



Mesures interférométriques

Le but de ce TP est d'utiliser l'interféromètre de Michelson dans ses différentes configurations afin de faire des mesures précises.

Le Michelson est un appareil de grande précision dont les surfaces optiques sont de planéité d'au moins $\lambda/20$. C'est un appareil qui coûte donc très chers (de l'ordre de 10 000 euros !)

IL DOIT ÊTRE MANIPULÉ AVEC BEAUCOUP DE SOIN.

Ne jamais, en aucun cas, toucher les miroirs ou les lames (séparatrice et compensatrice) et ne jamais forcer sur les vis.

Les ampoules des lampes spectrales sont **fragiles et coûteuses**. Les lampes resteront **allumées pendant toute la séance**.

Il ne faut ni rallumer ni déplacer brutalement une ampoule encore chaude.

Matériel à disposition

- 1 interféromètre de Michelson,
- 1 lampe à vapeur de mercure et 1 lampe à vapeur de sodium,
- 1 lampe blanche,
- diverses lentilles dont un condenseur,
- 1 diaphragme sur pied, 1 fente réglable sur pied,
- 1 réseau sur pied,
- 1 mètre ruban

I Réglage du Michelson

✗ Régler l'interféromètre de Michelson éclairé par une lampe à vapeur de sodium en configuration lame d'air (vous reportez au TP précédent).

II Anneaux d'égalé inclinaison

L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé en "lame d'air" : on observe les "anneaux d'égalé inclinaison" localisés à l'infini.

II.1 Étude des anneaux d'égalé inclinaison

Le réglage grossier étant effectué, les franges d'égalé inclinaison peuvent être observées sur un écran, dans le plan focal d'une lentille de distance focale $f' = 1$ m.

✗ Vérifier qu'en tournant la vis V_m (vis de "chariotage") dans un sens, les anneaux convergent au centre de la figure d'interférence, tandis qu'ils divergent à partir du centre lorsqu'on tourne la vis dans l'autre sens.

↳ Dans quel cas diminue-t-on l'épaisseur de la lame d'air entre (M_1') et (M_2) ?

☞ Dans quel cas l'écart entre les anneaux s'accroît-il ?

✕ Positionner le miroir (M_1) de façon à avoir sur l'écran 6 ou 7 anneaux brillants bien contrastés de rayons mesurables. Mesurer les rayons de ces anneaux.

II.2 Mesure de l'épaisseur de la lame d'air

Ces anneaux correspondent à des ordres d'interférences $p = \frac{\delta}{\lambda}$ entiers. Un anneau de rayon r correspond à des rayons d'inclinaison $i = \frac{r}{f'}$ par rapport à la normale commune aux miroirs. La différence de marche correspondante est $\delta = 2e \cos i \simeq 2e \left(1 - \frac{r^2}{2f'^2}\right)$. Notons $p_0 = \frac{2e}{\lambda}$ l'ordre au centre. Les rayons des anneaux d'ordre entier sont donc r_k tels que $r_k^2 = 2f'^2 \left(\alpha - \frac{k}{p_0}\right)$.

☞ Vérifier que la suite des r_k^2 est une suite arithmétique dont on calculera la raison.

☞ En relevant la valeur de f' , déterminer l'épaisseur e de la lame d'air dans ces conditions. On prendra pour longueur d'onde la valeur moyenne des deux composantes du doublet jaune soit $\lambda_0 = 589,3 \text{ nm}$.

☞ Noter la position de (M_2) sur le vernier de V_m ; en déduire la position correspondant à une épaisseur nulle $e = 0$.

II.3 Mesure de l'écart $\Delta\lambda$ du doublet du sodium

On rappelle que la variation Δe d'épaisseur de la lame d'air entre deux brouillages successifs des anneaux permet de retrouver l'écart $\Delta\lambda$ entre les deux longueurs d'onde du doublet jaune du sodium :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2\Delta e}$$

où λ_m est la longueur d'onde moyenne du doublet. On prendra $\lambda_m = 589 \text{ nm}$. L'incertitude associée est donnée par : $\frac{\Delta(\Delta\lambda)}{\Delta\lambda} = \frac{\Delta(\Delta e)}{\Delta e}$.

