

SUP MPSI3 30 septembre 2022

DEVOIR SURVEILLÉ DE SCIENCES PHYSIQUES N°1 (3H00)

Tout moyen de communication est interdit
Les téléphones portables doivent être éteints et rangés dans les sacs.

Les calculatrices sont interdites !

Le devoir est composé de deux exercices et de deux problèmes indépendants.

EXERCICE 1 : Etude de différentes lentilles minces.

EXERCICE 2 : Etude d'un microscope.

PROBLEME 1 : Etude d'une transmission optique par fibre optique.

PROBLEME 2 : Etude d'un système autofocus d'appareil photographique numérique.

A l'intérieur des problèmes, certaines questions sont indépendantes.

L'étudiant est invité à prendre connaissance de la totalité du sujet avant de commencer sa composition.

L'ordre dans lequel seront abordées les différentes questions est laissé au choix de l'étudiant, mais le numéro complet de la question devra être mentionné sur la copie et le correcteur appréciera qu'une partie soit traitée dans sa continuité.

*Une attention particulière sera portée à la **qualité de la rédaction** (vocabulaire, orthographe...) et à la **présentation de la copie** (numérotation des questions, encadrement des expressions littérales et soulignement des applications numériques...).*

*Et il est indispensable de **numéroter vos copies.***

Les résultats numériques doivent être accompagnés d'une unité et présentés avec le bon nombre de chiffres significatifs.

Une minoration pouvant aller jusqu'à 2 points pourra être appliquée en cas de travail négligé.

Programme de révision de ce devoir :

Toute la partie propagation de la lumière, miroirs et lentilles minces de l'optique géométrique de SUP.

EXERCICE 1 : Etude de différentes lentilles minces :

(≈ 32 pts)

I - On considère une lentille convergente (L) de centre O et de distance focale $f' = 20$ cm. Elle est utilisée dans les conditions de Gauss sur un banc d'optique. Elle donne d'un objet A sur l'axe optique une image A', elle aussi sur l'axe optique.

Q1. On considère un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique et placé à 40 cm de la lentille. Faire un schéma de cette configuration à l'échelle. Caractériser son image (virtuelle ou réelle, droite ou renversée, agrandie, de même taille ou rétrécie). Déterminer (par le calcul) la position de l'image et calculer le grandissement dans ce cas.

Q2. On considère un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est placé à 10 cm de la lentille. Répondre aux mêmes questions qu'en Q1.

Q3. On considère un objet virtuel AB perpendiculaire à l'axe optique est placé à 20 cm de la lentille. Répondre aux mêmes questions qu'en Q1.

II - On considère maintenant une lentille convergente quelconque.

Q4.a - Dans ce cas, l'image d'un objet réel est-elle toujours réelle ? Toujours virtuelle ? Ou aucune de ces deux affirmations n'est correcte ? Justifier.

Q4.b - L'image d'un objet virtuel est-elle toujours réelle ? Toujours virtuelle ? Ou aucune de ces deux affirmations n'est correcte ? On attend une justification grâce à une expression littérale dont on exploitera le signe.

III - On considère enfin une lentille divergente quelconque.

Q5.a - Dans ce cas, l'image d'un objet réel est-elle toujours réelle ? Toujours virtuelle ? Ou aucune de ces deux affirmations n'est correcte ? On attend une justification grâce à une expression littérale dont on exploitera le signe.

Q5.b - L'image d'un objet virtuel est-elle toujours réelle ? Toujours virtuelle ? Ou aucune de ces deux affirmations n'est correcte ? On attend une justification grâce à une expression littérale dont on exploitera le signe.

EXERCICE 2 : Etude d'un microscope :

(≈ 36 pts)

Dans ce sujet, on réalise des montages optiques à l'aide de différentes lentilles minces (L_n), de vergence V_n , de distance focale image f'_n , de foyers objet F_n et image F'_n et de centre optique O_n .

L'objet de (L_n) sera noté A_nB_n et son image $A'_nB'_n$. Le grandissement transversal sera noté : $(G_t)_n = \frac{\overline{A'_nB'_n}}{\overline{A_nB_n}}$.

Toutes les expériences sont réalisées dans l'air et dans le cadre de l'approximation de Gauss. Tous les éléments optiques sont centrés sur un même axe.

1 – Soit une lentille convergente (L_1) dont la distance focale image vérifie $|f'_1| = 10$ cm.

