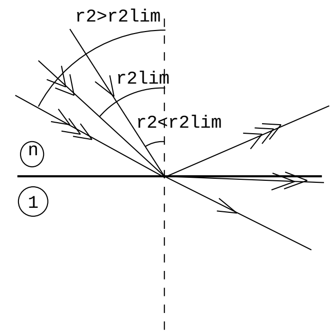
# TD optique

## I. Correction: mesure de l'indice d'un prisme

**1.** Lois de Descartes en $I_1$: $\sin i_1 = n \sin r_1$ et en $I_2$: $n \sin r_2 = \sin i_2$.

Il peut y avoir réflexion totale lorsqu'un rayon pénètre dans un milieu moins réfringent, il s'écarte de la normale et s'il a un angle d'incidence supérieure à une incidence limite, il est totalement réfléchi. Cela peut donc se produire sur le second dioptre. Le cas limite correspond à $i_{2lim} = \pi/2$ (rayon sortant rasant) soit pour $n \sin r_{2lim} = \sin i_{2lim} = 1$ d'où $\sin r_{2lim} = \frac{1}{n}$ et $i_{2lim} = \arcsin(\frac{1}{n})$. Pour $i_2 < i_{2lim}$: il y a réfraction et pour $i_2 > i_{2lim}$ il y a réflexion totale.




**2.** On écrit que la somme des angles dans le triangle $AI_1I_2$ est égale à $\pi$ soit $A + (\frac{\pi}{2} - r_1) + (\frac{\pi}{2} - r_2) = \pi$ soit $A = r_1 + r_2$.

Je procède à des rotations pour calculer l'angle de déviation. Lors du passage du premier dioptre, le rayon tourne dans le sens horaire d'un angle $+(i_1 - r_1)$ et Lors du passage du second dioptre, le rayon tourne encore dans le sens horaire d'un angle $+(i_2 - r_2)$ d'où la déviation $D = i_1 - r_1 + i_2 - r_2 = i_1 + i_2 - A$.

**3.** On a $r_1 = \arcsin(\frac{\sin i_1}{n}) = 28,6^0$ puis $r_2 = A - r_1 = 31,4^0$ et $i_2 = \arcsin(n \sin(r_2)) = 56,5^0$. D'où la déviation $D = 46,5^0$.

**4.** Remarque: par principe de retour inverse de la lumière, si l'on se trouve à la déviation minimale pour le rayon incident, la déviation est minimale aussi pour la lumière en sens inverse. Le minimum est unique donc il se produit par symétrie pour $i_1 = i_2$ noté $i_m$.

D'après les deux lois de Descartes $\sin i_m = n \sin r_1$ et $n \sin r_2 = \sin i_m$, on a $\sin r_1 = \sin r_2$ soit $r_1 = r_2$ est noté $r_m$ avec $\sin i_m = n \sin r_m$.

De plus on a $A = r_1 + r_2 = 2r_m$ soit $r_m = \frac{A}{2}$.

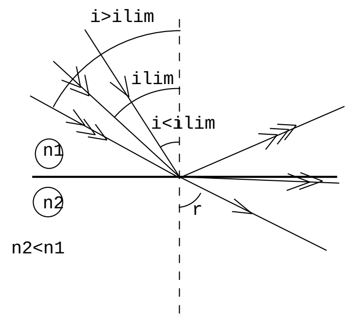
On a aussi $D_m = i_1 + i_2 - A = 2i_m - A$ soit $i_m = \frac{A + D_m}{2}$.

donc $\sin i_m = n \sin r_m$ donne $\sin(\frac{A + D_m}{2}) = n \sin(\frac{A}{2})$. On a la relation demandée $n = \frac{\sin(\frac{A+D_m}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$: en TP on mesure $D_m$ et $A$ et donc on peut en déduire l'indice du prisme.

