

OPTIQUE ONDULATOIRE

TRAVAUX PRATIQUES

TP1 Optique géométrique et polarisation

Ce qui fait de vous des physiciens :

- Une expérience est faite pour estimer un paramètre physique ou comparer expérience et modèle, pas uniquement pour prendre des mesures.
- Toute mesure doit être accompagnée d'une barre d'erreur justifiée.
- Les incertitudes se propagent dans les calculs pour donner une barre d'erreur sur le paramètre physique estimé.
- Un graphe : titre, axes nommés avec unités, points expérimentaux.

1 Préparation

1.1 Formation d'une image par une lentille convergente

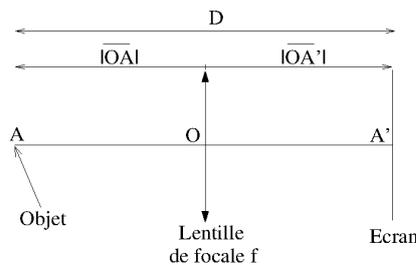


FIGURE 1 – Formation d'une image par une lentille convergente de focale f . D est la distance entre l'objet et l'image. A , O et A' sont les centres respectifs de l'objet, de la lentille et de l'image.

Question 1 Soit A' l'image de A par la lentille mince de centre O et de focale f (Fig. 1). Rappelez la loi de conjugaison reliant \overline{OA} , $\overline{OA'}$ et f . Pour une distance $D = \overline{AA'}$ fixée, combien existe-t-il de positions de la lentille pour que A' soit l'image de A ?

1.2 Collimateur

Objectif : faisceaux émergents parallèles

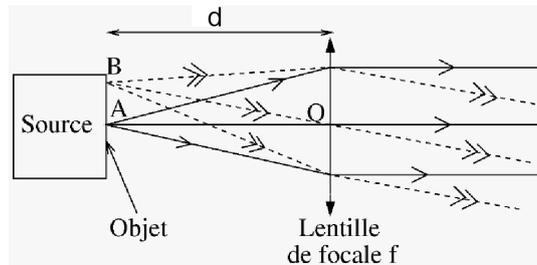


FIGURE 2 – Collimateur à une lentille : les rayons issus du point objet A sont tous parallèles après la lentille. De même pour les rayons issus de B .

Question 2 Où doit se trouver la source par rapport à la lentille pour construire un collimateur ? Pourquoi dit-on que l'objet est rejeté à l'infini ?

1.3 Systèmes afocaux

Objectif : un faisceau collimaté donne un faisceau collimaté.

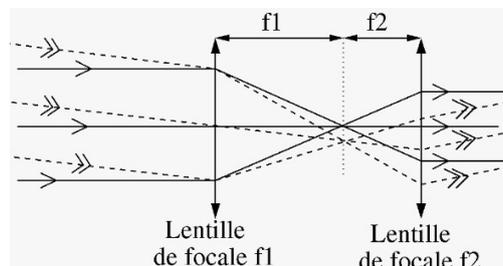


FIGURE 3 – Système afocal : un faisceau collimaté reste collimaté.

Question 3 Expliquez la figure 3 (choix des distances). Quel est le grandissement de ce système optique ? Où doit-on placer un réticule pour qu'il soit net quand on regarde à l'oeil à travers le système ?

2 Expérimentation

2.1 Formation d'une image par une lentille convergente

Objectif : vérification de la loi de conjugaison d'une lentille mince.

Placez sur le banc optique (Fig. 1), une lampe de bureau (dont le filament sera l'objet), la lentille convergente de focale ~ 200 mm, et l'écran.

Question 4 Fixez $D \geq 4f$. Bougez la lentille entre la source et l'écran. Combien de positions de la lentille donnent une image nette sur l'écran? Pour chacune des positions trouvées, notez dans un tableau la valeur de \overline{OA} , $\overline{OA'}$ et D . Recommencez les mesures pour deux autres distances $D \geq 4f$. À partir des mesures précédentes, vérifiez la loi de conjugaison des lentilles minces. Déterminez la focale f de la lentille utilisée.

Question 5 Fixez une distance $D < 4f$ (par exemple $3f$). Bougez la lentille entre la source et l'écran. Existe-t-il une(des) position(s) de la lentille donnant une image nette du filament de la lampe sur l'écran?

Question 6 Quelle est la distance D minimale permettant de former une image nette sur l'écran? Pourquoi parle-t-on de montage en $2f - 2f$? Quel est le grandissement dans ce cas?

2.2 Le collimateur

Objectif : collimater un faisceau.

Utilisez le montage optique qui est éclairé par le laser He-Ne qui se trouve sur votre banc. **Attention à vos yeux et à ceux de vos voisins!** Ce montage est constitué du laser qui émet un faisceau collimaté de ~ 2 mm de diamètre suivi d'une lentille convergente de très courte focale ($f \sim 1$ mm). En sortie du montage, le faisceau diverge comme s'il était émis par une source ponctuelle située à ~ 1 mm de la lentille de courte focale. Pour collimater le faisceau, on ajoute une lentille de focale ~ 200 mm (Fig. 2).

Question 7 Pourquoi n'est-il pas suffisant de simplement placer l'objet à la distance focale indiquée sur la lentille?

Question 8 Le réglage par « auto-collimation » utilise un miroir plan. Proposez un protocole expérimental à l'encadrant et faites le réglage.

