Travaux Dirigés de Physique

Charles Tuchendler

MPSI 4 – Lycée Saint-Louis

Année 2019/2020

Table des matières

TD n° 13

Bases de l'optique géométrique

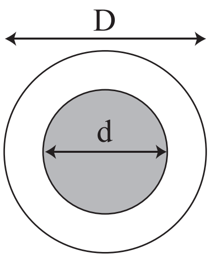
Exercice n° 1 - Mauvaises localisations d'objets dans l'eau®

1. Un pêcheur observe un poisson dans l'eau. Le voit-il plus proche ou plus loin de ce qu'il n'est en réalité ? Faire un schéma et représenter le sens de parcours des rayons lumineux.
2. Un bateau à quai au port semble ne pas avoir de coque et semble "posé sur l'eau" pour un observateur placé sur le quai. Pourquoi ?

Exercice n° 2 - Cône de lumière®

1. Les plongeurs, lorsqu'ils relèvent la tête vers la surface de l'eau, ont l'impression de voir un "gouffre lumineux", c'est à dire un disque lumineux entouré d'obscurité, comme le montre la figure ci-contre. Expliquez ce phénomène qualitativement puis exprimer et calculer le diamètre angulaire apparent α du cône de lumière. Dépend-il de la profondeur à laquelle se trouve le plongeur ? *Données* : $n_{\text{air}} = 1,00$ et $n_{\text{eau}} = 1,33$.
2. Une piscine de profondeur $h = 1,5$ m est totalement remplie d'eau. Un projecteur d'éclairage se trouve au fond du bassin. Cette source, considérée comme ponctuelle émet de la lumière dans toutes les directions. Quel est le rayon R de la tache lumineuse formée à la surface de l'eau ?

Exercice n° 3 - Thermomètre à mercure

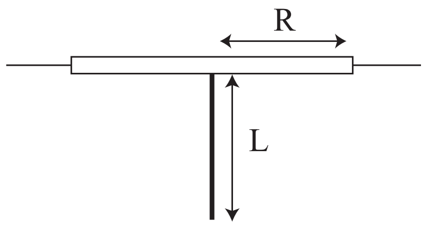


Un thermomètre à mercure est constitué d'un tube en verre de diamètre extérieur $D = 5mm$, et de diamètre intérieur d inconnu. Ce tube creux est rempli de mercure.

1. Quelle est la taille du diamètre intérieur d pour que l'on ait l'impression visuelle que le tube n'est constitué que de mercure ?
2. Que se passe t'il si l'on plonge le thermomètre dans l'eau ?

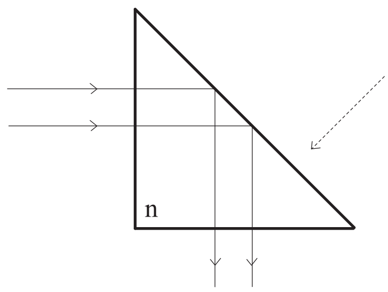
Exercice n° 4 - Epingle dans un bouchon®

Une épingle de longueur $L = 4$ cm est plantée au centre de la face inférieure d'un disque en liège, d'épaisseur très fine, et de rayon R, flottant à la surface de l'eau. Quelle est la taille limite du disque pour qu'un observateur placé hors de l'eau ne puisse jamais apercevoir l'épingle ?



Exercice n° 5 - Catadioptre

1. On considère un prisme dont la section principale est un triangle isocèle rectangle. Ce prisme est utilisé en réflexion totale comme indiqué sur le schéma ci-contre.
   (a) Justifier le tracé des rayons lumineux en trait plein. Quelle condition doit vérifier l'indice du prisme pour qu'il puisse être utilisé en réflexion totale ?
   (b) On éclaire un prisme de ce type, d'indice $n = 1,50$ normalement à l'hypoténuse du prisme. Construire le rayon émergent correspondant.

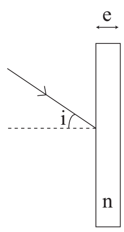


2. En vous aidant de la question précédente, comment construire, à l'aide de miroirs plans, un dispositif réfléchissant la lumière exactement dans la direction opposée à la direction d'incidence sur ce même dispositif ?

   Indication : On appelle souvent ce dispositif un "coin de cube". Une photo est présentée sur la figure ci-contre (Ce *coin de cube* a été utilisé pour réfléchir un faisceau laser dans le cadre d'une mesure de la vitesse de la lumière lors de la fête de la science en 2005, "c à Paris".).

Exercice n° 6 - Traversée d'une lame de verre

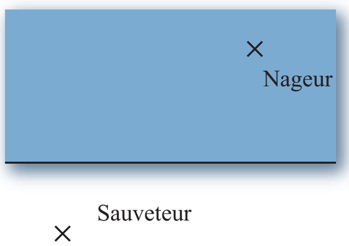
1. Construire le rayon transmis par une lame de verre d'indice de réfraction $n = 1,5$ et d'épaisseur $e = 1$ cm. Quelle est la direction du rayon transmis ?
2. Déterminer le décalage latéral par rapport au rayon incident en fonction de l'angle d'incidence i. Quelle est le décalage maximal ?



Exercice n° 7 - Sauvetage en mer®

Un maître nageur doit secourir une personne en train de se noyer en mer.

