

TD Lois de l'optique géométrique

DISCOURS DE LA METHODE

Pour bien conduire la raison, & chercher
la vérité dans les sciences.

P L U S

L A D I O P T R I Q U E .

L E S M E T E O R E S .

E T

L A G E O M E T R I E .

Qui sont des essais de cete METHODE.



A L E Y D E

De l'Imprimerie de J A N M A I R E .

M D C C L X X V I I .

Avec Privilege.

Édition de 1637 chez Jan Maire à Leyde sans nom d'auteur : édition en deux tomes. Un premier tome pour le Discours de la méthode proprement dit et un tome II contenant les trois essais : la Dioptrique (l'optique), les Météores (phénomènes naturels) et la Géométrie.

Exercice 1 :

Un rayon lumineux dans l'air tombe sur la surface 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 ?

Exercice 2 :

Un rayon lumineux tombe sur un miroir plan. Le miroir tourne d'un angle α , de combien tourne le rayon réfléchi ?

Exercice 3 :

Les grenouilles peuvent se cacher de leurs prédateurs aériens en se plaçant dans l'eau, sous un nénuphar.

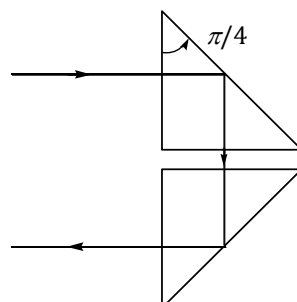
1. Montrer à l'aide d'un schéma clair le phénomène physique mis en œuvre. On modélise le nénuphar par un disque de 20 cm de diamètre et la grenouille par un point située à la verticale du centre du nénuphar, à la distance.
2. Déterminer la distance d à partir de laquelle la grenouille ne sera plus cachée.

$n_{\text{air}} = 1$ et $n_{\text{eau}} = 1,33$.

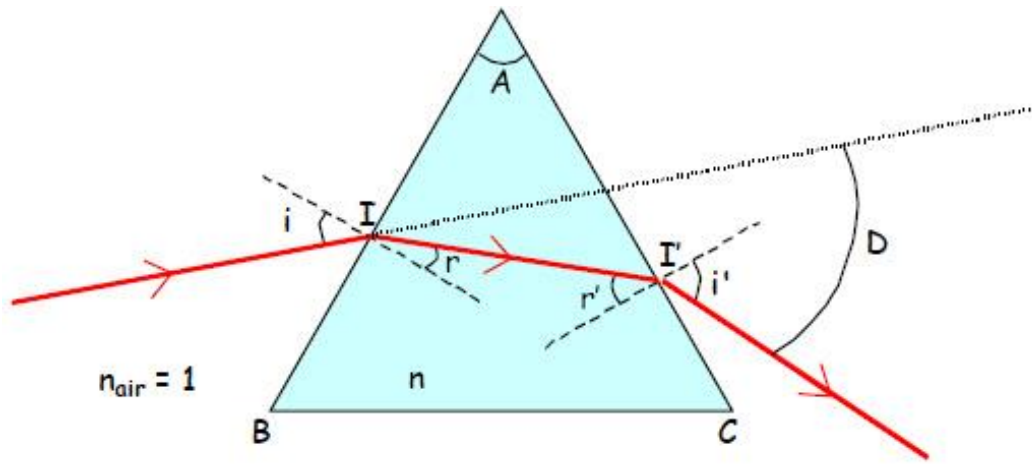


Exercice 4 :

Quel doit être l'indice de réfraction minimal d'un milieu réfringent placé dans l'air pour que l'association de deux prismes disposés selon la figure ci-dessous entraîne une réflexion totale ?



Prisme à réflexion totale



Relations entre les angles

1°) Établir par la géométrie les deux relations entre les angles : $A = r + r'$ (1) et $D = -A + i + i'$ (2).

Appliquer les lois de Snell-Descartes aux deux réfractions. On notera (3) et (4) les relations obtenues.

