

X LENTILLES SPHERIQUES MINCES

Exercices de niveau A

Dans ces exercices vous apprendrez à manipuler correctement les relations de conjugaison et de grandissement, d'abord dans des cas très simples puis plus élaborés. Ces exercices peuvent paraître trop simples mais ces calculs sont la source d'erreurs récurrentes. D'après mon expérience, il existe deux écueils, le signe des grandeurs algébriques (position, distance focale), et les unités. A ces difficultés s'ajoutent les cas de l'objet ou de l'image à l'infini qui sont à traiter différemment.

En ce qui concerne les signes, l'étudiant oublie fréquemment que la position est une grandeur algébrique ; par exemple, pour un objet réel $\overline{OA} = -10$ cm et non 10 cm.

En ce qui concerne les unités, les relations de conjugaison ne font intervenir que des longueurs. Par conséquent, vous pouvez utiliser n'importe quelle unité de longueur (m, dm, cm, mm ...) du moment que toutes les grandeurs sont exprimées dans la même unité.

Il faut faire bien attention à tous ces points, car dans un problème, il est regrettable de tout mettre par terre pour une « petite erreur » de ce genre ! Faire des schémas, mêmes succincts aide à visualiser les signes.

En ce qui concerne l'objet ou image à l'infini, l'exercice A4 manie ces situations.

L'exercice A5 teste la profondeur de l'apprentissage.

Exercice X-A1

- On dispose d'une lentille mince convergente de distance focale 6 cm.
 - Quelle est la position de l'image d'un objet réel placé à 18 cm de la lentille ? Combien vaut le grandissement ? Quelle est la nature de l'image (réelle ou virtuelle) ? Est-elle droite ou renversée ? agrandie ou réduite ?
 - Mêmes questions pour un objet réel placé à 3 cm de la lentille.
 - Mêmes questions pour un objet virtuel placé à 12 cm de la lentille.
- On dispose d'une lentille mince divergente de distance focale 6 cm.
 - Quelle est la position de l'image d'un objet réel placé à 12 cm de la lentille ? Combien vaut le grandissement ? Quelle est la nature de l'image (réelle ou virtuelle) ? Est-elle droite ou renversée ? agrandie ou réduite ?
 - Mêmes questions pour un objet virtuel placé à 3 cm de la lentille.
 - Mêmes questions pour un objet virtuel placé à 18 cm de la lentille.

1.a) Par la relation de conjugaison de Descartes

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{-18} + \frac{1}{6} = \frac{-1+3}{18} = \frac{2}{18} = \frac{1}{9}$$

$$\overline{OA'} = 9 \text{ cm}$$

Cette grandeur est positive, l'image est donc réelle.

Par la relation de grandissement de Descartes

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{9}{-18} = -\frac{1}{2}$$

Le grandissement est négatif, l'image est donc renversée, et inférieur à 1 donc l'image est réduite.

Par la relation de conjugaison de Newton

$$\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2$$

$$\overline{FA} = \overline{OA} - \overline{OF} = -18 - (-6) = -12 \text{ cm}$$

$$\overline{F'A'} = -\frac{f'^2}{\overline{FA}} = -\frac{6^2}{-12} = \frac{6.6}{6.2} = 3 \text{ cm}$$

L'image est donc située après le foyer image et de ce fait aussi après la lentille et par suite réelle.

On peut retrouver le résultat précédent

$$\overline{OA'} = \overline{F'A'} - \overline{F'O} = +3 - (-6) = 9 \text{ cm}$$

Par les relations de grandissement de Newton

$$\gamma = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{+6}{-12} = -\frac{1}{2}$$

$$\gamma = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{+3}{-6} = -\frac{1}{2}$$

Mêmes résultats et commentaires.

1.b) Mêmes méthodes

$$\overline{OA'} = -6 \text{ cm}, \quad \overline{F'A'} = -12 \text{ cm}, \quad \gamma = +2$$

L'image est virtuelle, droite, agrandie.

$$1.c) \overline{OA'} = 4 \text{ cm}, \quad \overline{F'A'} = -2 \text{ cm}, \quad \gamma = +\frac{1}{3}$$

L'image est réelle, droite, réduite.

$$2.a) \overline{OA'} = -4 \text{ cm}, \quad \overline{F'A'} = 2 \text{ cm}, \quad \gamma = +\frac{1}{3}$$

L'image est virtuelle, droite, réduite.

$$2.b) \overline{OA'} = 6 \text{ cm}, \quad \overline{F'A'} = 12 \text{ cm}, \quad \gamma = +2$$

L'image est réelle, droite, agrandie.

$$2.c) \overline{OA'} = -9 \text{ cm}, \quad \overline{F'A'} = -3 \text{ cm}, \quad \gamma = -\frac{1}{2}$$

L'image est virtuelle, renversée, réduite.

