

TD 02 | O1 - Autour des lois de Snell-Descartes

III Déviation par trois miroirs (★)

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Appliquer les lois de Snell-Descartes	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Gerer des calculs		✓		✓	✓	✓	✓
Démontrer un résultat						✓	
Faire preuve de sens physique					✓		✓
Analyser un schéma				✓		✓	✓
Etudier une déviation totale			✓				
Detecter une reflexion totale	✓				✓		✓
Réaliser un schéma	✓	✓	✓				✓

I Aquarium (★)

La paroi d’un aquarium est constituée d’une lame de verre à faces parallèles, d’épaisseur 5,0 mm. L’indice optique de l’air est $n_1 = 1,00$, celui du verre est $n_2 = 1,50$ et celui de l’eau est $n_3 = 1,33$.

Un rayon lumineux arrive sur la paroi (côté air) sous un angle d’incidence i_1 et ressort de la paroi (côté eau) sous un angle d’incidence i_3 . On appelle i_2 l’angle d’incidence du rayon lumineux dans la lame de verre.

- Réaliser le schéma correspondant en faisant bien apparaître les angles i_1 , i_2 et i_3 ainsi que les différents dioptries.
- Sachant que $i_1 = 46^\circ$, calculer i_2 et i_3 .
- Existe-t-il un phénomène de réflexion totale pour les rayons pénétrant dans l’aquarium ?
- Existe-t-il un phénomène de réflexion totale pour les rayons sortant de l’aquarium ?

II Mesure de l’indice optique d’un liquide (★)

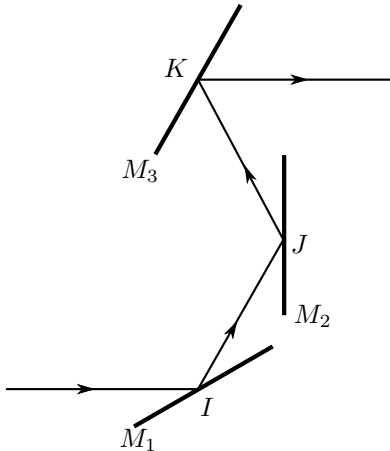
Un rayon lumineux dans l’air tombe sur la surface libre d’un liquide ; il fait un angle $\alpha = 56^\circ$ avec le plan horizontal. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté est $\theta = 13,5^\circ$.

- Quel est l’indice n du liquide ?

Un rayon lumineux se propageant dans l’air est réfléchi par trois miroirs M_1 , M_2 et M_3 . Ces miroirs sont perpendiculaires à un plan choisi comme plan de la figure.

On note I , J , K les points d’incidence du rayon lumineux sur les miroirs M_1 , M_2 et M_3 . On sait que les angles d’incidence sur les miroirs M_1 et M_2 valent tout deux 60° .

On souhaite déterminer l’orientation du miroir M_3 pour que, après les trois réflexions, le rayon réfléchi définitif ait la même direction et le même sens que le rayon incident.

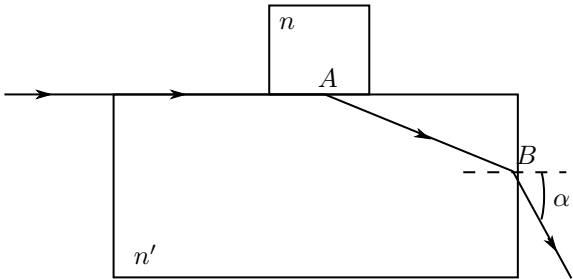


On rappelle que la déviation d’un rayon est l’angle partant du rayon incident, s’il avait continué sans rencontrer d’obstacle et le rayon transmis ou réfléchi.

- Refaire le schéma et placer les différents angles d’incidence, ainsi que les déviations successives D_1 , D_2 et D_3 subies par le rayon lumineux sur chaque miroir.
On notera i l’angle d’incidence au niveau des miroirs M_1 et M_2 et i' l’angle d’incidence au niveau du miroir M_3 . Les angles i et i' sont des angles géométriques, donc positifs. Les déviations D_1 , D_2 et D_3 sont définies dans l’intervalle $]0, \pi[$.
- Exprimer la déviation totale D en fonction de i et i' .
- En déduire l’expression de i' pour que le rayon émergent ait même direction et même sens que le rayon incident. Donner sa valeur.