2°) Calculer l'incidence minimale i_0 sur la première face pour obtenir une émergence rasante ($i'_{max} = 90^\circ$) sur la seconde face. En déduire la déviation D_0 correspondante.

3°) Calculer l'angle d'émergence pour une incidence rasante. En déduire la déviation correspondante.

Déviation et minimum de déviation

4°) La déviation D est une fonction de i , n et A . Trouver la relation entre D , n et A dans le cas des petits angles (i , r , r' et i' sont faibles).

5°) L'expérience montre que D passe par un minimum D_m unique lorsque i varie (et A reste constant). Le minimum D_m est obtenu lorsque $r_m = r'_m$ et $i_m = i'_m$.

a) Que dire du rayon émergent et du rayon interne au minimum de déviation ?

b) En déduire que l'indice n du prisme s'exprime par la relation : $n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$.

c) On mesure $i_m = 57,7^\circ$. Calculer les valeurs de r_m , D_m et n .

Etude de la dispersion de la lumière

6°) Alors que le prisme est réglé comme à la question 5°), on l'éclaire désormais par une radiation verte ($\lambda = 560 \text{ nm}$). Son indice optique vaut alors 1,70.

a) Justifier le sens de variation de n .

b) Quelle est la radiation la plus déviée ? De combien la déviation a-t-elle varié ?

c) Faire un schéma faisant apparaître la marche des deux rayons lumineux associés à ce rayon incident.

7°) Pour aller plus loin : Condition d'émergence*

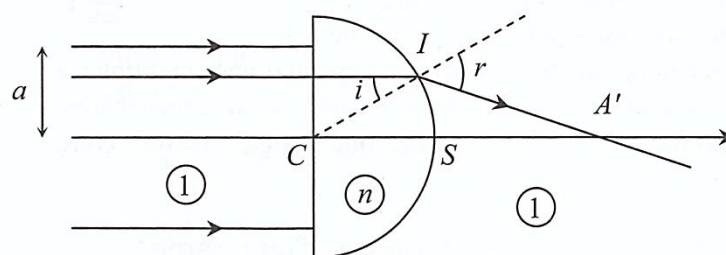
a) En supposant l'existence du rayon émergent, dans quel sens varie i' lorsque i décroît en partant de 90° ?

b) Déterminer l'angle d'incidence minimal i_0 tel que le rayon émerge par la face de sortie AC du prisme. L'exprimer en fonction de A et n .

Exercice 8 : Lentille demi-boule

On considère une lentille en forme de demi-boule de rayon R et d'indice n , plongée dans l'air d'indice 1.

Un faisceau lumineux cylindrique, de rayon a , arrive sous incidence normale sur la face plane de la lentille.



1°) Un rayon donné de ce faisceau émerge en coupant l'axe optique en un point A' . Etablir la relation donnant CA' en fonction de $R = CS$ et des angles i et r .

2°) En déduire la limite CF' de CA' lorsqu'on se place dans l'approximation de Gauss.

3°) Quelle est la valeur limite a_0 du rayon du faisceau incident si l'on veut que tous les rayons ressortent de la lentille ?

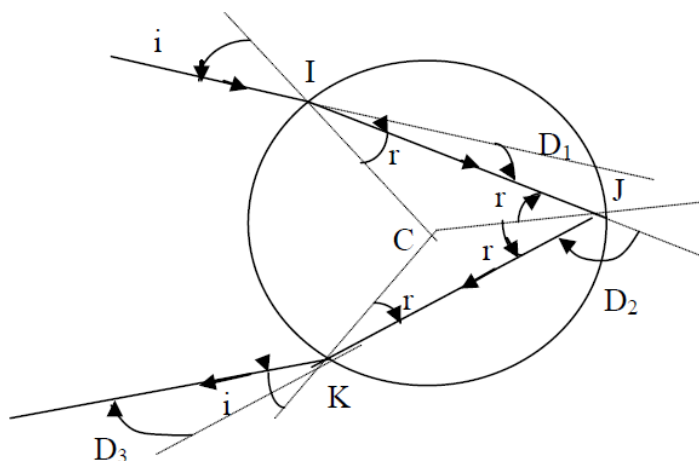
4°) Déterminer la valeur de a pour laquelle le rayon lumineux subit deux réflexions totales avant de ressortir de la demi-boule parallèlement à sa direction incidente.

