

Devoir surveillé n° 6

I Tous

Modélisation : principe de la méthode de l'auto-focus.

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 \times 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 décrit sur la figure 1.

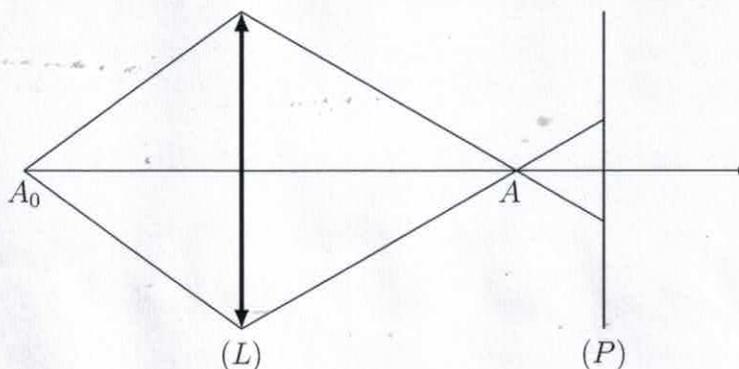


FIGURE 1 - Défaut de réglage

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.

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 $x_0 = -2$ m, l'origine étant prise au centre de la lentille (L). L'axe optique est orienté de la gauche vers la droite.

Q1. À quelle distance d' du centre de la lentille (L) faut-il placer (P) pour avoir une image nette (ceci définit le plan P_0) ? Donner la taille h' de l'image.

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

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

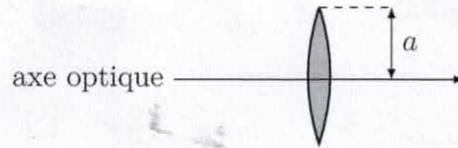


FIGURE 2 – Illustration de la lentille

Q3. Après avoir déterminé la taille d'un pixel, supposé carré, donner un critère sur a' , puis sur δ pour que l'image transmise par le capteur soit nette.

II.2 Principe simplifié de l'auto focus.

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) (resp (P_2)) est conjugué de (P) par (L_1) (resp (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.

Q4. Exprimer d en fonction de d_0 et f' .

Q5. On se place dans le cas où A est sur (P). On note A_1 son image par (L_1).

Faire un schéma représentant A , A_1 , F'_1 (le foyer image de (L_1)) et les rayons issus de A passant par les bords inférieurs et supérieurs de (L_1).

Q6. Déterminer l'ordonnée y_1 de A_1 en prenant l'origine O' située sur l'axe (Ox) (on pourra préalablement déterminer l'ordonnée par rapport à l'axe optique de la lentille (L_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' .

