Systèmes optiques élémentaires

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

17 septembre 2021

Systèmes optiques élémentaires

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

17 septembre 2021

Dioptre sphérique

Dioptre sphérique

- air → verre convexe : convergent

Dioptre sphérique

- air → verre convexe : convergent
- verre → air concave : convergent

Dioptre sphérique

- air → verre convexe : convergent
- verre → air concave : convergent
- lentille biconvexe convergente

Dioptre sphérique

Dioptre sphérique

- air → verre concave : divergent

Dioptre sphérique

- air → verre concave : divergent
- verre → air convexe : divergent

Dioptre sphérique

- air → verre concave : divergent
- verre → air convexe : divergent
- lentille biconcave divergente

Reconnaissance

Identification

- Les lentilles à bords minces (biconvexe, plan convexe, ménisque convergent) sont convergentes quand elles sont placées dans un milieu moins réfringent.
- Les lentilles à bords épais (biconcave, plan concave et ménisque divergent) sont divergentes quand elles sont placées dans un milieu moins réfringent.

- c'est l'inverse quand elles sont placées dans un milieu plus réfringent.
- elles sont d'autant plus convergentes/divergentes que leur courbure est importante *ie* leur rayon de courbure est faible.

Lentilles minces

Définition (Lentille mince)

Une lentille est dite mince si son épaisseur est faible. les dioptres la constituant sont alors considérés accolés et un rayon la traversant subit seulement un changement de direction sans que sa position ne change. Le centre optique, noté O, d'une lentille mince est l'intersection du plan de la lentille avec son axe optique.

- faible devant les deux rayons de courbe et devant la différence de leurs valeurs algébriques
- le schéma traduit le caractère mince : pas d'épaisseur

Observations

Cas d'une lentille convergente

Observations

Cas d'une lentille convergente

- un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique se focalise en un point F'

Observations

Cas d'une lentille convergente

- un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique se focalise en un point F'
- un faisceau collimaté incident incliné sur l'axe optique se focalise en un point dans le même plan de front

Observations

Cas d'une lentille convergente

- un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique se focalise en un point F'
- un faisceau collimaté incident incliné sur l'axe optique se focalise en un point dans le même plan de front
- le point F d'où est issu un faisceau émergent parallèlement à l'axe optique est symétrique de F' par rapport au « plan » de la lentille

Observations

Cas d'une lentille divergente

Observations

Cas d'une lentille divergente

- un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique émerge en provenant d'un point F' en amont : image virtuelle

Observations

Cas d'une lentille divergente

- un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique émerge en provenant d'un point F' en amont : image virtuelle
- un faisceau collimaté incident incliné sur l'axe optique émerge en provent d'un en un point dans le même plan de front

Observations

Cas d'une lentille divergente

- un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique émerge en provenant d'un point F' en amont : image virtuelle
- un faisceau collimaté incident incliné sur l'axe optique émerge en provent d'un en un point dans le même plan de front
- le point F où se focaliserait un faisceau incident convergent donnant un faisceau émergent parallèlement à l'axe optique est symétrique de F' par rapport au « plan » de la lentille

Foyers

Définition (Foyer images)

On nomme foyer image, noté F', d'un système optique centré quelconque le point de convergence d'un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique Δ. C'est l'image d'un objet réel situé à l'infini sur l'axe optique. Le plan focal image est le plan perpendiculaire à Δ passant par F'.

Foyers

Définition (Foyer images)

On nomme foyer image, noté F', d'un système optique centré quelconque le point de convergence d'un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique Δ. C'est l'image d'un objet réel situé à l'infini sur l'axe optique. Le plan focal image est le plan perpendiculaire à Δ passant par F'.

Définition (Foyer objet)

On nomme foyer objet, noté F, le point dont est issu *un faisceau collimaté émergeant parallèlement à l'axe optique Δ*. Son image est située à l'infini sur l'axe optique. Le plan focal objet est le plan perpendiculaire à Δ passant par F.

Foyers

Foyers

- les foyers peuvent être réels (lentille convergente) ou virtuels (lentille divergente)

Foyers

- les foyers peuvent être réels (lentille convergente) ou virtuels (lentille divergente)
- les plans focaux sont les lieux des images/objets de points à l'infini situés hors de Δ, *ie* « vus sous un angle α » (une étoile par exemple).

