

Exercice 1 : Modélisation d'un photocopieur

Un photocopieur permet la reproduction d'un document original, avec un grandissement réglable. Le système optique, qui comprend plusieurs lentilles dont on peut modifier les positions respectives, forme une image de l'original sur un tambour photosensible. La distance entre le document et ce tambour est fixe, de valeur $d = 384\text{mm}$.

Le système optique est en fait équivalent à une unique lentille mince convergente L , de centre O , dont on peut ainsi régler la position et la distance focale f' . On se propose de déterminer, pour un grandissement γ voulu, la position et la distance focale f' nécessaires.

L'image d'une portion AB du document sera désignée par $A'B'$. Le point A est sur l'axe optique.

1. Exprimer les distances AO et f' en fonction de d et de γ .
2. Effectuer l'application numérique dans les 3 cas suivants :
 - A4 reproduit en A4 (grandeur nature)
 - A4 reproduit au format A3 (surface double)
 - A4 reproduit au format A5 (surface moitié)

Exercice 2 : Doublet optique de Huygens

On considère un doublet de lentilles minces définissant un doublet optique, caractérisé par la donnée de trois nombres : f_1' , $e = O_1O_2$, et f_2' . Un doublet de Huygens est du type $f_1' = 3a$, $e = 2a$, et $f_2' = a$.

On prendra pour les applications numériques $a = 2,0\text{cm}$ et on notera $\Delta = F_1'F_2$

1. Placer sur l'axe optique, en effectuant une construction à l'échelle, les foyers de (L_1) et (L_2) et déterminer par construction géométrique les foyers objet et image du doublet, notés respectivement F et F' .
2. Vérifier ces résultats en déterminant algébriquement F_1F et $F_2'F'$ (Avec la relation de conjugaison au foyer).

Exercice 3 : ENSSAT 2011

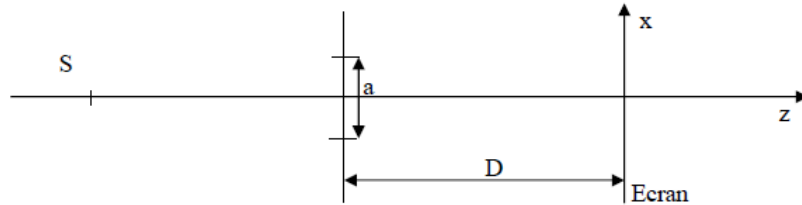
Une source S de longueur d'onde λ placée dans le plan focal objet d'une lentille convergente de distance focale $f_o' = 1\text{ m}$ éclaire deux fentes fines F_1 et F_2 distantes entre elles de $a = 3\text{ mm}$.

On place parallèlement au plan des fentes, dans le plan focal image d'une lentille de distance focale $f' = 2\text{ m}$, un écran. On compte 15 franges brillantes occupant dans leur ensemble une longueur $L = 6\text{ mm}$ centrée sur le foyer O de la lentille de projection.

- 1- Faire un schéma du dispositif.
- 2- Déterminer l'expression littérale de l'interfrange. A partir des données déterminer la valeur numérique de celle-ci. En déduire la longueur d'onde λ émise par la source.
- 3- On déplace S de $1,5\text{ mm}$ vers le haut de la figure, de combien et dans quel sens se déplace la frange centrale ?
- 4- On ramène la frange centrale dans sa position primitive O en plaçant devant l'une des fentes une lame à faces parallèles d'indice 1,5. Devant quelle fente doit-on la mettre ? Quelle épaisseur convient-il de lui donner (on négligera l'inclinaison des rayons dans la lame).

Exercice 4 : ENSSAT 2011

On considère un dispositif de fentes d'Young, formé de deux fentes fines parallèles distantes de a et situées de part et d'autre de l'axe (Oz), éclairé par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde λ_0 . La figure d'interférences est observée sur un écran parallèle aux deux fentes distant de D du plan contenant les deux fentes. L'ensemble est placé dans l'air d'indice $n=1$.