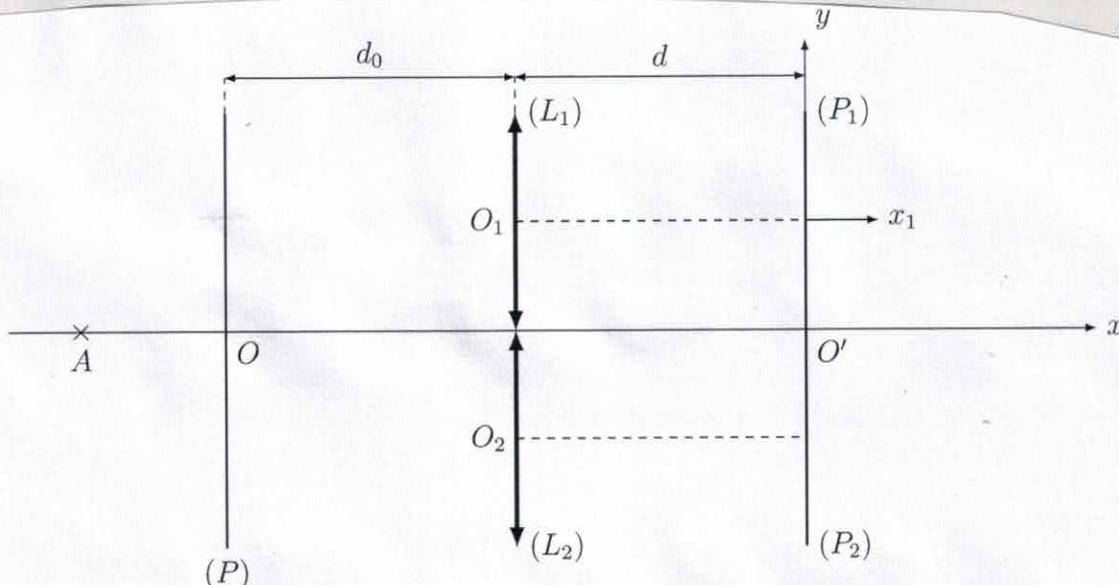


FIGURE 3 – Principe des lentilles de l'auto-focus

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.

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, tracer les rayons issus de A passant par les extrémités des lentilles (L_1) et (L_2).

On obtient donc une tâche lumineuse. 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 et montrer que $y_i = 2a \left(1 - \frac{d}{x_1}\right) + \frac{dy_1}{x_1}$.

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. Évaluer la différence de différence de phase entre le cas où la mise au point n'est pas réalisée et celui où elle l'est. Soit $\Delta^2\Phi = \Delta\Phi - \Delta\Phi_0$.

Le principe de l'auto focus 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 $\Delta^2\Phi = 0,66$ cm. Donner la distance de laquelle on doit translater (P) pour obtenir une image nette. On précisera la direction de la translation. On a $d = 2f'$ et $d_0 = 2f'$ avec $f' = 10$ cm et $a = 3$ cm.

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.

Problème II. D'après Mines Ponts 2014 PC

I.A L'expérience d'Ørsted (TOUS) → sauf I.B.2

Les phénomènes magnétiques sont connus depuis l'antiquité, Thalès de Millet (VI^e siècle avant J.C.) avait remarqué que certaines pierres, dites aimants naturels, sont capables d'exercer des actions sur certains objets métalliques ou entre-elles. Mais c'est au début du XVII^e siècle qu'un médecin anglais, Gilbert, s'est livré à une étude détaillée des aimants. Fin 1820, Ørsted fait un cours à l'Université de Copenhague portant sur le dégagement de chaleur dans un fil joignant les deux bornes d'une pile de Volta. Un de ses élèves lui fait remarquer qu'une aiguille aimantée, placée par hasard sous le fil, pivote lorsque le courant circule. L'aiguille dévie et cesse d'indiquer le nord ! La liaison entre l'électricité et le magnétisme est établie. Ensuite, des physiciens comme Arago, Ampère, Biot et Savart vont formaliser les phénomènes magnétiques provoqués par des courants.

On rappelle les valeurs de la perméabilité magnétique du vide $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$, de la charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, et de la célérité de la lumière dans le vide $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Toute cette partie sera traitée dans le cadre de la magnétostatique.

- 1 Énoncer le théorème d'Ampère en définissant chacune des grandeurs qui interviennent dans son énoncé.
- 2 On considère un fil rectiligne infini dirigé selon un axe Oz parcouru par un courant d'intensité I positif dans le sens des z croissants et un point M dont la distance minimale au fil est notée ρ . Déterminer soigneusement l'expression du champ magnétostatique $\vec{B}_\infty(M)$ créé par le fil en M (l'indice ∞ est là pour signaler qu'on considère un fil infini).

- 3 On considère à présent un segment de fil rectiligne de longueur L dirigé selon un axe Oz parcouru par un courant I positif dans le sens des z croissants et un point M de son plan médiateur (cf. figure 1).

On peut calculer le champ magnétique créé en M en utilisant la loi de Biot et Savart (hors-programme). On propose les deux expressions suivantes en coordonnées cylindriques d'axe Oz (le vecteur \vec{e}_θ est perpendiculaire au plan de la figure et « rentre » dans la feuille), dont l'une des deux est correcte :

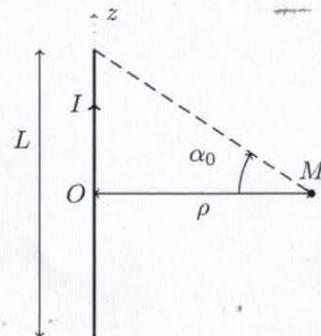


FIGURE 1 – Fil de longueur L

$$\vec{B}_L(M) = \frac{\mu_0 I}{4\pi \rho^2} \cos \alpha_0 \vec{e}_\theta \text{ (a) ou } \vec{B}_L(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi \rho} \sin \alpha_0 \vec{e}_\theta \text{ (b)}$$

dans laquelle α_0 est l'angle sous lequel la moitié du fil est vue depuis le point M .