Exercice X-A2

1. On dispose d'une lentille convergente de distance focale 9 cm. Quelle est la position de l'objet dont l'image est droite et trois fois plus grande que l'objet ? Quelle est la nature de l'objet ? de l'image ?

2. On dispose d'une lentille divergente de distance focale 9 cm. Quelle est la position de l'objet dont l'image est droite et trois fois plus grande que l'objet ? Quelle est la nature de l'objet ? de l'image ?

1. L'image est droite et trois fois plus grande que l'objet donc $\gamma = +3$.

Par les relations de Descartes

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 3 \quad \text{donc} \quad \overline{OA'} = 3 \overline{OA}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}, \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{3 \overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

$$-\frac{2}{3} \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}, \quad \text{d'où} \quad \overline{OA} = -\frac{2}{3} f' = -6 \text{ cm}$$

$$\overline{OA'} = 3 \overline{OA} = -18 \text{ cm}$$

L'objet est réel et l'image virtuelle.

Par les relations de Newton

$$\gamma = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = 3 \quad \text{d'où} \quad \overline{FA} = \frac{9}{3} = 3 \text{ cm}$$

$$\overline{OA} = \overline{FA} - \overline{FO} = -6 \text{ cm}$$

$$\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2 \quad \text{d'où} \quad \overline{F'A'} = -\frac{f'^2}{\overline{FA}} = -27 \text{ cm}$$

$$\overline{OA'} = \overline{F'A'} - \overline{F'O} = -18 \text{ cm}$$

Mêmes commentaires.

2. Mêmes méthodes

$$\overline{OA} = 6 \text{ cm}, \quad \overline{OA'} = 18 \text{ cm}$$

L'objet est virtuel, l'image réelle.

Exercice X-A3

1. Un timbre de 2 cm de côté est placé à 6 cm d'une loupe. Observé à travers la loupe, il semble mesurer 8 cm. Quelle est la nature de l'image ? Est-elle droite ou renversée ?

Quelle est la distance focale image de la lentille ?

2. Un timbre de 2 cm de côté est placé à 6 cm d'une lentille divergente. Observé à travers la

loupe, il semble mesurer 1 cm. Quelle est la nature de l'image ? Est-elle droite ou renversée ?

Quelle est la distance focale image de la lentille ?

1. L'image est virtuelle puisqu'on l'observe à travers la loupe. (Si elle était réelle on l'observerait de l'autre côté de la loupe ; de plus c'est l'usage usuel d'une loupe.)

Une loupe est une lentille convergente qui donne d'un objet réel une image virtuelle lorsque l'objet est situé entre le foyer objet et la lentille. Et dans ce cas l'image est droite.

Par les relations de Descartes

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 4 \quad \text{donc} \quad \overline{OA'} = 4 \overline{OA}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}, \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{4 \overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

$$-\frac{3}{4} \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}, \quad \text{d'où} \quad f' = -\frac{4}{3} \overline{OA} = 8 \text{ cm}$$

Par les relations de Newton

$$\gamma = 4 = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FO} + \overline{OA}} = \frac{f'}{f' + \overline{OA}}$$

$$4f' + 4\overline{OA} = f' \quad \text{d'où} \quad f' = -\frac{4}{3}\overline{OA} = 8 \text{ cm}$$

2. L'image est virtuelle comme en 1. Une lentille divergente donne d'un objet réel une image virtuelle droite et réduite.

