4357

28632
repère à reporter sur la copie

SESSION DE 2003

concours externe de recrutement de professeurs agrégés

section : sciences physiques

option : chimie

composition de physique

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.

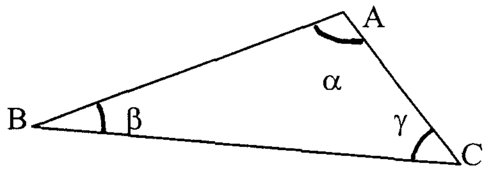
Tournez la page S.V.P.

*Le problème s'intéresse à l'**optique** à travers quelques notions nécessaires à la compréhension du microscope.*

Formulaire et rappels pour ce problème où les vecteurs seront notés en gras :

Dans un triangle scalène ABC d'angles aux sommets respectivement α (au sommet A), β (au sommet B) et γ (au sommet C), et de cotés AB = c, BC = a, et CA = b, on peut écrire :

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$$



Soit une onde électromagnétique plane de pulsation ω, de vecteur d'onde $\mathbf{k} = k\,\mathbf{u}_z$ de vecteur champ électrique $\mathbf{E} = E_0 \cos(\omega t - kz)\,\mathbf{u}_x$, polarisée suivant Ox et se propageant suivant Oz ; en notation complexe, on conviendra d'écrire $\underline{\mathbf{E}} = E_0 \exp j(\omega t - kz)\,\mathbf{u}_x$, avec $j^2 = -1$.

Problème

Partie A: Eléments de microscopie.

A 1 Le cadre de l'optique géométrique

A 1 a)
Donner un ordre de grandeur des fréquences de l'optique visible.
Donner de même, un ordre de grandeur en électron-volt (eV), de l'énergie des photons associés.
Donner une estimation de la longueur d'onde dans le vide d'une source monochromatique bleue.

A 1 b)
Qu'est-ce qu'une fibre optique ?
Citer un matériau essentiel d'une fibre optique.

A 1 c)
Définir l'approximation de l'optique géométrique.
Définir l'indice de réfraction n d'un milieu homogène, transparent et isotrope.
Donner l'ordre de grandeur de l'indice n pour l'eau dans les conditions ordinaires.
Donner la valeur numérique de (n-1) pour l'air dans les conditions normales.
Définir le chemin optique .

A 1 d) Stigmatisme.

Définir très précisément les mots ou expressions suivantes :

stigmatisme rigoureux d'un système optique ;
condition de stigmatisme en terme de chemin optique ;
stigmatisme approché d'un système optique ;
conditions de Gauss ;
objet réel, objet virtuel ; image réelle, image virtuelle.

A 2 Dioptre sphérique : couple de points stigmatiques.

Un dioptre sphérique est constitué de deux milieux différents, transparents, homogènes et isotropes, d'indice n et n', et séparés par une portion de surface sphérique de centre C. S est le sommet. SC est l'axe optique. Voir figure 1.

A 2 a)

Quels sont respectivement les points conjugués de S et de C ? Y a-t-il stigmatisme rigoureux ou approché pour ces couples de points ?

A 2 b)

Soit le point A sur l'axe optique et un rayon AI, I appartenant à la surface sphérique. IA' est le rayon conjugué (A' appartient à l'axe optique). Les angles d'incidence (du rayon AI) et d'émergence (du rayon IA') sont notés respectivement i et i'.

Définir ces angles.

Quel est dans le cas de la figure 1, l'indice (n ou n') le plus élevé ?

En utilisant les lois de Descartes-Snell et la relation des sinus dans un triangle, montrer que la quantité $\frac{n\,CA}{IA}$ est un invariant dans la traversée du dioptre, c'est-à dire que $\frac{n\,CA}{IA} = \frac{n'\,CA'}{IA'}$.

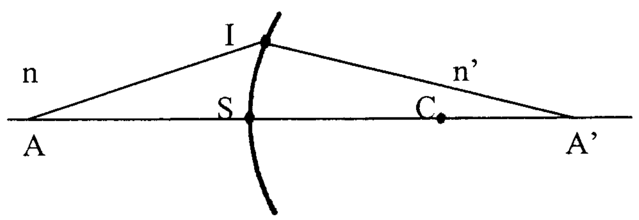


Figure 1

A 2 c)

Soit un couple AA' particulier, noté WW'(figure 2), tel que $\frac{SW}{SW'} = \frac{n'}{n}$. Le point objet W est réel et n'< n.