2.3 Systèmes afocaux

Objectif : créer un montage afocal.

Question 9 Lunette. En utilisant la Fig. 3, construisez une lunette de grandissement 0.5 à la suite du collimateur du §2.2.

Question 10 Élargisseur de faisceaux. À quel moment avez-vous construit un élargisseur de faisceau dans ce TP (à l'exception de celui de la question 9) ?

2.4 Polarisation

Objectif : aborder la polarisation de la lumière empiriquement.

Réalisez le montage de la Fig. 4 en l'éclairant avec la lampe de bureau.

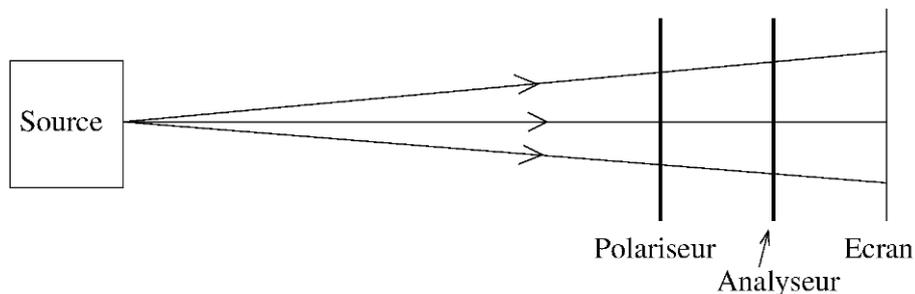


FIGURE 4 – Montage pour étudier la polarisation linéaire.

2.4.1 Lumière naturelle

Dans un premier temps, ne placez que l'analyseur dans le montage.

Question 11 Est-ce que l'intensité lumineuse du faisceau varie quand vous faites tourner l'analyseur ? Qu'en concluez-vous sur la polarisation de la lumière émise par la lampe ?

2.4.2 Polariseur linéaire et analyseur

Ajoutez le polariseur en amont de l'analyseur.

Question 12 Faites tourner l'analyseur et commentez les variations d'intensité lumineuse.

2.4.3 Polarisation de la lumière par les cristaux liquides

Question 13 Placez un analyseur entre votre oeil et l'écran de votre calculatrice, téléphone portable, écran d'ordinateur, etc. Que concluez-vous ?

2.4.4 Polarisation de la lumière par réflexion

Question 14 Utilisez l'analyseur pour étudier la polarisation d'une lumière réfléchie sur une surface brillante diélectrique (peinture, bois verni, etc) sous incidence de $\sim 45^\circ$. Quel est l'intérêt des lunettes de soleil polarisées ?

2.4.5 Polarisation "du ciel"

Question 15 Si le temps est dégagé, trouvez les lieux du ciel qui émettent une lumière partiellement polarisée.

OPTIQUE ONDULATOIRE

TRAVAUX PRATIQUES

TP2 Diffraction et interférences à deux ondes

Ce qui fait de vous des physiciens :

- Une expérience est faite pour estimer un paramètre physique, pas uniquement pour prendre des mesures.
- Toute mesure doit être accompagnée d'une barre d'erreur justifiée.
- Les incertitudes se propagent dans les calculs pour donner une barre d'erreur sur le paramètre physique estimé.
- Un graphe : titre, axes nommés avec unités, points expérimentaux.

1 Préparation

1.1 Diffraction de Fraunhofer

Question 1 Quelle relation doivent vérifier la taille de l'objet diffractant, la longueur d'onde et la distance d'observation pour que le modèle de diffraction de Fraunhofer décrive correctement la figure de diffraction observée ?

1.1.1 Fente unique

Question 2 Donnez l'expression de l'intensité diffractée $I(\theta)$ dans la direction θ par une fente de largeur a . Tracez $I(\theta)$. Quelle est la largeur angulaire de la tache centrale ?

Question 3 Quelle est la largeur g de cette tache quand on l'observe dans le plan focal d'une lentille convergente de focale f ? Comment évolue g avec a ? En mesurant expérimentalement g pour plusieurs a connues, quel graphe tracer pour vérifier si cette loi est valide ?

1.1.2 Théorème de Babinet

Question 4 Sans calcul mais en justifiant, tracez l'intensité diffractée par un fil (ou cheveu) de largeur ϕ . Vous préciserez la largeur g de la tache centrale sur l'écran en fonction de ϕ et de la focale f de la lentille.

1.2 Interférences à deux ondes : trous d'Young

1.2.1 En lumière laser

Question 5 En supposant deux fentes de largeur a séparées de d , donnez l'expression de l'intensité diffractée $I(\theta)$ dans la direction θ dans les conditions de Fraunhofer. Représentez $I(\theta)$ en prenant $d = 5a$.

Question 6 Dans le cas général, donnez les expressions de la largeur angulaire de la tache centrale de diffraction et de l'interfrange angulaire.

Question 7 Si la figure de diffraction/interférences est observée dans le plan focal d'une lentille de focale f , que vaut la largeur g de la tache de diffraction et l'interfrange i ?

1.2.2 Cohérence spatiale

Question 8 Que devient l'expression $I_s(\theta)$ de $I(\theta)$ si la source est de largeur s (parallèlement à la séparation des fentes d'Young) ? Pour quelle valeur s_1 de s , $I_s(\theta)$ est minimale ?