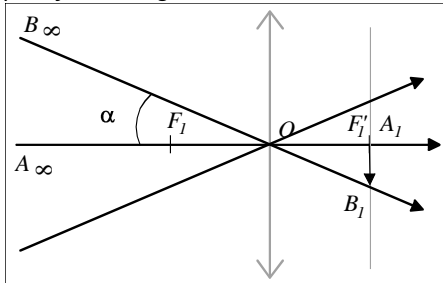
La distance focale se calcule comme en 1.

$$f' = -6 \text{ cm.}$$

Exercice X-A4

- On forme l'image du Soleil, de diamètre angulaire $32'$ (32 minutes d'angle), grâce à une lentille sphérique mince convergente de distance focale image 60 cm. Où se trouve cette image ? Quelle est sa taille ?
- On place cette image dans le plan focal objet d'une autre lentille sphérique mince convergente de distance focale image 20 mm. Où se trouve l'image finale ? Quel est son diamètre angulaire ?

a) Le Soleil étant à l'infini, l'image se forme dans le plan focal image de la lentille.



Voir figure pour la construction de l'image. La figure est réalisée dans le cas où le centre du Soleil est sur l'axe optique. L'image est renversée.

La taille de l'image est $2 A_1 B_1 = 2 f'_1 \tan \alpha$ avec $\alpha = 16' = (16/60)^\circ$

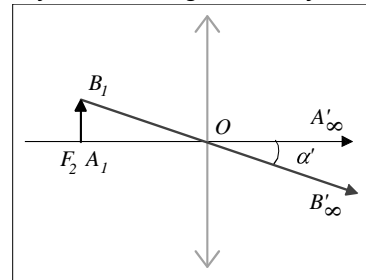
$$2 A_1 B_1 = 2 \times 60 \times \tan(16/60) = 0,56 \text{ cm.}$$

On peut aussi calculer α en radian

$$\alpha = (16/60) \times (\pi/180) = 4,65 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$2 A_1 B_1 \approx 2 \times 60 \times \alpha \approx 0,56 \text{ cm.}$$

b) L'image précédente sert d'objet pour la deuxième lentille. L'objet est dans le plan focal objet donc l'image est à l'infini.

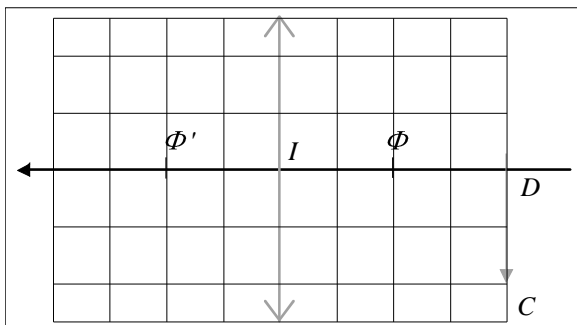


Le diamètre angulaire de l'image est $2 \alpha'$

$$\tan \alpha' = A_1 B_1 / f'_2 = f'_1 \tan \alpha / f'_2 \quad \text{d'où} \quad 2 \alpha' = 16^\circ$$

Exercice X-A5

On considère le montage optique suivant dans lequel DC est un objet, I est le centre optique de la lentille, ses foyers sont Φ et Φ' . La lumière incidente se dirige de la droite vers la gauche.



a) On trace le rayon CI qui n'est pas dévié, puis le rayon $C\Phi$ qui émerge parallèlement à l'axe optique. Ces deux rayons se coupent en C' . D' est le projeté orthogonal de C' sur l'axe optique. On peut aussi tracer le rayon CJ parallèle à l'axe optique qui émerge en passant par Φ' et par C' .

- Construire l'image $D'C'$ de l'objet DC donnée par la lentille. Mesurer sur le schéma la position de l'image et sa taille.
- Retrouver ces résultats par le calcul.

b) Par les relations de Descartes, on lit d'abord sur la figure $\overline{ID} = -2f'$ puis on calcule :

$$\frac{1}{\overline{ID}'} - \frac{1}{\overline{ID}} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{\overline{ID}'} + \frac{1}{2f'} = \frac{1}{f'}$$

$$\overline{ID}' = 2f'$$

$$\gamma = \frac{\overline{ID}'}{\overline{ID}} = -1$$

Par les relations de Newton, on commence par lire $\overline{\Phi D} = -f'$ puis on calcule :

$$\overline{\Phi D}' \cdot \overline{\Phi D} = -f'^2$$

$$\overline{\Phi D}' \cdot (-f') = -f'^2$$

$$\overline{\Phi D}' = f'$$

$$\gamma = \frac{\overline{\Phi D}'}{-f'} = \frac{f'}{\overline{\Phi D}} = -1$$

Exercices de niveau B

La focométrie est la détermination des distances focales. Ces exercices étudient des méthodes de focométrie utilisées dans un laboratoire d'optique.