1.a – Indiquer quelle est sa distance focale et sa vergence. Justifier.

1.b - Soit un objet A_1B_1 tel que $\overline{OA_1} = +15$ cm.

Cet objet est-il réel ou virtuel ? Justifier.

Etablir l'expression de la position de l'image par rapport à la lentille en fonction des données de l'énoncé. Faire l'application numérique. Cette image est-elle réelle ou virtuelle ?

En déduire la valeur numérique du grandissement transversal $(G_t)_1$.

2 – Afin d'illustrer le principe du microscope et pour observer un objet lumineux A_1B_1 de petites dimensions, on associe à droite de (L_1) une lentille convergente (L_2) dont la distance focale image vérifie $|f'_2| = 4$ cm.

Pour les 2 questions suivantes, indiquer la ou les bonnes réponses sans justification.

2.a – Alors :

A) (L_2) est l'objectif ; B) (L_2) est l'oculaire ; C) (L_2) est le réticule ; D) (L_1) est l'objectif.


2.b – Le système est réglé de manière à ce qu'un œil normal (œil emmétrope) n'ait pas à accommoder. L'image finale donnée par le système ($L_1 + L_2$) :

A) Se forme à l'infini ; B) Se forme dans le plan focal image de (L_2) ;
C) Se forme dans le plan focal image du système ($L_1 + L_2$) ; D) Se forme dans le plan focal image de (L_1).

2.c – *Pour cette question, indiquer la ou les bonnes réponses en justifiant tous vos calculs :* Le grandissement transversal $(G_t)_1$ de la lentille (L_1) peut s'écrire :


A) $(G_t)_1 = 1 + \frac{\overline{O_1A_1}}{f'_1}$; B) $(G_t)_1 = 1 - \frac{\overline{O_1A'_1}}{f'_1}$; C) $(G_t)_1 = \left(1 + \frac{\overline{O_1A_1}}{f'_1}\right)^{-1}$; D) $(G_t)_1 = \left(1 - \frac{\overline{O_1A'_1}}{f'_1}\right)^{-1}$.


2.d – On considère un objet réel A_1B_1 de hauteur $h = 1$ mm, centré sur l'axe optique et situé à 11 cm de la face d'entrée de l'appareil, réglé comme à la question 2.b).


 Exprimer $\overline{O_1O_2}$ en fonction de f'_1 , f'_2 et $\overline{O_1A_1}$, puis le calculer.

 En déduire la valeur numérique du grandissement transversal $(G_t)_1$ de la lentille (L_1).

2.e – Toujours dans le cas de figure de la question 2.d), on appelle G le grossissement de l'appareil c'est-à-dire le rapport entre α' (diamètre apparent de l'image finale) et θ (angle sous lequel l'observateur verrait l'objet initial, sans instrument, à la distance minimale de vision distincte $d = 25$ cm).

 Exprimer α' en fonction de h , $(G_t)_1$ et f'_2 , puis le calculer en radians.

 Exprimer θ en fonction des données des questions 2.d et 2.e, puis le calculer en radians.

 En déduire la valeur numérique du grossissement.

PROBLEME 1 : Etude d'une transmission optique par fibre optique : (≈ 36 pts)

Les signaux optiques peuvent être utilisés pour transporter une grande quantité d'information sur d'importantes distances.

Nous nous intéresserons ici à quelques caractéristiques d'une ligne de transmission optique, dont le synoptique est représenté ci-dessous (figure 1).

