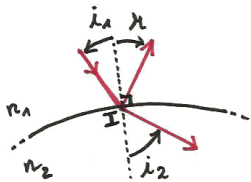


Optique géométrique

I. Mesure de l'indice d'une lame de verre (d'après CCP MP 2015)

I.1. lame de verre

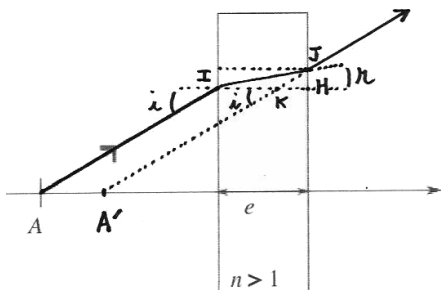
1. Pour le verre courant, $n \approx 1,5$.
- 2.



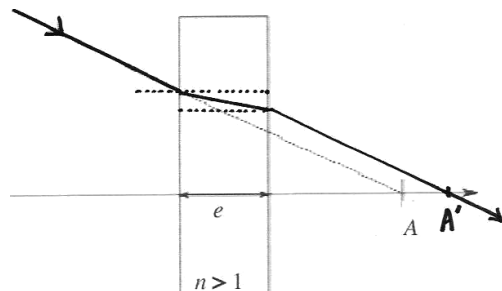
Lois de Snell-Descartes, pour un rayon incident en I sur un dioptre n_1/n_2 :

- Les rayons réfléchis et réfractés sont dans le plan d'incidence, formé par le rayon incident et la normale au point d'incidence;
- l'angle du rayon réfléchi vérifie : $r = -i_1$;
- l'angle du rayon réfracté vérifie : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

3. L'image d'un point objet est le lieu de convergence du support des rayons émergent. Un instrument est stigmatique si l'image d'un point objet est un point. Le dioptre plan n'est pas stigmatique donc la lame à faces parallèles ne l'est pas non plus.
4. Objet réel :



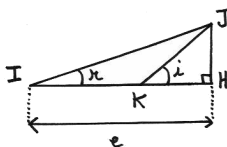
5. Objet virtuel :



6. On raisonne sur le cas de l'objet réel (4.). Sachant que $\overline{AA'} = AA' = IK$, on travaille dans le triangle (JH) ci-contre, et on assimile chaque angle à sa tangente ou son sinus sachant que l'on se place dans les conditions de Gauss.

$$IK = e - KH \quad \text{avec} \quad \tan i = \frac{JH}{KH} \quad \text{et} \quad \tan r = \frac{JH}{e}$$

$$\text{or} \quad \tan i \approx i \approx \sin i = n \sin r \approx nr \approx n \tan r \quad \text{d'où} \quad \frac{JH}{KH} = n \frac{JH}{e} \Leftrightarrow KH = \frac{e}{n}$$



Finalement $\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n}\right)$. On vérifie que cette relation est aussi valable pour le cas de l'objet virtuel puisque $\overline{AA'} > 0$ dans ce cas aussi (le triangle serait inversé).

I.2. Viseur

7. Pour qu'il soit vu sans effort, le réticule est a priori placé dans le plan focal de l'oculaire, de sorte que son image soit à l'infini, c'est-à-dire au punctum remotum de l'oeil normal.

8. cf cours.

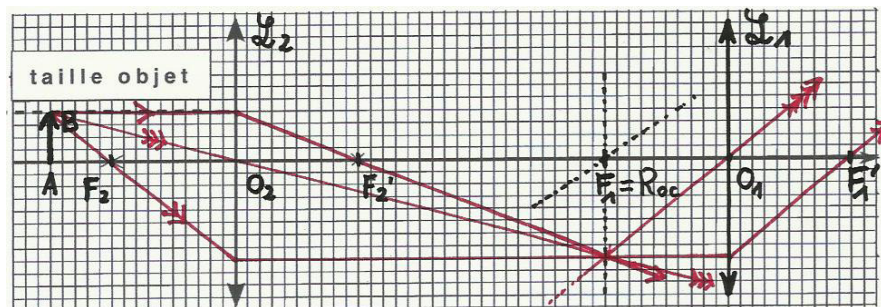
9. D'après la première relation de Newton du grandissement, on a $\gamma_{ob} = \frac{f'_2}{F_2A}$ d'où $\overline{F_2A} = \frac{f'_2}{\gamma_{ob}} = \underline{\underline{-25 \text{ mm}}}$.

