

Optique - TD2 - Interféromètre de Michelson

Exercice 1 - Anneaux d'égalé inclinaison

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air. Il est éclairé par une lampe au mercure devant laquelle on a placé un diaphragme largement ouvert et un filtre interférentiel isolant la raie verte de longueur d'onde dans le vide $\lambda_o=546,1$ nm.

- Où doit-on placer l'écran pour observer des anneaux bien contrastés ?
- La distance entre les miroirs est $e=1,1$ mm et la lentille de projection a une distance focale $f'=1$ m. Déterminer l'ordre d'interférence p_o au centre de la figure. Calculer les rayons ρ_1 et ρ_2 des deux premiers anneaux brillants.
- On diminue la valeur de e .
 - Comment les anneaux évoluent-ils sur l'écran ?
 - Quelle est l'expression de la valeur e' de l'épaisseur de la lame d'air pour laquelle le premier anneau disparaît ?
 - Calculer la valeur de $e' - e$. Commenter.
 - En déduire le rayon ρ'_1 du nouveau premier anneau et le comparer au rayon de l'anneau qui a disparu.
- On considère que l'angle d'incidence maximum sur les miroirs est $i_{max} = 20^\circ$. Quel est le nombre d'anneaux visibles pour $e = 0,1$ mm ?
- L'expérimentateur observe qualitativement que le contraste de la figure reste bon tant que l'épaisseur e reste inférieure à 1,8mm. En déduire l'ordre de grandeur de la longueur de cohérence ℓ_c de la lampe à mercure filtrée. En déduire un ordre de grandeur de la largeur spectrale $\Delta\lambda$ de la raie verte.

Exercice 2 - Franges d'égalé épaisseur

Un interféromètre de Michelson est réglé pour observer les franges du coin d'air. Il est éclairé par une source étendue à l'infini. La figure d'interférence est projetée sur un écran à l'aide d'une lentille de distance focale $f'=20$ cm. La distance entre la lentille et l'écran est $D=1,30$ m. On mesure sur l'écran un interfrange $i=4$ mm. La lumière est monochromatique de longueur d'onde $\lambda_o=546,1$ nm.

- Quel est le grandissement γ du système de projection ?
- Quel est l'angle α entre les miroirs ?
- Combien voit-on de franges si les miroirs ont un diamètre $d=2$ cm.

Exercice 3 - Mesure de l'indice de l'air

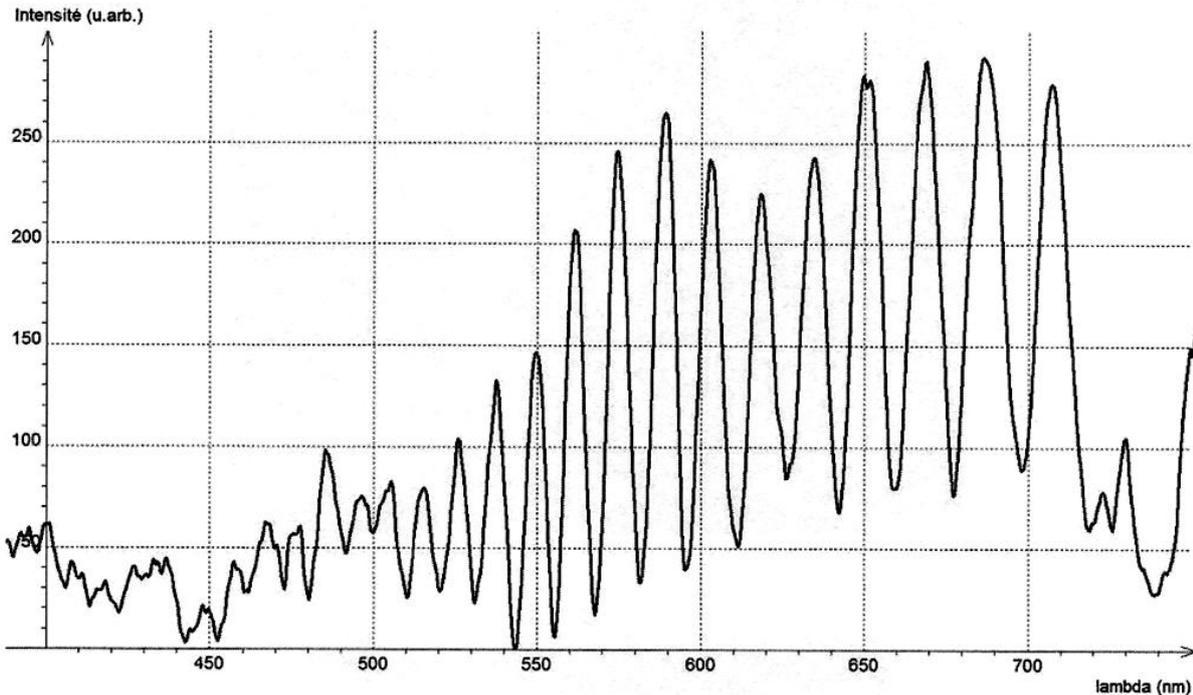
Une source lumineuse monochromatique de longueur d'onde $\lambda_o=589$ nm, placée au foyer objet d'une lentille convergente, éclaire un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air. À la sortie de l'interféromètre, on place une cellule photoélectrique au foyer image d'une lentille convergente. Cette cellule délivre un signal électrique u proportionnel au flux lumineux reçu par le détecteur. Sur l'une des voies, le faisceau traverse une cuve dont la longueur intérieure est $d=1,0$ cm. Initialement, la cuve est vide et le signal u correspond à un maximum d'éclairement. On fait entrer lentement l'air dans la cuve, jusqu'à ce que la pression soit égale à la pression atmosphérique. 10 minima et maxima sont enregistrés et le détecteur indique un signal à la moitié du maximum.

