DS de physique n°1 - corrigé

Exercice 1 : Miroir grossissant

(Q.1.1) On peut considérer ce système comme stigmatique si l'on se place dans les conditions de Gauss : on doit choisir des rayons lumineux proches de l'axe par rapport aux dimensions du système (ici R typiquement), et peu inclinés (d'angles assez petits pour pouvoir faire l'approximation $\sin\alpha \simeq \alpha$).

(Q.1.2) Pour un miroir concave, la distance $\overline{SC}$ est positive négative dans les conventions choisies.

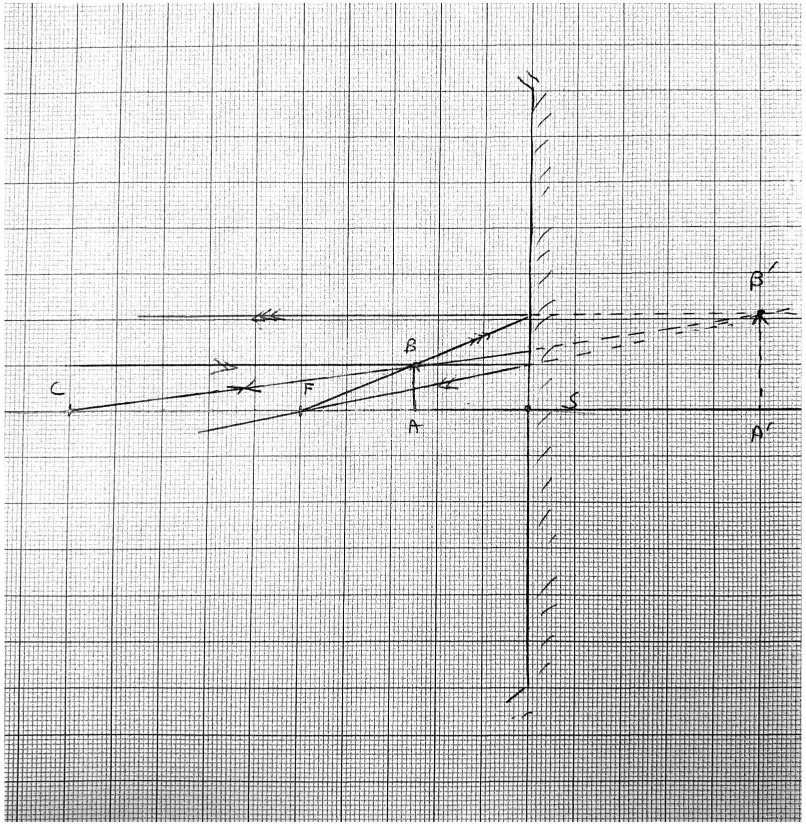
(Q.1.3) Pour un objet quelconque, la relation de conjugaison nous permet d'écrire après quelques calculs simples :

$$\overline{SA}' = \frac{\overline{SA} \cdot \overline{SC}}{2\overline{SA} - \overline{SC}}$$

Si ce terme est négatif, alors l'image sera réelle, s'il est positif, elle sera virtuelle.
Si l'objet est situé à une position $\overline{SA} < \overline{SC}$, alors le numérateur est positif et le dénominateur négatif, donc la distance $\overline{SA'}$ est négative. L'image est réelle.
Si l'objet est situé à une position $\overline{SC} < \overline{SA} < \overline{SF}$, sachant que $\overline{SF} = \overline{SC}/2$, le dénominateur est toujours négatif, donc le rapport toujours négatif. L'image est réelle.
Dans le dernier cas, le dénominateur est positif, et l'image est donc virtuelle.

(Q.1.4) On placera le visage de l'utilisateur entre le foyer et le sommet du miroir : pour observer à l'œil l'image, elle doit être virtuelle, située de l'autre côté du miroir.

(Q.1.5) On a le graphique suivant :



Exercice 2 : Fibre optique à saut d'indice

(Q.2.1) On a $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$, avec les notations classiques.

(Q.2.2) Le phénomène de réflexion totale apparaît quand un rayon lumineux passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent, avec un angle d'incidence tel que la loi de la réfraction ne s'applique plus. Le rayon réfracté n'existe plus, seul le rayon réfléchi subsiste. Dans le cas limite où le rayon réfracté est rasant, on a :

$$n_1 \sin(i_{lim}) = n_2 \sin(\pi/2) = n_2$$

d'où : $i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$, avec $n_1 > n_2$.

