

Thème 1 - Ondes et signaux - Optique

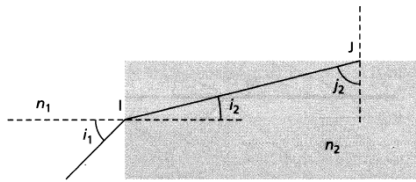
Chapitre 1 : Lois de l'optique géométrique

TD 1

Capacités exigibles

Etablir la relation entre longueur d'onde dans le vide et dans le milieu
Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Connaître les lois de Descartes (réflexion - réfraction)
Etablir la condition de réflexion totale

Ex. 1. Calculs d'angle et émergence (Imp.*** / Niv.*)"



Dans le dispositif ci-contre, le rayon incident fait un angle $i_1 = 45^\circ$ avec la normale au dioptre en I . On a $n_1 = 1,00$ et $n_2 = 1,50$

- 1 Calculer les angles i_2 et j_2
- 2 Le rayon ressort-il en J ?

Réponses : 1. $i_2 = 28^\circ$, $j_2 = 62^\circ$; 2. réflexion totale

Ex. 2. Incidence de Brewster (Imp.*** / Niv.*)"

On considère un dioptre air/eau et on donne : $n_{\text{air}} = 1$ et $n_{\text{eau}} = 1,33$
Pour quel angle d'incidence i le rayon réfléchi est-il perpendiculaire au rayon réfracté ?

Réponses : 1. $i_1 = \arctan(n_2/n_1) = 53^\circ$

Ex. 3. lame à faces parallèles (Imp.** / Niv.*)"

Un rayon lumineux se propageant dans l'air arrive sur une lame de verre à faces parallèles d'indice $n = 1,50$, d'épaisseur $e = 1$ mm avec un angle d'incidence i

- 1 Quelle est la définition de l'indice de réfraction d'un milieu transparent ?
- 2 Faire un dessin et représenter le chemin suivi par les 2 premiers rayons réfléchis. Donner l'expression de la distance Δ_r séparant ces rayons en fonction de i , e et n . Application numérique pour $i = 20^\circ$.
- 3 On considère maintenant le premier rayon émergent dans l'air après la lame de verre. Dessiner ce rayon sur le schéma.
- 4 Quelle est la déviation angulaire du rayon émergent dans l'air par rapport au rayon incident ? Commenter.
- 5 Calculer le déplacement Δ_e , distance entre le rayon incident et le rayon émergent, induit par la lame et faire l'application numérique.

Réponses : 2. $\Delta_r = 2e \tan \left(\arcsin \left(\frac{\sin i}{n} \right) \right) = 0,47$ mm ; 4. pas de déviation ;

5. $\Delta_e = e \sin i \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right) = 0,12$ mm

Ex. 4. Prisme à réflexion totale (Imp.* / Niv.*)"

Afin de dévier de $\pi/2$ ou de π un faisceau lumineux, on peut utiliser un prisme (ou dièdre) isocèle, d'angle au sommet 90° . Il est généralement constitué par un verre d'indice $n \simeq 1,5$.

- 1 Comment faut-il faire arriver le rayon incident, selon qu'on veut dévier le rayon de $\pi/2$ ou de π ?
- 2 Quelle condition doit alors vérifier l'indice optique du prisme ?

Réponses : 2. $n_1 > \sqrt{2}$

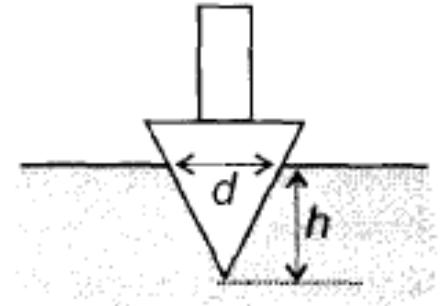
Ex. 5. Diamant ou pacotille ? (Imp.** / Niv.***)"

L'indice de réfraction du diamant est élevé (2,4). L'indice d'un "diamant" de pacotille en verre est plus faible (1,7) mais le verre choisi est très dispersif. Il arrive que des gens s'y trompent. En revanche, si l'on place les deux "diamants", le vrai et le faux, dans du sulfure de carbone (indice 1,6), le vrai diamant continue à briller alors que le faux diamant n'est pratiquement plus visible. Pourquoi ?

Réponses : comparer les angles de réflexion limite

Ex. 6. Observation de la quille d'un bateau (Imp.** / Niv.*)"

Un bateau est assimilé à un corps de section triangulaire dont la largeur au niveau de flottaison vaut d et la profondeur sous l'eau vaut h . L'indice de l'eau vaut $n = 1,33$ et celui de l'air 1. A quelle condition, portant sur le rapport d/h , la quille est-elle invisible pour un observateur situé hors de l'eau ?



