Optique

Question de cours

Donner la composition d'un atome de cuivre formé autour du noyau $^{65}_{29}\mathrm{Cu}$.

Exercice 1 : Condition de réflexion totale

Considérons un rayon lumineux passant d'un milieu d'indice n_1 à un milieu d'indice $n_2 < n_1$.

1 - Donner un exemple de milieux qui vérifient cette condition.

2 - Représenter la situation sur un schéma. À partir de ce schéma, expliquer qualitativement pourquoi il existe une valeur limite $\theta_{1,\mathrm{lim}}$ de l'angle d'incidence au delà de laquelle le rayon réfracté ne peut plus exister.

3 - Calculer $\theta_{1,\mathrm{lim}}$ en fonction des indices n_1 et n_2.

Éléments de correction de l'exercice 1 :

1 Exemple : le rayon est dans du plexiglas et émerge dans de l'air.

2 Voir figure 1.

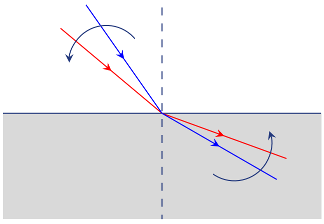


Figure 1 – **Cas $n_1 > n_2$.** Angle maximal de réfraction.

3 L'angle réfraction maximal ne peut pas être plus grand que $\pi/2$: au delà, la lumière ne rentre pas dans le milieu 2 et se réfléchit totalement. Dans ce cas la loi des sinus donne

$$n_1 \sin \theta_{1,\mathrm{lim}} = n_2 \sin \frac{\pi}{2} \qquad \text{d'où} \qquad \theta_{1,\mathrm{lim}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Exercice 2 : Grandissement 3

Trouver d'abord graphiquement, puis par le calcul, la position d'un objet et de son image telles que le grandissement soit égal à 3. Répondre à la question pour une lentille convergente, puis pour une lentille divergente.

Donnée : relations de conjugaison et de grandissement pour une lentille mince.

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \qquad \text{et} \qquad \overline{FA} \times \overline{F'A'} = -f'^2$$
$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \qquad \text{et} \qquad \gamma = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}$$

La distance focale *image* est notée f' alors que la distance focale *objet* est notée $f = -f'$.

Éléments de correction de l'exercice 2 :

Voir le site de Matthieu Rigaut, exercice 1 du TD d'optique 1 programme 2002 : `http://www.matthieurigaut.net/public/sup/opt/cotdopt01.pdf`

Optique

Questions de cours

1 - Écrire le symbole d'un noyau de Nickel de nombre de charge 28 et de nombre de masse 58.

2 - Définir le stigmatisme approché et expliquer pourquoi il peut suffire pour obtenir une image nette. Indiquer à quelles conditions un système optique centré est approximativement stigmatique.

Exercice 1 : Construction d'image par une lentille

On considère un objet AB (assez grand) situé dans un plan de front d'une lentille mince divergente. On prendra $\overline{OA} = \overline{OF'}$. Construire l'image $A'B'$ et la décrire (réelle, virtuelle, etc.).

Éléments de correction de l'exercice 1 :

Image virtuelle, grandissement 1/2.

Exercice 2 : Photocopieuse

Le fonctionnement d'une photocopieuse repose sur la formation de l'image du document rétroéclairé sur une surface photosensible par l'intermédiaire d'un objectif de reproduction.

Un document de format A4 peut être copié en A4 (même format), en A3 (format double en surface) ou en A5 (format moitié en surface). Ces différents formats s'obtiennent en modifiant la position respective des lentilles à l'intérieur du système.

La distance entre le document et le récepteur photosensible est fixée par construction à 384 mm. Une première lentille mince divergente (L_1) de distance focale image $f'_1 = -90$ mm est placée à 180 mm du récepteur, voir figure (1).

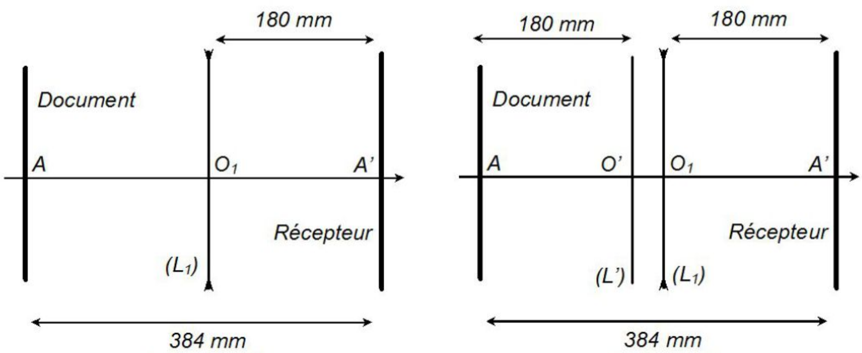


Figure (1) **Figure (2)**

1 - La lentille (L_1) peut-elle donner une image du document sur le récepteur ?

