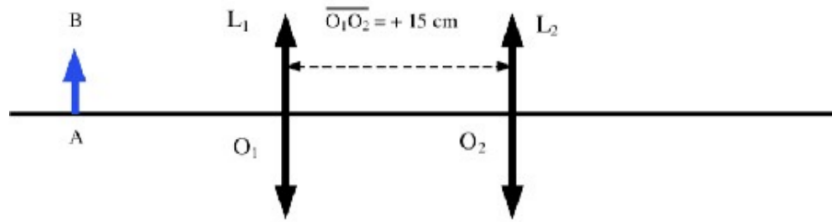
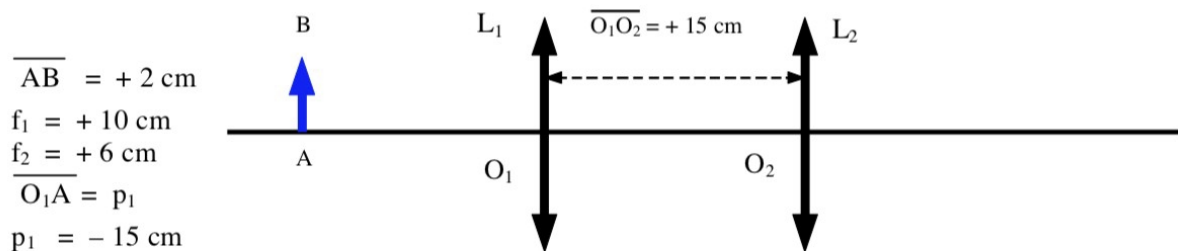


Exercice n°4



Un objet réel AB est placé à 15 cm devant la lentille. On donne $AB = 2$ cm. $f'_1 = 10$ cm et $f'_2 = 6$ cm.

1. Déterminer les caractéristiques de A_1B_1 , l'image de AB au travers de la lentille L_1 .
2. A_1B_1 devient objet pour la lentille L_2 . Déterminer les caractéristiques de A_2B_2 , l'image de A_1B_1 au travers de la lentille L_2 .



1.) On cherche d'abord les caractéristiques de l'image A_1B_1 de l'objet AB au travers de la lentille

L_1 : pour cela on calcule $p_1' = \overline{O_1A_1}$ et $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$

$$a.) \quad \frac{1}{p_1'} - \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{p_1'} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{p_1} \Rightarrow p_1' = \frac{(p_1) \cdot (f_1)}{(p_1 + f_1)} = \frac{(-15) \cdot (+10)}{(-15 + 10)}$$

$$\Rightarrow p_1' = \frac{-150}{-5} \Rightarrow \mathbf{p_1' = +30 \text{ cm}}$$

$$b.) \quad \gamma_1 = \frac{p_1'}{p_1} = \frac{+30}{-15} = -2 \Rightarrow \overline{A_1B_1} = \gamma_1 \cdot \overline{AB} = (-2) \cdot (+2)$$

$$\Rightarrow \mathbf{\overline{A_1B_1} = -4 \text{ cm}}$$

Conclusion : l'image A_1B_1 de l'objet AB est :
 réelle : $p_1' > 0$
 située à 30 cm de la lentille L_1
 renversée : $\gamma_1 < 0$
 plus grande que l'objet $\overline{A_1B_1} = -4 \text{ cm}$

2.) A_1B_1 devient maintenant objet pour la lentille L_2 . On cherche alors les caractéristiques de l'image A_2B_2 de l'objet A_1B_1 au travers de la lentille L_2 :

$$\text{pour cela on cherche } p_2' = \overline{O_2A_2} \text{ et } \gamma_2 = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}}$$

Comme A_1B_1 est situé à 30 cm à droite de L_1 et que $\overline{O_1O_2} = +15 \text{ cm}$, on peut dire que A_1B_1 est situé à 15 cm à droite de L_2 . A_1B_1 est donc un **objet VIRTUEL** pour la lentille L_2 .