Quelle est la bonne expression de $\vec{B}_L(M)$ (justifier) ?

Réécrire $\vec{B}_L(M)$ en fonction de $\vec{B}_\infty(M)$ et d'une fonction f de la variable $\xi = \frac{L}{\rho}$.

Quelle est la valeur prise par cette fonction pour $\xi = 1$ puis $\xi = 20$. Dans la suite du problème on supposera être dans le cas $20 \ll \xi$, que peut-on en conclure ?

- 4 Soit une boucle plane \mathcal{C} , de surface S , parcourue par un courant d'intensité I . Quelle est l'expression du moment magnétique $\vec{\mu}_c$ associé à cette boucle ? Quelle est l'unité de ce moment ? Quelle est la résultante des forces subies par cette boucle lorsqu'elle est plongée dans un champ magnétique uniforme ? Quelle est l'expression du moment résultant des forces subies par cette boucle ?

Considérons un fil « infini » parcouru par un courant d'intensité I placé (suivant Oz) dans un plan horizontal xOz . À une distance y de ce fil, on place le point de pivot d'une boussole de longueur Λ . Cette dernière est astreinte à des mouvements de rotation, caractérisés par l'angle φ dans le plan \mathcal{P} parallèle à xOz .

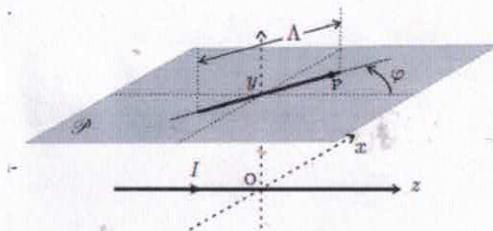


FIGURE 2 – Fil et boussole

Un calcul lourd (initialement dans l'énoncé original) permet d'établir que la composante Γ_y selon Oy du couple total $\vec{\Gamma}$ s'exerçant sur l'aiguille de la boussole est donné par :

$$\Gamma_y = \mu \times \left(\vec{B}_\infty(y) \cdot \vec{e}_x \right) \times \gamma$$

avec $\gamma = \frac{\arctan \delta}{\delta}$ relation dans laquelle $\delta = \frac{\Lambda}{2y} \sin \varphi$.

- 5 L'aiguille aimantée est placée dans le champ magnétique terrestre (supposé uniforme) $\vec{B}_t = B_t \vec{e}_z$ avec $B_t > 0$ et dans celui créé par le fil infini étudié ci-dessus. Le moment d'inertie de l'aiguille par rapport à l'axe Oy est noté J_y . Établir l'équation différentielle qui régit le mouvement de l'aiguille. On néglige l'effet des frottements et on rappelle que la liaison impose toujours à l'aiguille de rester dans le plan \mathcal{P} .
- 6 Lorsque $I \neq 0$, montrer que la position d'équilibre de l'aiguille correspond à un angle φ_e tel que $\frac{\tan \varphi_e}{\gamma(\delta)} = -\frac{I}{I_t}$ où l'on exprimera I_t , en fonction de μ_0 , y et B_t . Que représente I_t ? On considère que la composante horizontale du champ magnétique terrestre vaut $B_t = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Le fil est aligné sur l'axe nord-sud terrestre ainsi $\vec{B}_t = B_t \vec{e}_z$; la longueur de l'aiguille est $\Lambda = 5,0 \text{ cm}$ et elle est située à $y = 1,2 \text{ cm}$ du fil. Quel est l'ordre de grandeur de l'intensité qui doit circuler dans le fil, si on souhaite que la déviation de l'aiguille atteigne au moins 80° . Que pensez vous de cette valeur ?