## II. Correction: fibre optique

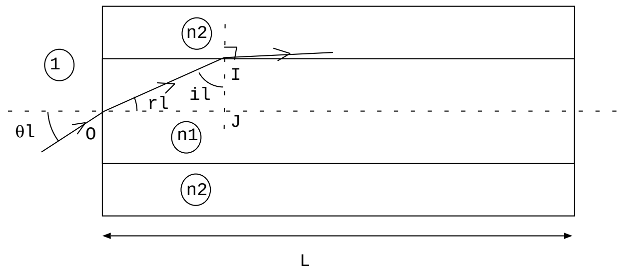
**1.**

Il peut y avoir réflexion totale lorsqu'un rayon pénètre dans un milieu moins réfringent soit $n_2 < n_1$, il s'écarte de la normale et s'il a un angle d'incidence supérieure à une incidence limite, il est totalement réfléchi. Le cas limite correspond à $r_{lim} = \pi/2$ (rayon sortant rasant) soit pour $n_1 \sin i_{lim} = n_2 \sin r_{lim} = n_2$ d'où $\sin i_{lim} = \frac{n_2}{n_1}$ et $i_{lim} = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$. Pour $i < i_{lim}$: il y a réfraction et pour $i > i_{lim}$ il y a réflexion totale.




**2.**

**2.a.** Lois de Descartes sur le premier dioptre: $\sin\theta_l = n_1 \sin r_l$ et sur le second dioptre: $n_1 \sin i_l = n_2 \sin(\pi/2) = n_2$ soit $\sin i_l = \dfrac{n_2}{n_1}$.




De plus dans le triangle $OIJ$ la somme des angles est égale à $\pi$ soit $r_l + i_l + \dfrac{\pi}{2} = \pi$ donc $r_l = \dfrac{\pi}{2} - i_l$.

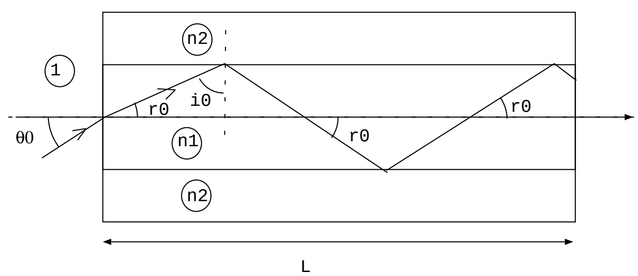
Ainsi $\sin i_l = \dfrac{n_2}{n_1} = \sin(\dfrac{\pi}{2} - r_l) = \cos r_l$.

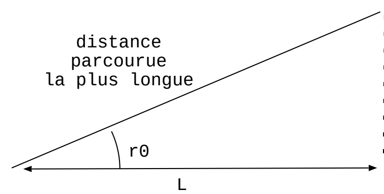
On a donc $\sin\theta_l = n1 \sin r_l = n_1\sqrt{1-\cos^2 r_l} = n_1\sqrt{1-(\dfrac{n_2}{n_1})^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

**2.b.** $\theta < \theta_l$ donc $r < r_l$ et $i > i_l$ (en effet $r + i = \dfrac{\pi}{2}$ donc plus $r$ est petit, plus $i$ est grand) et $i > i_l$ implique qu'il y a réflexion totale sur le second dioptre donc la lumière est piégée dans la fibre.

**2.c.** Le rayon qui suit le plus court chemin est celui qui arrive sous incidence normale ($\theta = 0$), il va tout droit dans la fibre, il doit parcourir la distance $L$ et se déplace à la vitesse $\dfrac{c}{n_1}$, donc il met le temps $t_{min} = \dfrac{nL}{c}$.

**2.d.** Le rayon qui met le plus de temps pour parcourir la fibre est celui qui arrive sous l'incidence la plus grande soit ici $\theta_0$. Ce rayon parcourt des segments qui font tous un angle $r_0$ par rapport à l'axe $Oz$ donc il parcourt la distance $\dfrac{L}{\cos r_0}$ à la vitesse $\dfrac{c}{n_1}$, donc il met le temps $t_{max} = \dfrac{nL}{c\cos r_0}$ avec $\sin\theta_0 = n_1 \sin r_0$.