Quelle est la nature (réelle ou virtuelle) du point W' ? Justifier.

Calculer $\frac{CW}{CW'}$ et montrer que le chemin optique entre W et W' est nul.

En déduire que tous les rayons issus de W passent par W' et conclure sur le stigmatisme du dioptre pour ces points.

Tournez la page S.V.P.

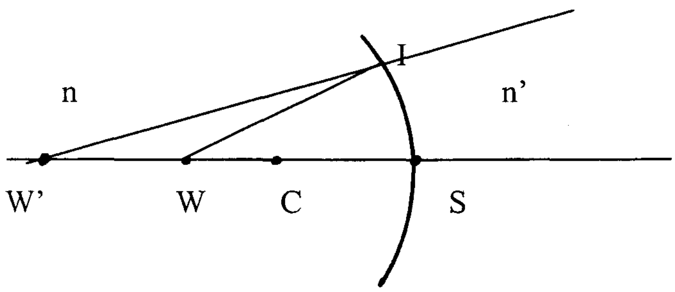


Figure 2

Les points W et W' sont appelés points de Weierstrass-Young du dioptre sphérique.

A 3 Lentilles.

Soit une lentille mince, convergente, L, appelée objectif, utilisée dans l'air et dans les conditions de Gauss ; F et F' sont ses foyers respectivement objet et image ; le sens conventionnel de la lumière est de gauche à droite ; AB est un objet plan, perpendiculaire à l'axe optique de L, dont le pied A sur l'axe est proche et à gauche de F.

A 3 a)
Définir et représenter conventionnellement une lentille mince ; quelle propriété remarquable possède le centre optique S d'une lentille mince ? Où est-il situé ?
A l'aide d'une construction simple utilisant les foyers établir *les* relations de conjugaison avec origines aux foyers (formules de Newton).
Donner sans démonstration *les* formules de conjugaison pour une lentille mince avec origine au sommet (formules de Descartes).

A 3 b)
Construire l'image A'B' de AB. (A'B' est appelée l'image intermédiaire).
Déterminer numériquement sa position (soit SA'), et sa taille (par le grandissement γ), en utilisant des formules de conjugaison au choix.
Qualifier l'image : réelle ou virtuelle, droite ou renversée, plus grande ou plus petite que l'objet.
On donne f' = SF' = 3 mm ; AF = 0,1 mm.

A 3 c)
Déterminer l'ensemble des positions d'un objet réel qui correspondent à une image réelle.

A 3 d)
Une seconde lentille L', convergente, mince, appelée oculaire, est placée à droite de L.
Où faut-il la placer pour que l'image définitive A''B'' de AB à travers L et L' soit rejetée à l'infini ?
Construire cette image définitive A''B'' à travers L et L'.

A 3 e) Microscope simplifié.
Pourquoi le système précédent constitue-t-il un microscope élémentaire ?
Quelle doit être la place de l'œil qui observe à travers le microscope ?
Pourquoi en pratique place-t-on l'œil très près de l'oculaire ?

A 4 Objectif de microscope à points stigmatiques.

L'objectif à immersion d'un microscope est constitué de plusieurs lentilles. La première, d'indice n, baigne par sa face d'entrée dans un liquide de même indice n = 1,5. Cet ensemble est modélisé par un dioptre sphérique D de rayon géométrique R = 3 cm , limité par une demi-sphère de sommet S, de centre C et séparant 2 milieux transparents, homogènes et isotropes, d'indice n = 1,5 (milieu objet) et n' = 1 (milieu image) pour la radiation de longueur d'onde 560 nm.

A 4 a)
Les points de Weierstrass-Young objet et image (voir figure 2), sont notés respectivement W_1 et W_2.
Etablir les expressions de CW_1 et CW_2 en fonction de R, n, et n'. Faire l'application numérique.
Placer sur une figure à l'échelle, les points stigmatiques du dioptre C, S, W_1 et W_2.
Construire l'image W_2B_2 d'un objet plan W_1B_1 perpendiculaire à l'axe optique.
Calculer le grandissement pour les points de Weierstrass-Young.
Calculer le grandissement au centre du dioptre dans les conditions de Gauss.

A 4 b)
Un rayon issu de W_1 fait un angle θ quelconque avec l'axe optique, et traverse le dioptre. Le rayon émergent du dioptre fait avec l'axe un angle α_0.
Montrer que $n.\sin \alpha_0 = n'.\sin\theta$.