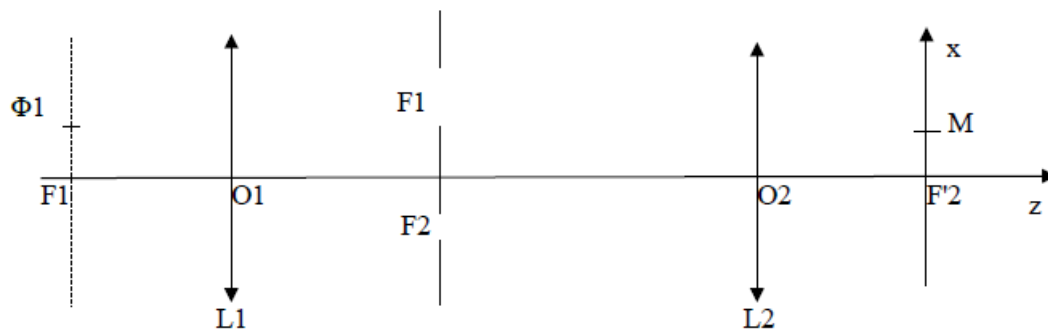
- (a) La source ponctuelle est située sur l'axe (Oz). Définir et donner l'expression de l'interfrange d'interférences i visualisé sur l'écran.
- (b) Comment est modifiée la figure d'interférences lorsque la source ponctuelle S est décalée transversalement d'une distance b de l'axe (Oz).
- (c) La source est à nouveau sur l'axe (Oz). Une fine lame de verre d'indice n et d'épaisseur e est placée devant l'une des deux fentes. Comment évolue la figure d'interférences lorsque la lame de verre est mise en place ?

Exercice 5 : ENSSAT 2012

1- Soient deux fentes F_1 et F_2 infiniment fines, distantes de a , éclairées par une source ponctuelle monochromatique Φ_1 de longueur d'onde λ , placée dans le plan focal objet d'une lentille convergente L_1 de distance focale f' à la distance d de l'axe ($z'z$). Déterminer l'éclairement en un point M du plan focal image de la lentille convergente L_2 de distance focale f' . Caractériser précisément le système de franges obtenu.

2- On place dans le plan focal de L_1 , une deuxième source Φ_2 , de même longueur d'onde et de même intensité que la précédente. Φ_2 est symétrique de Φ_1 par rapport à l'axe ($z'z$). Déterminer l'éclairement $E(M)$ produit en M par l'ensemble de ces deux sources en faisant apparaître un terme d'interférence et un facteur de visibilité.

3- Les deux sources se déplacent dans le plan focal objet de L_1 , symétriquement l'une par rapport à l'autre à la vitesse v_0 constante. Montrer qu'il y a périodicité du brouillage des franges et déterminer la période T de ce brouillage.



Exercice 6 : Miroirs de Fresnel

On s'intéresse à deux miroirs de Fresnel M_1 et M_2 faisant un angle θ entre eux. Ils sont éclairés par une source ponctuelle S derrière laquelle est placée une lampe monochromatique à vapeur de sodium ($\lambda = 589\text{nm}$). S se trouve à une distance $R = 15\text{cm}$ du point O , appartenant aux deux miroirs, OS faisant un angle α avec M_1 .

a) On observe les interférences sur un écran placé à une distance $D = 1,0\text{m} \gg R$ de O .

- Quelle est la forme de ces franges ?
- Y a-t-il un déphasage supplémentaire φ_{sup} introduit par ce dispositif ?

b) Rapport avec les trous d'Young :

- A quelles distances de O se trouvent les sources secondaires S_1 et S_2 ?
- Que vaut l'angle $(\overrightarrow{OS_1}, \overrightarrow{OS_2})$?
- En déduire la distance $a = S_1S_2$.

c) Interfrange :

- Quelle est l'interfrange i ?

On veut que l'interfrange soit, au moins $i > i_{\text{min}} = 1,0\text{ mm}$.

- Déterminer alors θ_{max} , la valeur maximale de θ en degrés, minutes et secondes d'arc.

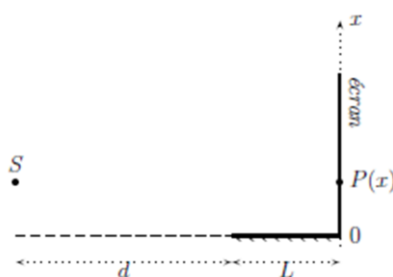
Exercice 7 : ENSSAT 2012

Un miroir plan de longueur $L = 10\text{ cm}$ est éclairée sous une incidence rasante par une source ponctuelle S placée à une faible distance $h = 1\text{ mm}$ au-dessus du plan de la lame et à une distance $d = 20\text{ cm}$ en avant de celle-ci. Cette source émet une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 0,546\text{ }\mu\text{m}$.

En un point P de l'écran interfèrent le rayon issu directement de la source S et celui issu de S par réflexion sur le miroir.

On rappelle que la réflexion entraîne un retard de phase de π .