Exercice X- B1 : préparation à l'exercice X-B2

Une lentille mince convergente forme d'un objet réel une image réelle observée sur un écran. Cette image est agrandie 3 fois. On déplace la lentille, en la rapprochant peu à peu de l'écran, d'une distance d égale à 40 cm. Alors il se forme à nouveau une image nette sur l'écran mais sa taille est 3 fois plus petite que celle de l'objet. En déduire la distance focale image de la lentille.

Dans la première situation le centre optique de la lentille est en O_1 et le grandissement est négatif puisqu'une lentille convergente forme d'un objet réel une image renversée quand elle est réelle :

$$\gamma = -3 = \frac{\overline{O_1 A'}}{\overline{O_1 A}} \quad d'ou \quad \overline{O_1 A'} = -3 \overline{O_1 A}$$

Dans la seconde situation le centre optique de la lentille est en O_2 et le grandissement est encore négatif pour la même raison.

$$\gamma = -\frac{1}{3} = \frac{\overline{O_2 A'}}{\overline{O_2 A}} = \frac{\overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A'}}{\overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A}} = \frac{-d - 3\overline{O_1 A}}{-d + \overline{O_1 A}}$$

$$-d + \overline{O_1 A} = 3(-d - 3\overline{O_1 A})$$

$$4d = -8 \overline{O_1 A}$$

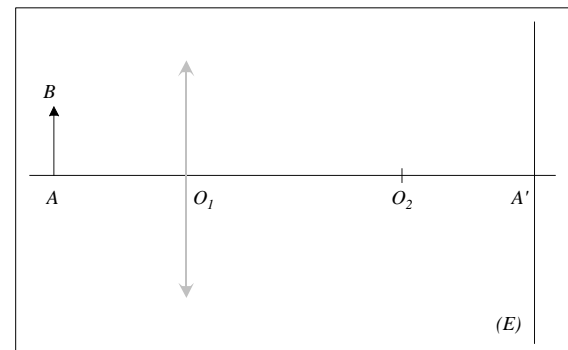
$$\overline{O_1 A} = -\frac{1}{2}d = -20 \text{ cm}$$

Ce qui permet de calculer la distance focale :

$$\frac{1}{\overline{O_1 A'}} - \frac{1}{\overline{O_1 A}} = \frac{1}{f'} \quad d'ou \quad \frac{1}{3\overline{O_1 A}} - \frac{1}{\overline{O_1 A}} = \frac{1}{f'}$$

$$-\frac{2}{3\overline{O_1 A}} = \frac{1}{f'} \quad d'ou \quad f' = -\frac{3}{2}\overline{O_1 A}$$

$$f' = 30 \text{ cm}$$



Exercice X-B2 : méthode de Bessel

On se propose de déterminer la distance focale d'une lentille mince convergente par la méthode de Bessel. On dispose d'un objet AB fixe, d'un écran E fixe également situé à la distance D de l'objet. On peut déplacer la lentille convergente entre l'objet et l'écran.

- Faire un schéma.
- Etablir la relation liant la position de l'objet, la distance D et la distance focale image f' de la lentille.
- En déduire que, si $D \geq 4f'$, il existe deux positions de la lentille pour lesquelles on obtient une image $A'B'$ nette sur l'écran.
- On note d la distance séparant les deux positions précédentes de la lentille. Déterminer la distance focale image de la lentille en fonction de D et d .

- e) Compléments : Montrer que les deux positions de la lentille sont symétriques par rapport au milieu de AA' . Comparer alors les grandissements obtenus pour les deux positions de la lentille.

a) Voir le schéma de l'exercice précédent.

b) La relation de conjugaison de Descartes donne :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{\overline{OA+AA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\overline{OA+D}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

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

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

$$\overline{OA}^2 + D\overline{OA} + f'D = 0$$

c) La dernière équation est du second degré en \overline{OA} et admet deux solutions (ou une double) lorsque son discriminant est positif (ou nul).

$$\Delta = D^2 - 4f'D = D(D - 4f')$$

$$\Delta \geq 0 \Leftrightarrow D \geq 4f'$$

Lorsque $D \geq 4f'$, il existe deux valeurs de \overline{OA} donc deux positions de O (car A est fixe) pour lesquelles on obtient une image $A'B'$ nette sur l'écran.