Distance focale

Définition (Distance focale et vergence d'une lentille mince)

La distance focale image, notée f' (resp. objet, notée f), d'une lentille mince de foyer image F' (resp. de foyer objet F) est la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (resp. $\overline{OF}$). La vergence V est définie par $V = \frac{1}{f'}$. La distance focale image et la vergence sont donc :

- positive pour une lentille convergente : $f' > 0$ et $V > 0$;
- négative pour une lentille divergente : $f' < 0$ et $V < 0$.

[1] On le montrerait avec les relations de conjugaison du dioptre sphérique.

Distance focale

Définition (Distance focale et vergence d'une lentille mince)

La distance focale image, notée f' (resp. objet, notée f), d'une lentille mince de foyer image F' (resp. de foyer objet F) est la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (resp. $\overline{OF}$). La vergence V est définie par $V = \frac{1}{f'}$. La distance focale image et la vergence sont donc :

- positive pour une lentille convergente : $f' > 0$ et $V > 0$;
- négative pour une lentille divergente : $f' < 0$ et $V < 0$.

- On constate[1] que la distance focale image est la même quand on retourne la lentille,
- le principe du retour inverse assure alors que $f = -f'$:

[1] On le montrerait avec les relations de conjugaison du dioptre sphérique.

Distance focale

Définition (Distance focale et vergence d'une lentille mince)

La distance focale image, notée f' (resp. objet, notée f), d'une lentille mince de foyer image F' (resp. de foyer objet F) est la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (resp. $\overline{OF}$). La vergence V est définie par $V = \frac{1}{f'}$. La distance focale image et la vergence sont donc :

- positive pour une lentille convergente : $f' > 0$ et $V > 0$;
- négative pour une lentille divergente : $f' < 0$ et $V < 0$.

Une seule distance focale

Les foyers objet et image d'une lentille mince sont symétriques par rapport à son centre optique. Ils sont réels (resp.~virtuels) pour une lentille convergente (resp.~divergente).

[1] On le montrerait avec les relations de conjugaison du dioptre sphérique.

Objet à distance finie

La connaissance des foyers suffit pour déterminer l'image d'un point B hors de l'axe par une lentille mince (dans Gauss).

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : émerge en passant par \(F^{/\)}}
- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : émerge sans être dévié}

Objet à distance finie

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : émerge en passant par \(F^{′\)}}
- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : émerge sans être dévié}

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

Objet à distance finie

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : {émerge en passant par \(F^{/\)}}
- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : émerge sans être dévié}

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

Remarque

le tracé du troisième rayon est une conséquence géométrique des deux premiers grâce au stigmatisme

Objet à distance finie

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : {émerge en passant par \(F^{'\)}}
- le rayon passant par F : {émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : émerge sans être dévié}

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

Objet à distance finie

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : {émerge en passant par \(F^{′\)}}
- le rayon passant par F : {émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : {émerge sans être dévié}

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

Objet à l'infini

- un point à l'infini sur l'axe a son image au foyer image
- un point à l'infini hors de l'axe est caractérisé par l'angle α sous lequel il est vu, son image est un foyer image secondaire

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.
La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_{\alpha} = |\alpha f'|$.

Objet à l'infini

Objet à l'infini sur l'axe

On sait tracer la marche de 2 rayons parallèles particuliers d'un faisceau collimaté incliné de α.

- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : n'est pas dévié}

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.
La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = \left|\alpha f'\right|$.

Objet à l'infini

Objet à l'infini sur l'axe

On sait tracer la marche de 2 rayons parallèles particuliers d'un faisceau collimaté incliné de α.

- le rayon passant par F : {émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : n'est pas dévié}

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.
La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

Objet à l'infini

Objet à l'infini sur l'axe

On sait tracer la marche de 2 rayons parallèles particuliers d'un faisceau collimaté incliné de α.

