

TD Op3 : Modèles de quelques dispositifs optiques

Questions de cours à savoir refaire

Étude de quelques modèles de dispositifs optiques

Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.

Modéliser une fibre optique à saut d'indice, établir la condition de guidage, les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale.

Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille mince et d'un capteur. Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné.

1 Vision à l'œil

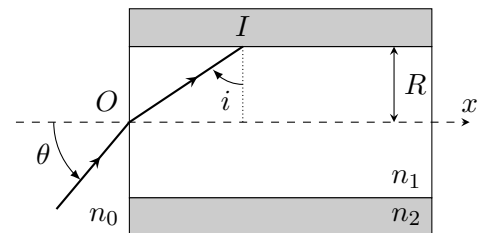
Pour un œil sans défaut, dit emmétrope, le PR est à l'infini tandis que le PP est environ à 20 cm. La limite de résolution angulaire de l'œil est d'environ $\varepsilon = 5.10^{-4}$ rad.

- Déterminer les distances focales f'_{pr} et f'_{pp} et en déduire la variation de vergence du cristallin.
- Déterminer la hauteur h du plus petit objet que l'œil peut distinguer à une distance $D = 25$ cm, 10 m et 1 ua.

2 Fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique est constituée d'un cylindre de verre (ou de plastique) appelé cœur ou âme, MLTHI d'indice n_1 et de rayon R , entourée d'une gaine transparente d'indice de réfraction plus faible $n_2 < n_1$.

Les faces d'entrée et de sortie sont perpendiculaires à l'axe (Ox) de la fibre. L'ensemble, en particulier la face d'entrée, est en contact avec un milieu d'indice n_0 qui sera pris égal à l'indice de l'air pour les applications numériques. On s'intéresse à la trajectoire d'un rayon lumineux situé dans le plan de symétrie contenant l'axe (Ox)



- Montrer que le rayon ne peut se propager à l'intérieur de la fibre que si l'angle d'incidence i au niveau du dioptre cœur/gaine est supérieur à un angle i_0 que l'on exprimera en fonction de n_1 et n_2 . Tracer l'allure de la trajectoire du rayon dans la fibre.
- On désigne par θ l'angle que fait dans l'air le rayon par rapport à la normale à la surface d'entrée. Déterminer, en fonction de n_1 , n_2 et n_0 , l'angle d'entrée θ_0 qui correspond à i_0 . Faut-il qu'un rayon arrive avec θ inférieur ou supérieur à θ_0 pour se propager dans la fibre ?
- A.N. : Calculer i_0 , θ_0 pour $n_1 = 1,456$ (silice) et $n_2 = 1,410$ (silicone).

Deux grands problèmes se posent lorsque l'on veut transmettre des signaux lumineux dans les fibres : l'atténuation de l'impulsion qui se propage et son élargissement temporel. On considère la fibre précédente et on suppose que la lumière incidente qui véhicule un signal définit un cône incident de sommet O et de demi-angle θ_0 .

- Calculer le temps de propagation τ d'un rayon d'un bout à l'autre de la fibre en fonction de son angle d'incidence i et en déduire l'intervalle T entre le temps maximal et le temps minimal de propagation. On exprimera les résultats en fonction de la longueur L de la fibre, des indices et de la vitesse de la lumière dans le vide c . A.N. : Calculer T pour $L = 1$ km. En déduire la fréquence maximale d'émission si l'on souhaite récupérer le signal en bout de fibre.

3 Objectif d'appareil photographique

L'objectif d'un appareil photographique est assimilé à une lentille convergente de distance focale $f' = 50$ mm. La distance d entre la lentille et le capteur où se forme l'image est variable pour permettre la mise au point. On désire photographier des objets dont la distance à la lentille varie entre $D_1 = 0,60$ m et $D_2 = +\infty$.

- Faire un schéma des deux situations.
- Calculer les valeurs de d_1 et d_2 correspondantes. Commenter.