A 4 c)
Ce rayon traverse ensuite une lentille L (figure 3) ayant la forme d'un ménisque à bords minces, d'indice n = 1,5, de même axe optique que le dioptre précédent. La face d'entrée de sommet S_1 est centrée au point W_2 et son rayon est R_1 = 8 cm. L'épaisseur sur l'axe est 2cm et la face de sortie, de sommet S_2 , a un rayon R_2 de 6 cm.
Montrer par homothétie que l'image W'_2 de W_2 à travers la lentille est un point de Weierstrass-Young pour le dioptre de sortie de la lentille.
Calculer numériquement le segment $W_2'W_2$.
Faire un schéma à l'échelle avec les points S, C, W_1, W_2, S_1, S_2, et W'_2.

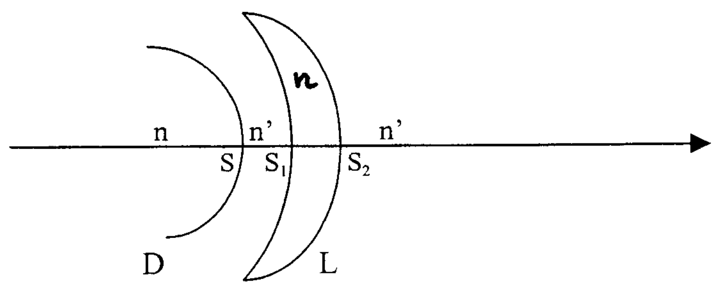


Figure 3

Tournez la page S.V.P.

A 4 d)
Calculer, en fonction de θ, n et n', la valeur de $\sin \alpha_1$, c'est-à dire le sinus de l'angle que fait avec l'axe , le rayon émergent par W'_2 et issu de W_1.

A 4 e)

Calculer en fonction de n et n', le grandissement $\frac{W'_2B'_2}{W_1B_1}$ pour un petit objet W_1B_1 dans les conditions de Gauss.

A 4 f)
La lentille L est suivie de (k-1) lentilles identiques à la première et coaxiales.
Ces lentilles sont placées comme la première, c'est-à-dire que le centre de courbure de la face d'entrée de la lentille j est le point de Weierstrass-Young image de la face de sortie de la lentille (j-1).
Le rayon émergent final doit faire avec l'axe un angle $\alpha_k < 17°$ (conditions de Gauss).
Calculer $\sin \alpha_k$ en fonction de k, n, n' et θ.
Déterminer la valeur de k nécessaire pour vérifier la condition imposée, en prenant pour θ, sa valeur maximale θ_0 à déterminer.

A 4 g)
Calculer littéralement et numériquement le grandissement définitif pour l'objet W_1B_1 à travers tout le système pour la valeur k = 2.
Conclure en précisant l' (ou les) avantage(s) de ce dispositif.

A 5 Réseau

Soit un réseau plan d'amplitude, de pas p, éclairé en faisceau parallèle sous l'angle d'incidence i par une source monochromatique de longueur d'onde λ, placé dans un milieu d'indice N et observé par transmission.

A 5 a)
Établir la relation du réseau, donnant l'angle d'émergence i' pour les maximums principaux du réseau. Préciser la convention d'orientation des angles.
Donner de même la relation du réseau pour un réseau observé par réflexion.
Définir l'ordre k d'un maximum principal de lumière.

A 5 b)
On appelle déviation D, l'angle que fait le rayon incident (d'incidence i) avec le rayon émergent (d'émergence i').
Calculer D en fonction de i et i' ; faire un schéma.
Montrer que pour un réseau donné, pour une longueur d'onde donnée et pour un ordre k donné, il existe une valeur i_m de i pour laquelle la déviation est minimale.

A 5 c)
Soit un réseau utilisé dans l'ordre 2, au minimum de déviation.
Calculer sin i_m en fonction du pas p du réseau, de N, et de la longueur d'onde λ.
Calculer également sin i_m en fonction de la déviation minimale Dm.
Expliquer précisément comment se fait la mesure de Dm.
Quel est l'intérêt d'utiliser un réseau au minimum de déviation ?

A 5 d)
Le faisceau parallèle émergent du réseau précédent utilisé dans l'ordre 2 au minimum de déviation est reçu sous incidence normale, sur une lentille mince convergente de distance focale image f'(f' = 50 cm). Un écran coïncide avec le plan focal image de cette lentille. L'indice du milieu est N = 1.
Déterminer la position sur l'écran de l'image des faisceaux émergents d'ordre 1 et 3 par rapport au foyer image de la lentille.