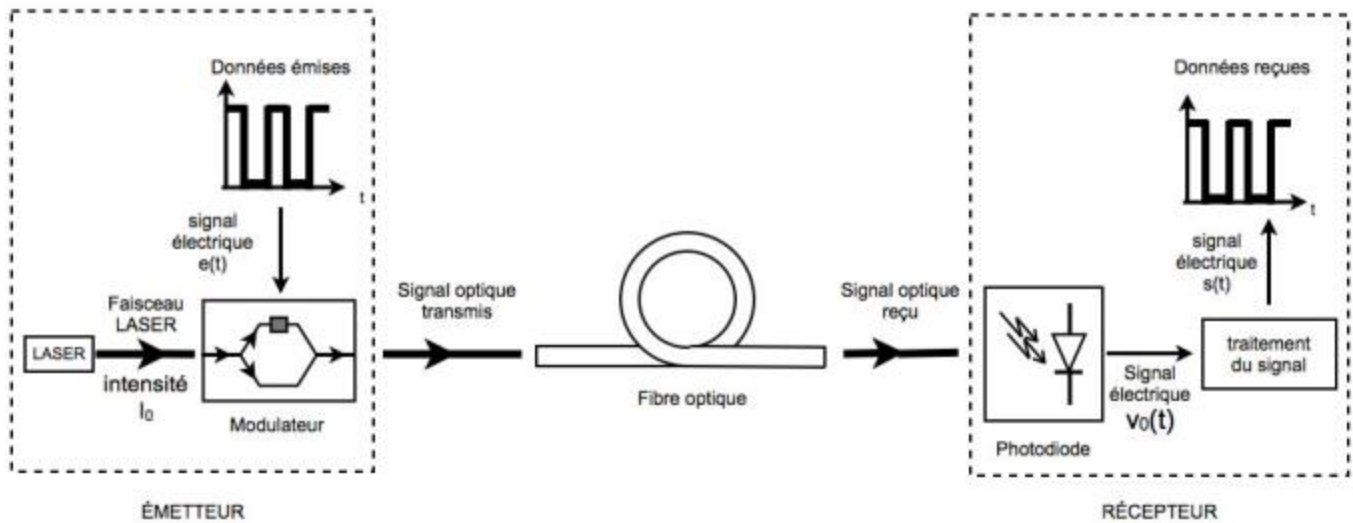


Figure 1 - Synoptique d'une ligne de transmission optique

Le problème traite de la propagation guidée dans une fibre optique et des problèmes associés qui altèrent la qualité de la transmission.

I - Lois de Descartes :

On considère un dioptre plan séparant 2 milieux transparents et homogènes : le milieu (1) d'indice n_1 et le milieu (2) d'indice n_2 . De la lumière se propage du milieu (1) vers le milieu (2).

On isole un rayon frappant le dioptre en I, et formant un angle i_1 avec (N), la normale au dioptre en I. On observe l'existence d'un rayon réfléchi dans le milieu (1) formant un angle i' avec (N) et éventuellement d'un rayon réfracté formant un angle i_2 avec (N). Les angles sont non orientés.

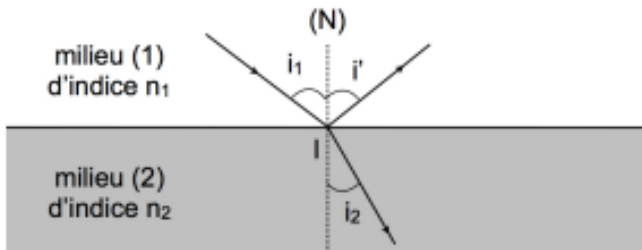


Figure 2 - Lois de Descartes

Q1. Enoncer les lois de Descartes relatives à la réfraction et à la réflexion.

Q2. Décrire le phénomène de réflexion totale : On précisera notamment la condition sur les indices et la condition sur l'angle i_1 , pour qu'une réflexion totale puisse avoir lieu en I.

II - Fibre optique à saut d'indice :

Une fibre optique est un fin cylindre de verre, capable de guider la lumière sur de longues distances. Un rayon lumineux rentrant à une extrémité de la fibre reste piégé à l'intérieur par réflexion totale interne. Une fibre optique à saut d'indice est constituée d'un cœur cylindrique d'indice n_c d'un rayon r_c , entouré par une gaine d'indice $n_g < n_c$ de rayon r_g .

