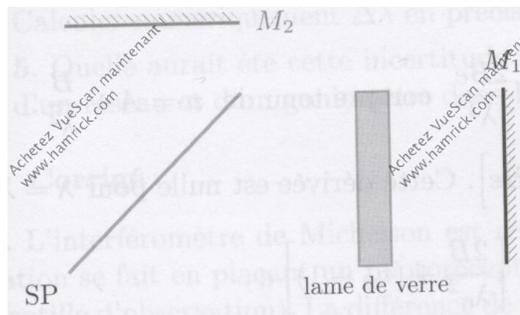


TD physique 18

interférences (2)

Exercice 1

En partant d'une situation en lame d'air à faces parallèles, un expérimentateur règle l'interféromètre de Michelson au contact optique. Il place ensuite une lame de mica d'épaisseur e devant le miroir M_1 parallèlement à ce dernier. L'indice du mica est $n_0 = 1,526$. Dans quel sens doit-on translater M_1 pour retrouver le contact optique ? Donner l'expression littérale du déplacement d permettant de retrouver le contact optique en fonction de e et n_0 (l'indice de l'air est égal, avec 4 chiffres significatifs, à 1,000). L'expérimentateur a déplacé M_1 de $0,050 \pm 0,005$ mm (en valeur absolue) pour retrouver le contact optique. Calculer numériquement l'épaisseur e de la lame de mica et l'incertitude sur cette grandeur.



Exercice 2

1. Décrire sommairement l'interféromètre de Michelson. Faire le schéma lors d'une utilisation en "lame d'air" d'épaisseur e et en donner les caractéristiques (on note i l'angle que fait le rayon incident avec l'axe du miroir translatable M_1).

Quelle est dans ce cas la différence de marche δ en fonction de i ? Quelle est la forme des franges ? Quel lien existe-t-il entre la taille de la source et la localisation des franges ?

2. Déterminer le rayon r_k du k^{ime} anneau brillant compté à partir du centre (que l'on suppose brillant, c'est à dire que l'ordre est entier au centre) en fonction de k, λ_0, e et f' , la distance focale de la lentille de projection, et commenter le résultat.

3. Faire le schéma de l'interféromètre de Michelson lors d'une utilisation en "coin d'air" d'angle a éclairé par une source quasi ponctuelle.

Quelle est dans ce cas la différence de marche δ en fonction de x où x est l'abscisse par rapport à l'arête des deux miroirs ? Quelle est la forme des franges ? Quel lien existe-t-il entre la taille de la source et la localisation des franges ?