d) On résout l'équation du second degré :

$$\overline{O_1A} = \frac{-D + \sqrt{D^2 - 4Df'}}{2}$$

$$\overline{O_2A} = \frac{-D - \sqrt{D^2 - 4Df'}}{2}$$

Puis on forme

$$d = \overline{O_1O_2} = \overline{O_1A} - \overline{O_2A} = \sqrt{D^2 - 4Df'}$$

$$d^2 = D^2 - 4Df'$$

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

e) D'après les deux expressions de \overline{OA} , O_1 et O_2 sont symétriques par rapport au point d'abscisse $D/2$ qui est bien le milieu de AA' . Donc :

$$\gamma_1 = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A}} = \frac{\overline{O_2A}}{\overline{O_2A'}} = \frac{1}{\gamma_2}$$

Voir la situation physique de l'exercice précédent.

Exercice X-B3 : méthode de Silberman

- a) Un objet réel est situé à une distance $2f'$ d'une lentille mince convergente. Quelle est la position de l'image, sa nature et sa taille ?
 b) La méthode de Silberman est la limite de la méthode de Bessel pour $D = 4f'$ (voir exercice précédent). Décrire le mode opératoire.

a) Puisque $\overline{OA} = -2f'$ alors $\overline{FA} = -f'$. D'après la relation de conjugaison de Newton :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2 \text{ donc } \overline{F'A'} = f'$$

d'où $\overline{OA'} = 2f'$ positif, l'image est réelle.

D'après la relation de conjugaison de Newton :

$$\gamma = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{f'}{-f'} = -1 \text{ donc l'image est renversée}$$

et de même taille que l'objet.

b) On part d'une situation de Bessel avec une image nette pour une position de la lentille. La distance objet-écran est alors supérieure à $4f'$. On

rapproche presque insensiblement l'écran de la lentille, l'image devient floue ; on déplace la lentille pour obtenir à nouveau une image nette. Et ainsi de suite. Lorsque la distance devient inférieure à $4f'$ on ne peut plus obtenir d'image nette ; il faut alors écarter imperceptiblement l'écran de la lentille pour récupérer l'image. On procède par tâtonnements successifs pour parvenir à la situation de Bessel, alors $D = 4f'$ et l'image est de même taille que l'objet.

Exercice X-B4 : association d'une lentille mince et d'un miroir plan

On considère un système optique formé d'une lentille mince convergente de distance focale 20 cm suivie d'un miroir plan placé à 10 cm de la lentille.

Un objet réel est situé à 10 cm de la lentille.

- a) Analyser la succession des systèmes optiques agissant sur la lumière.
 b) Déterminer la position de l'image finale. Quelle est sa nature ?
 c) Calculer le grandissement ? L'image est-elle droite ou renversée ? agrandie ou réduite ?

d) Tracer la marche complète d'un rayon lumineux.

a) La lumière traverse la lentille L puis est réfléchi par le miroir M puis traverse la lentille en sens contraire. On note L' la lentille lorsqu'elle est utilisée dans ce sens. On a donc le schéma suivant :

$$A \xrightarrow{L} A_1 \xrightarrow{M} A_2 \xrightarrow{L'} A'$$

b) Par la relation de conjugaison de Newton :

$$\overline{F'A_1} \cdot \overline{FA} = -f'^2 \quad \overline{F'A_1} \cdot 10 = -20 \cdot 20$$

$$\overline{F'A_1} = -40 \text{ cm}$$

Pour L, A est un objet réel et son image A₁ est virtuelle.

Pour le miroir :

$$\overline{IA_2} = -\overline{IA_1} = +30 \text{ cm}$$

Pour M, A₁ est un objet réel et son image A₂ est virtuelle.

Pour L' il faut échanger les rôles de F et F' car la lumière se propage de la droite vers la gauche :

$$\overline{FA'} \cdot \overline{F'A_2} = -(-f')^2 = -f'^2 \quad \overline{FA'} \cdot 20 = -400$$

$$\overline{FA'} = -20 \text{ cm}$$

Pour L', A₂ est un objet réel et son image A' est réelle. L'image finale est réelle.