Ce qui donne : $p_2 = \overline{O_2A_1} = +15 \text{ cm}$.

$$\begin{aligned} \text{a.) } \quad \frac{1}{p_2'} - \frac{1}{p_2} &= \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{p_2'} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{p_2} \Rightarrow p_2' = \frac{(p_2) \cdot (f_2)}{(p_2 + f_2)} = \frac{(+15) \cdot (+6)}{(+15 + 6)} \\ \Rightarrow \quad p_2' &= \frac{+90}{+21} \Rightarrow \mathbf{p_2' = +4,3 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.) } \quad \gamma_2 &= \frac{p_2'}{p_2} = \frac{+4,3}{+15} = +0,286 \Rightarrow \overline{A_2B_2} = \gamma_2 \cdot \overline{A_1B_1} = (+0,286) \cdot (-4) \\ \Rightarrow \quad \overline{A_2B_2} &= \mathbf{-1,14 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Conclusion : l'image A_2B_2 de l'objet A_1B_1 est :

réelle : $p_2' > 0$

située à 4,3 cm de la lentille L_2

droite par rapport à A_1B_1 ($\gamma_2 > 0$), mais renversée par rapport à l'objet initial AB : $\overline{A_2B_2} < 0$

plus petite que l'objet $\overline{A_1B_1}$ et que l'objet initial AB : $\overline{A_2B_2} = -1,14 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{Remarque sur le grandissement : } \gamma_1 &= \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} \text{ et } \gamma_2 = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} \\ \gamma_{\text{tot}} &= \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} \cdot \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} \cdot \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} \Rightarrow \mathbf{\gamma_{\text{tot}} = \gamma_1 \cdot \gamma_2} \end{aligned}$$

Exercice n°5

Extrait de CCINP 2023

La lunette de Galilée renversée est modélisée par une lentille divergente L_1 de distance focale $f'_1 = -20$ mm suivie d'une lentille convergente L_2 de distance focale $f'_2 = 100$ mm.

Ces deux lentilles constituent le premier doublet afocal : le foyer image de la première lentille coïncide avec le foyer objet de la seconde.

Les lentilles ne limitent pas l'étendue du faisceau. On suppose que le faisceau lumineux incident modélisant le faisceau laser est cylindrique et avec un diamètre de 3,0 mm.

Q49. Le système est utilisé dans les conditions de l'approximation de Gauss, ce qui permet un stigmatisme approché. Énoncer ces conditions et définir la notion de stigmatisme.

Q50. Schématiser le modèle optique proposé pour la lunette de Galilée renversée en illustrant la marche du faisceau cylindrique incident (rayons parallèles à l'axe optique) à travers le système des deux lentilles L_1 et L_2 . On prendra soin d'indiquer la position des foyers utiles de chacune des lentilles, ainsi que les centres de celles-ci. On choisira librement une échelle adaptée.

Q51. Dans cette configuration, calculer le diamètre du faisceau à la sortie de la lunette de Galilée renversée.

1. Définition du stigmatisme :

un système optique est dit **rigoureusement stigmatique** pour un couple de points (A, A') si tout rayon lumineux issu du point objet A (réel ou virtuel) émerge du système en passant par le point image unique A' (ou en semblant provenir de A')

Le **stigmatisme est approché** lorsque l'ensemble des rayons issus d'un point objet A ne convergent pas exactement en un point géométrique unique, mais traversent une zone de dimension suffisamment restreinte (tache image) pour pouvoir être assimilée à un point par le récepteur (œil, détecteur).

2. Conditions de l'approximation de Gauss :

L'approximation de Gauss correspond à l'étude des rayons dits **paraxiaux**, qui satisfont aux deux conditions suivantes :

- les rayons sont **peu inclinés** par rapport à l'axe optique (angles d'incidence faibles : $\theta \ll 1$ rad, justifiant les approximations $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$) ;
- les rayons sont **proches de l'axe optique** (faible ouverture du système, faisceau intercepté au voisinage du sommet ou du centre optique).

Dans ces conditions, le stigmatisme et l'aplanétisme approchés sont généralement vérifiés pour les systèmes centrés.