**2.e.** Une première impulsion est envoyée dans la fibre à un instant $t$. Le signal le plus rapide (celui qui passe tout droit selon $Oz$) arrive à l'instant $t + t_{min}$ et le signal qui parcourt le trajet le plus long arrive à l'instant $t + t_{max}$.

Une seconde impulsion est envoyée dans la fibre à un instant $t + T$ (T période des impulsions). Le signal le plus rapide (celui qui passe tout droit selon $Oz$) arrive à l'instant $t + T + t_{min}$ et le signal qui parcourt le trajet le plus long arrive à l'instant $t + T + t_{max}$.

Il peut se faire que le signal le plus rapide de la seconde impulsion arrive avant le signal le plus lent de la première impulsion, dans ce cas, les deux impulsions se mélangent à l'arrivée, le signal est brouillé.

Pour que l'on puisse recevoir les impulsions les unes après les autres distinctement, il faut que le signal le signal le plus rapide de la seconde impulsion arrive après le signal le plus lent de la première impulsion soit $t + t_{max} < t + T + t_{min}$ d'où $T > t_{max} - t_{min} = \Delta t$ soit $f = \frac{1}{T} < \frac{1}{\Delta t}$.

## III. **Correction: Microscope**

**1.** $1' = 1/60^0$ et $\pi\ rad = 180^0$ soit $\beta = \dfrac{1}{60}\dfrac{\pi}{180} = 2,9.10^{-4}\ rad$: on peut voir des détails qui correspondent à un angle supérieur ou égal à $\alpha_{ref}$.

**2.** On applique $\tan\alpha_{ref} = \frac{AB}{d_m} \approx \alpha_{ref}$ soit $\alpha_{ref} = 1,2.10^{-4}\ rad < \alpha_{ref}$ donc cet objet n'est pas vu à l'oeil nu.

**3.** Attention, l'énoncé donne la distance entre l'objet et la première lentille mais dans la relation de conjugaison ce sont les distances algébriques qui interviennent soit $\overline{O_1A} = -14\ cm$.

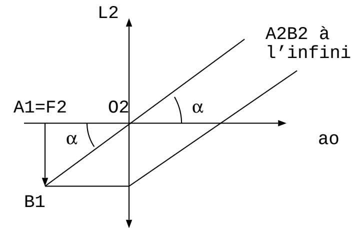
On applique la relation $\dfrac{1}{\overline{O_1A_1}} - \dfrac{1}{\overline{O_1A}} = \dfrac{1}{f_1'}$ soit $\overline{O_1A_1} = \dfrac{\overline{O_1A}f_1'}{\overline{O_1A}f_1'} = 35\ cm$.

On applique la formule du grandissement $\gamma_1 = \dfrac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}}$ d'où en distance $\overline{A_1B_1} = \overline{AB}\dfrac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} =$

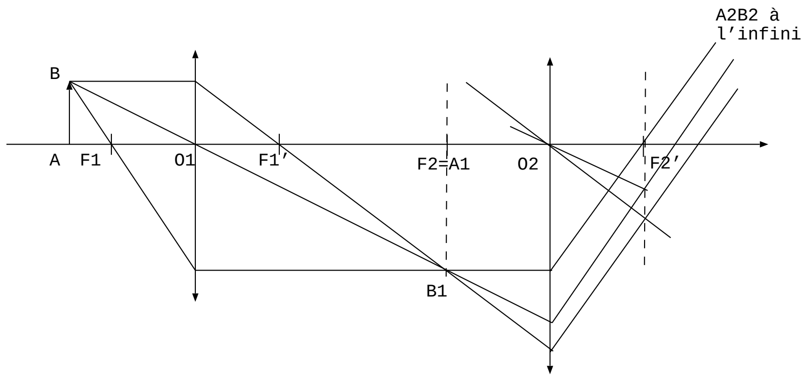
$\dfrac{35}{-14}30.10^{-6} = 75\ \mu m.$