1.2.3 Cohérence temporelle

Question 9 En supposant une source ponctuelle ($s \rightarrow 0$) polychromatique ($\lambda \in [\lambda_0 - \Delta\lambda/2, \lambda_0 + \Delta\lambda/2]$), exprimez $I_{\Delta\lambda}(\theta)$. Commentez.

2 Manipulation

Pour toutes les expériences de ce TP, il est indispensable de bien régler le faisceau laser. Alignez soigneusement le laser avec l'axe du rail optique dans les plans horizontal et vertical. Pour cela, placez sur le rail l'écran d'observation alternativement très proche et très loin du laser et réglez la monture du laser pour que le faisceau soit toujours centré au même endroit sur l'écran.

2.1 Diffraction de Fraunhofer

Dans tout ce paragraphe, vous vous placerez dans les conditions de Fraunhofer en éclairant l'objet diffractant avec un faisceau collimaté et en plaçant l'écran d'observation dans le plan focal d'une lentille située après l'objet diffractant (Fig. 1).

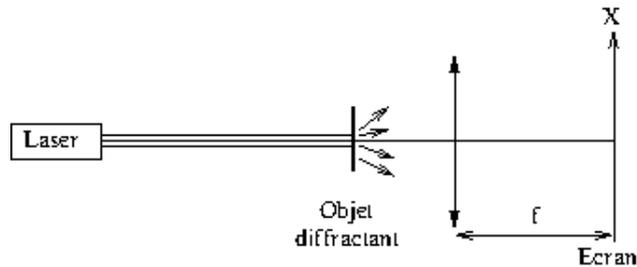


FIGURE 1 – Montage optique pour observer la diffraction de Fraunhofer.

2.1.1 Fente unique

Objectifs : vérification d’une formule de diffraction de Fraunhofer et détermination de la longueur d’onde du laser He-Ne.

Question 10 Éclairez une des fentes unique de l’objet diffractant marqué “A3015” (dans la moitié noire de l’écran). Est-ce que la figure de diffraction correspond à ce que vous avez prévu dans la préparation ?

Question 11 Pour les cinq fentes les plus petites dont les tailles sont 30, 40, 60, 80 et $100\mu\text{m}$, mesurez la largeur g de la tache centrale de diffraction (« du noir au noir »). À l’aide d’un graphe, vérifiez la relation entre g et a et déduisez-en la longueur d’onde du laser He-Ne que vous utilisez.

2.1.2 Théorème de Babinet

Objectif : utilisation du théorème de Babinet.

Question 12 Sur l’objet marqué “A3015”, éclairez la sixième fente et mesurez la largeur g de la tache centrale de diffraction. Faites la même mesure en éclairant le sixième fil. Commentez les similitudes et différences entre les deux figures de diffraction. Quelle est la largeur du fil ? Et celle de la fente ?

Question 13 Estimez l’épaisseur de vos cheveux à l’aide d’une expérience de diffraction optique.

2.1.3 La tache d’Airy

Objectif : étudier la tache d’Airy.

Question 14 Éclairez un des trous de l’objet marqué “A3000”. Décrivez la figure de diffraction et discutez les variations en fonction de la taille du trou diffractant.

Question 15 Mesurez le diamètre de la tache centrale de diffraction pour le troisième trou le plus gros et en déduire le rayon a du trou diffractant.

2.2 Interférences à deux ondes : trous d'Young

2.2.1 En lumière laser

Objectifs : figure d'interférences, interfrange.

Question 16 Éclairez deux fentes d'Young de l'objet "A3020". Décrivez la figure observée sur l'écran. Précisez les similitudes et différences par rapport à la diffraction par une fente unique. Estimez a et d .

2.2.2 Cohérence spatiale

Objectif : franges brouillées pour une source étendue monochromatique.

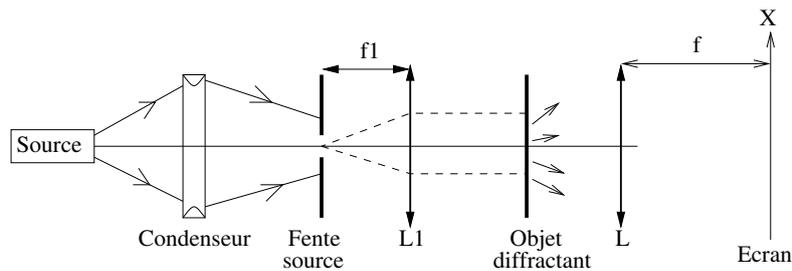


FIGURE 2 – *Trous d'Young avec une source étendue.*

Utilisez la lampe spectrale à vapeurs de mercure haute pression (Fig. 2) et tournez très lentement la fente source (réglée très fine) pour qu'elle soit parallèle aux fentes d'Young. Les franges sont alors bien contrastées sur l'écran.

Question 17 Décrivez la variation du contraste des franges avec la largeur s de la fente source. Pour quelle valeur s_1 obtenez-vous le premier brouillage des franges ? Comparez la largeur de cohérence spatiale du faisceau $\lambda a/s_1$ et la séparation d entre les fentes ($\lambda = 546 \text{ nm}$).

2.2.3 Cohérence temporelle

Objectif : brouillage des franges pour une source blanche ponctuelle.

Question 18 Remplacez la lampe à vapeur de mercure par une lampe halogène blanche (donc polychromatique) et utilisez une fente source très fine. Commentez la figure d'interférences ainsi obtenue.