- le rayon passant par F : {émerge parallèle à Δ}
- le rayon passant par O : {n'est pas dévié}

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.
La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

Marche d'un rayon quelconque

Marche d'un rayon quelconque

On détermine la marche :

- d'un rayon quelconque tombant sur la lentille avec l'incidence α non nulle en le faisant passer par le foyer image secondaire associé à l'incidence α,
- d'un rayon quelconque émergeant avec l'incidence α non nulle en le faisant provenir du foyer objet secondaire associé à l'incidence α.

Relations de Newton[2] (origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

[1] Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Newton[2](origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

Relations de Newton

Soient A un point de l'axe Δ et A' son image sur Δ :

- leurs positions sont reliées par la relation de conjugaison de Newton :

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

- le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathscr{P}_A$ et $\mathscr{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}.$$

[1] Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Newton[2](origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

Relations de Newton

Soient A un point de l'axe Δ et A' son image sur Δ :

- leurs positions sont reliées par la relation de conjugaison de Newton :

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

- le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathscr{P}_A$ et $\mathscr{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}.$$

Démonstration géométrique, ne faisant appel qu'aux caractéristiques des foyers.

[1] Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Descartes (origine au centre)

Relations équivalentes mais repérant les positions par rapport à C (physiquement localisable)

Relations de Descartes[3]

R. Descartes (1596-1650) mathématicien, physicien et philosophe français.}
Soient A un point de l'axe optique \$Δ \$ et A' son image sur Δ.

- Leurs positions sont reliées par la relation de conjugaison de Descartes :

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

- Le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathscr{P}_A$ et $\mathscr{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

Exercice

On réalisera un schéma optique pour chaque situation.

1. 1 Un objet de taille 10cm est placé à 20cm en amont d'une lentille convergente de distance focale 5cm. Où sera placée son image par cette lentille, et quelle sera sa taille ? On utilisera les formules de conjugaison de Newton et celles de Descartes.
   1 Sous quel angle un observateur placé à 35cm de la lentille voit-il l'objet en l'absence de lentille ? Que devient cet angle s'il observe l'objet à travers la lentille, dans la configuration de la question 1
2. Comment réaliser un grandissement de 4 avec une lentille convergente ? Préciser les caractéristiques (droite/renversée/réelle/virtuelle) de l'image obtenue.
3. 3 Justifier (sans calcul de dérivée) que la distance entre un objet réel et son image réelle par une lentille convergente passe par un minimum. On admet qu'il n'existe qu'une seule configuration réalisant ce minimum.
   3 Déterminer (toujours sans calcul de dérivée) la configuration (distance objet/lentille, distance objet/image) réalisant ce minimum.

Correction

1 1 Avec Newton :

- $$\overline{F'A'} = \frac{5}{3} \qquad \gamma = -\frac{5}{15} \qquad \overline{A'B'} = -3{,}33\,\text{cm}.$$
- $$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{5} - \frac{1}{20} \rightarrow \overline{OA'} = 6{,}67\,\text{cm} \qquad \gamma = \frac{6.67}{20} = 0{,}333.$$

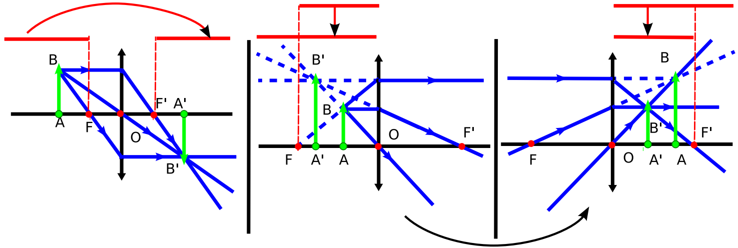
1
- En l'absence de lentille :
$$\tan(\alpha) = \frac{10}{35} \rightarrow \alpha = 0{,}286\,\text{rad} = 16° \simeq \frac{10}{35} = 0{,}278$$
- Avec la lentille :
$$\tan(\alpha) = \frac{10}{35-(20+6.67)} \rightarrow \alpha = 0{,}88\,\text{rad} = 50{,}2° \not\simeq \frac{10}{35-(20+6.67)} = 1{,}2$$
L'objet a été grossi.