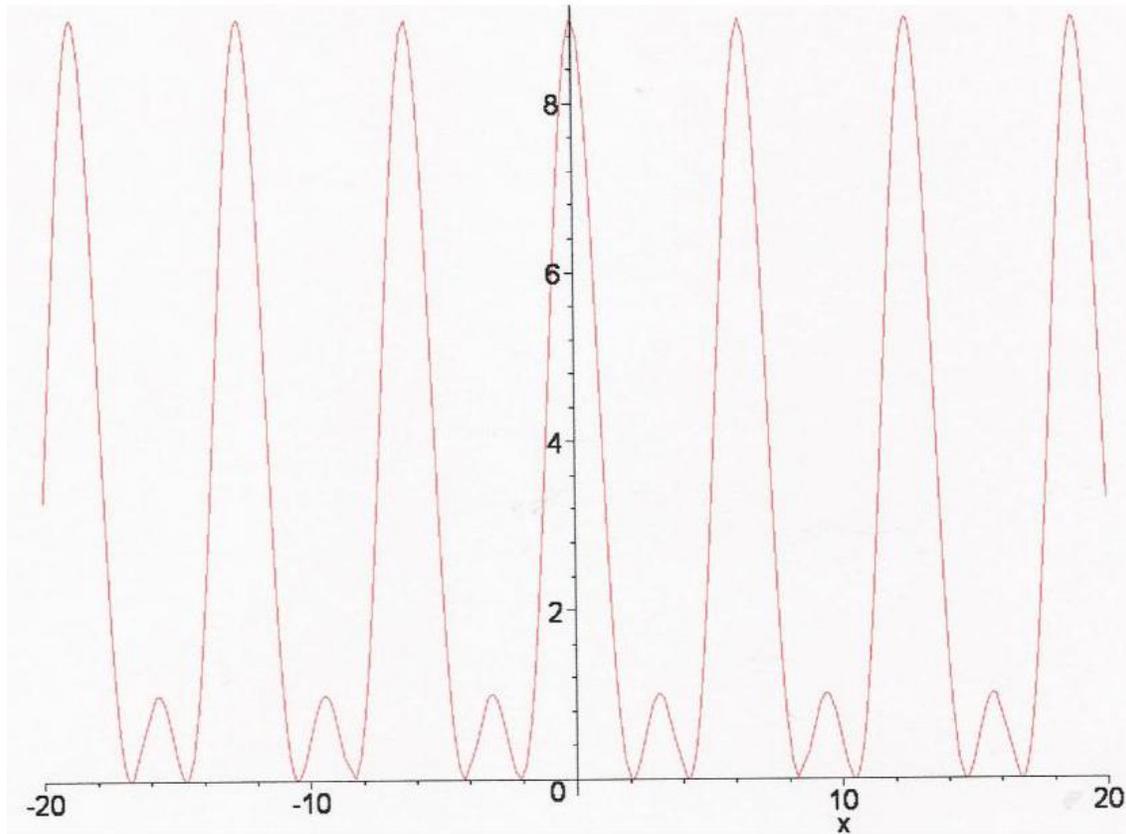
Exercice 3

On considère le dispositif des fentes d'Young : Une source S, considérée comme ponctuelle et parfaitement monochromatique (longueur d'onde notée λ) est placée au foyer objet d'une lentille convergente L_1 . Ce dispositif éclaire des fentes considérées comme infiniment fines, et on note a la distance entre deux fentes successives. On place ensuite une lentille convergente L_2 , de distance focale f_2 , et un écran dans le plan focal image de cette lentille.

On repère par x la position sur l'écran (dans la direction orthogonale aux fentes). Dans un premier temps, on considère le dispositif « habituel » avec deux fentes.

1. Faire un schéma du dispositif et décrire qualitativement la figure d'interférences observée sur l'écran

2. Donner l'expression de l'intensité lumineuse sur l'écran en fonction de x
3. On considère maintenant un dispositif comportant trois fentes. Les valeurs de x correspondant à des maxima d'intensité lumineuse sur l'écran sont-elles changées? Celles correspondant à des minima?
4. Donner à nouveau l'expression de l'intensité lumineuse sur l'écran en fonction de x . Commenter le graphe obtenu (donné ci dessous, avec en abscisses le déphasage entre deux ondes issues de deux fentes successives et en ordonnées l'intensité lumineuse rapportée à celle correspondant à une seule fente)
5. Décrire qualitativement comment évoluent les choses lorsque l'on augmente le nombre de fentes
6. Calculer l'intensité lumineuse dans le cas de N fentes



Exercice 4

On s'intéresse à un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air, et on note e l'épaisseur de la lame d'air équivalente à l'interféromètre.