**4.** L'image $A_2B_2$ est à l'infini donc l'objet $A_1B_1$ pour la lentille $L_2$ est dans le plan focal de $L_2$ soit $A_1 = F_2$ donc $\overline{O_1O_2} = \overline{O_1A_1} + \overline{F_2O_2} = 39\ cm.$

**5.** L'angle $\alpha$ sous lequel l'observateur voit l'objet $AB$ à travers le microscope est $\tan\alpha \approx \alpha \dfrac{A_2B_2}{f_2'} = 1,9.10^{-3}\ rad > \alpha_{ref}$ donc l'objet est vu à travers le microscope.




**6.**




## IV. Correction: Détermination d'un indice optique

A la traversée du dioptre verre-goutte, le rayon lumineux s'écarte de la normale, il est donc entré dans un milieu moins réfringent soit $n_g < n_v$.

Lois de Descartes sur le premier dioptre: $\sin i_l = n_v \sin r_1$ et sur le second dioptre: $n_v \sin r_2 = n_g \sin(\pi/2) = n_g$

On a aussi $r_1 + r_2 = \pi/2$

Donc $\sin i_l = n_v \sin r_1 = n_v \sin(\pi/2 - r_2) = n_v \cos r_2 = n_v\sqrt{1-\sin^2 r_2} = n_v\sqrt{1-\dfrac{n_g^2}{n_v^2}} = \sqrt{n_v^2 - n_g^2}.$

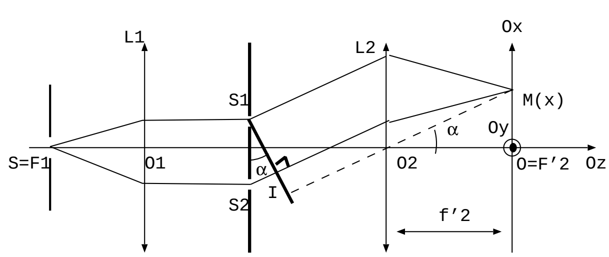
Si on éclaire avec un rayon d'incidence $i$ inférieure à $i_l$, l'angle de réfraction sera inférieure à $r_1$ et donc l'angle d'incidence sur le second dioptre sera plus grand que $r_2$, il y aura alors réflexion totale sur le second dioptre: aucune lumière ne sortira de la goutte.

Ainsi pour que la lumière traverse le verre et la goutte il faut $i > i_l$.

AN: $n_g^2 = n_v^2 - \sin^2 i_l = 1,43.$

## V. Correction: Fentes d'young

**1.**




Par principe de retour inverse de la lumière, $M$ se comporte comme une source et le chemin optique entre la source $M$ et la surface d'onde $S_1I$ est constant donc $(S_1M) = (IM)$).

De même les chemins optiques entre la source $S$ et la surface d'onde $S_1S_2$ sont identiques soit $(SS_1) = (SS_2)$.

$\delta_{2/1}(M) = (SS_2) + (S_2I) + (IM) - (SS_1) - (S_1M) = S_2I = a\sin\alpha \approx a\alpha$ avec $\tan\alpha = \frac{x}{f_2'}$ donc $\delta = \frac{ax}{f_2'}$.

L'interfrange est la distance entre deux franges de même nature soit $i = x_{k+1} - x_k$ où $x_k$ est la position de la frange brillante d'ordre $k$.

L'ordre d'interférences est $p = \dfrac{\delta}{\lambda} = \dfrac{ax_k}{\lambda f_2'} = k$ entier sur une frange brillante d'où $x_k = \dfrac{k\lambda f_2'}{a}$ et $i = \dfrac{\lambda f_2'}{a}$.