(Q.2.3) On a d'après la loi de la réfraction de Descartes ; $\sin(r) = \sin\theta/n_c$.

(Q.2.4) $i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_g}{n_c}\right)$ d'après les questions précédentes.

(Q.2.5) Dans le triangle formé par le rayon entrant dans la fibre, l'axe de la fibre et la normale au rayon au niveau de l'interface cœur/gaine, la somme des angles vaut π radians, d'où : $\pi = \pi/2 + r + i_{lim}$ d'où $i_{lim} = \pi/2 - r$. On a alors $\sin(i_{lim}) = \sin(\pi/2 - r) = \cos(r)$ d'où le résultat. $\cos(r) = \frac{n_g}{n_c}$. Sachant que $\cos^2 r + \sin^2 r = 1$, il vient : $\cos(r) = \sqrt{1 - \sin^2(r)}$ d'où :

$$\sin^2(r) = 1 - \frac{n_g^2}{n_c^2}$$

soit :

$$\sin(r) = \sqrt{1 - \frac{n_g^2}{n_c^2}}$$

(Q.2.6) D'après la question 3, on a : $\sin(r) = \sin\theta/n_c$ d'où :

$$\sin\theta = n_c\sqrt{1 - \frac{n_g^2}{n_c^2}} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

L'application numérique donne : $\theta_L = 12.2\,\text{deg}$ pour une ouverture numérique de 0,21.

(Q.2.7) Le rayon d'incidence nulle est le plus rapide, et parcours la fibre en un temps : $T_1 = \frac{L}{v_{lum}} = \frac{n_c L}{c}$.

(Q.2.8) Le rayon d'incidence maximale est le plus long, et parcours la fibre en un temps : $T_2 = \frac{L\cos(r)}{v_{lum}}$ avec r l'angle de réfraction entre le rayon d'incidence maximale et la normale (cf. cours). D'où après trigonométrie : $T_2 = \frac{n_c^2 L}{n_g c}$.

(Q.2.9) $\delta T = \frac{L n_c}{c}\left(\frac{n_c}{n_g} - 1\right) = 505\,\text{ns}$

(Q.2.10) La durée δT sépare le début de la fin de l'impulsion lumineuse en sortie.

(Q.2.11) On a facilement $\tau = 1/f$. τ doit être inférieure à δT pour éviter que deux impulsions consécutives ne se mélangent.

(Q.2.12) D'où $f_{max} = \frac{1}{\delta T}$.

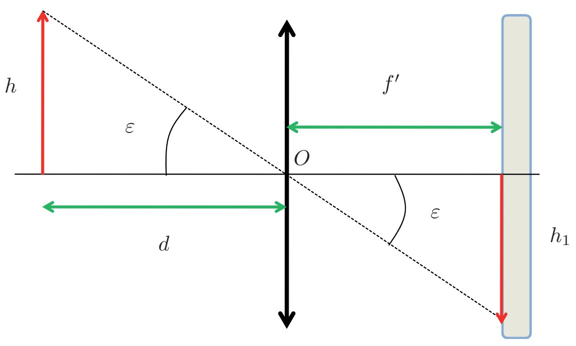
Exercice 3 : Etude d'un téléobjectif

Partie 1 : Objectif standard

(Q.3.1) L'objet est situé à une distance très grande devant la focale de la lentille.

(Q.3.2) L'image d'un objet à l'infini se formant au foyer image, on doit avoir $D = f'$.

(Q.3.3) On a :



On a $\tan\alpha \simeq \alpha = h/d$.

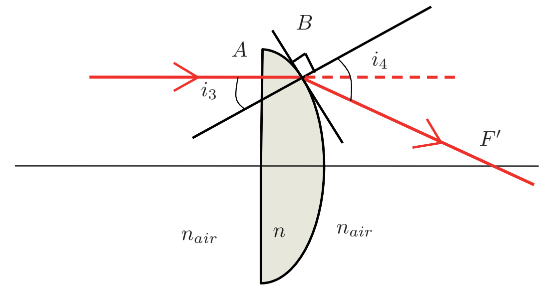
(Q.3.4) De même que précédemment, $\alpha = h_1/f'$. D'où : $h_1 = \alpha f' = \frac{hf'}{d} = 8,1$ mm.