I.B Étude d'un dispositif de lévitation magnétique

On s'intéresse dans cette partie à un dispositif un peu particulier, constitué d'un système producteur d'un champ magnétique \vec{B}_c , en l'occurrence une couronne torique à section rectangulaire aimantée incluse dans une base en plastique, et d'un petit globe terrestre en lévitation au-dessus de cette base. Ce globe est en fait une sphère en plastique creuse contenant un élément aimanté ayant la forme d'un disque parallèle au plan équatorial et situé à une distance d sous ce dernier. Un dispositif électromagnétique de positionnement et de stabilisation est aussi inclus dans la base. L'ensemble du système est représenté sur la figure 3.

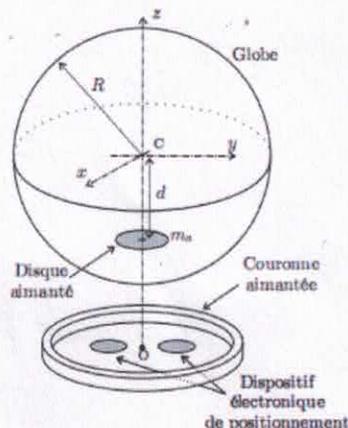


FIGURE 3 – Vue du dispositif

I.B.1 Champ magnétique créé par la couronne circulaire

On se propose de modéliser le champ magnétique \vec{B}_c créé par une couronne aimantée circulaire de rayon ρ_c .

On admet qu'un dipôle magnétique situé en P , de moment magnétique $\vec{\mu} = \mu \vec{e}_z$, crée en un point M , tel que $r = \|\vec{PM}\|$, un champ magnétique

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \left(\frac{3\vec{\mu} \cdot \vec{r}}{r^2} \vec{r} - \vec{\mu} \right)$$

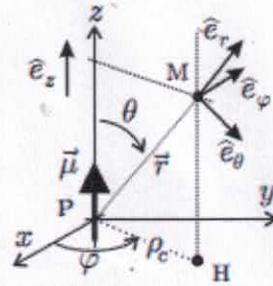


FIGURE 4 – Géométrie du dipôle

- 7 Exprimer dans la base locale sphérique $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\varphi)$, les composantes de ce champ magnétique au point M représenté sur la figure 4.

Justifier le fait que le problème soit invariant par rotation autour de Oz .

Montrer que l'on peut exprimer la composante de \vec{B} sur \vec{e}_z en fonction des variables z et $\rho_c = \|\vec{PH}\|$: sous la forme

$$B_z(\rho_c, z) = B_0 \Psi(\eta) \text{ avec } B_0 = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi \rho_c^3} \text{ et } \Psi(\eta) = \frac{2\eta - 1}{(\eta + 1)^{5/2}} \text{ avec } \eta = \left(\frac{z}{\rho_c} \right)^\alpha$$

dans laquelle on précisera la valeur de l'entier α .

- 8 Pour une valeur fixée de ρ_c , tracer l'allure de $B_z(\rho_c, z)$ en fonction de z .

On considère une couronne circulaire aimantée de largeur e et de hauteur ε ; on suppose qu'à la fois e et ε sont très faibles devant la taille caractéristique de la couronne (voir figure 5). Cette couronne est donc assimilée à un fil circulaire infiniment fin, de rayon ρ_c et dont l'aimantation est supposée uniforme : le moment magnétique $d\vec{\mu} = \mu_\ell dl \vec{e}_z$ d'un élément de longueur dl de cette couronne est constant tout comme le module de son aimantation linéique μ_ℓ .

- 9 Déterminer l'amplitude $B_{cz}(z)$ du champ magnétique axial créé par la couronne en un point M situé sur l'axe Oz à la cote z .

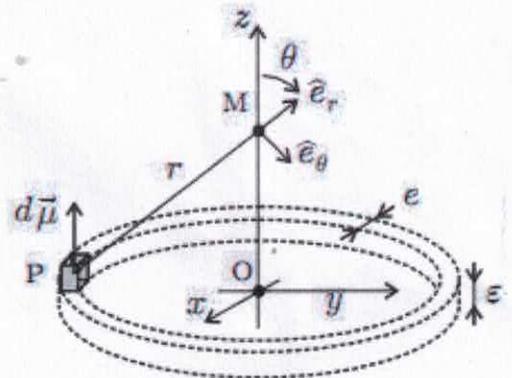


FIGURE 5 – Couronne circulaire aimantée

- 10 Calculer le champ magnétique créé en $z = 5,5$ cm par la couronne de rayon $\rho_c = 4,5$ cm et possédant un moment magnétique $\mu = 2\pi\rho_c\mu_\ell = 30$ SI.