OPTIQUE ONDULATOIRE

TRAVAUX PRATIQUES

TP3 Interféromètre de Michelson

Ce qui fait de vous des physiciens :

- Une expérience est faite pour estimer un paramètre physique, pas uniquement pour prendre des mesures.
- Toute mesure doit être accompagnée d'une barre d'erreur justifiée.
- Les incertitudes se propagent dans les calculs pour donner une barre d'erreur sur le paramètre physique estimé.
- Un graphe : titre, axes nommés avec unités, points expérimentaux.

1 Préparation

L'interféromètre de Michelson peut être utilisé :

- en lame d'air à faces parallèles. On observe des anneaux ou franges d'égale inclinaison localisées à l'infini¹ ;
- en coin d'air. On observe des franges d'égale épaisseur rectilignes, localisées au voisinage des miroirs¹.

1.1 Michelson à faces parallèles

Question 1 Faites un schéma équivalent de l'interféromètre de Michelson utilisé en lame d'air à faces parallèles d'épaisseur e et éclairé par une source ponctuelle S monochromatique. On observe les phénomènes dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale f .

Question 2 Exprimez l'intensité I en fonction de la longueur d'onde λ et de e . Quelle est la valeur de I lorsque $e \rightarrow 0$?

Question 3 Écrivez l'expression donnant le rayon R_m de l'anneau d'ordre m ; comment évolue R_m lorsque e diminue ?

Question 4 La source S est maintenant une lampe spectrale à vapeur de mercure haute pression qui possède une raie verte à $\lambda_0 = 546$ nm de largeur

1. Dans le cas d'une source ponctuelle, les franges ne sont pas localisées.

$\Delta\nu = 1/\tau_c$ en fréquence. Quelle est la condition sur e pour pouvoir observer des interférences ? Si le temps de cohérence est $\tau_c \simeq 10^{-11}$ s, que vaut la longueur de cohérence temporelle de la source ?

Question 5 Si on utilise une source de lumière blanche ($0.4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0.8 \mu\text{m}$), pour quelle valeur maximale de e peut-on observer des interférences ? Concluez sur l'observation expérimentale de ce phénomène.

Question 6 On considère à présent le cas où la source S est une lampe à vapeur de sodium. Celle-ci émet un doublet jaune de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 telles que $\Delta\lambda = |\lambda_1 - \lambda_2| \ll \lambda_{\text{NA}}$ où $\lambda_{\text{NA}} = (\lambda_1 + \lambda_2)/2 = 589 \text{ nm}$. On suppose que les deux radiations ont la même intensité. Établissez l'expression de l'intensité I en fonction de λ , $\Delta\lambda$, et de la différence de marche δ . Tracez la courbe $I = f(\delta)$ (interférogramme). Quelle est la variation Δe de e entre deux antioïncidences successives ?

1.2 Question d'ouverture

Question 7 Citez des utilisations de l'interféromètre de Michelson.

2 Manipulation

L'interféromètre de Michelson est schématisé en Fig. 1. Le verre anticalorique absorbe les rayonnements thermiques des sources. La face interne de la séparatrice est semi réfléchissante. Les pouvoirs de réflexion et de transmission sont sensiblement égaux ($R = T = 0.5$). La lame compensatrice a la même épaisseur optique que la séparatrice avec une transmission $T = 1$. L'orientation de la séparatrice est préréglée. La vis $C1$ et le palmer $P2$ permettent de régler la compensatrice.

Les trois premiers paragraphes qui suivent permettent uniquement de régler l'interféromètre. Ces réglages sont indispensables et leur précision déterminera la qualité des mesures que vous ferez au paragraphe 2.4.

Note : un interféromètre de Michelson est un instrument d'optique qui coûte très cher. Prenez-en soin s'il-vous-plaît.

2.1 Réglages préliminaires

2.1.1 Mettre les vis de réglage fin à mi-course

Il s'agit des vis $V3$ et $V4$ du miroir $M2$.

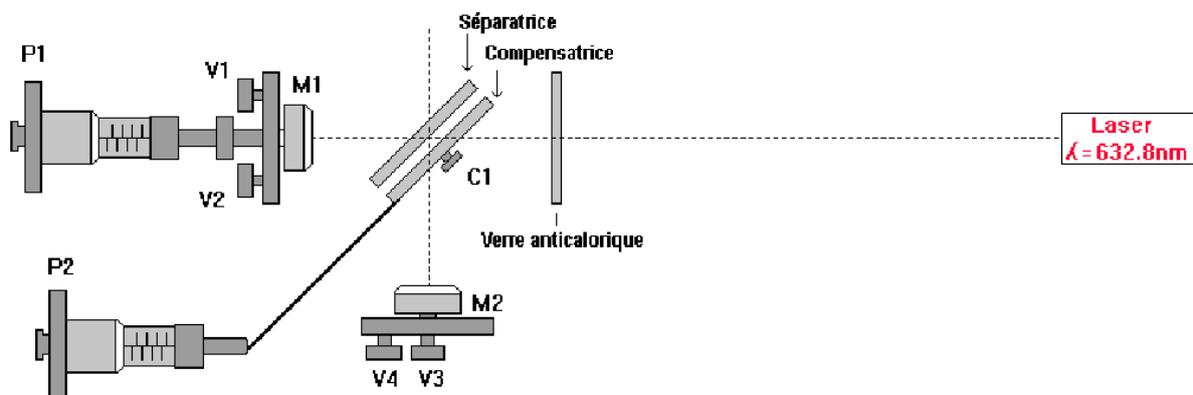


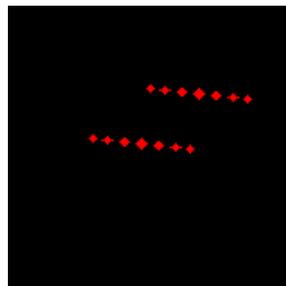
FIGURE 1 – Schéma de l'interféromètre de Michelson.