1 1.3.1 Quand la position de l'objet varie entre l'infini et le foyer objet, celle de l'image réelle varie entre le foyer image et l'infini. La distance (réel positif) entre les deux doit donc passer par un minimum.

1.3.2 S'il n'existe qu'une configuration réalisant ce minimum, la symétrie de la relation de conjugaison, conséquence du principe du retour inverse, assure que l'objet et l'image sont symétriques par rapport à la lentille. Newton assure alors :
$$\overline{FA}^2 = f'^2 \rightarrow \overline{AA'} = 4f' \qquad \gamma = -1.$$

- caractères droite/renversée, agrandie/réduite, réelle/virtuelle de l'image dépendent de la zone dans laquelle se situe l'objet
- dans tous les cas : un déplacement de l'objet produira un déplacement de l'image dans le même sens

Zones d'une lentille convergente



Figures animées pour la physique

Zone de projection :

- rétroprojecteur
- projecteur de cinéma
- objectif de lunette astronomique
- \♡\ configuration « $2f-2f$ », $\gamma_t=-1$

Zone de loupe :

- loupe
- oculaire de lunette/télescope/microscope

œil après un verre d'hypermétrope

Zones d'une lentille convergente

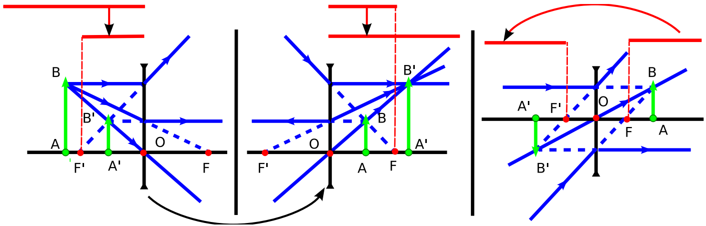
On utilise les deux formules $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

Zones d'une lentille convergente

On utilise les deux formules $\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

objet		image		
réel	$\overline{FA} < 0$	réelle	$\overline{F'A'} > 0$	$\gamma_t < 0$
	$\begin{cases} -f' < \overline{OA} & < 0 \\ \to 0 < \overline{FA} & < f' \end{cases}$	virtuelle	$\begin{cases} \overline{F'A'} & < -f' \\ \to \overline{OA'} & < 0 \end{cases}$	$\gamma_t > 1$
virtuel	$\begin{cases} \overline{FA} & > f' \\ \to \overline{OA} & > 0 \end{cases}$	réelle	$\begin{cases} -f' < \overline{F'A'} & < 0 \\ \to 0 < \overline{OA'} & < f' \end{cases}$	$0 < \gamma_t < 1$

Zones d'une lentille divergente



verre de myope

- agrandissement d'un projecteur
- « doubleur de focale » en photographie

oculaire d'une lunette de Galilée

Zones d'une lentille divergente

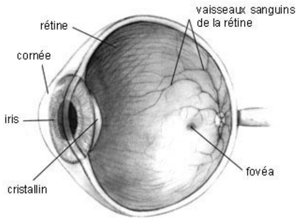
On utilise les deux formules $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

Zones d'une lentille divergente

On utilise les deux formules $\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

	objet	image		
réel	$\begin{cases}\overline{OA} & < 0 \\ \rightarrow \overline{FA} & < -\lvert f'\rvert\end{cases}$	virtuelle	$0 < \overline{F'A'} < \lvert f'\rvert$	$0 < \gamma_t < 1$
virtuel	$\begin{cases}0 < \overline{OA} & < \lvert f'\rvert \\ -\lvert f'\rvert < \overline{FA} & < 0\end{cases}$	réelle	$\begin{cases}\overline{F'A'} & > \lvert f'\rvert \\ \rightarrow \overline{OA'} & > 0\end{cases}$	$\gamma_t > 1$
	$\overline{FA} > 0$	virtuelle	$\overline{F'A'} < 0$	$\gamma < 0$

Constitution et fonctionnement de l'œil



modélisé comme :

diaphragme	iris
lentille convergente (f'_0)	cornée + humeur aqueuse + cristallin + humeur vitrée
écran	rétine

Accomodation

- au repos $f'_0 \simeq 2\,\text{cm}$ (distance cristallin-rétine)
- la vergence peut augmenter par déformation du cristallin (muscles ciliaires)