IV Réfractomètre (★)

Pour mesurer l’indice n d’un milieu solide transparent, on taille dans ce matériau un cube que l’on place sur un autre cube en verre d’indice n' connu. On envoie un pinceau de lumière monochromatique sous une incidence rasante sur la surface de séparation des deux cubes en A , et on mesure l’angle d’émergence α dans l’air en B . On prendra $n_0 = 1$ comme indice optique de l’air.

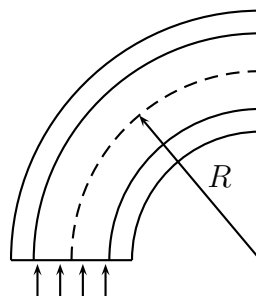


Données : $n' = 1,7321$; $\alpha = 60^\circ$

1. Écrire les lois de Descartes pour la réfraction en A et B .
2. Exprimer n^2 en fonction de n' et α .
3. Calculer n .

V Fibre courbée (★★)

On considère une fibre à saut d'indice, constituée d'un coeur en verre d'indice $n_1 = 1,66$ et de diamètre $d = 0,05$ mm entourée d'une gaine en verre d'indice $n_2 = 1,52$. On courbe la fibre comme sur la figure ci-contre : elle forme une portion d'anneau de rayon de courbure R . (Ici, le rayon de courbure correspond au rayon du cercle formé par les pointillés).



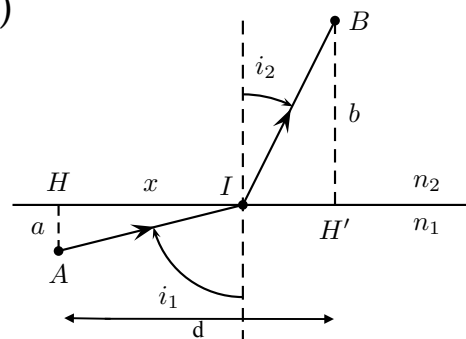
La fibre est éclairée par un faisceau parallèle avec un angle d'incidence nul.

1. Une fois dans la fibre, quel est le rayon lumineux qui arrive sur l'interface coeur-gaine avec le plus petit angle d'incidence ?
2. Quel doit être le rayon de courbure R minimal pour que l'ensemble du faisceau lumineux soit guidé dans la fibre optique (c'est-à-dire pour qu'il y ait réflexion totale pour chacun des rayons) ? Conclusion ?

VI Principe de Fermat (★★★)

On peut démontrer les lois de Snell-Descartes à partir du principe de Fermat. Ici nous allons retrouver la 3^{ème} loi portant sur la réfraction.

La lumière se propage d'un point à un autre sur des trajectoires telles que la durée du parcours soit localement minimale

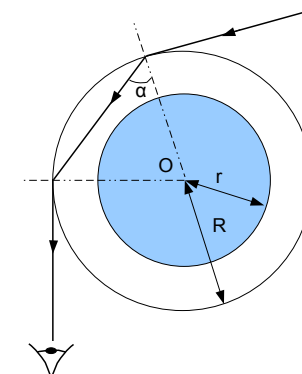


1. Exprimez le temps de parcours d'un rayon lumineux sur le trajet $A \rightarrow I \rightarrow B$ en fonction de c, n_1, n_2, a, b, d et x . Ce dernier paramètre étant le seul qui ne soit pas fixé dans cette étude.
2. Retrouvez finalement la loi de la réfraction en utilisant le principe de Fermat

VII Optique dans un thermomètre (★★)

On considère un thermomètre à colonne de mercure, dont l'enveloppe est un cylindre en verre de rayon extérieur R et de rayon intérieur r d'indice de réfraction n .

La figure ci-dessous représente la trajectoire d'un rayon lumineux arrivant sur le thermomètre en incidence rasante et émergent en direction d'un observateur.



1. Déterminez l'expression de l'angle α de la figure en fonction de l'indice optique du verre n .
2. Montrez que si le rayon arrive en incidence rasante, il émerge de même.
3. A partir d'un certain rayon intérieur r , l'observateur a l'impression que le mercure remplit entièrement le cylindre (l'épaisseur du verre n'est plus visible). Faites le schéma correspondant et expliquez.
4. Déterminez la valeur limite de r/R pour atteindre cette situation. Faites ensuite l'application numérique avec $n = 1,5$.

Astuces :

E2 Q1 : $n \approx 1,59$

E3 Q3 : $i' = 2i - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{6}$

E4 Q3 : $n = \sqrt{n'^2 - \sin^2 \alpha} = 1,5000$

E5 Q2 : $R > 0,568$ mm

E7 Q4 : On doit trouver à la fin de l'exercice : $r/R = 2/3$ pour $n = 1,5$