Exercices

4 Variation de la vergence d'un œil et limites du champ de vision (*)

Un œil normal est modélisé par un ensemble {lentille convergente L – plan rétinien} séparés d'une distance d fixe. On note V la vergence de L , variable du fait de l'accommodation.

1. Lors de l'observation à l'infini, quelle relation peut-on écrire entre d et la vergence V_0 de l'œil au repos ?
2. L'objet se rapproche à distance finie : 1 m puis 25 cm. Déterminer l'augmentation ΔV de la vergence dans ces deux cas.

Avec l'âge, le cristallin devient moins élastique et les muscles ciliaires ne parviennent plus à effectuer une accommodation aussi importante : on parle de presbytie.

3. Si l'œil d'un sujet âgé ne permet plus qu'une augmentation maximale de vergence ΔV_{\max} , à quelle distance minimale doit se situer l'objet pour être vu nettement ?
4. Pour quelles activités le phénomène de presbytie impose-t-il le porte de verres correcteurs à un sujet n'ayant, jusque-là, jamais porté de lunette de sa vie ?

Des mesures effectuées lors d'un examen ont révélé qu'en accommodant avec un supplément de vergence de 3 dioptries, un œil hypermétrope parvient à voir nettement un objet situé 2 mètres devant lui.

5. Quel est le déficit de vergence de l'œil au repos ?
6. Parvient-t-il à voir nettement un objet situé à grande distance ($D \gg 2$ m) ? Quel peut être l'intérêt, pour le patient, de corriger sa vision lointaine ?
7. La presbytie venant avec l'âge, l'augmentation maximale de vergence de cet œil se retrouve limitée à $\Delta V_{\max} = 1\delta$. Que peut-on dire du *punctum proximum* dans ce cas ? Quelles conséquences pour le patient ?

Un œil myope a son *punctum remotum* à 30 cm.

8. Quel est son excès de vergence au repos ? S'il accommode avec un supplément de vergence de 4 dioptries, où se situe son PP ?
9. Une opération au laser permet de modifier la vergence de la cornée. Doit-on augmenter ou diminuer celle-ci ? De quelle valeur ?

5 La loupe (*)

Un observateur emmétrope, c'est-à-dire ayant un œil normal, peut voir distinctement de l'infini à une distance minimale d_m . On dit que l'observateur accommode si l'objet qu'il observe n'est pas à l'infini. Cet observateur regarde à l'œil nu en tout petit objet \overline{AB} de longueur ℓ , perpendiculaire à l'axe optique.

1. Déterminer α_m l'angle maximal sous lequel l'objet peut être vu à l'œil nu.

On positionne désormais une lentille mince convergente de distance focale f' et de centre O (une loupe) entre l'objet et l'observateur. L'observateur positionne son œil à une distance a de la loupe, où $a < d_m$.

2. Pour quelle position de l'objet l'observation se fait-elle sans accommodation ? Exprimer l'angle α' sous lequel l'œil voit l'image. Faire une construction géométrique. L'image est-elle renversée ?
3. A.N. calculer le grossissement commercial $G = \frac{\alpha'}{\alpha_m}$ pour $f' = 50$ mm et $d_m = 25$ cm.
4. On considère un objet A sur l'axe optique (on note $x = \overline{OA}$) dont l'image est A' ($y = \overline{OA'}$). Donner l'expression de y en fonction de x et f' . Utiliser ce résultat pour déterminer la latitude de mise au point, c'est-à-dire la plage de positions de l'objet qui rendent possible l'observation d'une image nette par un observateur emmétrope.

6 La lunette astronomique (**)

Une **lunette astronomique** est faite pour observer des objets lointains, que l'on supposera à l'infini. L'œil n'a pas besoin d'accommoder pour observer ces objets situés à l'infini mais ceux-ci sont vus sous un diamètre apparent souvent trop faible pour être observées correctement. Le but de la lunette est de former une image à l'infini qui aura un diamètre apparent α' plus important que le diamètre apparent initial α et que l'on pourra observer à l'œil nu à travers l'instrument : l'image nous semblera agrandie. On dit que la lunette astronomique est un système afocal : elle forme une image à l'infini d'un objet à l'infini.