✕ Mesures : $e_{\text{brouillage1}} = \dots$, $e_{\text{brouillage2}} = \dots$, d'où $\Delta e = \dots \pm \dots$

d'où $\Delta\lambda = \dots \pm \dots$

II.4 Recherche de l'épaisseur nulle

En partant des anneaux précédents, on diminue l'épaisseur de la lame d'air en manœuvrant V_m de façon à faire converger les anneaux au centre de la figure d'interférences. Lorsque l'on s'approche du contact optique, les anneaux deviennent de plus en plus espacés et il est possible, sinon probable que le centre des anneaux sorte du champ ; il faut alors retoucher le parallélisme des miroirs en agissant cette fois sur les vis de réglage fin du miroir (M_1). Lorsque l'on a dépassé le contact optique, les anneaux divergent à partir du centre lorsque l'on continue à tourner la vis V_m dans le même sens. Donner ainsi un encadrement de la position de (M_2) correspondant à l'épaisseur nulle. Cette position est-elle compatible avec celle qui a été prédite précédemment ?

On observe alors une "teinte plate" sur l'écran (éclairage uniforme).

Noter la position de V_m sur le vernier pour pouvoir y revenir éventuellement ensuite.

☞ Cette valeur correspond-elle à la valeur prévue ?

L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé au "contact optique" : on observe la "teinte plate".

III Configuration en "coin d'air"

III.1 Réglage du coin d'air

✘ À partir de la configuration précédente, passer ensuite en configuration "coin d'air" en pivotant le miroir M_1 autour de son axe vertical avec la vis V_4 . La source étant étendue, les franges sont localisées au voisinage des miroirs, et les franges ne sont pas visibles sur l'écran.

Pour faire la projection, remplacer la lentille de grande focale par une lentille de focale $f' = 20$ cm et conjuguer les miroirs avec le plan de l'écran pour obtenir des franges nettes

L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé en "coin d'air" : on observe les "franges d'égal épaisseur" localisées sur les miroirs.

III.2 Ordre de grandeur de l'angle d'un coin d'air

↻ Régler l'interféromètre en coin d'air de sorte que dix à quinze franges soient observables.

✘ Mesurer la distance lentille-écran d'observation ; en déduire le grandissement transversal.

✘ Mesurer l'interfrange i' sur l'écran ; en déduire la valeur de l'interfrange i au niveau du coin d'air.

↻ Rappeler la relation entre i , la longueur d'onde λ et l'angle α du coin d'air. En déduire une évaluation de l'angle du coin en prenant $\lambda = 589,3$ nm.

III.3 Franges en lumière blanche

La source est toujours une lampe à vapeur de sodium. Vérifier que vous êtes toujours quasiment au contact optique :

✘ Repasser en configuration lame d'air et rechercher le contact optique si besoin.

✘ Repasser en configuration coin d'air.

✘ Remplacer la lampe spectrale par une lampe de lumière blanche. Avec de la chance, on peut voir des franges...

Le plus souvent, on observe un éclairement uniforme (blanc d'ordre supérieur obtenu par la superposition des figures d'interférences pour toutes les longueurs d'onde du spectre visible). Il n'y a que pour l'ordre $p = 0$ que l'on peut observer une frange blanche brillante, et le contraste se dégrade très vite lorsque $|p|$ augmente. Si l'on n'observe pas de frange, c'est que le contact optique n'est pas satisfaisant.

✘ Déplacer **très lentement** le miroir (M_1) jusqu'à ce que cette frange blanche apparaisse dans le champ.

III.4 Spectre cannelé

Placer alors en sortie de l'interféromètre une fente rectangulaire. Projeter une image de cette fente à l'aide d'une lentille de projection, puis insérer un réseau (300 traits. mm^{-1}) accolé à la lentille. Observer le spectre de la lumière dans le plan de l'écran.

Translater doucement M_2 et observer le spectre. Expliquer.

Noter le nombre maximum de cannelures que l'on peut observer. Estimer la différence de marche δ_{max} correspondant à ce nombre de cannelures.

III.5 Mesure de l'indice optique d'un verre

Cette dernière expérience permet de mesurer l'indice optique d'un verre. Elle exploite la grande sensibilité des interférences en lumière blanche : comme celles-ci ne sont visibles qu'au voisinage immédiat du contact optique, elles constituent un point de repère utile pour la détermination des chemins optiques.

Partant du contact optique, on insère dans l'un des bras de l'interféromètre une fine lame de verre, d'épaisseur e connue, ce qui a pour effet de rallonger le chemin optique parcouru par les rayons traversant la lame. On chariote ensuite le miroir mobile sur une longueur ℓ permettant de retrouver le contact optique.