A 5 e)
Application numérique : le réseau a 500 traits par millimètre. La longueur d'onde est 546 nm.
Déterminer numériquement i_m et la position sur l'écran de l'image des faisceaux émergents d'ordre 1 et 3.

A 6 Importance de l'ouverture numérique d'un microscope.

Soit un microscope observant un point P d'un objet d'indice n_0, recouvert d'une lamelle d'indice n_v, placé sous l'objectif dans un liquide d'immersion d'indice N. Le rayon le plus incliné sur l'axe optique, et capable de ressortir de l'objectif est incliné respectivement de u_0, u_v, U. La quantité constante à la traversée de chaque dioptre : $n_0.\sin u_0 = n_v.\sin u_v = N.\sin U$ est l'ouverture numérique de l'objectif.

A 6 a)
En microscopie, l'objet, comme une photo tramée, peut être décomposé en un ensemble d'objets périodiques, de fréquence spatiale, de contraste et d'orientation différents. La limite de résolution est définie comme la plus petite période résolue par l'objectif.
En assimilant alors un objet de phase à un réseau éclairé sous incidence normale et diffractant dans les deux directions d'ordre 1 et -1, donner la relation entre N.sini', λ et p.

A 6 b)
L'angle i' restant inférieur ou égal à U, en déduire la limite de résolution en éclairage cohérent.
En pratique, la limite de résolution absolue en éclairage quelconque est prise égale à la moitié de la quantité précédente. Conclure.

Partie B : Polarisation de la lumière.

B 1 Modèle de l'onde plane monochromatique.

Soit une onde plane monochromatique, de pulsation ω, de longueur d'onde dans le vide λ_0, se propageant dans un milieu transparent, homogène et isotrope d'indice n, dans la direction Oz, et polarisée rectilignement parallèlement à Ox ; les axes Ox, Oy, Oz constituent un trièdre trirectangle direct. Les vecteurs unitaires des axes sont notés $\mathbf{u}_x$, $\mathbf{u}_y$, $\mathbf{u}_z$.

B 1 a)
Préciser ce qu'est une polarisation rectiligne ; la lumière solaire directe est-elle polarisée rectilignement ? est-elle polarisée ? Qu'est-ce qu'un Polaroïd ?

B 1 b)
Donner le module du vecteur d'onde en fonction de ω, c vitesse de la lumière dans le vide et n.
En utilisant les conventions données dans le formulaire, écrire le vecteur champ électrique **E** de l'onde en notation complexe, en fonction de la pulsation ω et de l'indice n du milieu ; l'amplitude du champ électrique sera notée E_0.
En déduire le vecteur champ magnétique **B.**

B 1 c)
L'onde de la question précédente traverse un polariseur rectiligne parfait.
Énoncer dans ce cas la loi de Malus, en notant α l'angle entre la direction du champ électrique et la direction que transmet le polariseur.
Qu'observe-t-on sur un écran placé derrière ce polariseur, si on fait tourner ce polariseur ?

B 2 Lames à retard.

B 2 a)
Soit une lame à faces parallèles, parfaitement transparente, d'épaisseur e, taillée dans un cristal uniaxe (d'axe parallèle à Oy), et dont les faces sont normales à Oz. Pour une onde plane monochromatique polarisée rectilignement dans la direction Ox la lame présente un indice n_0 (indice ordinaire) ; pour une onde plane monochromatique polarisée rectilignement dans la direction Oy la lame présente un indice n_e (indice extraordinaire) avec $n_e > n_0$. Ox est appelé axe rapide et Oy est l'axe lent. Le champ électrique est continu à la surface de la lame et on néglige toute réflexion aux interfaces.
L'onde plane de la question B 1 b) se propage, suivant l'axe z'O z, dans l'air, d'indice n = 1 et tombe sur la lame à l'abscisse z = 0.
Calculer, en notation complexe, le champ électrique de l'onde pour z > e, en fonction de E_0, ω, n_0, e, c, z et t.

B 2 b)
Une onde incidente de même amplitude, est cette fois polarisée suivant Oy ; exprimer de même le champ électrique de l'onde pour $z > e$, en fonction de E_0, ω, n_e, e, c, z et t.