2 - Une seconde lentille (L') se trouve devant la lentille (L_1) à 180 mm du document, voir figure (2).
2.a **-** Calculer la distance focale image f' de cette lentille pour obtenir une image réelle du document sur le récepteur.
2.b **-** En déduire le grandissement γ_1 de l'association des deux lentilles et indiquer le format de photocopie qu'il permet d'obtenir.

3 - Pour pouvoir modifier le format de photocopie, la lentille (L') est en fait constituée de deux lentilles accolées (L'_2) et (L_3), (L'_2) étant identique à (L_1). Calculer la distance focale image f'_3 de la lentille (L_3). Quelle est la nature de cette lentille mince ?

4 - Pour obtenir un autre format, la lentille (L_3) est déplacée afin de l'accoler à (L_1). Montrer que l'image du document reste sur le récepteur et calculer le grandissement γ_2 correspondant à l'association de ces trois lentilles. En déduire le type de tirage obtenu.

Éléments de correction de l'exercice 2 :

Voir le site d'Olivier Granier « un MOOC pour la physique », exercice Optique CCP 1 : `http://olivier.granier.free.fr/MOOC/co/ex-CCP-1-optique.html`

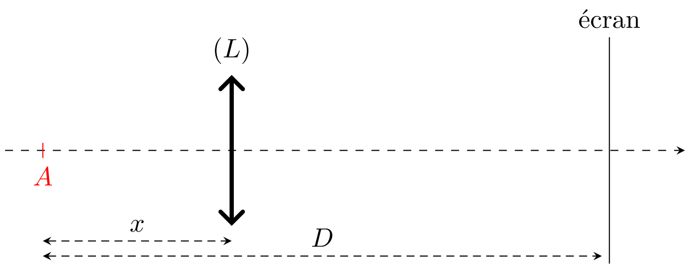
Optique

Question de cours

Le manganèse Mn ($Z = 25$) a pour unique isotope stable le manganèse 55. Donner sa composition.

Exercice 1 : Former une image sur un écran à distance fixée

On souhaite former l'image d'un objet réel sur un écran, la distance D entre l'objet et l'écran étant imposée. C'est par exemple la problématique d'un projecteur de cinéma, d'un vidéo projecteur ou encore d'un appareil photo. On cherche à déterminer la lentille (L) à utiliser et l'endroit où la placer. On note x la distance (positive) objet-lentille.



Déterminer les positions x de la lentille qui conviennent, et montrer que cela impose une condition sur la focale de la lentille.

Éléments de correction de l'exercice 1 :

On pose $x = \overline{AO} > 0$ la distance objet-lentille : c'est notre inconnue.

Objet réel et image réelle impose l'utilisation d'une lentille convergente,

$$A \in \text{objet} \xmapsto{(L)} A' \in \text{écran}$$

Analyse technique : la question ne donne pas de point de repère naturel sur la lentille, donc le plus simple est d'utiliser Descartes.

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \qquad \text{avec} \qquad \begin{cases} \overline{OA} = -x \\ \overline{OA'} = D - x \end{cases}$$

Attention ! SIGNES !

Ce qui donne

$$\frac{1}{D-x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f'}$$

Équation en fraction = pas pratique tel quel, mais pas si mal car permet de se ramener à une équation polynômiale. On multiplie donc les deux membres par $(D - x)\,x\,f'$ ce qui conduit à

$$x f' + (D - x) f' = (D - x)x \qquad \text{soit} \qquad x^2 - Dx + Df' = 0$$

> ***Remarque :*** *Comme on n'a pas encore trop l'habitude, on vérifie que l'équation qu'on obtient est homogène !*

Cette équation n'admet de solution réelle que si son discriminant est positif, c'est-à-dire que si

$$D^2 - 4f'D = D(D - 4f') > 0\,.$$

$\rightsquigarrow$ comme D est fixée, cela donne une condition sur la focale.

Pour qu'une lentille convergente puisse former l'image sur un écran d'un objet réel, il faut que la distance D entre l'objet et l'écran et la focale f' soient telles que

$$D \geq 4f' \qquad \text{soit} \qquad f' \leq \frac{D}{4}$$

Condition très importante, à retenir et à utiliser.