Partie 2 : Réalisation d'un téléobjectif avec une lentille unique

(Q.A.5) Plus l'objet est lointain, plus sa taille sur la pellicule sera petite à focale constante. Augmenter la focale augmente le grossissement, et donc la taille et le niveau de détails sur la pellicule.

(Q.A.6) On a comme précédemment : $h_2 = \frac{hf_0'}{d} = 32,4$ mm. L'encombrement vaut f_0', puisque l'objet étant à l'infini la distance entre pellicule et lentille vaut la distance focale. Il est donc plus important que précédemment.

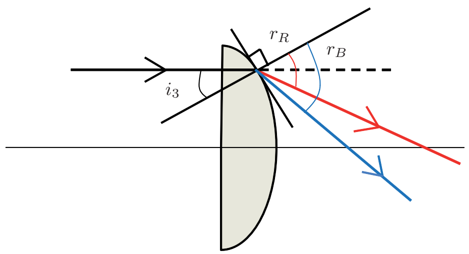
(Q.3.6) On a :



Le rayon incident arrive perpendiculairement à la surface de la lentille, il n'est donc pas dévié. Ensuite, arrivé sur le second dioptre, il est réfracté en s'éloignant de la normale, puisque le rayon passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent.

(Q.3.7) Les rayons arrivés de l'infini se rapprochent de l'axe optique après leur passage par la lentille : c'est une lentille convergente.

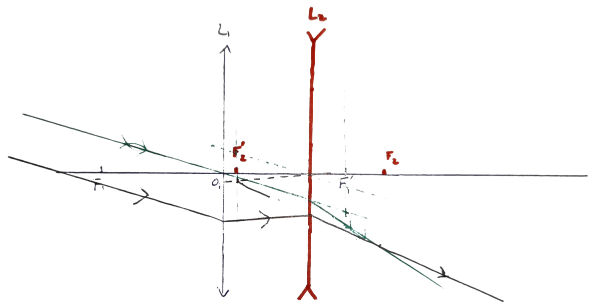
(Q.3.8) On s'intéresse à la réfraction subie par un rayon lors de son passage par le second dioptre. D'après la loi de la réfraction de Descartes, on a (notation du schéma) : $n\sin(i_3) = \sin(i_4)$ ($n_{air} = 1$), ainsi plus n est grand, plus i_4 est grand. D'après la formule donnée par l'énoncé, l'indice n_{rouge} pour la radiation rouge est plus faible que pour une radiation bleue car $\lambda_{rouge} > \lambda_{bleu}$. Ainsi, un rayon rouge sera moins dévié, et convergera plus loin sur l'axe optique qu'un rayon bleu. D'où le schéma suivant :



(Q.3.9) Les différentes couleurs n'auraient pas le même foyer image, et seraient alors séparées sur l'image, qui serait rendue floue. L'effet est appelé aberration chromatique.

Partie 3 : Réalisation d'un téléobjectif par association de deux lentilles distantes de e

(Q.3.10) Pour que le schéma soit le plus proche possible des données de l'énoncé, on place la lentille divergente avant le foyer image de la lentille convergente.



(Q.3.11) Pour la première lentille, on a la relation suivante :

$$\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{f_1'}$$

avec A_1 l'image intermédiaire de l'objet se formant au niveau du foyer image de la lentille. Pour la deuxième lentille, cette image devient l'objet, on a donc :

$$\frac{1}{\overline{O_2F'}} - \frac{1}{\overline{O_2F_1'}} = \frac{1}{f_2'}$$

(Q.3.12) On a alors :

$$\frac{1}{\overline{O_2F'}} = \frac{f_2' + \overline{O_2A_1}}{f_2'\overline{O_2A_1}}$$

soit en utilisant la relation de Chasles : $\overline{O_2A_1} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_1} = -e + f_1'$:

$$\frac{1}{\overline{O_2F'}} = \frac{f_2' + f_1' - e}{f_2'(f_1' - e)}$$

d'où le résultat. On a $\overline{O_1F'} = e + \overline{O_2F'} = 11$ cm.