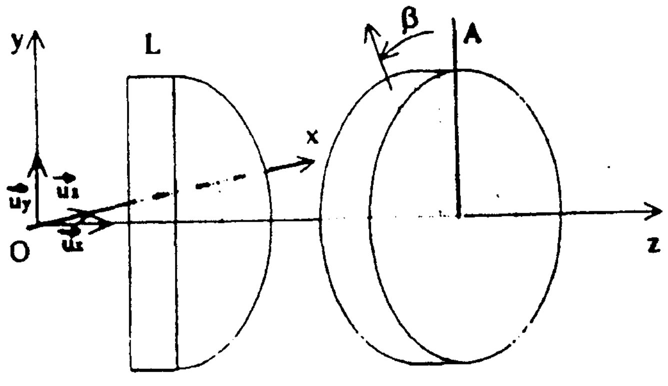
B 2 c)
L'onde incidente, toujours d'amplitude E_0 est polarisée rectilignement dans une direction faisant l'angle α avec Ox .
Calculer de même le champ électrique de l'onde pour $z > e$.
En déduire le déphasage $\phi = \phi_x - \phi_y$ entre les deux composantes suivant Ox et Oy du champ électrique en fonction de ω, n_e, n_0, e, et c.

B 2 d)
Si $\phi = \pi$ (à 2π près) la lame est dite demi-onde ; justifier.
Si $\phi = \pi/2$ (à π près) la lame est dite quart d'onde ; justifier.

B 2 e)
Décrire le changement d'état de polarisation pour l'onde incidente polarisée rectilignement dans une direction d'angle α avec Ox lorsqu'elle traverse une lame demi-onde.
Décrire le changement d'état de polarisation pour l'onde incidente polarisée rectilignement dans une direction d'angle α avec Ox lorsqu'elle traverse une lame quart d'onde et que $\alpha = \pi/4$.

B 3 Polarimètre de Laurent.

Dans le dispositif de Laurent, une onde plane monochromatique, de direction de propagation Oz, tombe sur un polariseur rectiligne A, jouant le rôle d'analyseur, supposé parfaitement transparent, ayant la forme d'un disque de rayon R, d'axe Oz, dont la direction de polarisation fait un angle β positif, faible mais non nul, avec l'axe Oy, parallèle au plan du disque (figure 4). Une partie de l'onde plane traverse aussi une lame demi-onde L placée *juste devant* l'analyseur ; cette lame a la forme d'un demi disque de rayon R, et d'axe Oz. Son axe optique est parallèle à l'axe Oy.
Ainsi l'onde plane traverse soit la lame demi-onde et l'analyseur, soit l'analyseur seulement. La lame demi-onde est parfaitement transparente. On néglige toute absorption dans l'air et toute réflexion aux interfaces.



Pour des raisons de clarté, la lame L a été dissociée de A (figure 4)

L'onde plane incidente est polarisée rectilignement dans la direction d'angle α avec l'axe Ox.

B 3 a)
Exprimer l'intensité I_1 du faisceau qui n'a traversé que l'analyseur en fonction de l'intensité I_0 du faisceau incident sur cette moitié de l'analyseur, de α et de β.

B 3 b)
Exprimer de même l'intensité I_2 du faisceau qui a traversé la lame demi-onde et l'analyseur.

B 3 c)
Les faisceaux d'intensité I_1 et I_2 tombent respectivement sur deux plages vues simultanément par l'observateur.
Déterminer les conditions sur α et β pour que les éclairements des deux plages soient égaux.

B 3 d)
Par construction l'angle β est fixé ; quelles sont les valeurs de α qui donnent égalité des éclairements ? Quels sont les éclairements correspondants ?
En déduire la valeur de α qui permet la plus grande sensibilité. Justifier le nom d'analyseur à pénombre donné à ce dispositif et conclure sur son intérêt.

Partie C : Interférences

C 1 Interférences en lumière non polarisée.

C 1 a)
Donner une définition du phénomène d'interférences lumineuses.

C 1 b)
Soit le dispositif des trous d'Young, T_1 et T_2, éclairés par une onde plane monochromatique, de direction de propagation Oz, perpendiculaire au plan xOy dans lequel on trouve les trous.
Ces trous ont donc des coordonnées (d/2,0,0) et (–d/2,0,0), d étant la distance entre les deux trous.
Faire un schéma du dispositif.
Placer un écran d'abscisse z = D, perpendiculaire à la direction de propagation.
Soit M un point de l'écran, de coordonnées (x, y D). Pourquoi est-il possible, au point M, de recevoir de la lumière issue des deux trous ?
Quelles relations d'inégalité forte doivent exister entre x, y, d et D pour que l'observation d'interférences soit possible sur l'écran ?
Quelle forme ont les franges d'interférences ?