**2.**

**3.** On mesure $i = 0,5\ cm$ donc $a = \frac{\lambda f_2'}{i} = 51\ \mu m$.

**4.** Les sources $S_0$ et $S_{1/2}$ ne sont pas cohérentes, à l'écran on observe la superposition des systèmes de franges des deux sources. Il y a brouillage quand les franges brillantes de l'un se superposent aux franges sombres de l'autre système.

## VI. **Correction: Réseau de diffraction**

On calcule le pas du réseau $a = \dfrac{1\ mm}{300} = 3,33\ \mu m$.

**1.** La formule des réseaux est $\sin i_p - \sin i_0 = p\frac{\lambda}{a}$ où $p$ est l'ordre d'interférences, $i_0$ et $i_p$ les angles d'incidence et de diffraction mesurées par rapport à la normale. Voir cours pour la démo.

**2.** Pour l'ordre 1 on a $\sin i_1 = \sin i_0 + \dfrac{\lambda}{a}$ soit $i_1 = -9,5^O$. La déviation est $D = i_1 - i_0 = 10,5^0$.

**3.** L'ordre $p$ existe donc $-1 \leq \sin i_p \leq +1$ soit $-1 \leq \sin i_0 + p\dfrac{\lambda}{a} \leq 1$ donc $\dfrac{a}{\lambda}(-1 - \sin i_0) \leq p \leq \dfrac{a}{\lambda}(1 - \sin i_0)$.
AN: $-7,9 \leq p \leq 2,6$, on voit donc les ordres $-7$, $-6$... 0, 1 et 2 soit 10 ordres.

**4.** A la déviation minimale on a $i_p = -i_0$ soit $D = i_p - i_0 = 2i_p$ et $\sin i_p - \sin i_0 = 2\sin i_p = p\dfrac{\lambda}{a}$ soit $i_p = \arcsin(p\dfrac{\lambda}{a}$. AN $i_{-4} = -20,71^0$ soit $D_{m,-4} = 41,4^0$.

## VII. **Correction: Michelson en coin d'air**

**1.** Les franges sont rectilignes, le Michelson est donc réglé en coin d'air, les franges sont localisées sur les miroirs c'est pour cela que l'on cherche à faire l'image des miroirs sur l'écran et les miroirs sont éclairés en incidence quasi normale.

**2.** L'objet $A$ se trouve sur le miroir. $O$ est le centre de la lentille et $A'$ est l'image sur l'écran. On a $x = OA$ donc $\overline{OA} = -x$ et $\overline{OA'} = D - x$.

On a donc $\dfrac{1}{D-x} + \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{f'}$ soit $\dfrac{D}{(D-x)x} = \dfrac{1}{f'}$ soit $x^2 - Dx + Df' = 0$.

Discriminent: $\Delta = D^2 - 4Df' > 0$ car $D = 1,6\ m$ et $f' = 30\ cm$.

Solutions: $x_1 = \dfrac{D}{2} + \dfrac{\sqrt{\Delta}}{2} > \dfrac{D}{2}$: la lentille est plus près de l'écran que de l'objet donc l'image est plus petite.

$x_2 = \dfrac{D}{2} - \dfrac{\sqrt{\Delta}}{2} < \dfrac{D}{2}$: la lentille est plus près du miroir que de l'objet donc l'image est plus grande. C'est cette solution que l'on cherche. AN: $x_2 = 40\ cm$.

La distance lentille-miroir (soit lentille-objet) est 40 $cm$ donc la distance lentille-écran (soit lentille -image) est $1,6 - 0,4 = 1,2\ m$.

Le grandissement est $|\gamma| = \frac{1,2}{0,4} = 3$.

**3.** L'interfrange sur le miroir est donc 3 fois plus petit que sur l'écran soit $i = \dfrac{i_{photo}}{3} = \dfrac{\lambda}{2\alpha}$ d'où $\alpha = \frac{3\lambda}{2i_{photo}}$.