Un doublet afocal transforme un faisceau de rayons parallèles (objet à l'infini) en un faisceau de rayons parallèles (image à l'infini). Pour cela, le foyer principal image de la première lentille coïncide avec le foyer principal objet de la seconde :

$$F'_1 \equiv F_2$$

Positions des éléments sur l'axe optique orienté dans le sens de propagation de la lumière :

- Pour la lentille divergente L_1 de centre O_1 :

$$\overline{O_1 F'_1} = f'_1 = -20 \text{ mm} \quad (\text{foyer image situé en amont de } L_1)$$

- Pour la lentille convergente L_2 de centre O_2 :

$$\overline{F_2 O_2} = f'_2 = 100 \text{ mm} \quad (\text{foyer objet situé en amont de } L_2)$$

- La distance entre les deux lentilles est donc :

$$e = \overline{O_1 O_2} = \overline{O_1 F'_1} + \overline{F'_1 O_2} = f'_1 + f'_2 = -20 \text{ mm} + 100 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

À retenir

- Une lunette de Galilée est composée d'une lentille convergente (objectif) et d'une lentille divergente (oculaire). Dans la configuration « renversée », la lentille divergente est placée en premier : le système sert d'extenseur de faisceau laser.
- L'encombrement d'un tel extenseur est réduit par rapport à un doublet de deux lentilles convergentes (téléscope de Kepler renversé), car la distance entre lentilles vaut $e = f'_2 - |f'_1|$ au lieu de $f'_1 + f'_2$.

Considérons un rayon incident parallèle à l'axe optique, délimitant le bord du faisceau incident de diamètre D_1 , à la distance de l'axe optique :

$$r_1 = \frac{D_1}{2}$$

Ce rayon traverse la lentille divergente L_1 en I_1 et émerge selon une droite dont le prolongement vers l'amont passe par le foyer image F'_1 .

Le doublet étant afocal, ce point coïncide avec le foyer objet de la seconde lentille ($F'_1 \equiv F_2$). Le rayon incident sur L_2 semble donc provenir de son foyer objet F_2 : il émerge de L_2 parallèlement à l'axe optique, à une distance radiale :

$$r_2 = \frac{D_2}{2}$$

Les points $F'_1 \equiv F_2$, I_1 (sur L_1) et I_2 (sur L_2) étant alignés, le théorème de Thalès dans les triangles semblables de sommet commun F'_1 donne :

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\overline{F'_1 O_2}}{\overline{F'_1 O_1}} = \frac{\overline{F_2 O_2}}{\overline{F'_1 O_1}} = \frac{f'_2}{|f'_1|}$$

On en déduit l'expression du diamètre du faisceau émergent :

$$D_2 = \frac{f'_2}{|f'_1|} D_1$$

Application numérique avec $f'_2 = 100 \text{ mm}$, $|f'_1| = 20 \text{ mm}$ et $D_1 = 3,0 \text{ mm}$:

$$D_2 = \frac{100}{20} \times 3,0 \text{ mm} = 5 \times 3,0 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

$$D_2 = 15 \text{ mm} = 1,5 \text{ cm}$$

Exercice n°6

Soit une lentille L_1 convergente de distance focale image $f_1' = 20$ cm. On souhaite utiliser cette lentille comme une loupe.

1. Donner la valeur de la vergence de cette lentille en dioptrie.
2. Sachant que l'on souhaite avoir une image droite et grossie de l'objet, où doit se trouver l'objet à observer ? Expliquer votre réponse graphiquement.

Soit une lunette de visée comme on peut en trouver sur les lunettes astronomique ou sur les télescopes. Cette lunette est constituée d'un objectif L_1 suivi d'un oculaire L_2 . L'oculaire de la lunette est une lentille de distance focale image $f_2' = 4$ cm .

3. Cette lunette de visée est afocale (image à l'infini d'un objet à l'infini). Quelle doit alors être la distance entre les lentilles L_1 et L_2 ? Quel est l'intérêt d'avoir une image à l'infini?