1. Déterminer la différence de phase $\Delta\phi(P)$ des deux rayons interférant en $P(x)$ sur l'écran.
2. On considère l'amplitude des vibrations égales en P pour les deux ondes. Exprimer l'intensité lumineuse en P en fonction de λ_0 , d , L , h et x . Observera-t-on en $x = 0$ une frange brillante ou sombre ?
3. Représenter la zone d'interférence sur l'écran. En déduire le nombre de franges brillantes observées.



Exercice 8 : Bulle de savon

On s'intéresse à une bulle de savon qui flotte dans l'air, qu'on assimilera à une pellicule d'eau savonneuse d'épaisseur e , et d'indice $n = 1,33$. Elle est éclairée perpendiculairement par un faisceau de lumière blanche, dont on observe la réflexion.

a) Calculs généraux :

- Exprimer la différence de phase entre les deux rayons réfléchis.
- En déduire une condition pour qu'il y ait interférence constructive sur λ , n et e .
- Faire de même pour qu'il y ait interférence destructive.

b) Applications :

On observe des interférences constructives pour $\lambda_1 = 600\text{nm}$ et des interférences destructives pour $\lambda_2 = 450\text{nm}$. On n'observe pas de minimum d'intensité entre ces deux valeurs.

- En déduire son épaisseur e supposée uniforme.

Sous l'effet de la gravité, l'eau savonneuse s'écoule et le film s'amincit, au sommet de la bulle en premier.

- Quelle est la couleur au sommet de la bulle juste avant qu'elle n'éclate ?

Exercice 9 : Rayons des anneaux avec une raie de la lampe à vapeur de mercure

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air et éclairé par une lampe à vapeur de mercure. Un filtre permet d'isoler la raie $\lambda_0 = 546\text{ nm}$.

a) Quelle est sa couleur ?

b) La distance relative entre les deux miroirs est $e = 1,10\text{ mm}$. Que vaut l'ordre au centre ?

c) Sachant que la lentille de projection possède la focale $f' = 1\text{ m}$, calculer les rayons des cinq premiers anneaux brillants.

d) On chariote le miroir M_2 de manière à diminuer e . Qu'observe-t-on sur l'écran ?

Exercice 10 : Mesure de l'angle entre les miroirs

Un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air est éclairé par une source monochromatique ($\lambda = 546\text{ nm}$). Sur un écran situé à une distance $D = 1\text{ m}$ derrière la lentille de projection de focale $f' = 20\text{ cm}$, on observe des franges rectilignes d'interfrange $i = 3,5\text{ mm}$.

a) Où sont localisées les interférences dans ce montage ? Préciser la position de l'écran.

b) Calculer l'angle entre les deux miroirs. Donner sa valeur numérique en minutes d'arc.

Exercice 11 : Interféromètre de Michelson réglé en lame à faces parallèles

Un interféromètre de Michelson, réglé en lame à faces parallèles séparées de e , est éclairé par une source ponctuelle monochromatique $\lambda = 546\text{ nm}$, placée au foyer d'une lentille convergente de focale $f'_1 = 10\text{ cm}$. Un écran est placé au foyer d'une autre lentille convergente de focale $f'_2 = 1\text{ m}$.

a) Qu'observe-t-on sur l'écran ? Et quand e varie ? Et si on enlève la lentille de sortie ?

b) La source est désormais un disque de diamètre $d = 4\text{ cm}$. Qu'observe-t-on sur l'écran ? Justifier les valeurs des focales des lentilles.

c) Donner le nombre de franges lumineuses visibles pour $e = 0,075\text{ cm}$.

Exercice 12 : Michelson en coin d'air

On s'intéresse à un Michelson réglé en coin d'air, l'angle entre les deux miroirs étant θ . On observe les interférences créées par une lampe monochromatique large (de longueur d'onde λ) grâce à une lentille convergente de focale f_0 placée à une distance l_1 des miroirs.

a) Comment éclairer les miroirs ?

b) Localisation des interférences :

- Les interférences sont-elles localisées ?

- Où ?

- Où les observe-t-on grâce à la lentille (on donnera la distance l_2 entre la lentille et le plan d'observation) ?

- Quel est alors le grandissement du montage en fonction de f_0 et l_1 ?

c) Franges d'interférences :

- Quelle est la forme des franges ?

- Que vaut l'interfrange sur l'écran d'observation i en fonction de λ , θ , f_0 et l_1 ?

- Que se passe-t-il si les miroirs sont parallèles ?

