



Capacités exigibles :

- Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites. ●
- Établir la condition de réflexion totale. ☐
- Utiliser la relation $\sin \theta \approx \frac{\lambda}{a}$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture. ✕

Exercice 1 Le laser Lune ●✕

Pour mesurer la distance Terre-Lune avec une précision de quelques millimètres, on envoie un faisceau laser en direction de la Lune. Une partie de la lumière du Laser est réfléchiée par un rétro réflecteur, dispositif qui a la propriété de renvoyer la lumière vers son émetteur et qui a été déposé sur le sol lunaire par les astronautes de la mission Apollo 11 en 1969. Un télescope terrestre recueille ensuite une partie de la lumière renvoyée par le rétro réflecteur. La mesure précise de la durée τ de l'aller-retour de la lumière entre la surface terrestre et la surface lunaire permet de déduire la distance D entre ces surfaces.

1. Sachant que $D \approx 3,76.10^8$ m, évaluer τ . La précision de l'horloge atomique utilisée étant de 50 ps, calculer la précision relative sur la valeur de τ .
2. Le faisceau au départ de la Terre a un diamètre $a = 1,5$ m et sa longueur d'onde est $\lambda = 532$ nm. Calculer son demi-angle d'ouverture sachant que le sinus de cet angle est égal à 1,22 fois le sinus du demi-angle d'ouverture d'un faisceau diffracté par une fente de largeur a . Calculer le diamètre de la tache que fait le faisceau sur le sol lunaire.
3. Le rétro réflecteur est un carré de côté $\ell = 1$ m. Calculer la fraction ρ de l'énergie lumineuse émise de la Terre qui est reçue par le rétro réflecteur.
4. Expliquer pourquoi le télescope récepteur à la surface de la terre ne capte qu'une très petite fraction ρ' de la lumière réfléchiée par le rétro réflecteur. Au total le flux lumineux reçu à l'arrivée est environ 10^{-17} fois le flux émis de départ. La diffraction est-elle la seule cause des pertes ?

Exercice 2 Limite de vision d'un clou dans un flotteur ☐

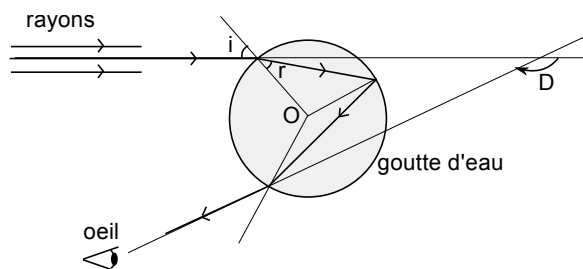
On dispose d'un flotteur mince, de rayon R , au centre duquel on a planté un clou perpendiculairement au plan du disque. La tête du clou est à une distance $h = 6$ cm du centre du disque. Le disque est placé dans l'eau, le clou étant immergé. A quelle condition le clou est-il visible pour un observateur placé dans l'air ?

Données : On prendra pour l'indice de l'eau 1,33.

Exercice 3 L'arc en ciel ☐

Un rayon lumineux monochromatique de longueur d'onde λ pénètre dans une goutte d'eau de forme sphérique, de centre O et d'indice n . Le rayon subit une réflexion puis une réfraction avant de ressortir.

1. Calculer la déviation D en fonction de i et r .
2. Montrer que D passe par un extremum D_m pour un certain angle i_m .
3. Pour $n = 1,33$ calculer i_m et D_m . Cet extremum est-il un minimum ou un maximum ?
4. On admet que D_m est une fonction décroissante de la longueur d'onde. On considère maintenant que le rayon n'est pas monochromatique mais qu'il contient toutes les longueurs d'onde visibles. En tenant compte du phénomène de dispersion par l'eau, préciser à l'aide d'un schéma ce que verra l'observateur.

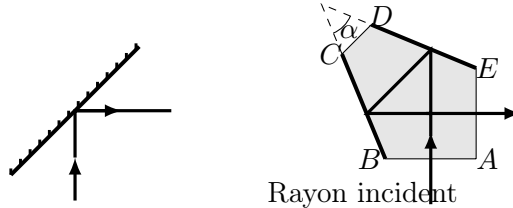


Exercice 4 Angle de Brewster ☐

Un dioptre plan sépare un milieu 1 d'indice n_1 d'un milieu 2 d'indice n_2 . Pour quelle valeur de l'angle d'incidence, le rayon réfléchi est-il perpendiculaire au rayon réfracté ?

Exercice 5 Le bon reflex ☒

Le pentaprisme en toit qui équipe la plupart des boîtiers photographiques reflex est une adaptation du prisme pentagonal (ou équerre optique) qui permet de dévier le faisceau lumineux de 90° quel que soit son angle d'incidence. La figure de droite montre un rayon pénétrant par la face AB et ressortant par la face AE . Le miroir plan incliné à 45° et présenté sur la figure de gauche joue *a priori* le même rôle.