2.1.2 Alignement du faisceau laser

Ajustez la position du palmer $P1$ pour que les miroirs $M1$ et $M2$ soient à peu près symétriques par rapport à la séparatrice. Allumez le laser et, avant d'éclairer l'interféromètre, vérifiez que le faisceau est bien horizontal. Ensuite, ajustez la position du faisceau (orientation et inclinaison) pour que les deux miroirs $M1$ et $M2$ soient éclairés en leur centre sous incidence normale.

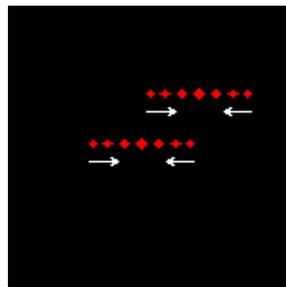
2.1.3 Réglage vertical de la compensatrice

Sur l'écran, observez les deux séries d'images dues aux réflexions multiples sur les faces des lames séparatrice et compensatrice. Ajustez avec $C1$ l'horizontalité des séries d'images. Les axes verticaux des deux lames seront alors parallèles.



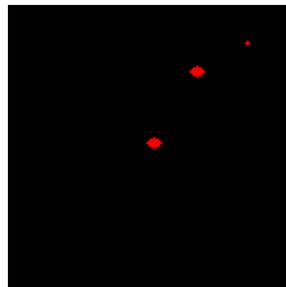
2.1.4 Réglage horizontal de la compensatrice

Tournez lentement le palmer $P2$ pour regrouper les images multiples de chaque rangée en une seule. Les axes horizontaux des lames séparatrice et compensatrice seront alors parallèles. Le réglage du parallélisme des deux lames est terminé.



2.1.5 Réglage des miroirs

Deux images subsistent sur l'écran. Tournez successivement les vis $V2$ et $V1$ (réglage grossier) pour superposer les deux images sur l'écran. Si besoin, terminez le réglage avec $V3$ et $V4$ (réglage fin). Les miroirs $M1$ et $M2$ sont maintenant perpendiculaires à la précision de ce premier réglage.

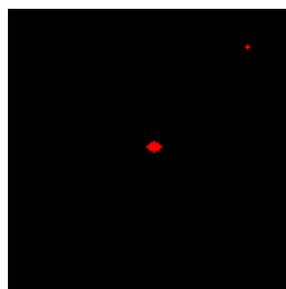


2.1.6 Test des réglages de l'interféromètre

Tournez lentement le palmer $P1$ de manière à éloigner le miroir $M1$ de la séparatrice. Si vos réglages sont corrects, l'image devrait clignoter.

Question 8 Expliquez pourquoi.

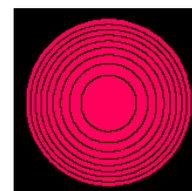
Il est possible qu'une image parasite clignote également. Cela provient d'une réflexion parasite sur la lame anticalorique.



2.2 Réglages 2 : lame d'air à faces parallèles avec une source ponctuelle

2.2.1 Obtention de franges circulaires

Repérez la position du faisceau laser sur l'écran. Positionnez l'objectif de microscope ou la "lentille boule" sur le trajet du faisceau laser à l'entrée de l'interféromètre, à quelques centimètres du verre de protection thermique. Ajustez soigneusement la position de l'objectif pour centrer la figure d'interférence sur la position initiale du faisceau. Si vos réglages sont corrects, vous devriez observer des anneaux sur l'écran.



Si nécessaire, centrez les anneaux avec les vis $V3$ et $V4$ de réglage fin (voire avec les réglages grossiers $V1$ et $V2$). Utilisez le palmer $P1$ pour diminuer le nombre de franges dans le champ. Si nécessaire, centrez à nouveau les anneaux en utilisant les vis $V3$ et $V4$.

Question 9 Pourquoi ce réglage du parallélisme des miroirs est plus fin s'il y a moins d'anneaux sur l'écran ?

2.2.2 Observations

Question 10 Observez les franges sur un écran après une lentille de distance focale de l'ordre de 50–100 cm. Que se passe-t-il quand vous déplacez l'écran ? Concluez quant à la localisation des franges.

Question 11 Tournez le palmer $P1$ pour que les anneaux naissent à la périphérie et viennent disparaître au centre. L'épaisseur e de la lame d'air diminue et vous vous rapprochez du contact optique. Si vous tournez le palmer $P1$ en sens inverse, les anneaux naissent au centre et disparaissent à la périphérie. L'épaisseur e de la lame d'air augmente et vous vous éloignez du contact optique. Comment pourriez-vous en principe déterminer la distance absolue e entre les deux miroirs de l'interféromètre ?