10. L'encombrement se décompose en $\overline{O_2O_1} = \overline{O_2F'_2} + \overline{F'_2R_{oc}} + \overline{R_{oc}O_1} = f'_2 + \overline{F'_2R_{oc}} + f'_1$. L'image de A par \mathcal{L}_2 est R_{oc} , donc d'après la seconde relation de grandissement de Newton, on a $\overline{F'_2R_{oc}} = -f'_2 \gamma_{ob}$. Finalement on obtient $\overline{O_2O_1} = f'_2(1 - \gamma_{ob}) + f'_1 = \underline{\underline{200 \text{ mm}}}$.

11. On utilise 2 parmi les trois rayons remarquables suivants pour trouver l'image de B par \mathcal{L}_2 :

- Un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image.
- Un rayon incident passant par le foyer objet émerge parallèle à l'axe optique.
- Un rayon incident passant par le centre optique n'est pas dévié.

$A_1 = R_{oc}$ est obtenu par aplanétisme.



12. Un viseur permet de mesurer précisément la distance entre deux éléments (objet réel, image réelle ou virtuelle, lentille...), situés à distance finie, en effectuant deux « pointés » longitudinaux successifs de l'axe optique (c'est-à-dire en cherchant les deux positions du viseur telles que les 2 éléments respectifs soient vus net dans le viseur).

I.3. Description du dispositif expérimental

13. a) Un système centré est dit afocal si il n'admet pas de foyer, c'est-à-dire si l'image d'un objet à l'infini est aussi à l'infini (et vice versa par retour inverse de la lumière). Pour que cela soit possible, et sachant que la lumière se propage de droite à gauche, il faut que l'image du foyer objet F_3 de \mathcal{L}_3 par les deux miroirs \mathcal{M}_i puis le foyer image F'_2 de \mathcal{L}_2 , ce qui s'écrit comme suit (avec les notations proposées à la question suivante) :

$$R(\infty) \xrightarrow{\mathcal{L}_3} F_3 \xrightarrow{\mathcal{M}_i} R_i \xrightarrow{\mathcal{L}_2} F'_2 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} R'(\infty)$$

Donc en appliquant les relations de conjugaison des miroirs $\overline{M_iF_3} \stackrel{\mathcal{M}_i}{=} -\overline{M_iR_i}$ (sur l'axe vertical le sens positif est vers le haut) et $\overline{L_sR_i} \stackrel{\mathcal{L}_s}{=} -\overline{L_sF'_2}$:

$$\begin{aligned} \overline{M_iO_3} &= \overline{M_iF_3} + \overline{F_3O_3} \stackrel{\mathcal{M}_i}{=} -\overline{M_iR_i} + f'_3 = -\overline{M_iL_s} - \overline{L_sR_i} + f'_3 \stackrel{\mathcal{L}_s}{=} -\overline{M_iL_s} + \overline{L_sF'_2} + f'_3 \\ &= -\overline{M_iL_s} + \overline{L_sO_2} + \overline{O_2F'_2} + f'_3 \end{aligned}$$

$$\text{d'où} \quad \overline{M_iO_3} = -\overline{M_iL_s} - \overline{O_2L_s} + f'_2 + f'_3 = \underline{\underline{50 \text{ mm}}}$$

- b) On procède de la même manière avec R à distance finie, et en utilisant les relations de conjugaison de Newton établies précédemment (cf formulaire, elles sont insensibles au changement de sens de propagation de la lumière) : $\overline{F_3 R} \stackrel{\mathcal{L}_3}{=} -\frac{f_3'}{F_3 R_3}$ avec

$$\begin{aligned} \overline{F_3 R_3} &= \overline{F_3 M_i} + \overline{M_i R_3} \stackrel{\mathcal{M}_i}{=} \overline{F_3 O_3} + \overline{O_3 M_i} - \overline{M_i R_i} = f_3' - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} - \overline{L_s R_i} \\ \stackrel{\mathcal{L}_s}{=} f_3' - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} + \overline{L_s R_s} &= f_3' - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} + \overline{L_s O_2} + \overline{O_2 F_2'} + \overline{F_2' R_s} \\ \stackrel{\mathcal{L}_2}{=} f_3' - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} + \overline{L_s O_2} + f_2' - \frac{f_2'^2}{F_2' R'} &= -\frac{f_2'^2}{F_2' R'} \end{aligned}$$

la dernière égalité découlant de la question précédente. Finalement on obtient $\overline{F_3 R} = \frac{f_3'^2}{f_2'^2} \overline{F_2' R'}$.