Définition (Accomodation)

L'accommodation est la modification de la vergence du cristallin par contraction musculaire. Les caractéristiques de ce dernier permettent la vision nette entre deux points :

Accomodation

Définition (Accomodation)

L'accommodation est la modification de la vergence du cristallin par contraction musculaire. Les caractéristiques de ce dernier permettent la vision nette entre deux points :

Punctum Proximum (P.P.) le point le plus proche

Accomodation

Définition (Accomodation)

L'accommodation est la modification de la vergence du cristallin par contraction musculaire. Les caractéristiques de ce dernier permettent la vision nette entre deux points :

- **Punctum Proximum (P.P.)** le point le plus proche
- **Punctum Remotum (P.R.)** le point le plus éloigné.

Accomodation

Définition (Accomodation)

L'accommodation est la modification de la vergence du cristallin par contraction musculaire. Les caractéristiques de ce dernier permettent la vision nette entre deux points :

Punctum Proximum (P.P.) le point le plus proche

Punctum Remotum (P.R.) le point le plus éloigné.

- P.R. à l'infini permet la vision à l'infini sans fatigue
- typiquement : $P.P$ à 20cm
- animation de l'accomodation

Défauts de l'œil

Définition (Défauts de l'œil)

Un œil dont le punctum remotum est à l'infini est dit emmétrope. L'œil est dit :

- **myope** si le punctum remotum est à distance finie,
- **hypermétrope** si le punctum proximum est trop éloigné.
- **astigmate** si le cristallin ne présente pas la symétrie de révolution.

- **myope** cristallin trop convergent au repos, vision nette à l'infini impossible
- **hypermétrope** cristallin pas assez convergent au repos, il faut accomoder pour voir net à l'infini
- **astigmate** vergence différente selon le plan de propagation des rayons, images d'un plan toujours floues
- **presbytie** diminution du pouvoir d'accomodation, le (P.P.) « s'éloigne »

Exercice : Variations de vergence de l'œil

1. Déterminer la distance focale maximale, notée f'_{max} d'un œil emmétrope. On le modélisera comme une lentille mince projetant des images réelles sur un écran plan (la rétine) situé à $d_r = 2{,}0$ cm.
2. Déterminer la distance focale, notée f'_{min} de l'œil quand il accommode sur un punctum proximum situé à $d_{\text{min}} = 25{,}0$ cm.
3. En déduire la variation relative $\frac{f'_{\text{max}} - f'_{\text{min}}}{f'_{\text{max}}}$ de distance focale entre les deux accommodations extrêmes dont on donnera une valeur approximative en fonction de $f'_{\text{min}} \simeq f'_{\text{max}} = f'_0$ et d_{min}.

Exercice : Variations de vergence de l'œil

1. $\frac{1}{f'_{\text{min}}} = \frac{1}{f'_{\text{max}}} + \frac{1}{d_{\text{min}}} \quad \rightarrow f'_{\text{min}} 1{,}85\,\text{cm}.$
2. $\frac{\Delta f'}{f'} = \frac{f'_{\text{max}} - f'_{\text{min}}}{f'_0} \simeq \frac{f'_0}{d_{\text{min}}} \simeq 8\%.$

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\text{m}$

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\text{m}$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu m$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu m$ pour un objet au P.P.

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\text{m}$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu\text{m}$ pour un objet au P.P.
  - $H \simeq 80\,\text{km}$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,\text{km}$)

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\text{m}$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu\text{m}$ pour un objet au P.P.
  - $H \simeq 80\,\text{km}$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,\text{km}$)
- pour des instruments de meilleure résolution, c'est la diffraction qui limite le pouvoir séparateur :

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\text{m}$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu\text{m}$ pour un objet au P.P.
  - $H \simeq 80\,\text{km}$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,\text{km}$)
- pour des instruments de meilleure résolution, c'est la diffraction qui limite le pouvoir séparateur :
  - la diffraction d'un faisceau collimaté par un diaphragme de rayon R est dans un cône d'angle $\propto \lambda/R$