C 1 c)
Etablir l'expression de l'intensité lumineuse I en M. On notera I_0 l'intensité maximale.
Définir et calculer littéralement l'interfrange i.

AN : D = 2 m ; d = 2 mm ; λ_0 = 546 nm ; calculer i ; commenter.

C 1 d)
L'observation des franges précédentes est en fait impossible avec des trous d'Young.
Pourquoi ?

C 1 e)
Les trous sont remplacés par des fentes très allongées, dans le plan z =0, dont le grand coté est parallèle à Oy.
Expliquer pourquoi seule la luminosité des franges change.

C 1 f)
Les franges précédentes sont-elles localisées ou non ? Justifier.

C 2 Miroir de Llyod.

Soit un miroir parfait, plan carré, perpendiculaire au plan de figure (figure 5), éclairé par une onde plane monochromatique sous une incidence de 45°.
Un écran plan est disposé perpendiculairement au miroir et au plan de figure.

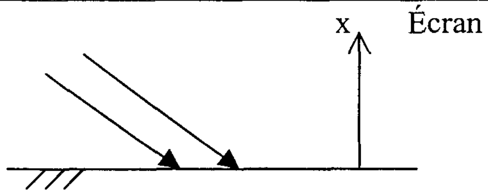


Figure 5

C 2 a)
La source est une source de lumière naturelle non polarisée.
Montrer que des interférences sont visibles sur l'écran. Préciser par un dessin les rayons qui interfèrent.
Sachant qu'une réflexion air/verre introduit un déphasage supplémentaire de π, calculer la différence de marche δ en un point M de l'écran.
Calculer l'intensité lumineuse en ce point ainsi que l'interfrange i.

C 2 b)
Application numérique : λ_0= 546 nm ; calculer l'interfrange. Commenter.

C 2 c)
Le faisceau incident est maintenant polarisé rectilignement perpendiculairement au plan d'incidence. Existe-t-il des interférences ? Pourquoi ?

Tournez la page S.V.P.

C 2 d)
Le faisceau incident est maintenant polarisé rectilignement dans le plan d'incidence. Existe-t-il des interférences ? Pourquoi ?

C 3 Expérience de type Fresnel et Arago

Le dispositif est un goniomètre constitué par un collimateur à fente verticale, réglé sur l'infini et éclairé par une lampe à vapeur de mercure munie d'un filtre (le filtre ne laisse passer que la radiation verte de longueur d'onde dans le vide 546 nm), et par une lunette également réglée sur l'infini.
L'appareil est tel que les axes de la lunette et du collimateur soient alignés suivant une même droite horizontale.
Entre collimateur et lunette, on dispose un écran opaque percé de deux fentes fines verticales allongées, de largeur a = 0,1 mm et distantes de d = 3 mm. Cet écran opaque E est placé normalement à l'axe commun de la lunette et du collimateur ; les centres des fentes sont sur une même horizontale et symétriques par rapport à l'axe du dispositif.

C 3 a)
Qu'est-ce qu'une lunette autocollimatrice ? En faire un schéma optique succinct.
Expliquer son réglage à l'infini.

C 3 b)
Qu'est-ce qu'un collimateur ? Expliquer le réglage à l'infini du collimateur.

C 3 c)
Exprimer l'intensité lumineuse en fonction de l'angle i que font avec l'axe du collimateur, les rayons qui sortent de la lunette. L'intensité maximale de lumière sera notée I°.
Représenter l'aspect des franges d'interférences vues dans la lunette.
Calculer l'écart angulaire après la lunette, entre 2 franges d'interférences brillantes successives. Le grossissement de la lunette est G = 20.

C 3 d)
Un polariseur (rectiligne) P est interposé entre le collimateur et les fentes. Les franges observées dans la lunette sont-elles modifiées ? Expliquer.

C 3 e)
Deux bandes rectangulaires allongées, de dimension légèrement supérieures à celles des fentes, sont découpées dans une lame demi-onde pour la raie verte du mercure, et placées respectivement devant chaque fente, sur l'écran E (figure 6). L'un des rectangles a son grand coté parallèle à l'axe Oy de la lame (axe lent) ; l'autre rectangle a son grand coté à 45° de cet axe.
Les franges observées dans la lunette sont-elles modifiées ? Expliquer.

