O3 | Optique

Instruments optiques

Prérequis

	Stigmatisme	O2
	Relation de *Snell-Descartes* pour la réflexion et réfraction	O1
	Relation de conjugaison de *Descartes*	O2
	Lentilles : tracé des rayons	O2
	Trigonométrie	FO4

I L'œil

I.A Anatomie de l'œil

À connaitre

Modélisation d'un œil par une lentille et un écran

I.B Plage d'accommodation et pouvoir séparateur

À connaitre

- ☐ Plage d'accommodation pour l'œil emmétrope : $d_a = [20/25\text{cm}; \infty[$
- ☐ Pouvoir séparateur de l'œil emmétrope : $\alpha_0 = 1'$

Savoir-faire

Déterminer la taille du plus petit objet discernable

Application 1 : Pouvoir séparateur de l'œil

Énoncé

(1) Rappeler la valeur du pouvoir séparateur α_0 de l'œil. Déterminer sa valeur en radian.
(2) Déterminer la taille du plus petit détail discernable à une distance donnée par un œil emmétrope.
(3) Calculer la valeur numérique pour :

1. un objet situé au ponctum proximum ;
2. $d = 100$ m
3. sur la lune : $d \simeq 380 \times 10^3$ km.

Solution

(1) $\alpha_0 = 1' = \dfrac{1}{60}\dfrac{\pi}{180} = 3 \times 10^{-4}$ rad

(2)

$$\tan(\alpha_0) = \frac{h}{d}$$
$$h \simeq \alpha_0 d$$

(3) A.N. $h = 75\,\mu\mathrm{m}$, $3\,\mathrm{cm}$ et $140\,\mathrm{km}$.

Application 2 : Modèle de l'œil

Énoncé

(1) La distance entre le cristallin et la rétine vaut $\ell = 1{,}6\,\mathrm{cm}$. Quelle est la plage de la focale du cristallin ?

Solution

(1) Il faut étudier les cas extrêmes :

- si l'objet est situé à l'infini ;
- si l'objet est au ponctum proximum : d_p.

Si l'objet est situé à l'infini, l'image se forme dans le plan focal image, soit à $f' = \ell = 1{,}6\,\mathrm{cm}$
Si l'objet est situé au ponctum proximum : nous appliquons la formule de conjugaison de *Descartes* :

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\ell} + \frac{1}{d_\mathrm{p}}$$
$$f' = \frac{\ell d_\mathrm{p}}{\ell + d_\mathrm{p}}$$
$$\text{A.N.} \quad f' = 1{,}5\,\mathrm{cm}$$

I.C Défauts de l'œil

II Fibtre optique

À connaitre

Modèle de la fibre à saut d'indice

Savoir-faire

- Tracer le parcours d'un rayon dans une fibre à saut d'indice ;
- déterminer la condition de propagation dans la fibre optique à saut d'indice ;
- déterminer l'ouverture numérique d'une fibre optique ($ON = n\sin(\theta_i)$), la définition étant rappelée ;

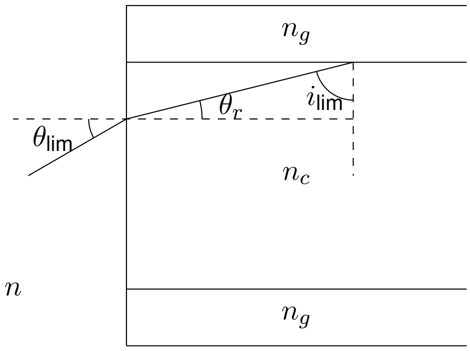
Application 3 : fibre optique

Énoncé Soit une fibre optique à saut d'indice, dont l'indice de cœur vaut n_c et l'indice dans la gaine vaut n_g.
L'étude se fait avec des angles en valeur absolue (les angles ne sont pas orientés).

(1) À quelle condition sur les indices optiques le rayon peut-il se propager dans la fibre.
(2) Déterminer l'angle de réfraction limite au dela duquel il y a propagation du rayon dans la fibre.
(3) En déduire le cône d'ouverture optique de la fibre : il s'agit de l'angle maxmimal avec lequel un signal entrant dans la fibre pourra s'y propager.