> ***Exemple :*** *En TP vous disposez d'une longueur de l'ordre de 1 m entre l'objet l'image : inutile d'espérer former l'image avec une lentille de focale 40 cm !*

Sous cette condition, l'équation admet deux solutions, c'est-à-dire qu'il existe deux positions de (L) permettant d'assurer la conjugaison :

$$x = \frac{1}{2}\left(D \pm \sqrt{D(D-4f')}\right)$$

Ces positions sont symétriques par rapport au milieu $D/2$ du segment objet–écran.

Exercice 2 : Correction de la myopie

La myopie est un trouble de la vision où le patient concerné voit flou de loin. Plusieurs origines sont possibles, les plus fréquentes étant un œil trop long et un cristallin trop convergent. Il en résulte dans les deux cas une formation de l'image par le cristallin avant la rétine. Pour la corriger, il faut donc utiliser des lunettes faites de verres divergents.

Dans cet exercice, on considère le cas d'un patient à la myopie dite moyenne, nécessitant une correction par des verres de vergence $V_L = -5\,\delta$. Il porte ces lunettes (L) à une distance $a = 1\,\mathrm{cm}$ de son œil. Pour simplifier, on considère que la distance entre le cristallin (C) et la rétine du patient est égale à $d = 2\,\mathrm{cm}$.

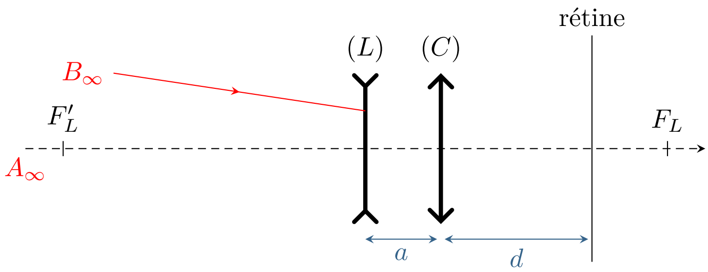


Figure 1 – **Œil myope corrigé.** Grâce au verre de lunettes, l'objet est vu nettement par l'œil myope.

1 - Reproduire la figure 1 et tracer l'image $A'B'$ sur la rétine de l'objet AB situé à l'infini.

2 - Déterminer la focale f'_C du cristallin lorsque le patient observe au travers de ses lunettes un objet situé à l'infini.

3 - En supposant qu'il n'accomode pas dans la situation précédente, montrer que le ponctum remotum du myope, c'est-à-dire la distance maximale à laquelle il peut voir sans ses lunettes, est approximativement égal à la focale des verres correcteurs.

4 - Pour un même objet situé à l'infini et lorsqu'il regarde au travers de ses lunettes, un myope voit-il une image plus petite ou plus grande qu'un patient emmétrope (à la vue normale) ? Pour simplifier, on supposera que la distance entre le cristallin et la rétine est la même pour les deux patients.

Éléments de correction de l'exercice 2 :

$\boxed{1}$ Le verre de lunettes (L) forme une image intermédiaire A_0B_0 dans son plan focal image. Cette image sert d'objet au cristallin, qui en forme une image sur la rétine. Comme on sait déjà dans quel plan de front se trouve l'image finale (celui de la rétine), seul le rayon passant par O_C suffit à la tracer. Ce n'est donc pas gênant que la focale du cristallin ne soit pas donnée.

$\boxed{2}$ On sait que l'image intermédiaire est dans le plan focal image du verre. Par la relation de conjugaison appliquée au cristallin,

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{-a+f'_L} = \frac{1}{f'_C} \qquad \text{d'où} \qquad f'_C = \frac{d(f'_L-a)}{f'_L-a-d} = 1{,}8\,\mathrm{cm}$$

$\boxed{3}$ Relation de conjugaison au cristallin lorsque $\overline{OA} = PR$

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{PR} = \frac{1}{f'_C} \qquad \text{soit} \qquad \frac{1}{PR} = \frac{1}{d} - \frac{f'_L-a-d}{d(f'_L-a)} = \frac{d}{d(f'_L-a)} \qquad \text{d'où} \qquad PR = f'_L - a$$

mais a est bien plus petit (en valeur absolue) que f'_L.