2.3 Réglages 3 : lame d'air à faces parallèles avec une source étendue

Éteignez le laser et allumez la lampe à mercure basse pression. Si la lampe est trop brillante, intercalez un papier diffusant à l'entrée de l'interféromètre.

2.3.1 Réglage du parallélisme des miroirs

Vous pouvez observer les anneaux à l'œil en regardant vers le miroir $M2$. Quand vous bougez la tête verticalement ou horizontalement, si le rayon des anneaux varie, l'épaisseur de la lame n'est pas uniforme. Ajustez les vis de réglage fin $V3$ et $V4$ pour que les rayons des anneaux ne varient plus.

2.3.2 Localisation des franges

Utilisez un condenseur juste après la lampe à mercure de façon à bien éclairer toute la surface des miroirs, puis placez un écran en sortie du Michelson après une lentille de focale 50–100 cm.

Question 12 Où sont localisées les franges d'interférence ?

N.B. : Quand l'écran est bien placé (contraste maximum), on peut éventuellement jouer sur les vis de réglage fin pour essayer d'améliorer le contraste.

2.3.3 Vers une lame d'épaisseur nulle

Tournez le palmer $P1$ pour que les anneaux disparaissent au centre jusqu'à ce que vous n'aperceviez plus d'anneaux. Le système est maintenant très près du contact optique ($e \simeq 0$). Notez la position du palmer $P1$.

L'interféromètre est réglé et vous pouvez commencer à l'utiliser.

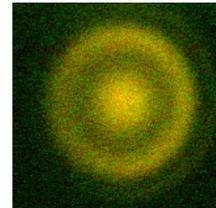
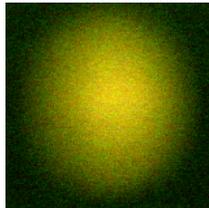
2.4 Utilisation de l'interféromètre de Michelson

2.4.1 Doublet du sodium

Objectif : mesure de l'écart entre les longueurs d'onde d'un doublet.

Remplacez la lampe à mercure basse pression par une lampe à sodium.

Vous devriez être au contact optique et observer une teinte plate jaunâtre.



Tournez le palmer $P1$. Des anneaux naissent au centre et disparaissent à la périphérie jusqu'à la première anti-coïncidence (brouillage des franges). Attention, celle-ci est proche du contact optique.

Question 13 Après la première antioïncidence, tournez le palmer $P1$ toujours dans le même sens. Notez les positions du palmer $P1$ pour les N premières antioïncidences (vous pouvez en observer facilement une dizaine). Que vaut la valeur moyenne Δe de variation de l'épaisseur de la lame d'air pour passer d'une antioïncidence à la suivante ? Déduisez-en $\Delta\lambda$ sachant que λ_{NA} vaut 589,3 nm. Déterminez l'incertitude sur $\Delta\lambda$.

2.4.2 Longueur de cohérence de la raie verte du mercure

Objectif : mesure de la largeur de la raie verte du mercure.

Question 14 Allumez la lampe à vapeurs de mercure à haute pression et placez à sa sortie un filtre vert. En tournant le palmer $P1$ au voisinage de la teinte plate, estimez la longueur de cohérence temporelle et déduisez-en l'ordre de grandeur de la largeur de la raie verte du mercure.

2.4.3 Franges en lumière blanche

Objectif : interférogramme en lumière blanche et variations de l'indice.

Question 15 (*Facultatif*) Réglez l'interféromètre à la teinte plate, puis éclairez-le avec une lampe de bureau en utilisant un condenseur. Très lentement, bougez le miroir avec un des réglages fins pour faire apparaître des franges d'égale épaisseur. Décrivez la figure d'interférences.

Question 16 (*Facultatif*) Chauffez un crayon dans votre main pendant une minute ou deux et placez-le dans un des bras du Michelson juste sous le faisceau optique (sans couper le faisceau). Commentez ce que vous observez.

OPTIQUE ONDULATOIRE

TRAVAUX PRATIQUES

TP4 Réseaux, goniomètre et filtrage optique

Ce qui fait de vous des physiciens :

- Une expérience est faite pour estimer un paramètre physique, pas uniquement pour prendre des mesures.
- Toute mesure doit être accompagnée d'une incertitude justifiée.
- Les incertitudes se propagent dans les calculs pour donner une barre d'erreur sur le paramètre physique estimé.
- Un graphe : titre, axes nommés avec unités, points expérimentaux.

1 Préparation

1.1 Spectroscopie à réseau

Soit un réseau de pas h , éclairé par un faisceau collimaté sous un angle d'incidence θ_i . Une raie de longueur d'onde λ est diffractée dans l'ordre p sous l'angle θ_p . Les angles orientés θ_i et θ_p sont liés par la relation

$$p\lambda = h (\sin \theta_p - \sin \theta_i) \quad (1)$$

Dans la suite de la préparation et au moment de la manipulation en TP, vous prendrez le faisceau incident perpendiculaire au plan du réseau ($\theta_i = 0$).

Question 1 Est-ce que la dispersion spectrale (i.e. distance angulaire $\Delta\theta_p$ entre raies de deux longueurs d'onde différentes) augmente, diminue ou reste constante quand l'ordre d'interférence p augmente ?

Question 2 Est-ce que le spectre optique obtenu dans l'ordre $p = 1$ et celui obtenu dans l'ordre $p = 2$ se chevauchent ? Même question pour les ordres $p = 2$ et 3. Quelle limitation voyez-vous à un chevauchement des spectres de différents ordres ?

