheminent internet sur les grandes distances (sous les océans, le long des côtes, et maintenant jusque dans les habitations). Chaque câble est constitué de plusieurs fibres.

On considère une fibre optique (figure 2) constituée d'un cœur d'indice optique n_1 et d'une gaine d'indice optique n_2. Le tout est à géométrie cylindrique. L'objectif d'une fibre optique est de guider la lumière sur de longues distances. On envoie en entrée un rayon lumineux avec une incidence θ. On supposera que le milieu extérieur a un indice optique égal à 1,00.

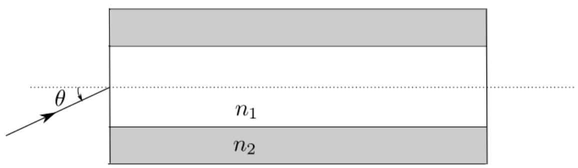


Figure 2: Rayon incident dans une fibre optique

1. Quelle doit être la condition sur n_1 et n_2 pour que la fibre guide effectivement le rayon lumineux sur une longue distance ? Faire un schéma représentant la suite du parcours du rayon lumineux.

2. Déterminer l'angle θ_m maximal tel que le rayon reste guidé dans la fibre.

3. L'ouverture numérique de la fibre, notée o_n est définie par $o_n = n_0 \sin(\theta_m)$. Calculer l'ouverture numérique de cette fibre, en sachant que $n_1 = 1.5$ et $n_2 = 1.48$.

4. On considère une fibre optique de longueur L, et un rayon arrivant en entrée sous une incidence θ. L'angle initial dans la fibre est noté θ_0. Donner l'expression de la distance d parcourue par ce rayon entre son entrée et sa sortie de la fibre, en fonction de L et de θ_0.

5. En déduire le temps qu'il met à parcourir la fibre en fonction de L, θ, c et de n_1.

On envoie une impulsion lumineuse sous la forme d'un faisceau conique convergent vers l'entrée de la fibre. L'angle d'ouverture du cône est θ_m. On a donc des rayons qui arrivent inclinés avec des angles compris entre 0 et θ_m.

6. Donner l'expression de la différence de temps de parcours entre le rayon le plus rapide et le rayon le plus lent. En déduire le temps Δt minimal qui doit séparer deux impulsions en entrée de la fibre. On prendra $L = 1{,}0$ km. En déduire la fréquence maximale à laquelle est transmise l'information.

Pour aller plus loin

Exercice n°4 - Réfractomètre d'Abbe (★★★)

Un réfractomètre d'Abbe est un appareil servant à mesurer des indices optiques, très utilisé notamment à des fins de caractérisation rapide d'échantillons.
Le réfractomètre représenté figure 3 est composé de deux prismes identiques, d'indice $n_0 = 1{,}732$, à base en forme de triangle rectangle. L'angle au sommet β vaut 60°. Entre ces prismes est intercalé un film de liquide d'indice n que l'on cherche à déterminer. Pour ce faire, le réfractomètre est éclairé par la face AB par un rayon d'angle d'incidence i réglable.

1. Si le rayon sort par la face CD, quelle sera sa direction? Répondre par un argument physique sans calcul, éventuellement à confirmer (ou deviner !) par un schéma propre.

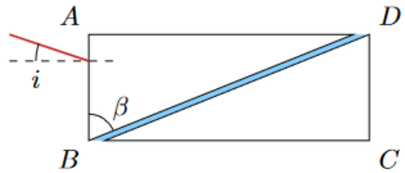


Figure 3: Schéma de principe d'un réfractomètre d'Abbe

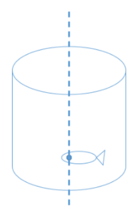
2. Expliquer comment la mesure de l'angle d'incidence pour laquelle le rayon transmis ne sort plus par la face CD mais par la face AD permet d'en déduire la valeur de l'indice du liquide.
3. Montrer qu'à la limite de la réflexion totale,

$$n = n_0 \sin\left(\beta - \arcsin\frac{\sin i}{n_0}\right)$$

4. Calculer cet indice si l'angle d'incidence critique vaut 18°.
5. Quelles sont les limites d'utilisation du dispositif ?

Résolution de problème
Comme un poisson dans l'eau

Un poisson nage dans un récipient cylindrique de diamètre $D = 20{,}0$ cm, rempli à ras bord. Le poisson se situe à une position très particulière : son oeil se situe précisément sur l'axe de symétrie du cylindre. Dans cette position, il peut voir tout ce qui entoure le récipient, sur l'entière surface de l'eau. On rappelle que l'indice de l'eau est 1,33.



▷ À quelle distance le poisson se trouve t-il alors de la surface de l'eau ?

Éléments de réponse

Vrai / Faux

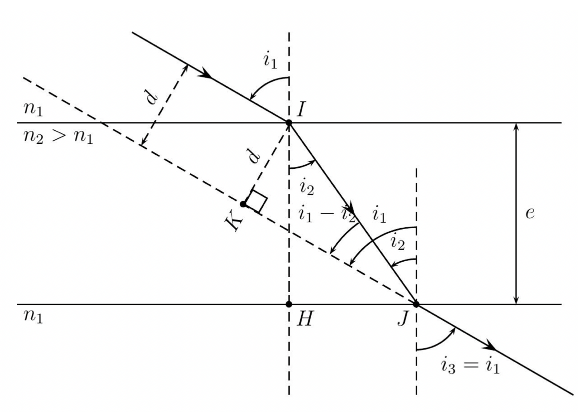
1. Faux 2. Vrai 3. Vrai 4. Faux 5. Faux 6. Faux 7. Faux

Exercice n°1

2. Pour le rayon violet, $i_v = 24,8°$. Pour le rayon rouge, $i_r = 25,2°$ 3. L'écart angulaire vaut ainsi 0,4°

Exercice n°2

Pour tout l'exercice, on pourra s'aider de la figure suivante :



3. $d = e\dfrac{\sin(i_1 - i_2)}{\cos i_2}$ 4. On utilisera la formule $\sin(a-b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b$ et la loi de Snell-Descartes. 5. On utilisera la formule $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$. On trouve alors $d = \left(1 - \dfrac{n_1 \cos i_1}{\sqrt{n_2^2 - (n_1 \sin i_1^2)}}\right) e \sin i_1$

Exercice n°3

2. $\theta_m = \arcsin\left(\sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)$ 3. $\text{o}_n = n_0 \sin(\theta_m) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \simeq 0,24$

4. $d = \dfrac{L}{\cos\theta_0}$. Pensez à "déplier" le rayon ! 5. $t = \frac{n_1 L}{c\sqrt{1-\left(\frac{\sin\theta}{n_1}\right)^2}}$

6. Rayon le plus rapide : $\theta = 0°$. Rayon le plus lent : $\theta = \theta_m$. On trouve $\Delta t = 68$ ns, et $f < 15$ MHz.

Résolution de problème

Faire un schéma pour s'y retrouver. Si le poisson voit tout ce qui entoure le récipient, c'est que l'angle de réfraction vaut l'angle de réfraction limite !