C 3 f)
Un second polariseur A, jouant le rôle d'analyseur est disposé derrière les fentes (et devant la lunette). Expliquer ce que l'œil voit dans la lunette suivant l'angle que fait la direction de l'analyseur avec l'axe lent de la lame demi-onde.

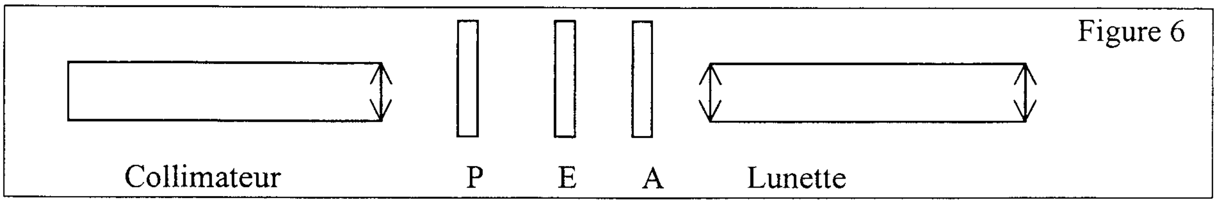


Figure 6

C 3 g)
Le microscope polarisant utilise les propriétés qui ont été évoquées ici ; citer au moins une application du microscope polarisant.

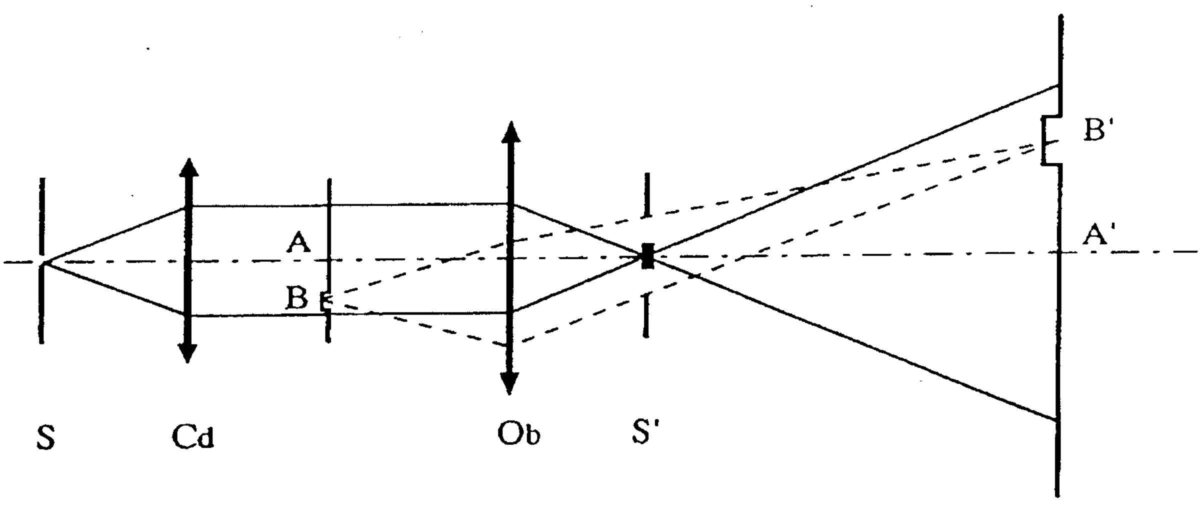
Partie D Contraste de phase.

D1 Microscopie des objets de phase

Certains objets ne sont pas visibles en microscopie car il n'y a pas de variation d'absorption dans leur structure et ainsi aucune variation de luminosité ne permet de différencier leur différentes zones. En revanche, il existe en général sur l'objet des différences d'épaisseur et/ou des différences d'indice de réfraction, donc des différences de chemin optique qui se traduisent par des déformations des surfaces d'onde transmises, équivalentes à des déphasages introduits par l'objet. La technique du contraste de phase permet l'observation de tels objets.

D 1 a)
Sur le montage de la figure 7, la source S ponctuelle est placée au foyer d'un condenseur assimilé à une lentille mince achromatique et aplanétique Cd ; le faisceau issu du condenseur tombe sur l'objectif Ob, converge en S', et éclaire uniformément le plan de l'image intermédiaire (A'B'), image de AB par l'objectif. C'est le faisceau de lumière directe.
L'objet AB est placé entre le condenseur et l'objectif et est donc éclairé par le faisceau de lumière directe. Si B est un détail déphasant de l'objet, le faisceau de lumière diffractée par B vient converger en B'.
Montrer que le faisceau direct et le faisceau diffracté sont dans les conditions d'interférences.