$\boxed{4}$ Objet à l'infini qui envoie des rayons inclinés de α. Il est recommandé de faire un schéma ...
▷ Taille de l'image sur la rétine emmétrope : $h_{\mathrm{em}} = d\,\tan\alpha$
▷ Taille de l'image sur la rétine d'un myope : il faut déjà calculer la taille de l'image intermédiaire,

$$h_0 = f'_L \tan\alpha$$

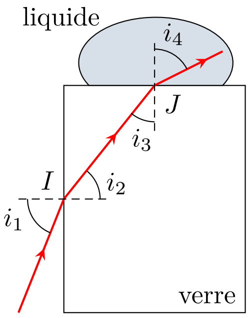
puis relation de grandissement :

$$\frac{h}{h_0} = \frac{d}{f'_L - a} \qquad \text{soit} \qquad h = \frac{f'_L}{f'_L - a} d \tan\alpha = \frac{f'_L}{f'_L - a}\, h_{\mathrm{em}}$$

Comme $|f'_L - a| > |f'_L|$ alors le myope voit une image un peu plus petite que l'œil emmétrope.

Optique

Exercice 1 : Réfractomètre de Pulfrich



Un réfractomètre est un appareil permettant de mesurer l'indice de réfraction d'un liquide, afin d'en contrôler sa composition chimique ou sa pureté.

Dans un réfractomètre de Pulfrich, une goutte du liquide dont on cherche l'indice de réfraction n est déposée sur un bloc de verre de section rectangulaire d'indice $n_0 = 1{,}652$ connu. Un faisceau monochromatique pénètre dans le bloc de verre au point I avec un angle d'incidence i_1. Il est ensuite réfracté dans le verre, et éventuellement dans la goutte de liquide. Lors d'une mesure, l'angle d'incidence i_1 est progressivement augmenté jusqu'à i_1^*, valeur pour laquelle il n'y a plus de réfraction dans la goutte de liquide. On s'assure évidemment que le point d'incidence J se trouve toujours sous la goutte.

1 - Pour une goutte de glycérine on mesure $i_1^* = 48{,}06°$. Déterminer son indice.

2 - Déterminer sans calcul ou presque le plus grand indice mesurable par le dispositif.

3 - Déterminer enfin le plus petit indice mesurable.

Éléments de correction de l'exercice 1 :

$\boxed{1}$ Déterminons i_1^* en limite de réflexion totale. Angle de réflexion totale en J : $\sin i_3^* = n/n_0$. Dans toute la suite on se place dans cette configuration.

Déterminons alors i_2^*. Comme $i_2 + i_3 + \pi/2 = \pi$ alors $i_3 = \pi/2 - i_2$. On en déduit qu'à la limite $\cos i_2^* = n/n_0$ soit

$$\sin i_2^* = \sqrt{1 - \cos^2 i_2^*} = \sqrt{1 - n^2/n_0^2}\,.$$

Enfin, d'après la loi de la réfraction en I, $\sin i_1^* = n_0 \sin i_2^*$ soit

$$\sin i_1^* = n_0\sqrt{1 - n^2/n_0^2} = \sqrt{n_0^2 - n^2}\,.$$

On inverse pour remonter à n :

$$\sin^2 i_1^* = n_0^2 - n^2 \qquad \text{soit} \qquad n = \sqrt{n_0^2 - \sin^2 i_1^*}$$

$\boxed{2}$ On constate à partir de la figure que i_3 est d'autant plus grand que i_1 est petit. Pour qu'un indice soit mesurable, il faut que la valeur i_1^* soit accessible lorsque i_1 varie : il ne faut donc pas de réflexion totale lorsque $i_1 = \pi/2$ mais réflexion totale lorsque $i_1 \to 0$.

Comme $i_3 \to \pi/2$ lorsque $i_1 \to 0$ alors la condition de réflexion totale est donc toujours atteinte dès que $n < n_0$: le plus grand indice mesurable est donc $n_0 = 1{,}652$.

$\boxed{3}$ Lorsque $i_1 \to \pi/2$ alors $\sin i_2 = 1/n_0$. Comme $i_3 = \pi/2 - i_2$ alors

$$\sin i_3 = \cos i_2 = \sqrt{1 - \sin^2 i_2} = \sqrt{1 - \frac{1}{n_0^2}}\,.$$

Pour que l'indice soit mesurable, il ne faut pas qu'il y ait déjà réflexion totale dans cette situation, donc $\sin i_3 < \sin i_3^*$ soit

$$\sqrt{1 - \frac{1}{n_0^2}} < \frac{n}{n_0}$$

ce qui donne

$$\boxed{n > \sqrt{n_0^2 - 1} = 1{,}315\,.}$$