Données : $n = 1,5$; $R = 5,0$ cm.

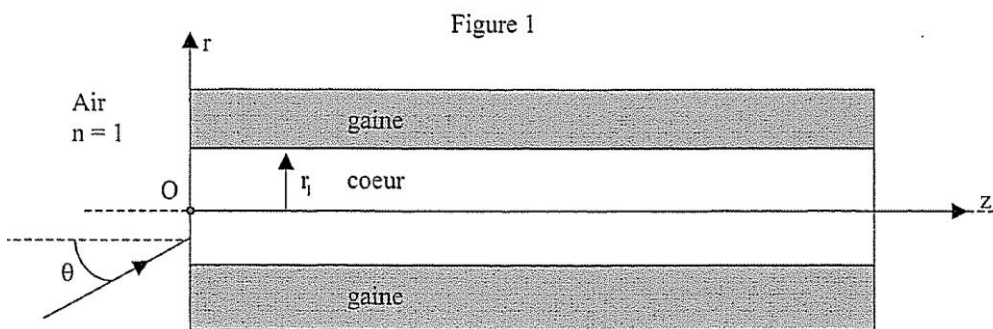
Exercice 9 : Arc-en-ciel (G2E 2016 extrait)

Lorsqu'un rayon lumineux incident rencontre une goutte de pluie sphérique avec un angle i par rapport à la normale, l'angle de réfraction r est donné par les lois de Descartes avec $n_e=1,33$ l'indice de l'eau et $n_{air}=1$ l'indice de l'air. On considère que, après la réfraction air-eau, le rayon se réfléchit une fois à l'intérieur de la goutte avant de se réfracter une seconde fois cette fois-ci dans le sens eau-air (Figure 6). Les angles successifs sont indiqués sur la figure.

1. Pourquoi retrouve-t-on l'angle i pour la dernière réfraction ?
2. Exprimer, pour l'incidence i , l'angle de déviation totale $D(i)$ somme de trois déviations successives.
3. Pour rechercher la direction dans laquelle la lumière est concentrée, on s'intéresse au minimum de déviation. Pourquoi ? Montrer qu'alors $dr/di = 1/2$.
4. Déterminer $\sin(2i)$ en fonction de n_e , i étant l'angle que fait au minimum de déviation le rayon incident avec la normale à la goutte. On devra pour cela différencier la loi de Descartes par rapport à la variable i .
5. Pourquoi les couleurs apparaissent-elles ?



Exercice 10 : (agrégation externe 2007, composition de physique)



Une fibre optique est fabriquée à base de verres ou de plastiques supposés transparents et isotropes. La fibre à saut d'indice est constituée d'un cœur cylindrique homogène de rayon r_1 , d'indice n_1 et d'axe Oz , et d'une gaine cylindrique d'indice n_2 entourant le cœur et de même axe

(cf figure 1). On introduit $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$. Dans la pratique, n_1 et n_2 ont des valeurs très voisines,

et $|\Delta| \approx 10^{-2}$.