I.B.2 Étude de la position du globe selon l'axe Oz (NP* seulement)

Dans toute la partie I.B.2, le globe est astreint à se déplacer selon l'axe Oz . À l'intérieur du globe se trouve un petit disque aimanté (représenté sur la figure 3) de moment magnétique $\vec{\mu}_g = \mu_g \vec{e}_z$ que l'on considère ponctuel. On supposera que $\mu_g > 0$. L'intensité $B_{cz}(z)$ de la composante selon Oz du champ magnétique créé par la couronne au niveau de la cote z sur cet axe a été calculée dans la partie I.B.1.

- 11 Déterminer l'expression de l'énergie potentielle magnétique $E_{p,m}$, du petit disque dans le champ créé par la couronne. On note m_t , la masse totale du globe et g l'accélération de la pesanteur, déterminer l'expression de l'énergie potentielle totale du globe E_p en fonction

de z , $B_{cz}(z)$, μ_g , m_ℓ , et g . Représenter sur un schéma l'allure de E_p en fonction de la cote z , en déduire qu'il existe une cote z_e correspondant à un équilibre stable pour le globe.

- 12 Le globe étant en équilibre stable sur l'axe Oz , l'effet des frottements étant négligé, on l'écarte légèrement de cette position. Montrer que le globe entre dans un régime de mouvement périodique dont on précisera l'expression de la période en fonction de μ_g , m_ℓ et de la quantité $\kappa = - \left. \frac{\partial^2 B_{cz}}{\partial z^2} \right|_{z=z_e}$

Une loi locale du magnétisme que nous n'avons pas encore vue permet de justifier que la quantité suivante est nulle :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial B_{cz}}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 B_{cz}}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 B_{cz}}{\partial z^2} = 0$$

- 13 Simplifier cette expression.
- 14 Dans les questions précédentes on a vu que la composante axiale du champ magnétique B_{cz} créé par la couronne présente un maximum pour une cote $z = z_e$. À cette cote, mais au voisinage de l'axe, la composante $B_{cz}(\rho, \varphi, z)$ peut-elle présenter un maximum selon ρ ? La position d'équilibre axiale z_e constitue-t-elle aussi une position d'équilibre radiale?

FIN II.

Suite de III qui commence page suivante

~~D.2.2~~ *quelques supprimés*

D.2.1.3 Tracer l'allure de la courbe E/E_0 en fonction de φ .

D.2.2 A partir du montage à trois fentes, on ajoute devant la fente centrale F_0 et parallèlement au plan des fentes, une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur e et d'indice $n=1,5$.

e étant très faible, on considérera que le rayon lumineux qui traverse la lame, parcourt une distance e dans le verre, sans être dévié.

D.2.2.1 Montrer que si l'épaisseur de la lame est telle qu'elle induit un retard de phase de $\pi/2$ pour le rayon central, on retrouve une alternance régulière de franges brillantes et de franges sombres (pas nécessairement noires), contrairement à la question précédente.

D.2.2.2 Si on veut contrôler par cette méthode que la lame a bien l'épaisseur souhaitée $e=0,3 \mu\text{m}$, quelle valeur faut-il choisir pour λ ?

D.2.2.3 Si on veut mesurer l'épaisseur e , on peut déplacer l'écran d'une distance $x = \overline{OO'}$, de façon à retrouver la même figure d'interférences que celle qu'on avait en l'absence de lame. Le plan des fentes F_1, F_2, F_3 est le plan focal objet de la lentille.

Le point O' de la figure 16 est tel que les trois rayons issus des trois fentes sont à nouveau en phase (comme en O sans la lame).

Exprimer x en fonction de n , e et de l'angle $\alpha \approx \frac{a}{f'}$.

On donne $a=0,1 \text{ mm}$, $f'=10 \text{ cm}$ et $n=1,5$ et on mesure à l'aide d'un microscope viseur : $x = -1 \text{ cm}$.

