A.1 / Laser He-Ne

Un laser Hélium – Néon émet une onde de longueur d'onde $\lambda_0 = 6{,}33\ 10^{-7}$ m dans le vide.

1°/ $c = 2{,}998\ 10^{8}\ m.s^{-1} \approx 3\ 10^{8}\ m.s^{-1}$

2°/ Il s'agit d'une source monochromatique puisqu'elle n'émet qu'une seule longueur d'onde.

3°/ $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.10^8}{6{,}33.10^{-7}} \approx 0{,}5.10^{15}$ Hz $\qquad T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{c} = 2\ 10^{-15}$ s

4°/ Dans le vide : $\lambda_0 = \frac{c}{f}$ $\qquad$ Dans le milieu : $\lambda_m = \frac{v}{f}$, où v est la vitesse de la lumière dans le milieu.

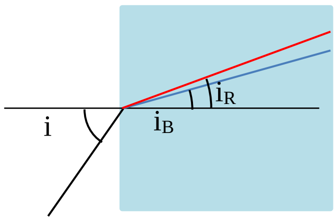
$n = \frac{c}{v} = 1{,}33 = \frac{\lambda_0}{\lambda_m}$ $\qquad$ Donc $\lambda_m = \frac{\lambda_0}{n} \approx \frac{6{,}33.10^{-7}}{4/3} \approx \frac{19}{4}\ 10^{-7} \approx 475$ nm

A.2 / Dispersion de la lumière par le verre

Le tableau ci-dessous donne les longueurs d'onde, dans le vide, de deux radiations monochromatiques et les indices correspondants pour deux types de verres différents, un verre crown et un verre flint.

Couleur	λ_0 (nm)	n (crown)	n (flint)
Rouge	656.3	1,504	1,612
bleu	486.1	1.521	1,671

1°/ La fréquence est indépendante du milieu. Dans le vide : $f_R = \frac{c}{\lambda_{0\,R}} = \frac{2{,}998.10^8}{656{,}3.10^{-9}} \approx 456{,}8.10^{12}$ Hz pour le rouge et $f_B = \frac{2{,}998.10^8}{486.1.10^{-9}} = 616{,}7.10^{12}$ Hz



2°/ $v_{crown} = \frac{c}{n_{crown}} = \frac{2{,}998.10^8}{1{,}504} = 1{,}993.10^8\ m.s^{-1}$ $\qquad \lambda_{crown} = \frac{\lambda_0}{n_{crown}} = 436{,}4$ nm

$v_{flint} = \frac{c}{n_{flint}} = \frac{2{,}998.10^8}{1{,}612} = 1{,}859.10^8\ m.s^{-1}$ $\qquad \lambda_{flint} = \frac{\lambda_0}{n_{flint}} = 407{,}1$ nm

3°/ Dans le verre crown : sin(i) = n.sin(i') $\qquad$ $i_R' = 35{,}1°$ pour le rayon rouge

$i_B' = 34{,}7°$ pour le rayon bleu $\qquad$ l'écart est donc de 0,4° = 0,4 x 60 = 24 minutes d'angle.

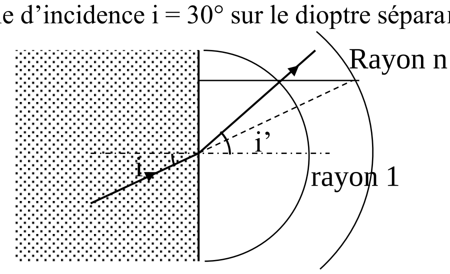
Dans le verre flint : $i_R' = 32{,}5°$ pour le rayon rouge

$i_B' = 31{,}2°$ pour le rayon bleu $\qquad$ l'écart est donc de 1,3° = 1° 18 minutes d'angle.

4°/ L'écart est plus grand pour le verre flint, c'est donc lui le plus dispersif.

A.3 / Réfraction

Un rayon lumineux se propage dans un milieu d'indice n = 1,33. Il arrive en faisant un angle d'incidence i = 30° sur le dioptre séparant le milieu de l'air (indice $n_{air} = 1{,}00$).



1°/ 2°/ n.sin(i) = sin(i')

i' = arcsin(n.sin(i)) ≈ arcsin(1,33 x0,5) ≈ arcsin(0,665) ≈ 42°

3°/ L'angle de réfraction est toujours plus grand que l'angle d'incidence. Il existe donc un angle d'incidence $i_{RT} < 90°$ pour lequel l'angle de réfraction = 90°. Au-delà de cet angle d'incidence ($i > i_{RT}$) il n'y a pas de rayon réfracté = réflexion totale.