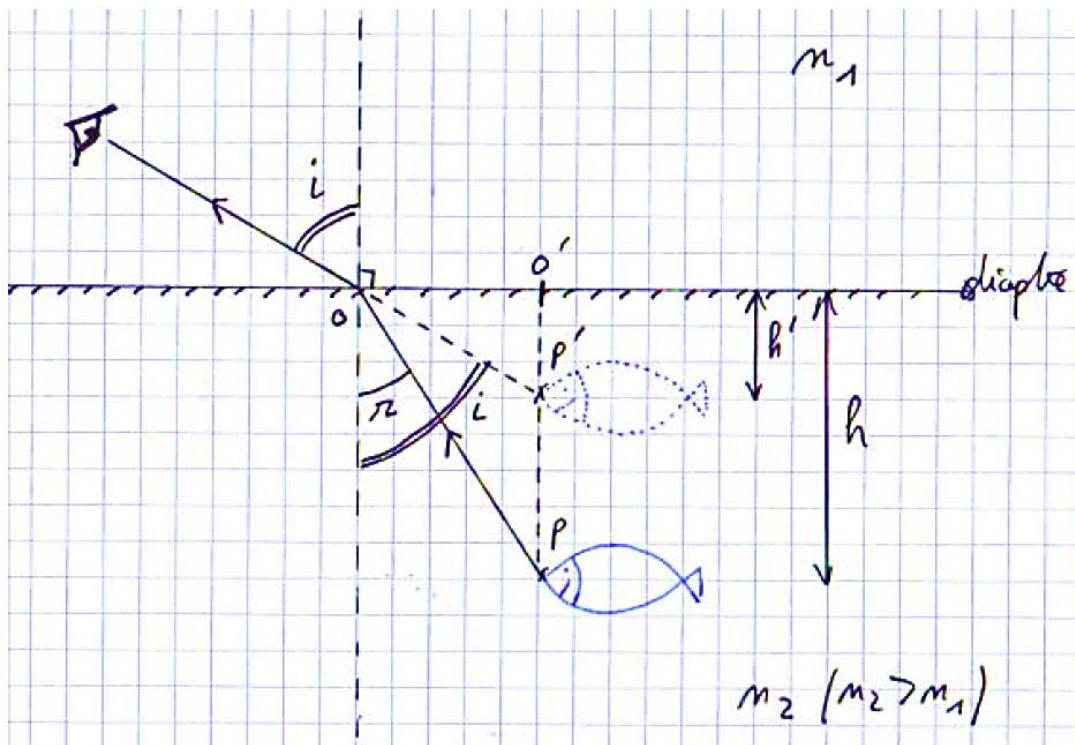
On considère, dans l'air d'indice 1, un rayon incident dont le plan d'incidence contient l'axe Oz , et qui arrive sur l'entrée de la fibre avec une incidence θ (voir figure 1).

- α - Comment faut-il choisir n_1 et n_2 pour que la lumière soit guidée, c'est à dire pour que la réflexion totale puisse se produire ?

- β- Montrer alors que, si θ reste inférieur à un angle θ_{\max} , un rayon peut être guidé dans le cœur. On appelle ouverture numérique O.N. la quantité $\sin \theta_{\max}$. Exprimer l'O.N. en fonction de n_1 et Δ . Faire l'application numérique avec $\Delta = 10^{-2}$ et $n_1 = 1,50$.
- γ- Que se passe-t-il si on courbe fortement la fibre ?
- δ- Une impulsion lumineuse arrive à $t = 0$, au point O sur la fibre précédente, sous la forme d'un faisceau conique convergent d'axe Oz, de demi-angle au sommet $\theta_i < \theta_{\max}$. Pour une fibre de longueur L, calculer l'élargissement temporel Δt de cette impulsion à la sortie de la fibre. On donne $L = 10$ m, $\theta_i = 8^\circ$. Faire l'application numérique.

Exercice 11 : Pas simple d'attraper un poisson

Un observateur regarde un poisson depuis l'air. Son cerveau le trompe et il croit voir le poisson plus proche de la surface qu'il ne l'est vraiment. En supposant de faibles distances horizontales par rapport aux profondeurs, trouver un lien entre h , h' , n_1 et n_2 .



Exercice 12 : Question ouverte

Un rétroviseur jour-nuit est constitué d'un miroir mobile sur un pivot précédé d'une vitre de position fixe. Proposer un principe de fonctionnement de tels rétroviseurs équipant certains véhicules.