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\mathrm{m}$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu\mathrm{m}$ pour un objet au P.P.
  - $H \simeq 80\,\mathrm{km}$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,\mathrm{km}$)
- pour des instruments de meilleure résolution, c'est la diffraction qui limite le pouvoir séparateur :
  - la diffraction d'un faisceau collimaté par un diaphragme de rayon R est dans un cône d'angle $\propto \lambda/R$
  - une lentille convergente focalise ce faisceau à la distance f'

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu m$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu m$ pour un objet au P.P.
  - $H \simeq 80\,km$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,km$)
- pour des instruments de meilleure résolution, c'est la diffraction qui limite le pouvoir séparateur :
  - la diffraction d'un faisceau collimaté par un diaphragme de rayon R est dans un cône d'angle $\propto \lambda/R$
  - une lentille convergente focalise ce faisceau à la distance f'
  - si son rayon est R, on aura diffraction dans un cône de rayon $\propto \lambda/R$

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme pouvoir séparateur β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

- aussi nommé « limite de résolution », « pouvoir de résolution »
- pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\text{m}$
- correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :
  - $H \simeq 50\,\mu\text{m}$ pour un objet au P.P.
  - $H \simeq 80\,\text{km}$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,\text{km}$)
- pour des instruments de meilleure résolution, c'est la diffraction qui limite le pouvoir séparateur :
  - la diffraction d'un faisceau collimaté par un diaphragme de rayon R est dans un cône d'angle $\propto \lambda/R$
  - une lentille convergente focalise ce faisceau à la distance f'
  - si son rayon est R, on aura diffraction dans un cône de rayon $\propto \lambda/R$
  - on peut montrer que dans le plan focal, on aura une tâche de rayon $\propto f'\lambda/R$

Exercice

On aligne deux lentilles minces de vergences V_1 et V_2 selon le même axe optique. Leurs centres optiques sont notés O_1 et O_2.
Pour tout point sur l'axe optique on note :

- A_1 son image par la première lentille
- A' son image formée après traversée des deux lentilles.

On écrira $A \underset{\mathscr{L}_1}{\curvearrowright} A_1 \underset{\mathscr{L}_2}{\curvearrowright} A'$.

1. Écrire les relations de conjugaison de Descartes pour les deux lentilles.
2. Les lentilles sont accolées : on considère $O_1 = O_2 \equiv O$. En déduire une relation de conjugaison entre A et A' en utilisant l'unique centre optique.
3.

Accolement de deux lentilles minces

Définition (Accolement de deux lentilles minces)

Deux lentilles minces de vergences V_1 et V_2 accolées réalisent une lentille mince de vergence :

$$\begin{cases} V & = V_1 + V_2 \\ \frac{1}{f'} & = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \end{cases}$$

- permet de former une convergente à partir d'une divergente et d'une convergente pour mesurer sa distance focale (cf TP)
- ☠ faux si elles ne sont pas accolées : on peut même obtenir un système sans foyers dit « afocal ».

Aberrations

Définition (Aberrations)

Les aberrations d'un système optique réel (non idéal) désignent les défauts de l'image qu'il donne d'un objet. On distingue :

- les aberrations chromatiques, dues à la dispersion du matériau utilisé,
- les aberrations géométriques, dues aux écarts aux conditions de Gauss.
  On ne fera aucun calcul, aucun résultat à connaître

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du matériau

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du matériau
- brouillent les images d'objets colorés

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du matériau
- brouillent les images d'objets colorés
- Figures Animées pour la Physique

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du matériau
- brouillent les images d'objets colorés
- Figures Animées pour la Physique
- Unisciel

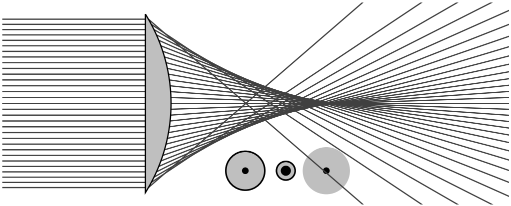
Observations

partiellement corrigeables :

- en utilisant un filtre coloré…
- en accolant une convergente et une divergente : les excès de convergence/divergence du bleu par rapport au rouge se compensent au voisinage d'une longueur d'onde choisie.