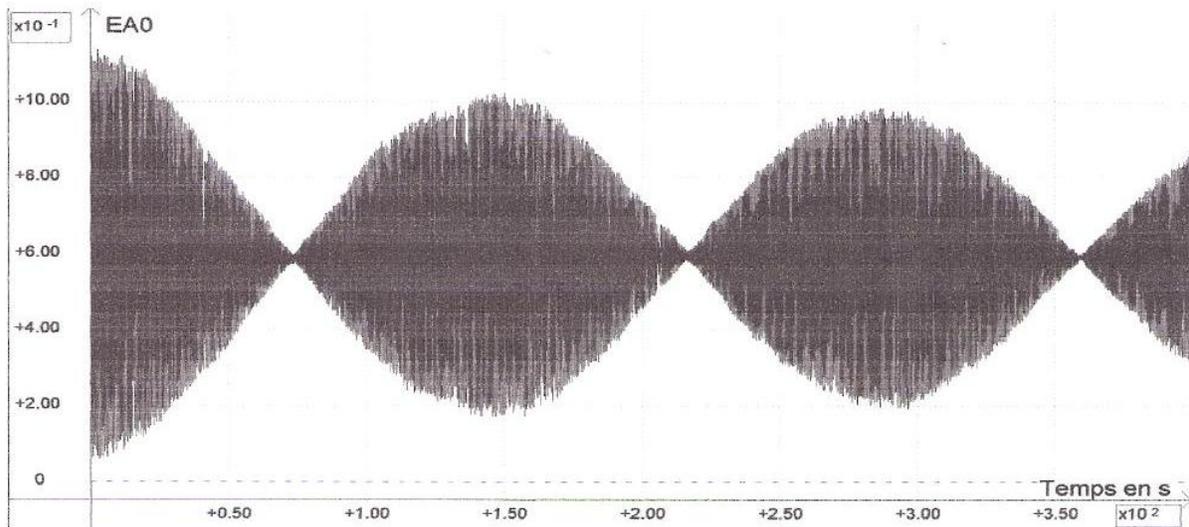
On observe les interférences à l'infini sur un écran placé au foyer image d'une lentille convergente.

La source est une lampe à vapeur de mercure, suivie d'un filtre interférentiel, qui ne laisse passer que deux radiations de même intensité et de longueurs d'onde voisines (dont la moyenne vaut 578 nm). On réalise un enregistrement de l'intensité lumineuse en fonction de e en utilisant :

- Une photodiode polarisée en inverse qui délivre un courant proportionnel à l'intensité lumineuse reçue placée au centre de l'écran, le signal est ensuite enregistré via un ordinateur

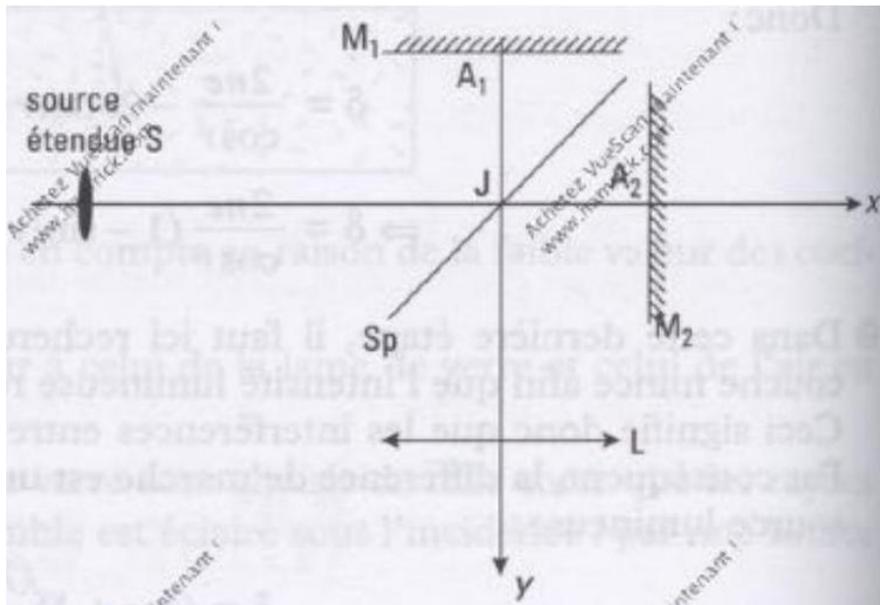
- Un moteur qui fait défiler le miroir mobile et ainsi varier e avec une vitesse de $555,5 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-1}$

Déduire de cet enregistrement l'écart entre les deux raies jaunes du mercure. Interpréter qualitativement le fait que l'intensité des battements diminue lorsque e augmente. ($e = 0$ au début du défilement).