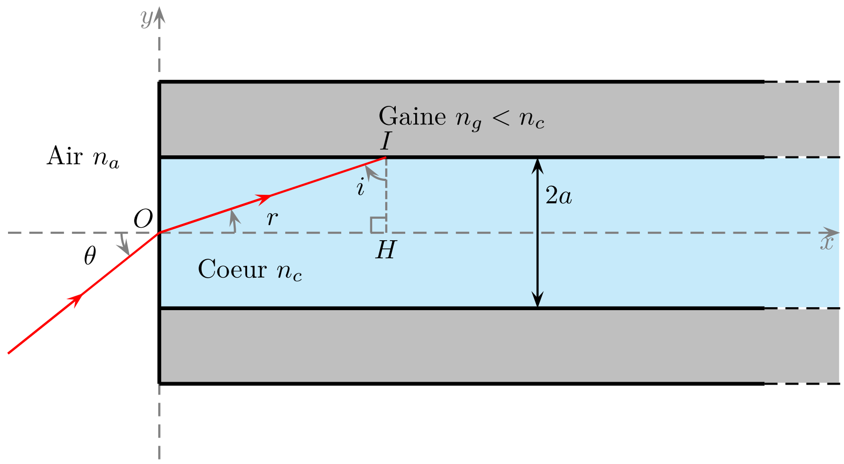
1. Quelle est la trajectoire que le sauveteur doit suivre pour arriver sur le nageur le plus vite possible, sachant que l'axe sauveteur/nageur n'est pas perpendiculaire à la plage ?
2. Quel est le lien avec les Lois de Snell-Descartes ?



Exercice n° 8 - Fibre optique à saut d'indice

Le guidage de la lumière peut être assuré par des fibres optiques. Une fibre optique est constituée d'un cylindre de verre - ou de plastique - désigné sous le terme de *cœur*, entouré d'une gaine transparente d'indice de réfraction plus faible. La gaine contribue aux propriétés mécaniques de la fibre et évite les fuites de lumière vers l'extérieur. Le diamètre du cœur d'une fibre va, actuellement, de 1 à 200 μm et le diamètre de la gaine peut aller jusqu'à 400 μm. Les fibres optiques sont utilisées notamment en génie des télécommunications pour la transmission de l'information et en médecine pour les endoscopies.

Une fibre optique à saut d'indice, représentée ci-dessous, est formée d'un cœur cylindrique d'axe Ox, de diamètre $2a$ et d'indice n_c entouré d'une gaine optique d'indice n_g légèrement inférieur à n_c. Les deux milieux sont supposés homogènes, isotropes et transparents. Un rayon situé dans le plan xOy entre dans la fibre au point O avec un angle d'incidence θ. Avant son entrée dans la fibre, le rayon lumineux est dans l'air d'indice $n_a = 1,00$.



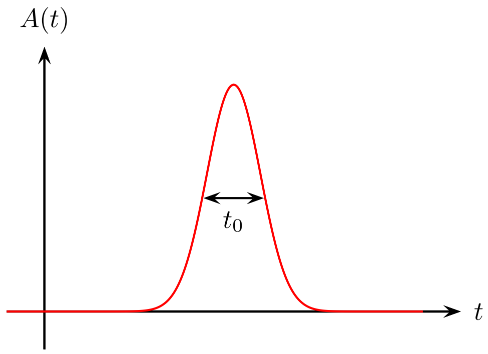
Les rayons lumineux sont supposés issus d'une source monochromatique de fréquence ν. La longueur d'onde dans le cœur est notée λ.

1. À quelle condition sur i, angle d'incidence à l'interface cœur/gaine, le rayon reste-t-il confiné à l'intérieur du cœur ? On note i_ℓ l'angle d'incidence limite.
2. Montrer que la condition précédente est vérifiée si l'angle d'incidence θ est inférieur à un angle limite θ_ℓ dont on exprimera le sinus en fonction de n_c et i_ℓ. En déduire l'expression de l'ouverture numérique $ON = \sin\theta_\ell$ de la fibre en fonction de n_c et n_g uniquement.
3. Donner la valeur numérique de ON pour $n_c = 1,500$ et $n_g = 1,470$.

On considère une fibre optique de longueur L. Le rayon entre dans la fibre avec un angle d'incidence θ variable compris entre 0 et θ_ℓ. On note c la vitesse de la lumière dans le vide.

4. Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre ? Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Exprimer alors l'intervalle de temps δt entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction de L, c, n_c et n_g.
5. On pose $2\Delta = 1 - \dfrac{n_g^2}{n_c^2}$, avec $\Delta \ll 1$ pour les fibres optiques. Donner dans ce cas l'expression approchée de δt en fonction de L, c, n_c et Δ. On conservera cette expression de δt dans la suite.

On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse de durée t_0 formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et θ_ℓ. La figure ci-dessous représente l'allure de l'amplitude A du signal lumineux en fonction du temps t.



6. Reproduire la figure ci-dessus en ajoutant à la suite l'allure du signal lumineux à la sortie de la fibre. Quelle durée t_0' a approximativement l'impulsion lumineuse en sortie de fibre ?

Le codage binaire de l'information consiste à envoyer des impulsions lumineuses (ou « bits ») périodiquement avec une fréquence d'émission F.

7. En supposant t_0 négligeable devant δt, quelle condition portant sur la fréquence d'émission F exprime le non-recouvrement des impulsions à la sortie de la fibre optique ? Soit $L_{\max}$ la longueur maximale de la fibre optique permettant d'éviter le phénomène de recouvrement des impulsions. On appelle bande passante de la fibre le produit $B = L_{\max}\, F$.
8. Exprimer la bande passante B en fonction de c, n_c et Δ.
9. Calculer la valeur numérique de Δ et de la bande passante B (exprimée en MHz.km) avec les valeurs de n_c et n_g données dans la question 3.
   Pour un débit d'information de $F = 100$ Mbits.s^{-1} $= 100$ MHz, quelle longueur maximale de fibre optique peut-on utiliser pour transmettre le signal ? Commenter la valeur de $L_{\max}$ obtenue.