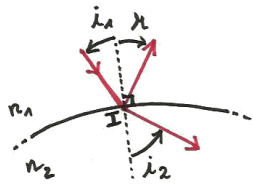


Optique géométrique

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

I.1. lame de verre

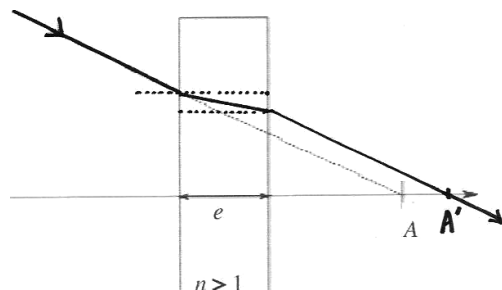
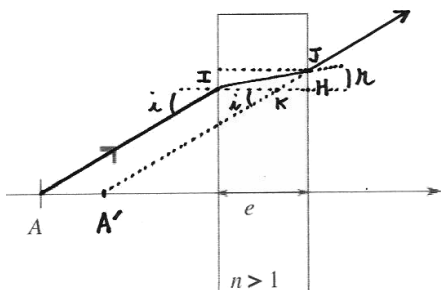
1. Pour le verre courant, $n \approx 1,5$.
- 2.



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 : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

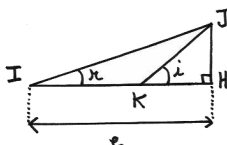
3. L'image d'un point objet est le lieu de convergence du support des rayons émergeant. Un instrument est stigmatique si l'image d'un point objet est un point. Le dioptre plan n'est pas stigmatique donc la lame à faces parallèles ne l'est pas non plus.
4. Objet réel :



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

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

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

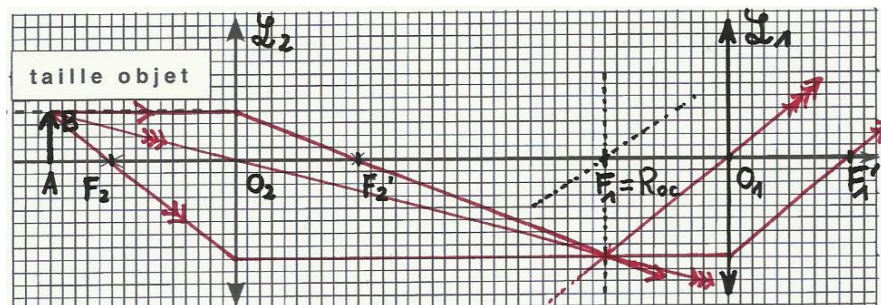


Finalement $\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n}\right)$. On vérifie que cette relation est aussi valable pour le cas de l'objet virtuel puisque $\overline{AA'} > 0$ dans ce cas aussi (le triangle serait inversé).

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 $\gamma_{ob} = \frac{f'_2}{F_2 A}$ d'où $\overline{F_2 A} = \frac{f'_2}{\gamma_{ob}} = -25 \text{ mm}$.
10. L'encombrement se décompose en $\overline{O_2 O_1} = \overline{O_2 F'_2} + \overline{F'_2 R_{oc}} + \overline{R_{oc} O_1} = f'_2 + \overline{F'_2 R_{oc}} + f'_1$. L'image de A par \mathcal{L}_2 est R_{oc} , donc d'après la seconde relation de grandissement de Newton, on a $\overline{F'_2 R_{oc}} = -f'_2 \gamma_{ob}$. Finalement on obtient $\overline{O_2 O_1} = f'_2 (1 - \gamma_{ob}) + f'_1 = 200 \text{ mm}$.
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 le long 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 l'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 \mathcal{L}_2 soit 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 $\overline{M_i F_3} \stackrel{M_i}{=} -\overline{M_i R_i}$ (sur l'axe vertical le sens positif est vers le haut) et $\overline{L_s R_i} \stackrel{L_s}{=} -\overline{L_s F'_2}$:

$$\begin{aligned} \overline{M_i O_3} &= \overline{M_i F_3} + \overline{F_3 O_3} \stackrel{M_i}{=} -\overline{M_i R_i} + f'_3 = -\overline{M_i L_s} - \overline{L_s R_i} + f'_3 \stackrel{L_s}{=} -\overline{M_i L_s} + \overline{L_s F'_2} + f'_3 \\ &= -\overline{M_i L_s} + \overline{L_s O_2} + \overline{O_2 F'_2} + f'_3 \end{aligned}$$

d'où $\overline{M_i O_3} = -\overline{M_i L_s} - \overline{O_2 L_s} + f'_2 + f'_3 = 50 \text{ mm}$.

- 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) : $\overline{F'_3 R} \stackrel{L_3}{=} -\frac{f_3^2}{F_3 R_3}$ avec

$$\begin{aligned} \overline{F_3 R_3} &= \overline{F_3 M_i} + \overline{M_i R_3} \stackrel{M_i}{=} \overline{F_3 O_3} + \overline{O_3 M_i} - \overline{M_i R_i} = f'_3 - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} - \overline{L_s R_i} \\ \stackrel{L_s}{=} & f'_3 - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} + \overline{L_s R_s} = f'_3 - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} + \overline{L_s O_2} + \overline{O_2 F'_2} + \overline{F'_2 R_s} \\ \stackrel{L_2}{=} & f'_3 - \overline{M_i O_3} - \overline{M_i L_s} + \overline{L_s O_2} + f'_2 - \frac{f_2^2}{F_2 R'_2} = -\frac{f_2^2}{F_2 R'_2} \end{aligned}$$

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 :

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

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

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

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

$$\overline{F_2 R'} = \overline{F_2 M_0} + \overline{M_0 R'} + \frac{M_0}{F_2 M_0} \overline{F_2 M_0} - \overline{M_0 R_0} = 2\overline{F_2 M_0} - \overline{F_2 R_0} \frac{\mathcal{L}_2}{\gamma_{\text{ob}}} = -2e - \frac{f_2'}{\gamma_{\text{ob}}}.$$

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 :

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

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...

II. Utilisation d'un appareil photographique

- La profondeur de champ pour l'observation à travers un système centré (ou l'oeil seul) est la distance entre le point le plus proche et le point le plus lointain parmi les points de l'axe optique visibles net. Le fait que cet intervalle ne soit pas de taille nulle provient de la taille finie des photorécepteurs tapissant le photodétecteur (oeil, capteur CCD, pellicule photographique...).
- La durée d'exposition **ne module pas directement** la profondeur de champ. Toutefois elle est reliée indirectement par le choix d'ouverture du diaphragme pour que la photo soit correctement exposée.
 - Plus le diaphragme est fermé, plus la profondeur de champ est grande.
 - Plus la distance focale et courte, plus la profondeur de champ est grande.
 - Plus les photorécepteurs sont gros, plus la profondeur de champ est grande.
- On a besoin d'une **faible distorsion** pour pouvoir positionner correctement les particules vis à vis du quadrillage. Cela implique une **grande distance focale** (il faut zoomer). On doit aussi avoir une **profondeur de champ suffisante** pour voir les particules et le quadrillage en même temps (ils ne sont pas dans le même plan). Ceci nécessite une **ouverture faible** du diaphragme pour compenser la grande focale.
 - Par conséquent il va falloir jouer sur le temps d'exposition pour assurer une **exposition suffisante** des images successives (l'augmenter). Cependant **une exposition longue risque de réduire la qualité du film** : les images peuvent être **floues** (particules en mouvement), et le nombre d'images par seconde donc la **résolution temporelle du film** sera plus faible. Pour éviter une résolution trop faible (exposition trop longue), il est nécessaire d'avoir un **bon éclairage** de l'expérience.