- c) En utilisant le résultat précédent :

$$\overline{O_2 R'} = -f_2' + \overline{F_2 R'} = -f_2' + \frac{f_2'^2}{f_3'} \overline{F_3 R} \quad \text{d'où} \quad \overline{O_2 R'} = -f_2' + \frac{f_2'^2}{f_3'} (-f_3' + \overline{O_3 R}) = -50 \text{ mm}$$

Donc R' est situé en F_2 , ce qui se voit bien si l'on remarque que R est situé en F_3 , et donc que le faisceau est parallèle entre \mathcal{L}_3 et \mathcal{L}_2 à la traversée des miroirs.

14. a) D'après 13.b), on a $d_0 = \overline{F_3 R} = \frac{f_3'^2}{f_2'^2} \overline{F_2 R'}$. Or le réglage en autocollimation impose $F_2 = M_0$, et le miroir \mathcal{M}_0 impose $\overline{M_0 R'} = -\overline{M_0 R_0}$. Donc $\overline{F_2 R'} = -\overline{F_2 R_0}$. Enfin le dernier passage par \mathcal{L}_2 impose

$$\gamma_{\text{ob}} = \frac{f_3'}{F_2 R_0} \text{ puisque l'image } R' \text{ doit être située en } R_{\text{oc}}. \text{ Finalement on obtient } d_0 = -\frac{f_3'^2}{f_2'^2 \gamma_{\text{ob}}}.$$

- b) On procède comme dans la question précédente sauf que maintenant $F_2 \neq M_0$ car $\overline{F_2 M_{01}} = -e$. Donc $d_1 = \overline{F_3 R} = \frac{f_3'^2}{f_2'^2} \overline{F_2 R'}$ avec

$$\overline{F_2 R'} = \overline{F_2 M_{01}} + \overline{M_{01} R'} \stackrel{\mathcal{M}_{01}}{=} \overline{F_2 M_{01}} - \overline{M_{01} R_0} = 2\overline{F_2 M_{01}} - \overline{F_2 R_0} \stackrel{\mathcal{L}_2}{=} -2e - \frac{f_2'}{\gamma_{\text{ob}}}.$$

On obtient ainsi $d_1 = d_0 + \varepsilon_1$ avec $\varepsilon_1 = -2e \frac{f_3'^2}{f_2'^2}$.

- c) Numériquement, cela conduit à $\varepsilon_1 = 18e$. Par conséquent le dispositif peut servir à accéder à la mesure d'un déplacement faible e par l'intermédiaire de la mesure plus facile d'un déplacement nettement plus grand ε_1 .

I.4. Application à la caractérisation d'une lame d'épaisseur e et d'indice n

15. a) D'après la partie I.1 (question 6.), le décalage longitudinal du à la lame est indépendant de la position de l'objet. Donc **la position exacte de la lame n'a pas d'influence**.

- b) On procède de nouveau comme précédemment, sauf que cette fois $F_2 = M_0$ et la lame s'interpose entre \mathcal{L}_2 et \mathcal{M}_0 . Donc on a toujours $d_2 = \overline{F_3 R} = \frac{f_3'^2}{f_2'^2} \overline{F_2 R'}$, et on utilise le résultat de 6. en prenant en compte le changement de sens de propagation de la lumière le cas échéant :

$$\begin{aligned} \overline{F_2 R'} &= \overline{F_2 R_n} + \overline{R_n R'} \stackrel{\mathcal{L}_n}{=} \overline{M_0 R_n} - e \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{\mathcal{M}_0}{-} - \overline{M_0 R_0} + e \left(1 - \frac{1}{n}\right) = -\overline{F_2 R_0} + e \left(1 - \frac{1}{n}\right) \\ &= -\overline{F_2 R_n} - \overline{R_n R_0} + e \left(1 - \frac{1}{n}\right) \stackrel{\mathcal{L}_n}{=} -\overline{F_2 R_n} + 2e \left(1 - \frac{1}{n}\right) \stackrel{\mathcal{L}_2}{=} -\frac{f_2'}{\gamma_{\text{ob}}} + 2e \left(1 - \frac{1}{n}\right) \end{aligned}$$

On obtient ainsi $d_2 = d_0 + \varepsilon_2$ avec $\varepsilon_2 = 2e \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{f_3'^2}{f_2'^2}$.

- c) On en déduit $n = \left(1 - \frac{f_2'^2}{f_3'^2} \frac{\varepsilon_2}{2e}\right)^{-1} = 3,0$.

Cette valeur paraît très élevée ! Il y a sans doute un problème dans les données...