Exercice 13 : Mesure du doublet du sodium

Un interféromètre de Michelson, réglé en lame à faces parallèles, est éclairé par une lampe à vapeur de sodium, dont le spectre peut être considéré comme composé uniquement de deux longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 autour de 589 nm.

a) Où faut-il observer les interférences pour pouvoir utiliser une source étendue ? Comment procéder ?

b) Donner l'expression de l'intensité sur l'écran en fonction de δ , différence de marche optique entre les rayons interférant. La commenter.

c) Entre quatre brouillages successifs (au centre de l'écran), on mesure $\Delta e = 0,87$ mm. En déduire $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Pourquoi ne pas mesurer Δe directement entre deux brouillages successifs ?

d) Retrouver le résultat précédent en utilisant le fait que, pour un brouillage, les franges claires d'une longueur d'onde correspondent aux franges sombres de l'autre.

Exercice 14 : Mesure du défaut d'épaisseur d'une lame

Une lame en verre (indice n), parfaitement transparente, d'épaisseur e_0 , possède une petite irrégularité $\Delta e_0 \ll e_0$.

a) Cette lame est éclairée en incidence normale par un faisceau de lumière parallèle issu d'une source monochromatique de longueur d'onde λ dans le vide. On forme à l'aide d'une lentille convergente de focale f' l'image de la lame sur l'écran, de telle manière que la distance lame-lentille vaille $2f'$. L'épaisseur e_0 est supposée très faible afin de pouvoir assimiler la lame à un objet plan situé dans un plan perpendiculaire à l'axe optique. Où se situe l'écran ? Quel est le grandissement du montage ?

b) Peut-on mettre en évidence le défaut d'épaisseur sur l'image ?

c) On considère un interféromètre de Michelson réglé au contact optique. Il est éclairé par le faisceau parallèle utilisé précédemment. On place la lame contre l'un des miroirs, et on fait l'image des miroirs sur l'écran grâce à une lentille. Qu'observe-t-on sur l'écran ?

d) A quelle condition le défaut d'épaisseur n'est-il pas visible ? Comment remédier à cette situation ?

Exercice 15 : ENSSAT 2010

Un interféromètre réglé en lame d'air (d'épaisseur e) est éclairé par une source ponctuelle de longueur d'onde $\lambda_0 = 632 \text{ nm}$.

On place à la sortie une lentille convergente de distance focale $f' = 10 \text{ cm}$ et un écran dans son plan focal image.

On repère alors sur l'écran des anneaux brillants dont les rayons sont comptés en partant du centre :

<i>anneau brillant</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>r (mm)</i>	<i>5,02</i>	<i>7,11</i>	<i>8,7</i>	<i>10</i>	<i>12</i>

1. Quelle est la différence de marche entre deux rayons interférant un en point M de l'écran distant de r de l'axe optique ? (exprimer δ en fonction de f' , e et r)
2. Dédurre des données l'épaisseur e de la lame d'air.
3. Quel est l'ordre d'interférence au centre ?

Exercice 16 : Réseau plan

Un réseau plan, utilisé par transmission, est formé de traits fins parallèles et équidistants de a , gravés sur un support en verre. Le pinceau incident a une direction fixe et fait l'angle variable i_0 avec la normale au réseau qui peut tourner autour d'un axe parallèle aux traits.

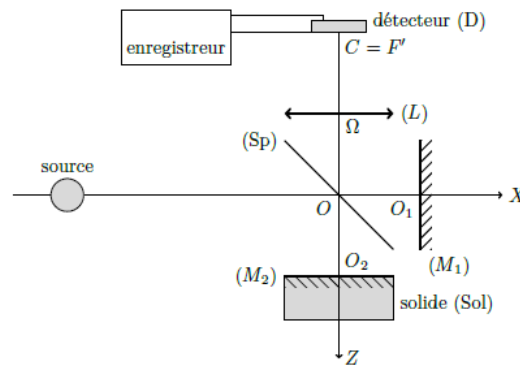
1 – Le réseau est éclairé en lumière monochromatique de longueur d'onde λ . On observe les maxima de lumière diffractée d'ordre k dans la direction qui fait l'angle i avec la normale au réseau. Exprimer $\sin i$ en fonction de i_0 , k , λ et a .

2 – On mesure avec ce réseau la déviation minimale $D_{m0} = 31^\circ 42'$ de la raie verte du mercure ($\lambda_0 = 546,1 \text{ nm}$) pour le spectre d'ordre 2, puis la déviation minimale $D_{m1} = 18^\circ 32'$ pour la raie rouge du cadmium au premier ordre. Calculer :

- a) L'angle d'incidence i_0 correspondant à la déviation minimale de la raie verte ;
- b) La longueur d'onde de la raie rouge du cadmium ;
- c) Le nombre n de traits par millimètre et le pas du réseau utilisé.