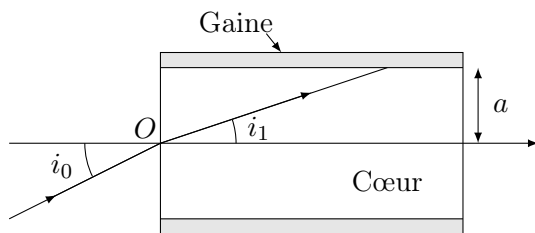


L'indice optique du verre utilisé pour la réalisation du pentaprisme est $n = 1,58$.

1. Déterminer l'angle α pour lequel le pentaprisme dévie bien le rayon lumineux incident de 90° .
2. Expliquer la nécessité de traiter les faces ED et BC du pentaprisme afin de les rendre réfléchissantes.
3. Le grand intérêt du pentaprisme réside dans le fait qu'il dévie toujours les rayons de 90° , quel que soit leur angle d'incidence. Montrer que ce n'est pas le cas du miroir plan.

Exercice 6 Le très haut débit pour tous ☒***

Le très haut débit donne un accès performant à Internet et permet d'envoyer et de recevoir un grand nombre de données (documents, photos, vidéos, etc.) dans un temps court. La fibre optique constitue aujourd'hui le support de communication le plus performant.



La fibre optique à saut d'indice est constituée de deux types de verre différents, l'un constituant le cœur d'indice n_1 et l'autre la gaine d'indice $n_2 < n_1$. La lumière se propage dans le cœur en subissant éventuellement des réflexions totales sur la gaine.

La célérité de la lumière dans le vide est :

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}.$$

1. Un rayon lumineux se propageant dans l'air pénètre dans le cœur au point O sous l'angle d'incidence i_0 . Déterminer l'angle de réfraction i_1 . L'indice de l'air est $n_{\text{air}} = 1,0$.
2. Déterminer l'angle maximal $i_{0\text{max}}$ pour lequel ce rayon subira une réflexion totale sur la gaine. On appelle ouverture numérique (O.N.) la quantité $\sin(i_{0\text{max}})$. Exprimer l'O.N. en fonction de n_1 et n_2 puis la calculer avec $n_1 = 1,48$ et $n_2 = 1,46$.
3. On considère une longueur $L = 10 \text{ km}$ de fibre. Déterminer le temps mis par la lumière pour parcourir L dans le cas d'un rayon incident d'angle d'incidence $i_0 = 0$ puis dans celui d'un rayon d'angle d'incidence $i_{0\text{max}}$. Montrer que la différence Δt entre ces deux temps de propagation s'écrit $\Delta t = n_1 \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \frac{L}{c}$. Calculer Δt .
4. Des impulsions très brèves de durée τ sont envoyées en entrée de la fibre avec une période T ($\tau \ll T$). Le faisceau lumineux convergeant en entrée est conique ; son demi-angle au sommet est $i_{0\text{max}}$. Déterminer la valeur minimale de T pour que les impulsions soient séparées après avoir parcouru la distance L dans la fibre.
5. 1 bit correspond à la présence ou à l'absence d'une impulsion. Exprimer le débit maximal en bits par seconde de la fibre étudiée. Comparer à une ligne ADSL qui permet le transfert de 512 Mo s^{-1} (1 octet = 8 bits). En pratique, les fibres utilisées sont monomodes avec un petit diamètre de cœur de l'ordre d'une dizaine de microns. La lumière se propage alors sans réflexions et la dispersion devient négligeable, permettant l'obtention de débits beaucoup plus importants.

Résolution de problème : Mesure du diamètre d'un cheveu ☉☒

Comment s'y prendre pour mesurer le diamètre d'un cheveu (de l'ordre de $100 \mu\text{m}$) en utilisant un laser de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$, un écran, une règle de 20 cm graduée et un mètre ruban de 2 m ? Quelle précision maximum peut-on atteindre sachant que la règle et le mètre sont gradués en millimètres ?

Solutions des exercices

¹ Réponse : 1) $\frac{\Delta\tau}{\tau} = 2 \times 10^{-11}$; 2) $2,2 \times 10^2 \text{ m}$; 3) $\rho = 1,2 \times 10^{-5}$.

² Réponse : $R < 6,8 \text{ cm}$

³ Réponses : 1) $D = \pi + 2i - 4r$; 2) $\sin i = \sqrt{\frac{4-n^2}{3}}$; 3) $i_m = 59,6^\circ$ $D_m = 138^\circ$

⁴ Réponse : $\tan i_1 = \frac{n_2}{n_1}$

⁵ Réponses : 1) 45°

⁶ Réponses : 1) $i_1 = \arcsin\left(\frac{1}{n_1} \sin i_0\right)$, 2) $O.N. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,242$, 3) $t_1 = 49 \mu\text{s}$, $t_2 = 50 \mu\text{s}$, $\Delta t = n_1 \left(\frac{n_1}{n_2} - 1\right) \frac{L}{c}$,
5) $1,5 \times 10^6 \text{ bits s}^{-1} = 0,18 \text{ Mo s}^{-1}$