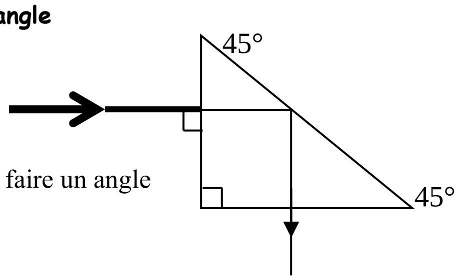
4°/ On prolonge le rayon incident jusqu'à trouver son intersection avec le cercle correspondant à l'indice n. On projette perpendiculairement au dioptre sur le cercle de rayon correspondant à l'indice n = 1, on trouve l'intersection du rayon réfracté avec ce cercle. Il suffit de tracer la demi-droite issue du point d'incidence qui passe par ce point pour obtenir le rayon réfracté.

5°/ La surface de l'eau est agitée, ainsi à un instant ultérieur le dioptre fait un angle β = 30° par rapport à la direction précédente. Suivant le sens dans lequel la surface est incliné l'angle d'incidence = i ± β. Donc soit le rayon n'est pas dévié, soit l'angle d'incidence 60° étant supérieur à l'angle de réflexion totale, le rayon se réfléchit à 60° de l'autre côté de la normale.

A.4 / Tracer la marche d'un rayon lumineux dans un prisme isocèle rectangle

Pour un verre d'indice n = 1,5, l'angle de réflexion totale est 42°.

Le rayon arrive en incidence nulle il poursuit sans être dévié. Par contre il arrive en faisant un angle de 45° sur la face de sortie du prisme. Il y a donc réflexion totale. Il continu à 90° de sa direction initiale et arrive en incidence normale sur l'autre côté où il ressort sans être dévié. Ce système permet de faire faire un angle de 90° sans perdre trop d'intensité.



B.1 / Etude d'un spectroscope à prisme

1°/ En I : sin(i) = n sin(r) et en J : n sin(r') = sin(i')

2°/ En J on passe d'un milieu d'indice n > 1 à l'air d'indice 1, il existe donc un angle r'_{max} pour lequel il y a réflexion totale : $\sin(r'_{max}) = \frac{1}{n}$ Il faut donc que $r' < r'_{max}$.

3°/ Dans le triangle AIJ, la somme des angles vaut 180°. Donc : A = r +r'

4°/ La déviation correspond à l'angle obtenu en faisant les rotations successives d'angle : - i + r + r'- i'
D = i + i' - A.

5°/ Par principe de retour inverse, l'angle du minimum de déviation est le même que la lumière se déplace dans un sens ou dans l'autre, ce qui impose que $i' = i = i_0$ au minimum de déviation.

6°/ Alors $r_0 = r_0' = \frac{A}{2}$ et $i_0 = \arcsin(n \sin(\frac{A}{2})) = i_0'$

7°/ Alors : $D_m = 2\, i_0 - A$

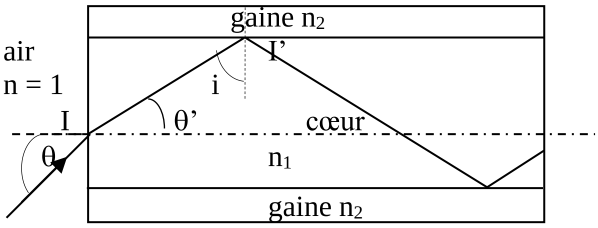
$\frac{(D_m + A)}{2} = i_0$ en J : $n \sin(\frac{A}{2}) = \sin(\frac{(D_m + A)}{2})$ $n = \frac{\sin(\frac{A+D_m}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$

8°/ En I, la valeur maximum de r, r_{max} correspond à : $\sin(r_{max}) = \frac{1}{n}$

Puisque A = r + r', alors $A \le A_0 = r_{max} + r'_{max} = 2.\arcsin(\frac{1}{n})$ condition nécessaire mais pas suffisante.