Solution

(1) Le rayon réfracté doit se rapprocher de la normale, le milieu du rayon réfracté doit donc avoir un indice plus faible que le milieu incident :
$n_c > n_g$
(2) L'angle limite de réfraction est donné par $i_{\text{lim}} = \arcsin(n_g/n_c)$.
(3)



La loi de *Snell-Descartes* donne :

$$n\sin(\theta_{\text{lim}}) = n_c \sin(\theta_r)$$

et dans un triangle rectangle :

$$\theta_r + i_{\text{lim}} = \pi/2$$

donc :

$$\begin{aligned}
n\sin(\theta_{\text{lim}}) &= n_c \sin(\pi/2 - i_{\text{lim}}) \\
n\sin(\theta_{\text{lim}}) &= n_c \cos(i_{\text{lim}}) \\
n\sin(\theta_{\text{lim}}) &= n_c \sqrt{1-\sin^2(i_{\text{lim}})} \\
n\sin(\theta_{\text{lim}}) &= n_c \sqrt{1-\frac{n_g^2}{n_c^2}} \\
\theta_{\text{lim}} &= \arcsin(\frac{n_c}{n}\sqrt{1-\frac{n_g^2}{n_c^2}})
\end{aligned}$$

θ_{lim} est l'angle maximal d'ouverture, car si θ_{lim} augmente, θ_r augmente, donc i diminue : $i < i_{\text{lim}}$ il n'y a plus réflexion totale, et le rayon ne se propage plus dans la fibre.

III Systèmes optiques à deux lentilles

III.A Généralités

À connaitre

- ☐ objectif : système optique servant à collecter la lumière venant d'un objet, modéliser par une unique lentille ;
- ☐ oculaire : système optique servant à renvoyer la lumière vers l'œil, modéliser par une unique lentille ;

III.B Lunette astronomique

Animation : université de Normandie

À connaitre

Modèle de la lunette astronomique, système afocal

Savoir-faire

- ☐ tracer de rayon au travers d'une lunette astronomique
- ☐ déterminer le grossissement d'une lentille astronomique (formule donnée $G = \dfrac{\alpha_s}{\alpha_i}$)

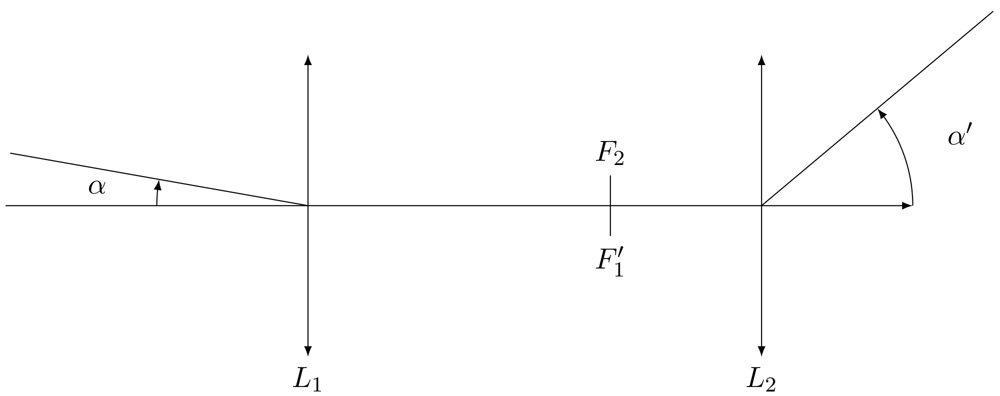
Application 4 : lunette astronomique

Énoncé

(1) Représenter une lunette astronomique représentée par deux lentilles. Nommer les lentilles.
(2) Montrer que si l'objet se situe à l'infini, et que l'observateur n'accommode pas, alors le système est afocal.
(3) Exprimer le grossissement $G = \alpha'/\alpha$ de la lentille astronomique en fonction de focale f_1' et f_2'. Interpréter le résultat.

Solution

(1)



2 $A \underset{\text{objectif}}{\rightarrow} A_1 \underset{\text{oculaire}}{\rightarrow} A_2$

- Comme A est à l'infini, A_1 se situe dans le plan focal image de l'objectif : $A_1 = F_1'$.
- De plus comme A_2 se situe à l'infini, A_1 se situe dans le plan focal objet de l'oculaire : $A_1 = F_2$.
- Ainsi les foyers des deux lentilles sont confondus : le système est afocal.