Exercice 5

Un interféromètre de Michelson est plongé dans l'air. Dans tout le problème, on ne tient pas compte ni des inconvénients liés à l'épaisseur non négligeable de la séparatrice, ni d'éventuels changements de phase par réflexion. L'indice de l'air sera pris égal à 1.



On utilise comme source étendue S une lampe spectrale de symétrie de révolution autour de l'axe SJ . A partir de la situation où les deux bras sont égaux, $JA_1 = JA_2$ on fait tourner M_2 d'un angle α très faible autour d'un axe perpendiculaire au plan de la figure passant par A_2 . 1. Montrer à l'aide d'un schéma que le dispositif est équivalent à un coin d'air d'angle α

2. Comment éclairer le coin sous incidence quasi-normale ?

3. Pour des rayons lumineux voisins de l'incidence normale, faire apparaître, à l'aide d'un schéma, la position du plan de localisation de la figure d'interférences.

4. Comment faut-il placer la lentille L pour observer les interférences sur un écran ?

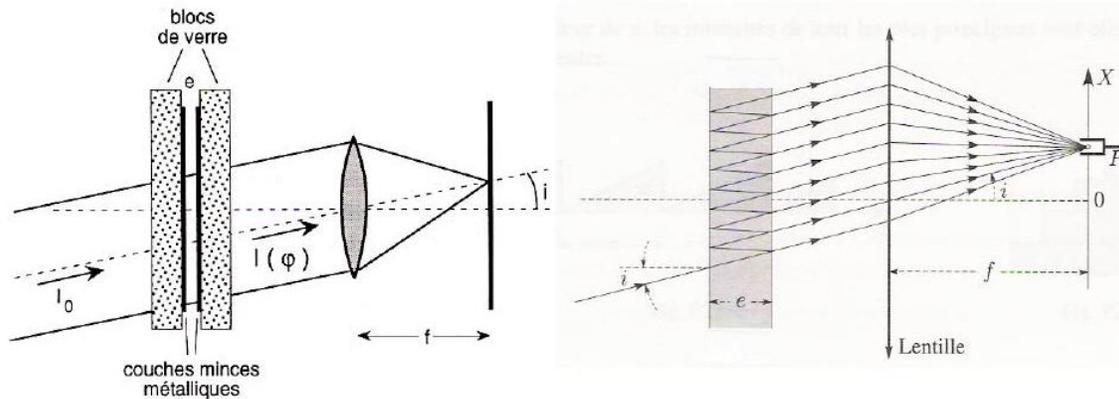
5. Caractériser le système de franges et donner la valeur de l'interfrange i sur l'écran, sachant que le grandissement de la lentille est égale à 4. Application numérique : $\alpha = 1''$ (une seconde d'arc), $\lambda = 546,1 \text{ nm}$. Donner la valeur de i .

6. On éclaire le coin d'air en lumière blanche, et on place dans le bras JA_1 parallèlement au miroir M_1 , une lame d'épaisseur e et d'indice n . Indiquer un moyen de déterminer l'épaisseur e ou l'indice moyen de la lame.

Exercice 6

On considère un interféromètre (de Fabry-Pérot) constitué d'une ' lame d'air' d'épaisseur e comprise entre 2 lames de verre rigoureusement parallèles (toute la difficulté des réglages vient de cette obligation), parfaitement planes et très réfléchissantes sur leur face interne (typiquement, le coefficient de réflexion en énergie est supérieur à 0,95 en incidence normale; i.e plus de 95% de l'énergie est réfléchi et moins de 5% transmise). On éclaire l' interféromètre en lumière parallèle et en incidence quasi-normale (cf schéma). On admet que l'on peut considérer les lames de verre comme infiniment minces, et ne se préoccuper des réflexions que sur les faces internes.