La lunette astronomique que l'on étudie est constituée de deux lentilles convergentes : un objectif L_1 de centre O_1 , de focale $f'_1 = 1,20$ m et un oculaire L_2 de centre O_2 , de focale $f'_2 = 3,0$ cm.

1. Comment doit-on positionner les lentilles pour que le système soit afocal ? On exprimera la distance $\overline{O_1O_2}$.
2. Faire un schéma de la lunette et représenter (a) la marche d'un rayon parallèle à l'axe optique et (b) la marche d'un faisceau de rayons inclinés d'un angle α par rapport à l'axe optique. On fera apparaître l'image intermédiaire $\overrightarrow{A_1B_1}$.
3. On note α' l'inclinaison de l'image d'un objet à l'infini incliné d'un angle α . Exprimer le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ de la lunette en fonction des focales f'_1 et f'_2 . Effectuer l'application numérique.
4. L'image finale est-elle droite ? Comment le voit-on sur le schéma ?

Jupiter (situé à environ 600 millions de km de la Terre) a une "tâche" rouge de taille d'environ 10 000 km.

5. Peut-on considérer que Jupiter se situe à l'infini par rapport à la lunette ? On comparera deux longueurs caractéristiques.
6. Calculer le diamètre apparent α de la tâche rouge. Est-ce suffisant pour que l'on puisse l'observer à l'œil nu ?
7. Pourra-t-on observer correctement la tâche avec la lunette ?

Tâche rouge de Jupiter photographiée en 2014 par le télescope spatial Hubble. Photo NASA/ESA/STSCI.



7 Le microscope optique (***)

Un microscope optique est modélisé par deux lentilles minces convergentes : l'objectif, placé du côté de l'objet, et l'oculaire, placé du côté de l'observateur. Il est réglé pour donner une image à l'infini d'un objet réel \overrightarrow{AB} , perpendiculaire à l'axe optique, A étant placé sur l'axe, légèrement avant du foyer objet de l'objectif. L'image finale est observée par un œil emmétrope placé au voisinage du foyer image de l'oculaire. On modélise l'objectif par une lentille L_1 convergente de distance focale image f'_1 et l'oculaire par une lentille L_2 convergente de distance focale image f'_2 . La notice constructeur précise également l'intervalle optique $\Delta = \overline{F'_1F'_2} = 16$ cm.

1. Comment placer les foyers de L_2 pour que l'image finale se forme à l'infini ? Faire un schéma du dispositif. Placer un objet \overrightarrow{AB} en tenant compte du principe de fonctionnement d'un microscope puis tracer la marche de 3 rayons issus de B en faisant bien apparaître l'image intermédiaire $\overrightarrow{A_1B_1}$.

On s'intéresse tout d'abord à l'**oculaire seul**. L'indication $\times 10$ portée sur l'oculaire est le grossissement commercial $G_o = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α est l'angle sous lequel on verrait l'objet intermédiaire transverse $\overrightarrow{A_1B_1}$ à l'œil nu lorsqu'il est situé à la distance minimale de vision distincte $d_m = 20$ cm et α' est l'angle sous lequel on voit l'image à l'infini de $\overrightarrow{A_1B_1}$ lorsqu'il est placé dans le plan focal objet de l'oculaire seul.

2. Déterminer f'_2 , distance focale image de l'oculaire.

On s'intéresse maintenant à l'**objectif seul**, modélisé par une lentille L_1 de distance focale image f'_1 . La valeur absolue du grandissement $\gamma = \frac{A_1B_1}{AB}$ de l'objet \overrightarrow{AB} par l'objectif est indiquée à $\times 40$.

3. En utilisant la relation de conjugaison de NEWTON, calculer f'_1 .

Pour finir, on s'intéresse au microscope dans son **ensemble**.

4. Calculer la distance O_1A à laquelle positionner l'objet pour que l'image intermédiaire A_1B_1 obtenue par l'objectif donne une image finale à l'infini.
5. Calculer dans ce cas le grossissement commercial du microscope en entier.