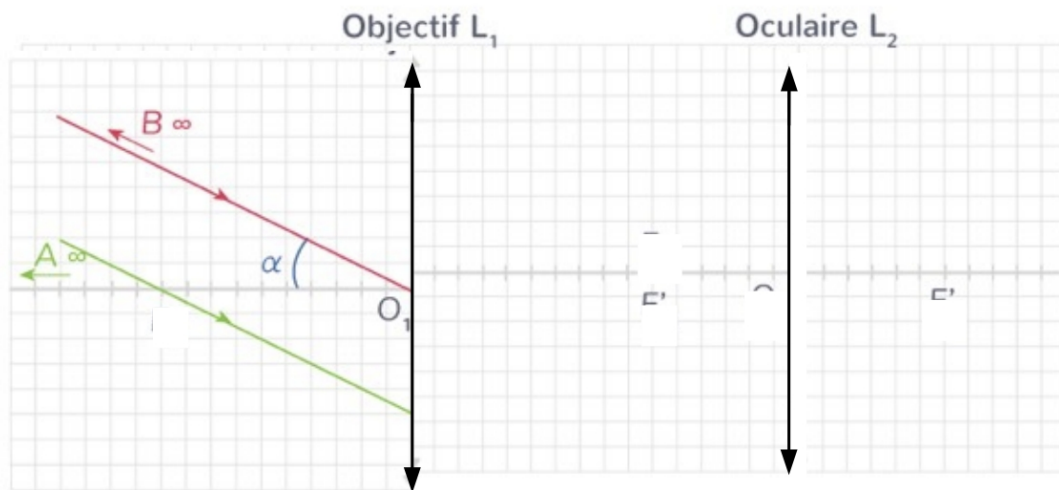


Schéma optique d'une lunette afocale

Loupe ou oculaire

Soit une lentille L_1 convergente de distance focale image $f_1' = 4$ cm. On souhaite utiliser cette lentille comme une loupe.

Donner la valeur de la vergence de cette lentille en dioptrie.

Dans le cas d'une lentille convergent $V = 1/f' = 25$ dioptries

Sachant que l'on souhaite avoir une image droite et grossie de l'objet, où doit se trouver l'objet à observer ? expliquer votre réponse par le calcul ou graphiquement.

Dans le cas d'une lentille convergent la position de l'image d'un objet est $p' = pf/(p+f')$ et le grandissement est $\gamma = p'/p$ soit encore : $\gamma = f'/(p+f')$. On veut $\gamma > 1$ sachant que l'objet est réel c'est à dire que $p < 0$ cette condition impose $p > -f'$. En d'autre terme l'objet doit se trouver entre le centre optique O et le foyer objet de la lentille. Dans ce cas on a une image virtuelle.

Lunette de visée

Soit une lunette de visée comme on peut en trouver sur les lunettes astronomique ou sur les télescopes. Cette lunette est constituée d'un objectif suivi d'un oculaire. L'oculaire de la lunette est la lentille L_1 des questions a, b et c précédentes, et l'objectif est une lentille L_2 de distance focale image $f_2' = 20\text{cm}$. Cette lunette de visée est afocale (image à l'infini d'un objet à l'infini). Quelle doit alors être la distance entre les lentilles L_1 et L_2 ?

La lunette est afocale, c'est qu'un objet à l'infini donne une image à l'infini. Pour la distance entre L_1 et L_2 doit être égale $f_2' + f_1' = 24\text{cm}$.

On observe avec cette lunette de visée un objet situé à une distance $D_1 = 1000\text{ m}$ (par rapport à l'objectif), dont la taille est de 1m .

Déterminer la position et la taille de l'image de cet objet à travers l'objectif seul (lentille L_2).

Dans le cas d'une lentille convergent la position de l'image d'un objet est $p' = pf'/(p+f')$

$p' = -1000 \cdot 0.2 / (-999.8) = 0.2\text{m}$. L'image est donc située au foyer image de l'objectif

La taille de l'objet est donné par le $\gamma = p'/p = 2 \cdot 10^{-4}$. La taille $A'B'$ image de l'objet est donc de 0.2mm .

Déterminer la position de l'image de cet objet à travers la lunette de visée.

L'image à travers de la lunette de visée est donc à l'infini car l'image intermédiaire est située sur le foyer objet de l'oculaire

En déduire l'angle α' sous lequel on voit l'objet avec la lunette de visée.

Si on fait un schéma on voit immédiatement que $\alpha' = A'B' / f_1' = 2 \cdot 10^{-4} / 0.04 = 5\text{ mrad}$

Déterminer l'expression du grossissement de la lunette de visée dans ces conditions.

Donner la valeur de ce grossissement.

Pour déterminer le grossissement, on doit calculer l'angle sous lequel est vu l'objet sans la lunette. $AB/1000 = 1\text{mrad}$. $G = \alpha'/\alpha = 5$