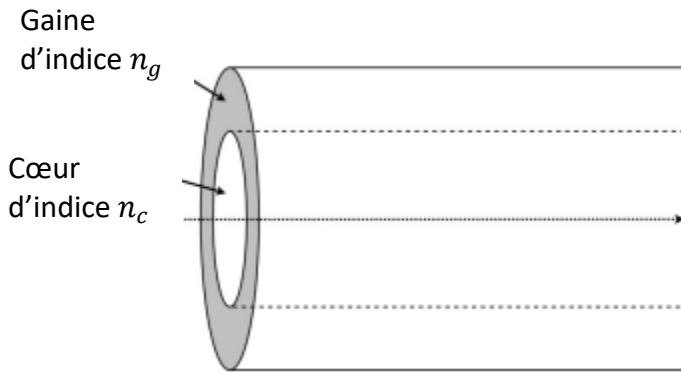


Figure 3 - Fibre à saut d'indice

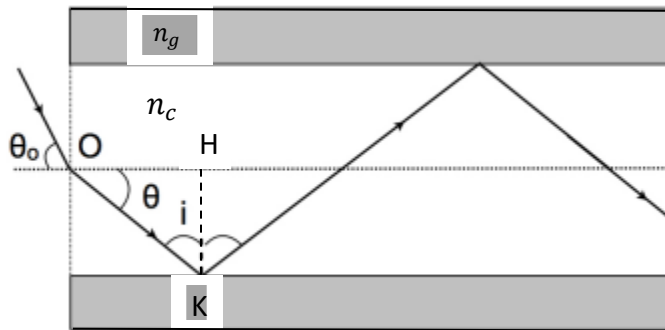


Figure 4 - Coupe dans le plan méridien d'une fibre à saut d'indice

Q3. Montrer que tout rayon situé dans un plan contenant l'axe de la fibre et formant dans la fibre un angle θ avec l'axe peut se propager dans le cœur en restant dans ce plan si $\theta < \theta_c$, avec $\theta_c = \cos^{-1}(n_g/n_c)$.

Q4. On définit l'ouverture numérique ON de la fibre par $ON = n_c \sin(\theta_c)$. Montrer que $ON = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$.

Q5. On considère que l'indice de l'air à l'extérieur de la fibre est égal à 1. Soit O le point de l'axe de la fibre situé sur le dioptré air-cœur. On note θ_0 l'angle d'incidence du rayon lumineux entrant dans la fibre en O (cf. figure 4). A quelle condition sur $\sin(\theta_0)$ et ON le rayon se propage-t-il dans la fibre ?

III - Pertes associées à l'usage de la fibre optique :

A - Pertes liées à la courbure :

Si la fibre peut être courbée sans grand inconvénient mécanique, cette courbure peut néanmoins conduire à une perte de l'énergie guidée.

Q6. En raisonnant sur la **figure 5** ci-dessous, expliquer (qualitativement) la raison de cette perte dans une fibre optique à saut d'indice.

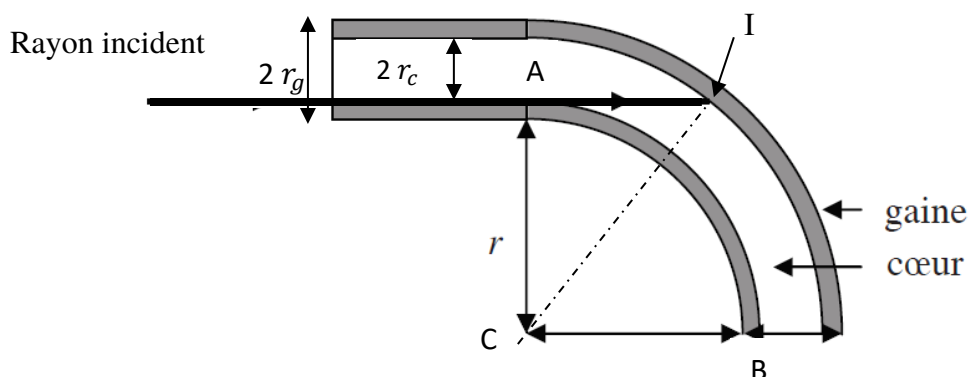


Figure 5 - Perte de courbure dans la fibre optique à saut d'indice

Q7. On rappelle que r_c est le rayon du cœur de la fibre et r_g celui de la gaine extérieure comme indiqué figure 5. En considérant un rayon pénétrant dans la fibre, perpendiculairement à sa section, à la limite du bord inférieur comme sur la figure 5, donner en fonction de n_c , n_g , r_c et r_g , l'expression du rayon de courbure r_l à partir duquel la perte de courbure apparaîtra. On simplifiera l'expression grâce à l'approximation : $r_c - r_g \approx 0$. Calculer ce rayon en considérant que $r_c + r_g = 1 \text{ mm}$, $n_c = 1,500$ et $n_g = 1,485$. Conclure.

B - Pertes liées au raccordement :

Pour assurer les transmissions à grande distance, il faut raccorder de nombreuses fibres optiques. La difficulté pour abouter deux fibres réside dans les dimensions en jeu : le cœur d'une fibre optique unimodale est de l'ordre de 9 microns... Cependant, la liaison entre fibres optiques doit être particulièrement soignée sinon il peut y avoir une perte de puissance du signal.