Figure 7



Tournez la page S.V.P.

D 1 b)

Nous supposerons que l'onde d'interférence observée en B' a même amplitude H que l'onde directe (si l'on suppose que l'objectif recueille toute la lumière diffractée) et est déphasée d'un angle φ petit par rapport à elle. En considérant l'onde directe, l'onde diffractée et l'onde d'interférence résultante, montrer que l'onde directe et l'onde diffractée sont sensiblement en quadrature de phase.

D 1 c)

On place en S' une lame quart d'onde (appelée lame de phase) de dimensions telles qu'elle n'agit que sur le faisceau direct. Exprimer, en fonction de l'amplitude de l'onde directe H, et de φ, l'amplitude de l'onde d'interférence. En déduire le contraste Γ de l'image par rapport au fond défini comme le rapport de la différence des intensités maximale et minimale sur leur somme. Commenter.

D1 d)

La lame de phase est également absorbante de facteur de transmission en amplitude t (φ<<t<1). Calculer à nouveau le contraste Γ et conclure sur la sensibilité de la méthode.

D 2 Le contraste de phase variable.

Le résultat précédent ne s'applique en fait qu'aux faibles déphasages ; la technique du contraste de phase variable permet de réaliser un éclairement de l'image de l'objet de phase extrémal par rapport au fond.

L'onde directe est polarisée rectilignement suivant la direction P (figure 8) ; la lame de phase LΦ est constituée de la succession d'une lame quart d'onde et de deux zones dont l'une annulaire est conjuguée de l'anneau source S, ces 2 zones étant polarisées perpendiculairement. L'analyseur A suit la lame de phase.

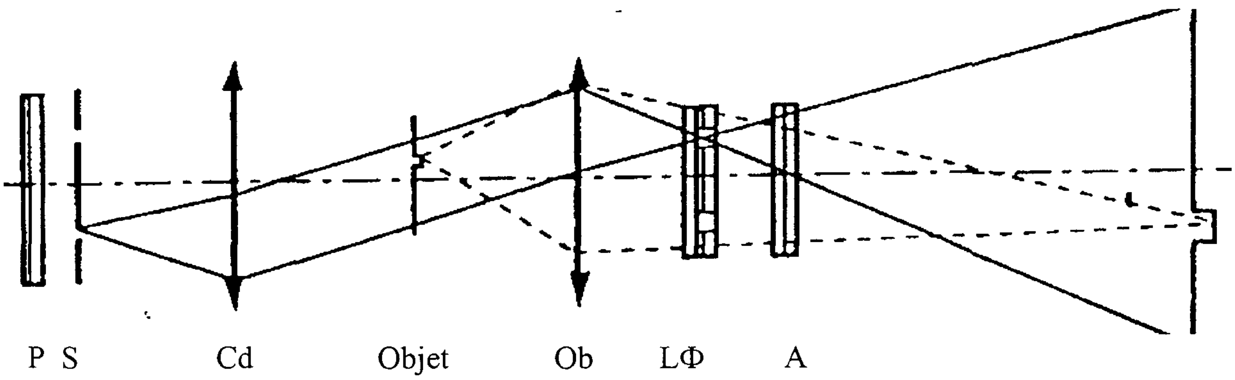


Figure 8

La lame quart d'onde est d'axes Ox et Oy (voir partie B) et la direction du polariseur P fait l'angle θ avec Ox. L'anneau de la lame de phase est polarisé à $-45°$ de Ox et le reste est polarisé à $+45°$ de Ox.

D 2 a)
En prenant nulle la phase initiale de l'onde directe, exprimer sur Ox et Oy les composantes successives du champ électrique de cette onde après traversée du polariseur, puis de la lame quart d'onde puis exprimer l'amplitude et la phase du champ électrique après traversée de l'anneau de phase.

D 2 b)
Exprimer de même les composantes successives de l'onde diffractée en tenant compte du fait que φ n'est plus petit.

D 2 c)
En déduire le déphasage entre les deux ondes et les positions du polariseur qui permettent un contraste maximal.

D 2 d)
Qu'observe-t-on par rotation de l'analyseur ? Conclure

Fin du problème.