3 Trigonométrie entre les deux lentilles avec l'image intermédiaire (attention aux signes !) avec l'approximation de *Gauss* :

$$\alpha = \frac{\overline{A_1B_1}}{f_1'}$$
$$\alpha' = -\frac{\overline{A_1B_1}}{f_2'}$$

D'où l'on tire : $G = -\frac{f_1'}{f_2'}$
Pour avoir le grossissement maximal, il faut avoir une grande focale pour l'objectif et une petite focale pour l'oculaire (mais attention au diamètre d'ouverture).

III.C Microscope

Animation : université du Mans

À connaitre

Modèle du microscope

Savoir-faire

- ☐ tracé de rayon pour un microscope ;
- ☐ déterminer le grossissement (formule donnée) et le grossissement commercial (formule donnée).

Application 5 : Microscope

Énoncé
1 Faire le tracé optique d'un microscope. On indicera 1 l'objectif et 2 l'oculaire.
Nous donnons la relation de conjugaison de *Newton* : $\overline{F'A'}\ \overline{FA} = -f'^2$.
2 Déterminer la position de l'objet, pour un observateur qui n'accommode pas, en fonction de la longueur optique $\Delta = \overline{F_1'F_2}$ et de la focale f_1'.
Nous définissons le grossissement commercial comme étant le rapport de l'angle perçu en sortie d'un microscope sur l'angle perçu à l'œil nu : $G_c = \alpha'/\alpha_{\text{oeil}}$
3 Déterminer G_c en fonction de Δ, f_1' et f_2'.

Solution
1 Voir animation université du Mans.

(2) $\overline{F_1A} = -{f_1'}^2/\Delta$ d'où $\overline{O_1A} = -f_1'\left(f_1'/\Delta + 1\right)$.
Remarque : ce résultat dépend de f_2' au travers de Δ !
(3) Faire schéma œil nu. Exprimer les tangente des angles. $G_c = -\dfrac{\Delta d_p}{f_1' f_2'}$ où d_p est la distance au ponctum proximum.

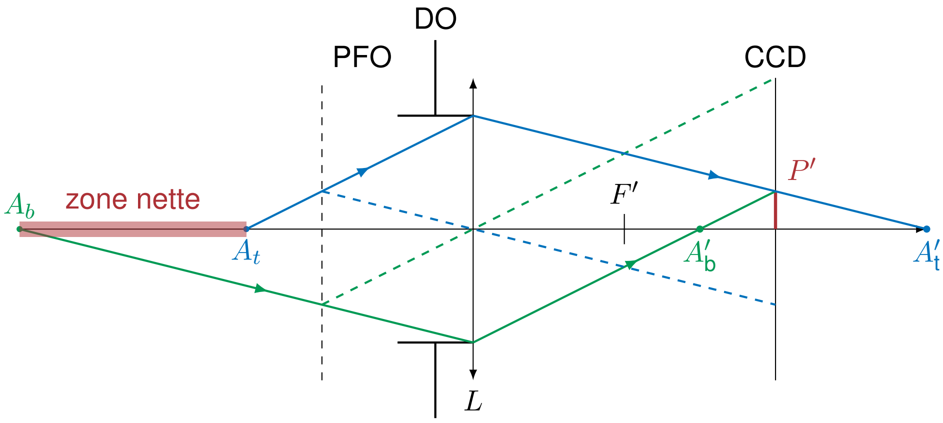
IV Appareil photo (numérique)

À connaitre

Diaphragme, CCD, profondeur de champ, pixel

Savoir-faire

Déterminer la profondeur de champ d'un appareil photo numérique à partir de la taille d'un pixel, et du diaphragme d'ouverture.



Application 6 : Appareil photo numérique

Énoncé

(1) Représenter un appareil photo numérique représenter par une lentille, un capteur CCD et un diaphragme d'ouverture.
(2) Représenter un pixel d'une hauteur h arbitraire sur le capteur CCD. Déterminer la profondeur de champ par un tracé de rayon.
(3) Donner la méthode et les étapes clefs pour déterminer la profondeur de champ par calcul (ne pas faire le calcul !).

Solution

(1) Voir schéma ci-dessus.
(2) Voir schéma ci-dessus.
(3)

- à l'aide du théorème de Thalès, nous exprimons les positions des images A_b' et A_t' en fonction du diamètre d'ouverture D et de la distance entre la lentille et le CCD d connues ;
- à l'aide de la relation de conjugaison de Descartes, nous en déduisons les positions A_b et A_t ;
- la différence des deux positions donne l'intervalle de netteté, et la moyenne la position moyenne de netteté.