Q8. D'après vos connaissances personnelles, définir et illustrer par trois schémas simples, chacun des trois problèmes rencontrés lors de la jonction entre deux fibres de même diamètre de cœur et de gaine : Défaut de concentricité, défaut d'écartement longitudinal et défaut de désalignement angulaire.

Q9. Les fibres optiques multimodales OM1, aussi appelées 62,5/125, ont un cœur de diamètre de 62,5 microns et une gaine de diamètre extérieur de 125 microns. Peuvent-elles être aboutées à des fibres optiques multimodales OM2, aussi appelées 50/125, dont le cœur a un diamètre de 50 microns et la gaine un diamètre extérieur de 125 microns ? Discuter selon le sens de propagation de la lumière dans les fibres.

PROBLEME 2 : Etude d'un système autofocus d'appareil photographique numérique :

(≈ 54 pts)

I) Présentation :

Nous nous intéressons dans ce sujet à l'étude de différentes méthodes permettant de réaliser l'autofocus sur les appareils photos numériques. L'autofocus consiste à régler de manière automatique la netteté de l'image avant d'effectuer la prise de vue.

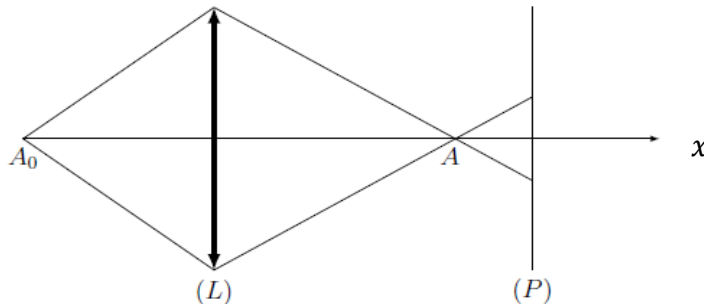
II) Modélisation : principe de la méthode de l'autofocus :

Un appareil photo est modélisé par une lentille mince convergente (L), l'objectif, de focale $f_0' = 10$ cm et un plan récepteur (P) placé orthogonalement à l'axe optique. Ce plan récepteur est de taille 20 mm × 30 mm et contient 6 méga pixels.

Lorsque le réglage de l'appareil est optimal, l'image de l'objet à photographier se trouve sur le plan (P). Sinon, il convient de modifier la position de ce plan.

Prenons l'exemple d'un objet réduit à un point objet A_0 qui donne un point image A . En cas de défaut de réglage, on a la situation décrite sur la figure 1 ci-dessous.

Figure 1 : Défaut de réglage.



Sur (P) se forme alors une tache à la différence d'un point.

Il faut donc déplacer le plan (P) d'une certaine distance pour obtenir une image nette. Pour cela, la méthode la plus rapide consiste à calculer cette distance à partir de la différence d'ordonnées des points inférieurs et supérieurs de la tache.

Il y a cependant une difficulté du fait que l'on obtient la même tache que (P) soit placé devant ou derrière l'image.

Nous allons étudier un dispositif astucieux qui permet de calculer algébriquement le déplacement à opérer partant d'un défaut de réglage.

II.1) Mise au point :

Dans cette partie on attend, pour chaque question, **une expression littérale, puis une valeur numérique.**

On souhaite photographier un objet de hauteur $h = 10$ cm, transverse à l'axe de l'objectif et situé à une position $x_0 = -5$ m, l'origine étant prise au centre de la lentille (L). L'axe optique est orienté de la gauche vers la droite.

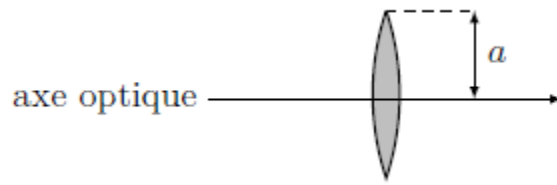
Q1. A quelle distance d' du centre de la lentille (L) faut-il placer (P) pour avoir une image nette (ceci définit le plan P_0) ? **On ne fait aucune approximation dans ce calcul.** On donnera l'expression littérale de d' en fonction de x_0 et f_0' . Puis exprimer la taille h' de l'image en fonction de d' , $|x_0|$ et h . Faire les applications numériques.

On se place dans le cas où l'objet précédent se ramène à un point situé sur l'axe toujours à la position $x_0 = -5$ m. (P) est placé à une distance $\delta = +0,5$ cm derrière P_0 . La lentille a un rayon $a = 5$ cm (figure 2). On observe alors une tache lumineuse sur (P).