On note r le coefficient de réflexion en amplitude, et R le coefficient de réflexion en énergie ($R = r^2$). On ne tient pas compte des coefficients de transmission.



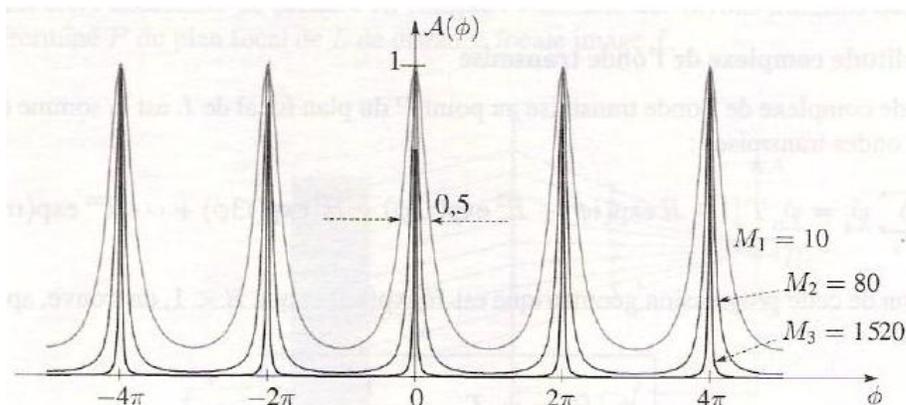
- 1) Exprimer le déphasage ϕ entre 2 rayons consécutifs.
- 2) Exprimer l'amplitude complexe du n^{eme} rayon en fonction de celle, notée E_0 , du rayon incident.
- 3) On considère qu'une infinité de rayons vont interférer à l'infini. En utilisant la notation complexe, exprimer l'amplitude complexe résultante en fonction de ϕ , E_0 et R .
- 4) En déduire l'intensité lumineuse pour une direction caractérisée par l'angle i . Que vaut l'intensité maximum ? Exprimer I en fonction de I_{max} et mettre sous la forme :

$$I = \frac{I_{max}}{(1 + M \sin^2(\phi/2))}$$

- 5) On place un écran dans le plan focal d'une lentille convergente pour observer ces interférences. Quelle est la forme des franges obtenues ?

- 6) On donne ci dessous l'allure de I en fonction de ϕ . Donner l'expression de la finesse, que l'on peut définir comme l'écart entre deux pics divisé par la largeur à mi-hauteur. Faire les applications numériques pour :

$R = 0,9$; $R = 0,95$ et $R = 0,99$. Pour comparaison, quelle est la finesse d'un interféromètre de Michelson ?



Exercice 7

Dans tout l'exercice, on considère le dispositif des fentes d'Young avec une largeur a entre les deux fentes (considérées comme infiniment fine), une lentille de focale f' et un écran dans son plan focal image. Les fentes sont éclairées par une source ponctuelle caractérisée par une fréquence et une longueur d'onde moyennes f et λ et un temps de cohérence τ_{coh} .

1. Donner un ordre de grandeur de τ_{coh} pour une lampe spectrale. Quel type de source permet d'obtenir un temps de cohérence nettement supérieur à cette valeur ? Quel temps de cohérence associe-t-on à une onde strictement monochromatique ?
2. Expliquer quelle caractéristique du détecteur (l'œil par exemple) intervient dans le brouillage des franges lorsque les ondes ne sont pas cohérentes.
3. Expliquer qualitativement l'influence du temps de cohérence sur la figure d'interférences obtenue
4. Montrer que le nombre de franges visibles est de l'ordre de $2\ell_{coh}/\lambda$.
5. On considère un profil spectral rectangulaire pour la source, c'est à dire $I = c^{ste}$ pour $f_1 < f < f_2$ et $I = 0$ en dehors de cet intervalle. Donner l'expression de l'intensité lumineuse sur l'écran en fonction de la différence de marche entre les deux ondes.
6. En considérant que les franges ne sont plus visibles à partir du premier zéro du sinus cardinal, vérifier que le temps de cohérence est de l'ordre de Δf^{-1} , où $\Delta f = f_2 - f_1$.