- Faire un schéma du dispositif expérimental.
- Qu'observe-t-on dans le plan focal image de la deuxième lentille ?
- Comparer les valeurs de l'ordre d'interférence au début et à la fin de l'expérience.
- En déduire la valeur numérique de $n_{air} - 1$.

Exercice 4 - Mesure de l'épaisseur d'un film plastique

On considère un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air avec une source de lumière blanche.

1. Faire un schéma du dispositif et indiquer les réglages qui permettent d'arriver à cette configuration.
2. On place un film plastique d'épaisseur ℓ et d'indice $n = 1,53$ devant un des miroirs. Les franges disparaissent. On observe le spectre suivant en plaçant un détecteur à la position de la frange blanche sans le film. Comment qualifie-t-on ce spectre ? Peut-on en déduire l'épaisseur du film plastique ?



Exercice 5 - Vérification de la loi de Gladstone-Dale

D'après Mines Ponts MP 2019

Après avoir étudié les propriétés optiques de différents liquides dans le domaine du visible, Gladstone et Dale ont proposé en 1858 une loi empirique relative à l'indice de réfraction n , indiquant que $n - 1$ est proportionnel à la masse volumique du liquide. Cette loi a ensuite été étendue au cas du fluide diélectrique homogène et isotrope, comme le sont les gaz et les mélanges de gaz. On étudie ici une vérification expérimentale de cette loi pour l'air. L'indice de l'air à la pression p_o et à la température T_o ambiantes dans le laboratoire est noté n_o .

1. Montrer que dans le cas de l'air, la loi de Gladstone-Dale revient à écrire que $n - 1$ est proportionnel au rapport de la pression sur la température de l'air.

Par la suite, on se place à la température T_o et on écrira :

$$n - n_o = \frac{a}{T_o}(p - p_o)$$

où a est une constante qui dépend de la composition de l'air (humidité, taux de CO_2 ...)

2. On souhaite déterminer la valeur du coefficient a à l'aide d'un interféromètre de Michelson. Il est éclairé par une source monochromatique de longueur d'onde λ et réglé de façon à observer des anneaux sur l'écran. Faire un schéma du dispositif et indiquer les caractéristiques des lentilles utilisées.