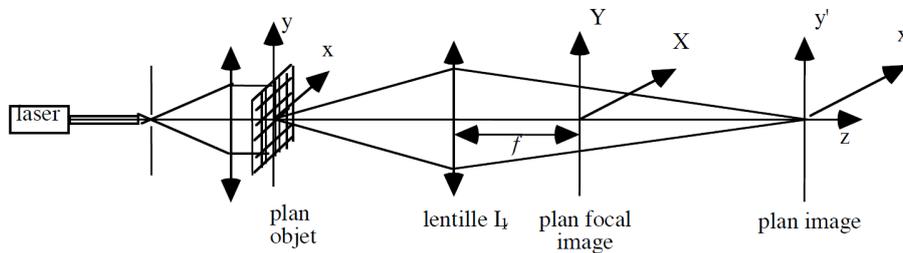


FIGURE 1 – Montage expérimental.

1.2 Filtrage optique

Dans le montage ci-dessus, la lentille L_1 de focale f et de centre O forme l'image de l'objet qui se trouve dans le plan (x, y) sur l'écran qui se trouve dans le plan (x', y') . Autrement dit, la lentille transfère l'information sur la structure de l'objet du plan (x, y) au plan (x', y') ¹. On appelle A le centre de l'objet (le point sur l'axe optique dans le plan (x, y)) et A' le centre de l'image (le point sur l'axe optique dans le plan (x', y')).

Question 3 Quel est le grandissement obtenu par ce montage optique ?

L'information sur la structure de l'objet est également accessible dans le plan focal de la lentille sous forme de la transformée de Fourier de la transmittance de l'objet (à condition d'éclairer l'objet par une onde plane)². En d'autres termes, en un point de coordonnées (X, Y) , l'amplitude $\hat{V}(X, Y)$ de l'onde diffractée traduit l'importance des fréquences spatiales $K_X = 2\pi X/(\lambda f)$ et $K_Y = 2\pi Y/(\lambda f)$ dans la structure de l'objet. Par exemple, l'information sur les variations à grande échelle (grandes périodes spatiales, donc basses fréquences spatiales) se trouve près du centre du plan (X, Y) (foyer de la lentille). L'information sur les variations à petite échelle (variations rapides de la transmittance rendues par des termes de hautes fréquences spatiales) se trouve elle plus éloignée du centre de ce plan (donc $\sqrt{X^2 + Y^2}$ grand).

Par exemple, considérons une grille illimitée dans les deux directions et de maille carrée de côté a et de période d comme objet diffractant (Fig. 2).

Question 4 Donnez l'expression de l'amplitude $\hat{V}(K_X, K_Y)$ du champ électrique diffracté dans le plan focal image (X, Y) de la lentille L_1 . Tracez la courbe $\hat{V}(K_X)$ pour $K_Y = 0$ (prenez $d/a = 4/3$). Quelles sont les fréquences spatiales caractérisant la grille ?

1. En toute rigueur, comme la lentille a une taille finie, il y a une perte d'information mais dans notre expérience cette perte est négligeable.

2. Il est indispensable de noter que le plan focal de la lentille n'est pas le plan dans lequel se forme l'image de la grille car celle-ci (i.e. le plan objet) n'est pas infiniment éloignée de la lentille !

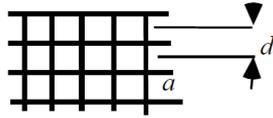


FIGURE 2 – Grille de maille carrée de côté a et de période d .

On place dans le plan focal image de la lentille L_1 une fente filtrante infinie centrée sur l'axe OY et parallèle à cet axe. Sa largeur est $b = 0,9 \lambda f/d$.

Question 5 Quelle est l'amplitude immédiatement derrière la fente ?

Question 6 Sans calcul mais en justifiant, représentez l'image obtenue dans le plan (x', y') sans la fente filtrante, puis avec elle.

2 Manipulation

2.1 Spectroscopie à réseau (goniomètre)

Le réseau de pas h est placé au centre de la platine d'un goniomètre, instrument équipé d'un collimateur et d'une lunette de visée destiné à la mesure des angles.

2.1.1 Réglages

- Avant de placer le réseau, effectuez les réglages de la lunette et du collimateur en suivant les indications de la fiche se trouvant sur la table (réglages 1, 2, 3, 4). Lorsque ceux-ci sont réalisés, vous voyez dans l'oculaire l'image de la fente nette, très fine, et bien centrée en hauteur. Après avoir fait coïncider cette image avec le fil vertical du réticule, repérez la position ϕ_0 de la lunette correspondant au faisceau non dévié. La position angulaire est donnée en degrés et minutes d'arc.
- Réglage de la plateforme. L'horizontalité de la plateforme est obtenue avec 3 vis calantes (voir fiche de réglage). Vérifiez d'abord à l'oeil, ou au niveau à bulle, qu'elle est à peu près horizontale.
- Placez le réseau sur la platine. Ses traits doivent être parallèles à la fente d'entrée et à l'axe de rotation de la platine. Un mauvais parallélisme peut provenir soit d'un mauvais positionnement du réseau dans son support, soit de la non-horizontalité de la platine.