Exercice 8

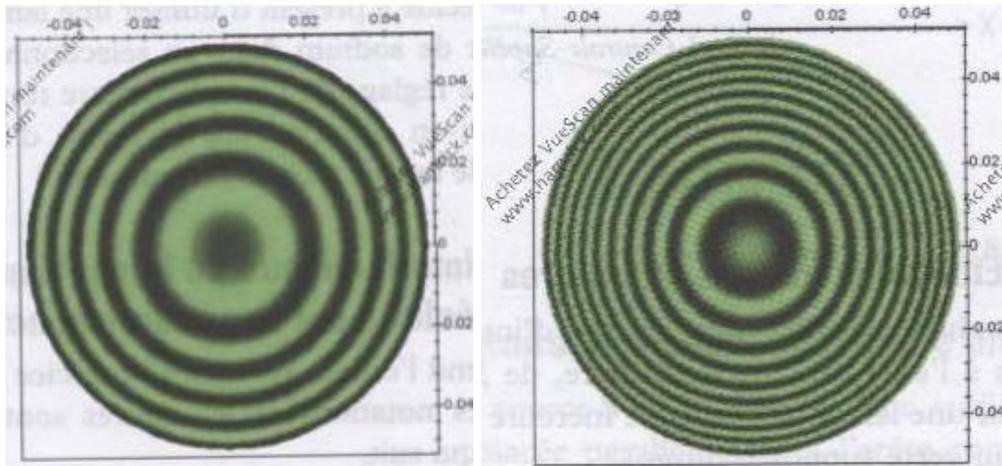
On souhaite étudier des figures d'interférences obtenues à l'aide de l'interféromètre de Michelson, éclairé par une lampe à vapeur de mercure (radiation de couleur verte supposée filtrée).

1. Peut-on considérer que cette lampe est une source ponctuelle ?
2. Comment peut-on réaliser expérimentalement une source quasi-ponctuelle ?

On considère la condition de source ponctuelle réalisée ; on règle l'interféromètre puis on relève sur l'écran d'observation l'enregistrement donné sur la première figure.

Les deux sources secondaires sont notées S_1 et S_2 , l'écran est placé à distance $D = 1$ m du milieu de $[S_1 S_2]$ On donne la longueur d'onde de la lumière filtrée : $\lambda_0 = 546,10$ nm

3. Comment est réglé l'interféromètre ?
4. L'ordre au centre p_0 de la figure d'interférences est ici égal à 3974, 4. Quelle est la nature de la frange centrale ? Pourrait-on avoir $p_0 = 3975$ avec un tel enregistrement ?
5. Calculer l'écartement a des deux sources secondaires avec le nombre de chiffres significatifs adéquat. Commenter la précision de ce dernier résultat sachant que le vernier qui mesure le déplacement du miroir mobile de l'interféromètre est gradué en centièmes de millimètres.



Sur les deux enregistrements, les graduations sont données en mètres.

6. Mesurer les rayons des troisième et quatrième franges brillantes en partant du centre. Comparer ces valeurs aux résultats prévus par la théorie. En déduire la valeur locale de l'interfrange

7. Pourquoi les anneaux sont-ils plus resserrés vers l'extérieur du champ d'interférence ?

On modifie le réglage de l'interféromètre et on relève le second enregistrement.

8. L'écran et les sources étant les mêmes que précédemment. Indiquer l'opération qui a été effectuée.

9. Déterminer numériquement l'épaisseur de la lame d'air.