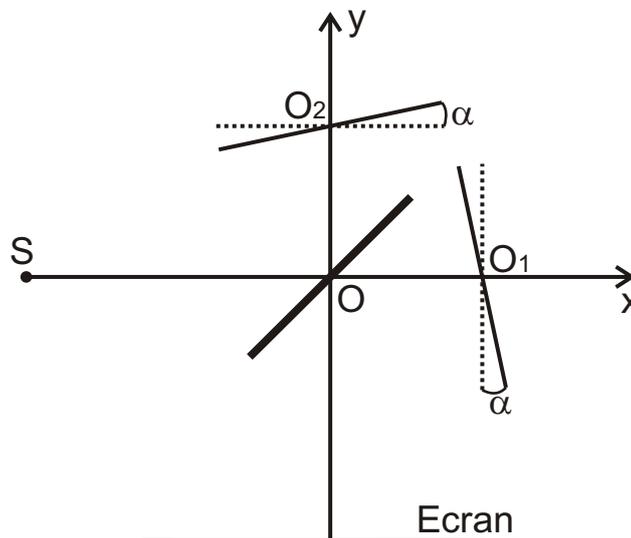
3. En supposant que le centre de la figure est un point brillant d'éclairement maximal donner le rayon du k^{eme} anneau en supposant que les angles des rayons lumineux par rapport à l'axe optique sont petits.
4. Une cuve est introduite entre un miroir de l'interféromètre et sa lame compensatrice . Cette cuve contient de l'air dont on peut faire varier la pression par une simple pompe à main. Un manomètre permet de mesurer la pression relative atteinte. En gonflant lentement, l'air de la cuve reste sensiblement à température ambiante. Une microfuite permet ensuite de ramener très lentement la pression de la cuve à p_o . Dans la suite on néglige l'influence des parois de la cuve. Une photodiode est placée à la place de l'écran au centre de la figure d'interférence et permet de compter le nombre de franges brillantes N qui défilent lentement lors de la diminution de la pression dans la cuve. La longueur de la cuve traversée par les rayons lumineux est $L = 4$ cm.
 - (a) Relier N à la différence d'indice $n - n_o$.
 - (b) Pour $T_o=300$ K et $\lambda = 530$ nm on obtient les résultats suivants :

$p - p_o$ (bar)	0,5	0,7	1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5
N	17	26	40	56	68	82	92	102	111

En déduire $a \simeq 1.10^{-6} \text{K.Pa}^{-1}$

Exercice 6 - Interféromètre éclairé par une source ponctuelle

On considère un interféromètre de Michelson éclairé par une source ponctuelle. L'appareil étant réglé au contact optique, avec $OO_1 = OO_2 = L$, on tourne les deux miroirs du même angle α et dans le même sens autour des axes (O_1z) et (O_2z) . La source ponctuelle S est placée à la distance $2L$ de O. On observe les phénomènes d'interférences sur un écran situé à la distance $4L$ de O.



1. Déterminer les deux sources secondaires S_1 et S_2 dont semblent provenir les vibrations qui interfèrent en un point M de l'écran. Exprimer $a = S_1S_2$ ainsi que la distance D entre le milieu I de $[S_1S_2]$ et l'écran en fonction de L et α .
Application numérique : $L=0,25$ m et $\alpha = 10^{-3}$ rad. Calculer a et D .
2. La source est monochromatique de longueur d'onde $\lambda=633$ nm. Qu'observe-t-on sur l'écran ? Calculer numériquement une distance caractéristique de la figure d'interférences.

Exercice 7 - Extrait Centrale PC 2023

Q 9. Détailler un protocole expérimental simple, basé sur la mesure de la fréquence de défilement de franges devant un capteur CCD, qui permet de mesurer v par interférométrie. Dans le cas d'un laser Nd-YAG dont la longueur d'onde vaut $\lambda = 1064$ nm, calculer la vitesse qui correspond à une fréquence de défilement de $f_d = 3,76$ kHz pour le dispositif choisi.

Exercice 8 - Défaut de planéité d'un miroir

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air à faces parallèles. On déplace le miroir mobile jusqu'à l'obtention de la teinte plate. Sans modifier aucun réglage, l'expérimentateur éclaire alors l'appareil avec un faisceau approximativement parallèle de lumière monochromatique et projette sur un écran l'image des miroirs.

1. Que voit-il si les miroirs sont parfaitement plans ?
2. Il observe en fait un centre clair, un anneau foncé aux $2/3$ du rayon. En supposant que l'un des miroirs est parfait, quel est le défaut présenté par l'autre ? Proposer des ordres de grandeur et commenter ces valeurs en évaluant la courbure du mauvais miroir.

Exercice 9 - bande passante d'un filtre

Un interféromètre de Michelson est éclairé par une source de lumière blanche munie d'un filtre.

1. Un filtre interférentiel vert porte les indications (550 nm, 10 nm). On constate que des franges d'interférences sont visibles lorsque le miroir M_1 reste dans une plage de translation longue d'environ $60 \mu\text{m}$. Cette observation peut-elle être rapprochée des indications portées par le filtre ?
2. Au lieu d'un filtre interférentiel, on peut utiliser un verre coloré dont on admet qu'il est dix fois moins sélectif que le filtre interférentiel. Peut-on repérer la plage de translation du miroir M_1 dans ce cas ? Proposer dans ces conditions, une observation permettant d'évaluer la bande passante du verre coloré.