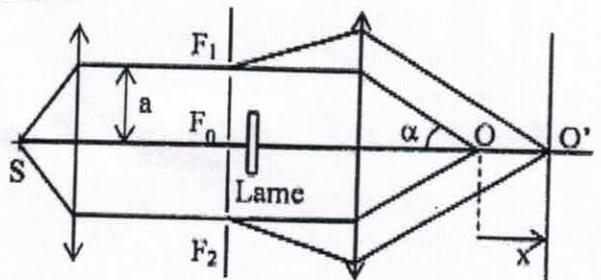


Figure 16

Sachant que $\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2 / 2$, en déduire l'ordre de grandeur de l'épaisseur e .

D.2.3 A quel âge Monsieur Zernike a-t-il obtenu son prix Nobel ?

(Tous)

PARTIE D : MESURE D'ÉPAISSEUR PAR INTERFEROMETRIE

Frits Zernike, qui a obtenu le prix Nobel en 1953 pour son microscope à contraste de phase, a dans un premier temps utilisé un montage interférentiel à trois fentes, pour contrôler ou mesurer l'épaisseur d'une fine lame transparente à faces parallèles.



Frits Zernike
(1888-1966)

Dans cette partie, on suppose tous les rayons lumineux très peu inclinés par rapport à l'axe horizontal.

D.1 Système interférentiel à deux fentes

On considère d'abord un système de deux fentes F_1 et F_2 très fines perpendiculaires au plan de la figure 15. Elles sont distantes de $2a$ et de grande longueur. L'ensemble est éclairé par une source S ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde λ , placée au foyer objet d'une lentille convergente. L'observation de la figure d'interférences se fait sur un écran placé dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale image f' .

On s'intéresse aux ondes reçues au point M d'ordonnée z sur l'écran et on suppose z et a très petits devant f' : $x, a \ll f'$.

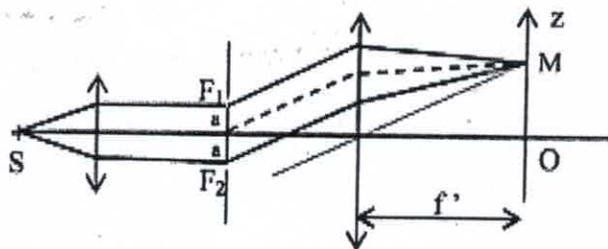


Figure 15

On adopte le modèle scalaire de la lumière et on note s_0 l'amplitude associée au rayon fictif (en pointillés sur la figure) provenant du milieu des deux fentes. Les amplitudes complexes des deux rayons issus de F_1 et F_2 et déphasés d'un angle 2φ sont alors : $\underline{s}_1 = s_0 e^{+j\varphi}$ et $\underline{s}_2 = s_0 e^{-j\varphi}$.

On note Γ_0 l'éclairement (ou intensité lumineuse) émis par chacune des deux fentes. s_0 est une constante liée à l'intensité de la source.

D.1.1 Après avoir cité le théorème utile, exprimer φ en fonction de a , f' , λ et z .

Établir l'expression de E !
D.1.2 Exprimer l'éclairement E résultant de l'interférence des deux ondes en fonction de E_0 et φ . Tracer l'allure de la courbe E en fonction de φ .

D.2 Système interférentiel à trois fentes

On ajoute une troisième fente F_0 au milieu des deux autres et identique à celles-ci.

D.2.1.1 Montrer que le nouvel éclairement peut se mettre sous la forme : $E = E_0 (1 + 2 \cos(\varphi))^2$.