2.1.2 Choix de l'angle d'incidence

Les rayons parallèles issus du collimateur éclairent le réseau sous un angle d'incidence θ_i . Comme dans la préparation, vous choisirez une incidence normale au réseau ($\theta_i = 0$). Pour remplir cette condition, placez le réseau perpendiculairement à l'axe du collimateur (vérifiez que le réticule et son image donnée par réflexion sur le réseau sont superposés). Les rayons émergents sont repérés sur le goniomètre par l'angle ϕ . On appelle ϕ_0 l'angle correspondant à l'ordre 0 ($\theta_p = \phi_p - \phi_0$).

Question 7 Vérifiez l'évolution de la dispersion avec l'ordre p .

Question 8 Pour quels ordres les spectres se chevauchent-ils ? Vous travaillerez désormais à l'ordre 2 (angles ϕ_2).

2.1.3 Courbe d'étalonnage

Question 9 Repérez sur le goniomètre les positions $\phi_2(\lambda)$ des raies émises par la lampe à vapeur de mercure et reportez les valeurs dans le tableau.

Question 10 Tracez la courbe λ en fonction de $\sin(\phi_2(\lambda) - \phi_0)$. Déduisez-en expérimentalement le nombre n de traits par mm du réseau et comparez avec la valeur donnée par le constructeur.

2.1.4 Séparation d'un doublet

Éclairez la fente d'entrée avec une lampe à vapeur de sodium.

Question 11 Repérez le doublet jaune dans l'ordre 2. Faites varier la largeur de la fente et constatez son impact sur la séparation du doublet et sur chacune des raies spectrales.

Question 12 Rendez la fente aussi fine que possible et mesurez les positions angulaires ϕ_2 des deux raies jaunes.

Question 13 En utilisant l'étalonnage fait avec la lampe à vapeur de mercure, déterminez les deux longueurs d'onde du doublet jaune du sodium. Comparez à la mesure faite à l'aide de l'interféromètre de Michelson. Laquelle des techniques vous semble la plus appropriée ?

2.2 Filtrage optique

Le but de ces expériences est double :

- Observer les figures de diffraction de différents objets à une ou deux dimensions. Cela permet d'identifier les fréquences spatiales K_X et K_Y qui caractérisent l'objet.

- Filtrer certaines fréquences spatiales (c'est à dire supprimer certaines valeurs de K_X et K_Y) et observer l'impact dans l'image de l'objet. Le filtrage est obtenu en masquant une partie de la figure de diffraction de Fraunhofer de l'objet.

Reprendre le montage présenté dans la préparation. Le choix de la lentille L_1 pourra être différent suivant qu'on veut obtenir seulement une figure de diffraction très grande (plan (X, Y)), ou une image très agrandie de l'objet (plan (x', y')).

2.2.1 Figure de diffraction et filtrage spatial

Question 14 Observez la figure de diffraction de Fraunhofer obtenue dans le plan focal de L_1 (de grande focale) quand l'objet est une grille. Est-ce conforme à la prévision de votre préparation ?

Question 15 En utilisant une lentille L_1 de courte focale, faites l'image de la grille sur l'écran. Placez une fente dans le plan focal de L_1 et filtrez une partie de l'énergie pour ne voir que les barreaux verticaux sur l'écran. Quelle est alors l'orientation de la fente-filtre ?

Question 16 Quelle doit être l'orientation de la fente-filtre pour ne laisser passer que l'information des barreaux horizontaux ? Faites l'expérience.

Question 17 Qu'observez-vous si vous orientez la fente-filtre à 45° des barreaux de la grille ? Expliquez.

Question 18 Retirez la grille et la fente-filtre et utilisez une fente large comme objet. Dans un premier temps, commentez la figure de diffraction de cette fente-objet. Ensuite, faites l'image de la fente sur l'écran et utilisez successivement les filtres passe-bas et passe-haut dans le plan focal de la lentille L_1 pour voir leur influence sur cette image. Commentez.

2.2.2 Strioscopie

Question 19 Créez un "objet de phase" sur une lame de microscope en y laissant votre empreinte digitale. Placez cet objet dans le montage de filtrage optique. Sans filtre, l'image de l'objet de phase a une intensité uniforme. En filtrant les basses fréquences dans le plan focal de la lentille L_1 (à l'aide d'un point occultant), révélez l'empreinte digitale à l'écran³.

3. Notez que pour réussir cette expérience il faut que l'écran se trouve exactement dans le plan image conjugué avec l'objet par L_1 .

3 Goniomètre—Résultats

3.1 Spectre de la lampe à vapeur de mercure

Angle de référence ϕ_0 :

Nombre de traits par millimètre du réseau utilisé :

Ordre de diffraction observé :

Raie Hg (intensité)	λ (nm)	ϕ_2 (° et ")	$\phi_2 - \phi_0$ (° et ")	$\sin(\phi_2 - \phi_0)$
violet (moyenne)	404.7			
violet (faible)	407.8			
blue-violet (forte)	435.8			
vert bleu (faible)	491.5			
vert (très forte)	546.1			
jaune (forte)	577.0			
jaune (forte)	579.1			

3.2 Lampe à vapeur de sodium

Raies du doublet jaune dans l'ordre 2.

Raie 1			Raie 2		
ϕ_2 (° et ")	ϕ_2 (rad)	λ_1 (nm)	ϕ_2 (° et ")	ϕ_2 (rad)	λ_2 (nm)