Q2. Faire un schéma et tracer les rayons qui parviennent à l'extrémité de cette tache. Déterminer l'expression du rayon a' de la tache lumineuse formée sur (P) en fonction de a , δ et d' . Faire l'application numérique de a' .

NB : Le rayon de la lentille a est défini par la hauteur de lentille par rapport à l'axe optique (figure 2).

Figure 2 : Illustration de la lentille.



Q3. Après avoir déterminé la taille d'un pixel, supposé carré de côté C , donner un critère sur a' , puis sur δ pour que l'image transmise par le capteur soit nette. On donnera l'expression de a' sous forme d'une inégalité en fonction de C et l'expression de δ sous forme d'une inégalité en fonction de a' , d' et C . Faire les applications numériques.

II.2) Principe simplifié de l'autofocus :

Dans un souci de simplification on considère un objet réduit à un point objet situé sur l'axe de la lentille (L) qui donne un point image noté A .

Pour déterminer si A se trouve ou non sur (P), on utilise deux lentilles annexes (L_1) et (L_2), situées à une distance d_0 de (P), de focale f' et de rayon a auxquelles sont associées des capteurs plans (P_1) et (P_2) situés à une distance d de chaque lentille. (P_1) (**respectivement** (P_2)) **est conjugué de** (P) **par** (L_1) (**respectivement** (L_2)).

Attention : en réalité les deux lentilles sont désaxées par rapport à l'axe optique de (L), les rayons étant déviés par des miroirs. Ici, on considère simplement que tout se passe comme si (P) est transparent.

Le schéma est représenté figure 3 ci-dessous.

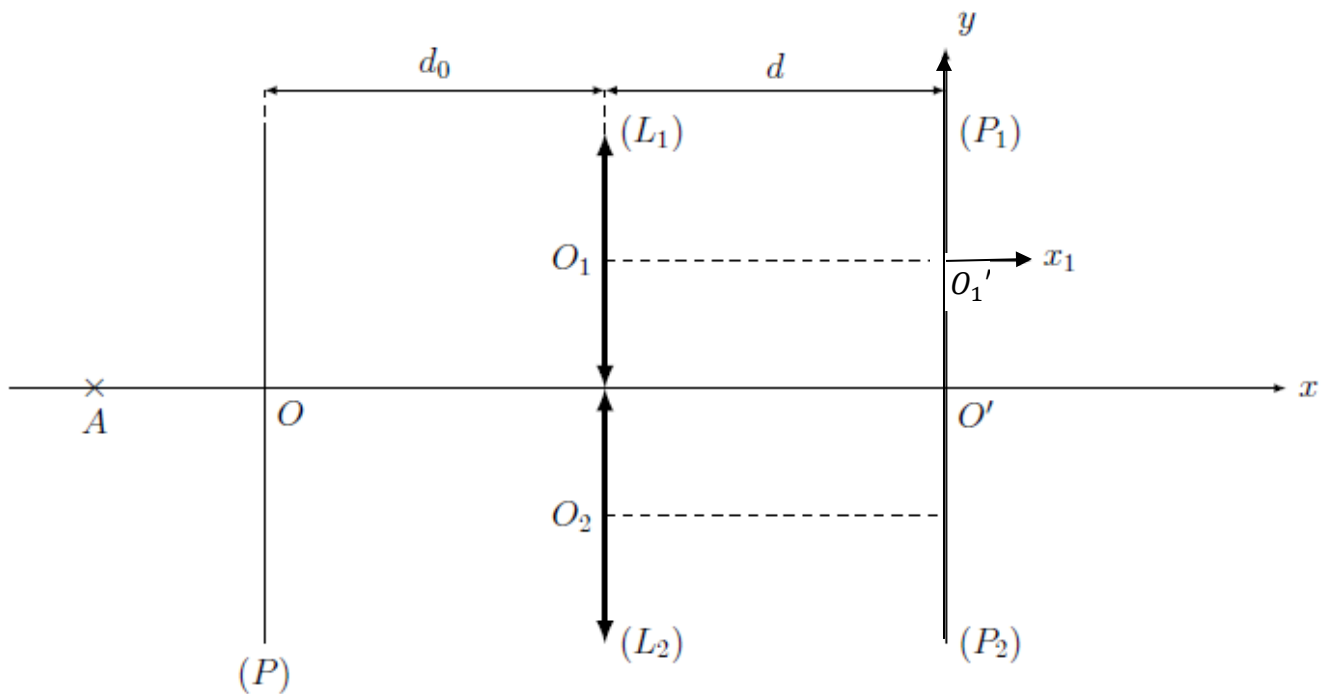


Figure 3 : Principe des lentilles de l'autofocus.