A) Diagramme de prédominance

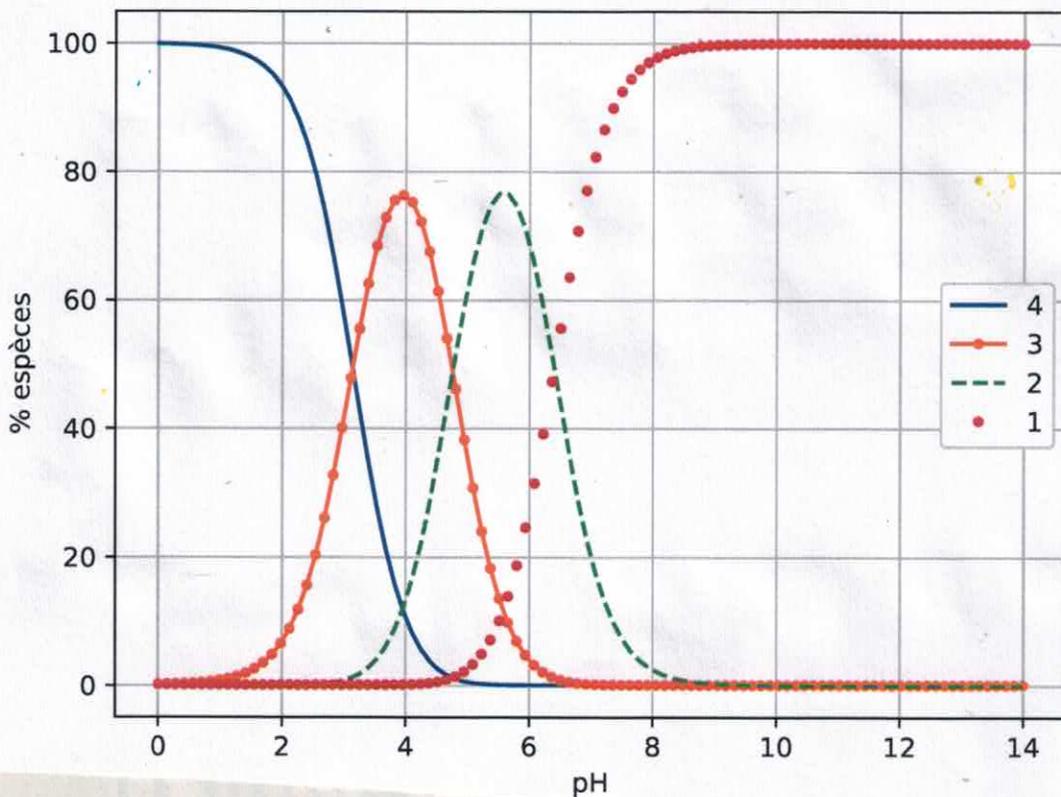
L'acide malonique, ou acide propanedioïque, de formule $\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$, est un diacide caractérisé par les constantes $\text{p}K_{A1} = 2,85$ et $\text{p}K_{A2} = 5,80$. Il sera noté H_2A par la suite.

- 1) Écrire les équations-bilans des réactions de H_2A et HA^- avec l'eau ; en déduire l'expression de K_{A1} et K_{A2} , puis le diagramme de prédominance des espèces.
- 2) Déterminer numériquement le rapport $x = \frac{[\text{HA}^-]}{[\text{H}_2\text{A}]}$, pour $\text{pH} = 1,50 ; 2,00 ; 2,85 ; 3,50$ et $5,00$. Conclure.
- 3) Déterminer numériquement le rapport $y = \frac{[\text{A}^{2-}]}{[\text{HA}^-]}$, pour $\text{pH} = 3,5 ; 5,00 ; 5,80 ; 6,5$ et $8,00$. Conclure.
- 4) Déduire de 2) et 3) la composition d'une solution dont le pH est égal à $3,50$.

B) Diagramme de distribution de l'acide citrique

L'acide citrique de formule $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ est un triacide noté H_3A . Le document ci-après donne son diagramme de distribution en fonction du pH . Les courbes tracées représentent le pourcentage de chacune des espèces contenant « A » lorsque le pH varie.

- 1) Identifier chacune des courbes.
- 2) En déduire les constantes $\text{p}K_{Ai}$ et K_{Ai} relatives aux trois couples mis en jeu.
- 3) 250,0 mL de solution ont été préparés en dissolvant 1,05 g d'acide citrique monohydraté $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
 - a) Calculer la concentration c de la solution.
 - b) Déterminer, à partir de c et du diagramme de distribution, la composition du mélange à $\text{pH} = 5,50$ en supposant qu'il n'y a pas eu de dilution.



Document réponse partie modélisation, questions 8 et 9