Aberrations géométriques

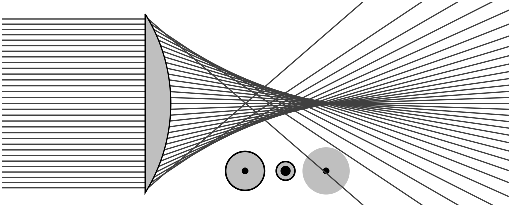
Dues aux rayons « non paraxiaux »



Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

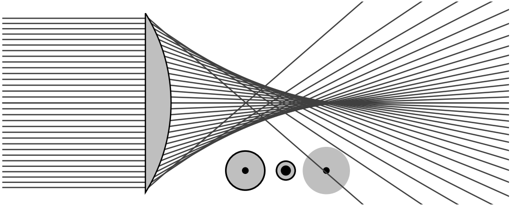
- inclinaison des rayons sur la lentille



Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

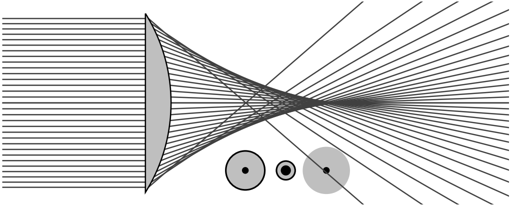


Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

Dans le cas des aberrations « sphériques », quand l'objet est un point de l'axe optique femto-physique

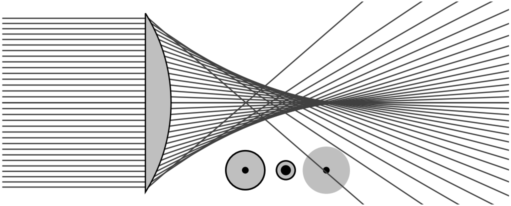


Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

Dans le cas des aberrations « sphériques », quand l'objet est un point de l'axe optique femto-physique



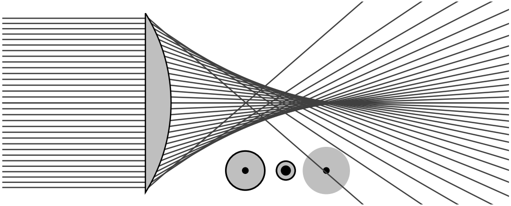
- plusieurs foyers : marginal, paraxial
- des « nappes » : sagittale et tangentielle

Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

Dans le cas des aberrations « sphériques », quand l'objet est un point de l'axe optique femto-physique



- plusieurs foyers : marginal, paraxial
- des « nappes » : sagittale et tangentielle

on peut les diminuer :

- en diaphragmant la lentille
- en plaçant le côté le moins incurvé là où le faisceau est le moins collimaté : *règle des « 4 P* » (plus plat, plus proche)

Caractérisation et représentation

Définition (Miroir sphérique)

Un miroir sphérique est une portion d'hémisphère dont une face est réflechissante. Il réalise un système optique centré dont l'axe, noté Δ est son axe de symétrie de révolution. Il est caractérisé par :

- son rayon, noté R, égal au rayon de l'hémisphère dont il est issu,
- son centre, noté C, centre de l'hémisphère dont il est issu,
- son sommet, noté S, intersection de l'hémisphère avec l'axe optique Δ.

Il est dit :

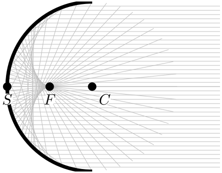
concave si la face réfléchissante utilisée est celle située du côté du centre,

convexe si la face réfléchissante utilisée est celle opposée au centre

Caractérisation et représentation

- permet de comprendre le comportement de toute surface non plane présentant la symétrie de révolution autour d'un axe car on peut l'assimiler à une sphère ans les conditions de Gauss
- un miroir plan est un miroir sphérique de rayon de courbe infini…
- le schéma du miroir sphérique dans les conditions de Gauss est plan…pour que les constructions géométriques soient justes

Un seul foyer



Rayons d'un faisceau collimaté réfléchis par un demi-cercle de centre C et de rayon R.