## VIII. **Correction: mesure de l'indice d'un film alimentaire**

Sur la courbe on observe des cannelures: longueurs d'onde pour lesquelles on obtient une frange sombre.

$|p(\lambda_1 = 400\ nm) - p(\lambda_2 = 750\ nm)| = 18 = 2(n-1)e(\dfrac{1}{\lambda_1} - \dfrac{1}{\lambda_2})$ donc $e = \dfrac{18}{2(n-1)(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2})} = 15,4\ \mu m$.

## IX. **Correction: doublet du sodium**

**1.** En lame d'air, les franges sont des anneaux localisés à l'infini, on les observe sur un écran placé au plan focal image d' une lentille mise juste à la sortie du Michelson pour ne pas perdre d'intensité.

**2.** On a $p_0 = \dfrac{2e}{\lambda} = 1126,6$: ordre d'interférences au centre. Il faut ensuite retenir que l'ordre d'interférences diminue quand on s'éloigne du centre, sur le 4 ième anneau brillant on a $p_4 = 1123$.

On a $p = p_0 \cos i_p \approx p_0(1 - \dfrac{i_p^2}{2})$ et $\tan i_p \approx i_p = \dfrac{r_p}{f'}$ soit $p = p_0(1 - \dfrac{r_p^2}{2f'^2})$ donc $r_p = f'\sqrt{2(1 - \dfrac{p}{p_0})}$. AN: $r_4 = 4,8\ cm$.

**3.** Les maxima d'éclairement correspondent à des franges brillantes, soit $p(i=0) = k = \dfrac{2e}{\lambda_m}$ est un entier.

Les minima d'éclairement correspondent à des franges sombres, soit $p(i=0) = k + \dfrac{1}{2} = \dfrac{2e}{\lambda_m}$ est un demi entier.

Un des miroirs chariote à la vitesse $v$ soit $e = vt + e_0$.

On mesure sur la courbe 1 la période $T = \frac{4,1-0,5}{20} = 0,18\ s$ des franges brillantes ou sombres. On a $p(i=0) = k = \dfrac{2(vt_k + e_0)}{\lambda_m}$ soit $t_k = k\dfrac{\lambda_m}{2v} - \dfrac{e_0}{v}$. La période est $T = t_{k+1} - t_k = \dfrac{\lambda_m}{2v}$ d'où $\lambda_m = 2vT = 594\ nm$.

**4.** On observe un phénomène de brouillage périodique lié au doublet. Chaque longueur d'onde donne son propre système de franges, les franges des systèmes se superposent car les sources de longueurs d'onde différentes ne sont pas cohérentes. Il y a brouillage lorsque les franges brillantes d'une source se superposent aux franges sombres de l'autre source soit $p_{\lambda_1} = \dfrac{2e}{\lambda_1}$ est un entier et $p_{\lambda_2} = \dfrac{2e}{\lambda_2}$ est un demi entier. On a donc $p_{\lambda_1} - p_{\lambda_2} = \dfrac{2e_k(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_2\lambda_1} = k + \dfrac{1}{2}$ d'où $e_k = (k + \dfrac{1}{2})\dfrac{\lambda_2\lambda_1}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} = vt_k + e_0$. On a donc $t_k = (k + \dfrac{1}{2})\dfrac{\lambda_2\lambda_1}{2(\lambda_2 - \lambda_1)v} - \dfrac{e_0}{v}$. On en déduit la période des brouillages $T_b = t_{k+1} - t_k = \dfrac{\lambda_2\lambda_1}{2(\lambda_2 - \lambda_1)v} = \dfrac{\lambda_m^2}{2\Delta\lambda v}$ d'où $\Delta\lambda = \dfrac{\lambda_m^2}{2T_b v} = 6,3.10^{-10}\ m$ avec $T_b = \dfrac{740 - 210}{3} = 177\ s$.