Réponses : $\frac{d}{h} = 2 \tan \left(\arcsin \left(\frac{1}{n} \right) \right) \approx 2,3$

Ex. 7. Construction de Huygens du rayon réfracté (Imp.** / Niv.**)"

Un rayon incident arrive d'un milieu 1 sur l'interface entre le milieu 1 d'indice n_1 et un milieu 2 d'indice n_2 .

Pour trouver graphiquement le rayon réfracté, on trace, dans le milieu 2, deux demi-cercles centrés sur le point d'incidence, et de rayons respectifs n_1 et n_2 .

- 1 Indiquer comment, à partir de ces cercles, et en utilisant la loi de la réfraction, on peut construire (sans rapporteur) le rayon réfracté.
- 2 L'illustrer avec le phénomène de réflexion totale.

Ex. 8. Dispersion de la lumière par un prisme

On considère un prisme d'angle au sommet $A = 60^\circ$ et d'indice optique n . On envoie une radiation polychromatique, par exemple de la lumière blanche sur la face d'entrée du prisme.

La variation d'indice d'un matériau comme le verre en fonction de la longueur d'onde λ_0 peut être décrite par la loi de Cauchy :

$$n(\lambda_0) = \alpha + \frac{\beta}{\lambda_0^2} = 1,4977 + \frac{4245}{\lambda_0^2}$$

avec λ_0 exprimée en nm

- 1 Qu'observe-t-on après la face de sortie du prisme ?
- 2 On règle l'incidence i à la valeur i_m pour la longueur d'onde jaune $\lambda_{0,J} = 600$ nm. Déterminer la déviation $D_{J,m}$ (qui est la déviation minimale pour cette longueur d'onde), ainsi que les déviations D_R et D_B pour des longueurs d'ondes respectivement dans le rouge $\lambda_{0,R} = 700$ nm et le bleu $\lambda_{0,B} = 485$ nm .
- 3 Déterminer l'expression de la dispersion du prisme, $\left| \frac{dD}{d\lambda} \right|$.

Réponses : 2. $D_{J,m} = 2 \arcsin(n \sin(A/2)) - A$, $D_{J,m} = 38,0^\circ$; $D_R = 38,6^\circ$, $D_B = 37,7^\circ$; 3.

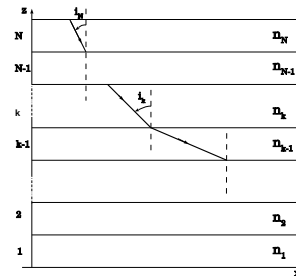
$$\left| \frac{dD}{d\lambda} \right| = \frac{4\beta}{\lambda^2} \frac{1}{\sqrt{4 - (\alpha + \beta/\lambda^2)^2}}$$

Ex. 9. Mirage (Imp : ** / Niv : ***)

Cet exercice est une introduction à la propagation de la lumière dans un milieu non homogène, par une interprétation qualitative des phénomènes des mirages. Ces illusions d'optiques apparaissent lorsque l'indice de l'air n varie assez rapidement avec l'altitude. L'indice de l'air dépend, entre autre, de la température : plus l'air est chaud, plus son indice optique est petit. Les mirages surviennent donc quand la température de l'air n'est pas homogène.

1 Mirages chauds

Lorsque le sol est très chaud, l'air est de plus en plus chaud quand on se rapproche du sol. Dans ce cas l'indice optique de l'air n augmente avec l'altitude. On suppose que la température et donc l'indice optique ne dépend que de l'altitude et on décompose l'atmosphère en couches planes isothermes. C'est le modèle de l'atmosphère stratifiée comme schématisée ci-contre



- (a) Montrer que $n_k \sin i_k = \text{cste}$ avec l'indice k correspondant à la $k^{\text{ième}}$ couche de l'atmosphère.
- (b) Tracer les rayons réfractés par les couches d'air successives en faisant apparaître les angles d'incidence et de réfraction.
- (c) Montrer que pour un angle d'incidence initial suffisamment grand, une réflexion totale se produit.
- (d) Pour une variation continue de l'indice n , tracer qualitativement le trajet d'un rayon lumineux issu du ciel. Dans quel sens et dans quelle direction sa trajectoire est-elle courbée ?
- (e) Interpréter le mirage chaud de la figure ci-contre. Faire un schéma.



2 Mirage froids

Il arrive que la mer soit nettement plus froide que l'atmosphère. La température de l'air au dessus de la mer augmente alors avec l'altitude.

- (a) Que peut-on observer si on regarde un bateau ou une île au loin ?
- (b) Interpréter le mirage froid de la figure ci-contre. Justifier par un schéma.