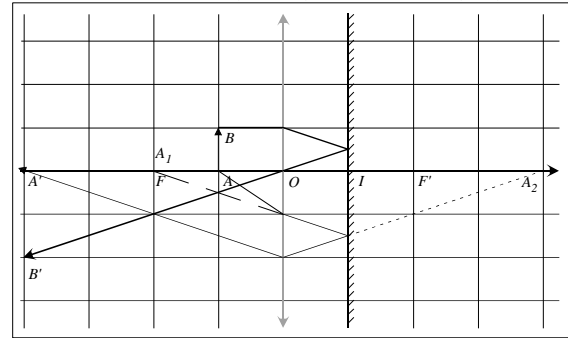
c) Le grandissement total est le produit des trois grandissements successifs :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} \cdot \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{A_2B_2}} \cdot \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A'B'}} = \gamma_L \cdot \gamma_M \cdot \gamma_{L'}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_L = \frac{\overline{F'A_1}}{\overline{F'O}} = \frac{-40}{-20} = 2 \\ \gamma_M = 1 \\ \gamma_{L'} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FO}} = \frac{-20}{20} = -1 \end{array} \right\} \gamma = -2$$

L'image est renversée et agrandie (doublée).

d) Sur le schéma, on a tracé un rayon quelconque issu de A et un rayon particulier issu de B. Le rayon issu de A émerge de la lentille en semblant provenir de A₁, puis du miroir en semblant provenir de A₂ et finalement se dirige vers A'. Le rayon issu de B, parallèle à l'axe émerge de la lentille en se dirigeant vers F', se réfléchit sur le miroir selon les lois de Snell- Descartes puis émerge de la lentille sans être dévié car il passe par le centre optique.



Exercice X-B5 : méthode d'autocollimation

On accole une lentille mince convergente et un miroir plan. Lorsque l'objet est à 12 cm de la lentille, son image se forme dans le même plan que lui.

a) Quelle est la distance focale image de la lentille ?

b) Quelle est la nature de l'image ? Quelle est sa taille ? Est-elle droite ou renversée ?

a) La lumière traverse la lentille L puis est réfléchi par le miroir M puis traverse la lentille en sens contraire. On note L' la lentille lorsqu'elle est utilisée dans ce sens. On a donc le schéma suivant avec comme image finale A' identique à A :

$$A \xrightarrow{L} A_1 \xrightarrow{M} A_2 \xrightarrow{L'} A$$

$$\text{Pour (L) : } \frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'} \quad (1)$$

$$\text{Pour (M) : } \overline{OA_2} = -\overline{OA_1} \quad (2)$$

$$\text{Pour (L') : } \frac{1}{\overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{\overline{OF}} = -\frac{1}{f'} \quad (3)$$

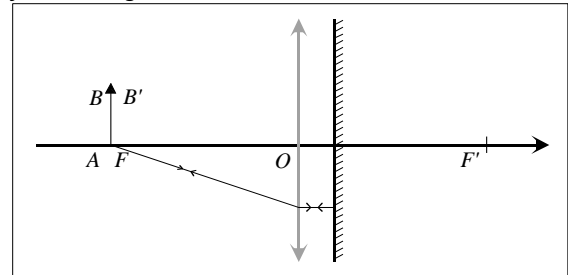
En introduisant (2) dans (3) :

$$\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{\overline{OF}} = -\frac{1}{f'} \quad (3')$$

Puis en formant (3') - (1)

$$\frac{2}{\overline{OA}} = -\frac{2}{f'} \Leftrightarrow \overline{OA} = -f'$$

Le point A est alors situé au foyer objet, la distance focale image de la lentille est 12 cm.



Remarque : les points A₁ et A₂ sont rejetés à l'infini.

b) L'image finale est réelle : les rayons lumineux émergents y convergent.

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{AB} = \frac{\overline{A'B'}}{A_1B_1} \cdot \frac{\overline{A_1B_1}}{A_2B_2} \cdot \frac{\overline{A_2B_2}}{AB} = \gamma_L \cdot \gamma_M \cdot \gamma_{L'}$$

Il faut soigneusement choisir les relations utilisées car A_1 et A_2 sont rejetés à l'infini. Et ne pas oublier d'échanger F et F' pour L' .

$$\left. \begin{cases} \gamma_L = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = 1 \\ \gamma_M = 1 \\ \gamma_{L'} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FO}} = \frac{\overline{FA}}{\overline{FO}} = 1 \end{cases} \right\} \gamma = 1$$

L'image est droite et de même taille que l'objet.

Exercices de niveau C

Voir le chapitre Associations de lentilles sphériques minces.