Définition (Foyer d'un miroir sphérique)

Les foyers objet et image d'un miroir sphérique sont confondus au milieu du segment $[SC]$. Ils sont :

- **réels** pour un miroir concave, qui est donc convergent
- **convexe** pour un miroir convexe, qui est donc divergent

Constructions géométriques

- {Figures animées pour la physique}
- ici l'image et l'objet se déplacent en sens inverse

Symétrie des rayons émergents

Les constructions géométriques des images d'un miroir sphérique concave (resp. convexe) sont équivalentes à celles d'une lentille mince convergent (resp. divergente) dans les conditions de Gauss en effectuant une symétrie des rayons émergents par rapport au plan du miroir.

- un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant (réellement ou virtuellement) par le foyer

Constructions géométriques

- {Figures animées pour la physique}
- ici l'image et l'objet se déplacent en sens inverse

Symétrie des rayons émergents

Les constructions géométriques des images d'un miroir sphérique concave (resp. convexe) sont équivalentes à celles d'une lentille mince convergent (resp. divergente) dans les conditions de Gauss en effectuant une symétrie des rayons émergents par rapport au plan du miroir.

- un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant (réellement ou virtuellement) par le foyer
- un rayon incident passant (réellement ou virtuellement) par le foyer émerge parallèlement à l'axe optique

Constructions géométriques

- {Figures animées pour la physique}
- ici l'image et l'objet se déplacent en sens inverse

Symétrie des rayons émergents

Les constructions géométriques des images d'un miroir sphérique concave (resp. convexe) sont équivalentes à celles d'une lentille mince convergent (resp. divergente) dans les conditions de Gauss en effectuant une symétrie des rayons émergents par rapport au plan du miroir.

- un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant (réellement ou virtuellement) par le foyer
- un rayon incident passant (réellement ou virtuellement) par le foyer émerge parallèlement à l'axe optique
- un rayon passant par le sommet émerge symétriquement par rapport à l'axe optique

Constructions géométriques

- {Figures animées pour la physique}
- ici l'image et l'objet se déplacent en sens inverse

Symétrie des rayons émergents

Les constructions géométriques des images d'un miroir sphérique concave (resp. convexe) sont équivalentes à celles d'une lentille mince convergent (resp. divergente) dans les conditions de Gauss en effectuant une symétrie des rayons émergents par rapport au plan du miroir.

- un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant (réellement ou virtuellement) par le foyer
- un rayon incident passant (réellement ou virtuellement) par le foyer émerge parallèlement à l'axe optique
- un rayon passant par le sommet émerge symétriquement par rapport à l'axe optique
- un rayon passant par le centre émerge en suivant le même

Exercice

On considère un miroir sphérique convergent de vergence $V = +5$ utilisé dans les conditions de Gauss.

1. Quel est son rayon de courbure ?
2. Dans quelle zone de l'espace doit-on placer un objet pour en former une image réelle ?
3. On place un objet à 30cm. Construire son image par le miroir.
4. Où placer un objet réel pour que son image soit réelle et de même taille ? À quelle configuration de la lentille mince cela correspond-il ?

Relations de conjugaison

À ne surtout pas apprendre :

	miroir $f = +f'$	lentille $f = -f'$
Newton	$\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = f.f' = f'^2$ $\gamma_t = -\dfrac{f}{\overline{FA}} (= -\dfrac{f'}{\overline{FA}}) = -\dfrac{\overline{F'A'}}{f'}$	$\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = f.f' = -f'^2$ $\gamma_t = -\dfrac{f}{\overline{FA}} (= \dfrac{f'}{\overline{FA}}) = -\dfrac{\overline{F'A'}}{f'}$
Descartes	$\dfrac{1}{\overline{SA'}} + \dfrac{1}{\overline{SA}} = \dfrac{1}{f'}$ $\gamma_t = -\dfrac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$	$\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f'}$ $\gamma_t = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Indispensable

- positions des foyers des lentilles, y compris les foyers secondaires
- constructions des objest à distance finie, à l'infini
- relations de Newton/Descartes avec leur schéma, vérifier la cohérence dans des cas particuliers $A = \infty, O, F$
- zones des lentilles à savoir retrouver
- principe de la symétrie pour les miroirs