Q4. Dans cette question, afin de simplifier les calculs, on fait comme si les lentilles (L_1) et (L_2) étaient centrées sur l'axe (Ox). Exprimer alors d en fonction de d_0 et f' .

Q5. On reprend la « vraie » figure 3. On se place dans le cas où A est sur (P). On note A_1 son image par (L_1) sur (P_1).

Faire un schéma représentant A et A_1 , puis les rayons issus de A passant par les bords inférieurs et supérieurs de (L_1). En déduire la position du foyer image de (L_1), qui l'on notera F_1' .

Q6. On note y_1 l'ordonnée de A_1 par rapport à l'origine O' située sur l'axe (Ox) Montrer que y_1 peut se mettre sous la forme : $y_1 = a(1 + \frac{d}{d_0})$. (On pourra préalablement déterminer l'ordonnée par rapport à l'axe optique de la lentille (L_1), soit ($O_1'x_1$)).

En déduire l'expression de y_2 l'ordonnée de A_2 l'image de A par (L_2) en prenant également l'origine en O' .

Q7. Calculer $\Delta\Phi_0 = y_1 - y_2$ (appelé différence de phase, même si c'est une longueur) que l'on exprimera en fonction de d_0 , d et a .

On se place dans le cas où A est avant le plan (P) (cas de la figure 3) et on pose $\overline{OA} = p$ (mesure algébrique). On note à nouveau A_1 l'image de A par (L_1).

Q8. Construire A_1 sur le document réponse p 10, **à rendre avec vos copies.**

On note x_1 l'abscisse de A_1 mesurée sur l'axe (O_1x_1) que l'on ne cherchera pas à exprimer et qui sera donc considérée comme une donnée.

Déterminer son ordonnée y_1 **mesurée à partir de l'axe (Ox)** en fonction de a , x_1 , d_0 et p .

Q9. Sur le document réponse p 10, tracer les rayons issus de A passant par les extrémités des lentilles (L_1) et (L_2).

On obtient donc une tâche lumineuse sur les plans (P_1) et (P_2). On note y_s l'ordonnée du point supérieur de la tâche lumineuse sur (P_1) et y_i l'ordonnée du point inférieur de cette tâche, l'origine étant en O' sur l'axe (Ox).

Q10. Exprimer y_s en fonction de y_1 , x_1 et d , puis montrer que $y_i = 2a \left(1 - \frac{d}{x_1}\right) + \frac{d y_1}{x_1}$.

Le principe de la méthode est de mesurer ce qui est appelé « la différence de phase » définie par $\Delta\Phi = y_s - y_s'$ où y_s' est l'ordonnée du point supérieur de la tâche lumineuse sur (P_2). Ce qui revient à déterminer $\Delta\Phi = y_s + y_i$.

Q11. Pourquoi a-t-on $y_i = -y_s'$? Montrer que $\Delta\Phi = 2a + \frac{2ad}{d_0 - p}$.

Q12. Exprimer alors la différence de phase entre le cas où la mise au point n'est pas réalisée et celui où elle l'est. Soit $\Delta^2\Phi = \Delta\Phi - \Delta\Phi_0$. On donnera l'expression en fonction de a , d , d_0 et p .

Le principe de l'autofocus consiste donc à mesurer la différence de phase et d'en déduire p . Il suffit ensuite de déplacer la lentille (L) afin de faire coïncider A sur (P).

Le déplacement de la lentille se fait au moyen d'un moteur pas à pas.

Q13. On mesure $\Delta^2\Phi = 0,5$ cm. Donner la distance de laquelle on doit translater (P) pour obtenir une image nette. On précisera la direction (*non précisé par l'énoncé original : « et le sens » !*) de la translation.

On donne $d = 2f'$ et $d_0 = 2f'$ avec $f' = 10$ cm et $a = 3$ cm.

Précision : Pour un objet étendu orthogonal à l'axe, on peut montrer que la différence de phase due à chaque point source de l'objet est identique. Le principe de la méthode peut alors être généralisé.

NOM et Prénom :

Document réponse pour le problème 2, questions 8 et 9