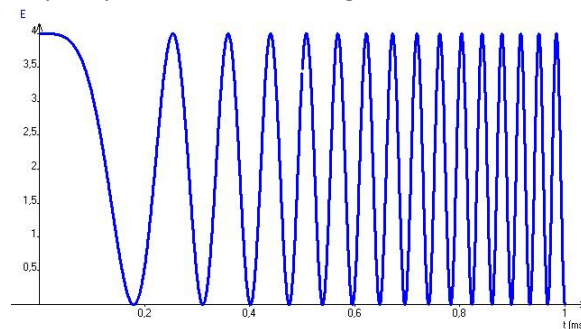
Exercice 17 : Mesure du champ de pesanteur (Centrale 2011)

Un interféromètre de Michelson est éclairé par une source monochromatique (longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$) étendue, centrée sur l'axe OX . On note l_1 la longueur OO_1 et l_2 la longueur OO_2 . Cette longueur est variable, car (M_2) est relié à un solide (Sol) mobile en translation selon OZ . On note $e = l_2 - l_1$. (L) est une lentille convergente de centre optique Ω de distance focale image $f' = 1,0 \text{ m}$ et de foyer image F' .



1. Le solide (Sol) est en chute libre. Il est lâché sans vitesse à $t = 0$ et $e(t = 0) = 0$. Le graphe ci-contre représente l'éclairement au point F' en fonction du temps.

En déduire la valeur du champ de pesanteur terrestre g .

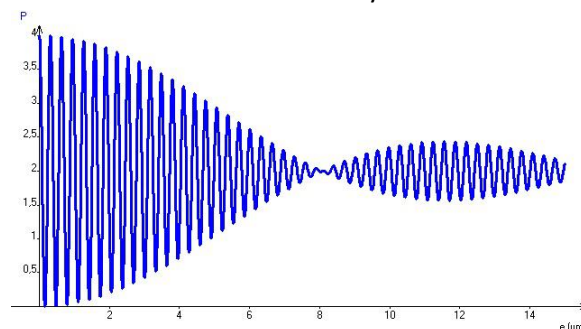


2. L'enregistreur utilisé est une photodiode qui est un petit disque de rayon R centré en F' et placé perpendiculairement à OZ . Cette photodiode délivre un signal électrique (correspondant à l'enregistrement précédent) proportionnel à la puissance lumineuse totale reçue par le disque.

a. Quelle est l'intensité lumineuse reçue à une distance r de F' , dans le plan focal image de la lentille ?

b. Si e est telle que l'intensité est maximale en F' , quelle est la dimension de la première frange sombre ?

c. On représente sur le graphe ci-dessous la puissance lumineuse totale P reçue par la photodiode en fonction de e . En déduire la valeur du rayon R .



Exercices avec utilisation d'un logiciel informatique

Exercice A : Centrale 2011

Un œil accommodant à l'infini, observe des objets à l'infini à travers une lunette astronomique.

1. Décrire brièvement le montage correspondant à une lunette astronomique composée de l'association de deux lentilles minces convergentes. La lentille constituant l'objectif a une focale f_{obj} et la lentille constituant l'oculaire a une focale f_{oc} . Donner une expression du grossissement G et du grandissement γ ? Quelle relation relie ces deux grandeurs ?

2. La lunette considérée ici est constituée par l'association d'une lentille convergente L_{obj} de distance focale image $f'_{\text{obj}} = 9a$ et d'un oculaire constitué par deux lentilles minces convergentes séparées d'une distance $e = 2a$ avec $e = O_1O_2$, où O_1 et O_2 sont les centres des deux lentilles de distance focale image $f'_1 = f'_2 = 3a$.

Pour cet oculaire déterminer la position du foyer image de l'oculaire O_2F' et du foyer objet O_1F . Déterminer également la position des points conjugués H et H' pour lesquels le grandissement transversal vaut 1. Enfin, calculer les distances focales $f' = H'F'$ et $f = HF$.

Comment faut-il placer cet oculaire pour que l'ensemble {Objectif+Oculaire} soit afocal et constitue donc une lunette astronomique ?

On pourra s'aider du logiciel Optigeo, (fichier i11031.geo) pour tracer des rayons et répondre aux questions précédentes. Dans ce logiciel on a pris $a = 0,5$.

3. Le rayon R de la monture de l'objectif de la lunette complète est $R = 2,5$ cm.

Si le faisceau qui atteint le système est parallèle et de rayon supérieur à R , quel sera le rayon du faisceau sortant ? Si l'objet observé est vu sous un angle α à l'œil nu, sous quel angle apparaît-il à travers l'appareil ?

Dans l'hypothèse d'un faisceau incident divergent où faut-il placer l'œil pour observer avec un maximum d'intensité ?