B.2 / Transmission à travers une fibre optique à saut d'indice

1°/



2°/ Pour qu'il y ait réflexion totale sur le dioptre gaine/cœur il faut que l'indice n_2 soit inférieur à n_1 (le rayon s'écarte de la normale alors) et que l'angle d'incidence sur la gaine i soit supérieur à l'angle de réflexion total : i_R.
$n_1 > n_2$ et $i \ge i_R$

3°/ La réflexion totale sur le dioptre cœur/gaine, au point I', apparait pour $i = i_R$ tel que i' = 90°, soit $n_1 \sin(i_R) = n_2 \sin(90°)$
Donc $\sin(i_R) = \frac{n_2}{n_1} \Leftrightarrow i_R = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$

4°/ D'après la loi de Descartes pour la réflexion, le rayon réfléchit en I' fait un angle égal de l'autre côté de la normale. Puisque les deux dioptres cœur/gaine sont parallèles, l'angle d'incidence sur le dioptre « du bas » est égal à i donc supérieur à i_R lorsqu'il y a réflexion totale en I'. Il y a alors à nouveau réflexion totale « en bas » et ainsi de suite. Par une succession de réflexion totale le rayon chemine en restant dans le cœur.

En I : $\sin(\theta) = n_1 \sin(\theta')$. Si θ augmente θ' augmente aussi. Dans le triangle (II'H) : $\theta' + i + \frac{\pi}{2} = \pi$ $\theta' = \frac{\pi}{2} - i$

Donc lorsque i augmente θ diminue. Donc $i \ge i_R \Rightarrow \theta' \le \theta'_{max} \Rightarrow \theta \le \theta_{max}$. L'angle $\theta \in [0, \theta_{max}]$

5°/ Lorsque $\theta = \theta_{max} \Rightarrow i = i_R$ $\sin(\theta_{max}) = n_1 \sin(\theta'_{max})$ avec $\theta'_{max} = \frac{\pi}{2} - i_R$ et $\sin(i_R) = \frac{n_2}{n_1}$

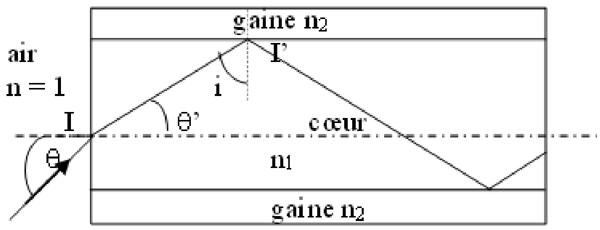
$\sin(\theta_{max}) = n_1 \sin(\frac{\pi}{2} - i_R) = n_1 \cos(i_R) = n_1 \sqrt{1 - \sin(i_R)^2} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} = n_1 \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}}$ avec $\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2}$.

O.N : $\sin(\theta_{max}) = n_1 \sqrt{2\Delta}$

A.N. : $\Delta = 10^{-2}$ et $n_1 = 1{,}5$ $\sin(\theta_{max}) = 0{,}21$ $\theta_{max} = 12°$

B.2 Suite / Transmission à travers une fibre optique à saut d'indice

On considère la fibre optique de l'exercice B2 de longueur *L* et un rayon arrivant en entrée sous une incidence θ_0. **L'angle initial dans la fibre est noté θ'_0.**



6°/ $\cos(\theta_0') = \frac{L}{d} \Leftrightarrow d = \frac{L}{\cos(\theta_0')}$

7°/ $v = \frac{c}{n_1}$ et $d = \frac{L}{\cos(\theta_0')}$

Alors $\tau = \frac{n_1 L}{c \cos(\theta_0')}$

8°/ $\tau_{min} = \frac{n_1 L}{c}$

$\tau_{max} = \frac{n_1 L}{c\ \cos(\theta'_{max})}$

$\Delta t = \tau_{max} - \tau_{min} = \frac{n_1 L}{c\ \cos(\theta'_{max})} - \frac{n_1 L}{c} = \frac{n_1 L\ (1 - \cos(\theta'_{max}))}{c\ \cos(\theta'_{max})}$

9°/ On ne peut pas envoyer des impulsions à une période plus importante que Δt pour éviter que le rayon le plus rapide d'une impulsion ne rattrape le rayon le plus lent de l'impulsion précédente d'où : $f_{max} = \frac{1}{\Delta t} = \frac{c\ \cos(\theta'_{max})}{n_1 L\ (1 - \cos(\theta'_{max}))}$

10°/

$\theta_{max} = arcsin\left(1,5 * \sqrt{2,0 * 10^{-2}}\right) = 12,2°$

$\theta'_{max} = \arcsin\left(\frac{1}{1,5} * \sin(12,2°)\right) = 8,13°$

$$f_{max} = \frac{3,00 * 10^8 * \cos\ (8.13°)}{10^3 * 1,5 * (1 - \cos(8.13°))} \approx 20\ Mhz$$