

TDO4 : Interféromètre de Michelson - Correction

ex1 : En lame d'air, le faisceau incident est focalisé sur les miroirs pour obtenir de nombreux angles d'incidence et donc de nombreux ordres d'interférence visibles sur l'écran. Une lentille de courte focale en entrée permet un angle d'incidence i plus grand. Pour une grande image, l'écran doit être loin de la sortie, donc il faut une lentille de sortie de grande distance focale.

ex2 : En coin d'air, l'interféromètre est éclairé en onde plane incidente. Comme les franges sont localisées au voisinage des miroirs, on place une lentille en sortie puis l'écran dans le plan conjugué des miroirs par cette lentille.

1 Exo-type : lame d'air

2. Les franges localisées à l'infini.
3. Il faut un faisceau incident focalisé sur les miroirs par une lentille de courte focale.
4. Cf cours pour montrer $\delta = 2e \cos(i)$. Puis schéma sortie avec lentille pour remarquer $i \simeq \rho/f'$ qui donne alors $\delta \simeq 2e(1 - (\rho/f')^2/2)$.
5. Comme la frange centrale est brillante, alors $p_0 = 2e/\lambda$ entier. Donc pour le n -ième anneau brillant : $p_n = p_0 - n$. Alors $\rho_n = f' \sqrt{n\lambda/e}$. $\rho_1 = 2,5 \text{ cm}$.
6. Cf cours : antioïncidences pour $2e\Delta\lambda/\lambda_m^2 = q + 1/2$ avec $q \in \mathbb{Z}$, puis $e = \frac{(q + 1/2)\lambda_m^2}{2\Delta\lambda}$. AN : $e = 145 \mu\text{m} + q \times 2$

2 Exo-type : coin d'air

2. Les franges sont localisées au voisinage des miroirs.
3. On éclaire par un faisceau incident parallèle en incidence normale.
4. Sur le miroir, $i = \lambda/(2\alpha) = 3 \text{ mm}$.
5. Formule de conjugaison $1/D + 1/d = 1/f'$ donne $D = f'd/(d - f')$. Puis $\gamma = -D/d = -f'/(d - f') = -4$. Donc sur l'écran $i' = |\gamma|i = 1,2 \text{ cm}$.
6. En éclairage par un doublet de raies proches, le contraste oscille régulièrement en s'éloignant du centre de la figure : alternance de coïncidence et antioïncidences. Mais en pratique, ces alternances sont trop éloignées pour être observables dans les conditions de ce montage.

En effet, la première antioïncidence est à distance sur l'écran de la frange centrale $x = |\gamma|\lambda^2/(4\alpha\Delta\lambda) = 5,8 \text{ m}$.

Antioïncidences régulièrement espacées sur l'écran de $\Delta x = |\gamma|\lambda^2/(2\alpha\Delta\lambda) = 11,6 \text{ m}$ Très supérieur à taille de l'écran. Donc en pratique, pas observable en coin d'air.

7. Une frange bien contrastée, cernée par quelques franges colorées puis de blanc d'ordre supérieur.

3 Bande passante d'un filtre (**)

1. La longueur de cohérence L_c est reliée au temps de cohérence τ_c (durée typique d'un train d'onde) d'une onde par $L_c = c \cdot \tau_c$. Pour observer des interférences, il faut $|\delta| < L_c$.

Cf fin du cours chapitre O1 pour montrer que $L_c = \lambda^2/\Delta\lambda$.

2. Au centre de la figure d'interférence, $\delta = 2e$. Donc quand x varie, e aussi et on observe une alternance de luminosité par interférences. Mais si e augmente trop, le contraste va diminuer car $|\delta|$ va finir par atteindre et dépasser L_c .

D'après l'énoncé, le miroir parcourt une distance totale $\Delta x_{tot} = |x_2 - x_1|$ en $\Delta t_{tot} = 5 \text{ min}$.

On mesure approximativement sur le graphe une durée $\Delta t \simeq 50 \text{ s}$ entre le maximum de contraste et une diminution notable d'un côté. Cela correspond à un déplacement de $\Delta x = \Delta x_{tot} \Delta t / \Delta t_{tot} = 0,013 \text{ mm}$.

Comme $|\delta| = 2 \cdot \Delta x$, alors $\Delta\lambda = \lambda^2/(2\Delta x) = 12 \text{ nm}$

4 Doublet du mercure (**)

1. Cf cours pour $\Delta\lambda = \lambda^2/(2\Delta e)$.
2. Δe est à extraire du graphe, cf méthode exo précédent.

5 Mesure de l'indice de l'air

Traduction de l'énoncé : variation d'ordre de $|\Delta p| = 9,5$. On en déduit n , cf exo précédent.

6 Rayon des anneaux

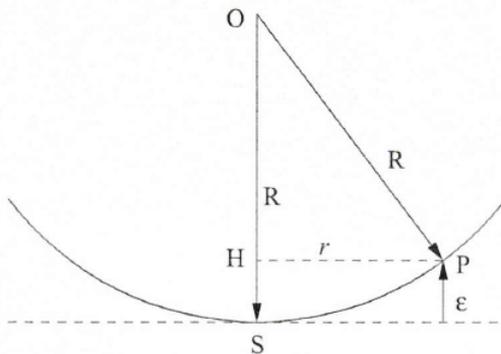
1. Vert.
2. $p = 2e/\lambda = 4029,3$ a priori ni entier ni demi-entier. Mais, avec le bon nombre de chiffres significatifs, $p = 4,010^3$, on ne peut pas conclure si p est entier ou demi-entier.
3. Cf exo de cours.
4. Les anneaux convergent vers le centre et y meurent. Le nombre total d'anneaux visibles diminue.
5. Vu l'incertitude sur e (bien supérieure à λ), les calculs de p sont imprécis à plus d'une unité près, on ne peut donc pas être assez précis pour calculer si l'interférence au centre est constructive ou destructive!

7 Spectre cannelé en lame d'air (**)

1. Franges circulaires.
2. Les anneaux convergent vers le centre et y meurent. Le nombre total d'anneaux visibles diminue.
3. Cf méthode exo TDO3 qui donne un encadrement de e .
4. Si tourner de 2π translate de $\ell = 0,500$ mm. Alors, atteindre le contact optique à partir de e se fait en tournant d'un angle $\varphi = 2\pi e/\ell$. AN : angle très petit difficile à atteindre!

8 Mesure du rayon de courbure d'un miroir déformé (***)

Voici l'allure des miroirs après repliage (les proportions ne sont pas respectées).



Le système se comporte donc comme un coin d'air sphérique. Comme on fait l'observation sur M'_1 , la différence de marche est, comme dans le coin d'air $\delta = 2\varepsilon$. On lit sur la figure

$$\varepsilon = HS = R - OH = R - \sqrt{R^2 - r^2}$$

Comme R est de l'ordre de la dizaine de mètres et r de l'ordre de quelques centimètres, on peut faire le développement limité

$$\varepsilon = R \left[1 - \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}} \right] \approx R \left[1 - \left(1 - \frac{r^2}{2R^2} \right) \right]$$

$$\text{soit } \varepsilon \approx \frac{r^2}{2R}$$

L'ordre d'interférences vaut donc

$$p(r) = \frac{r^2}{\lambda_0 R}$$

Les franges brillantes sont observées lorsque p est un entier. Au centre de la figure, on est au contact optique d'après l'énoncé, donc $p = 0$ et on a bien une tache brillante. Le rayon mesuré sur l'écran est égal à r multiplié par 4,0 (grandissement). Pour les franges visibles, de $k = 0$ à 4, on a donc

$$k = \frac{\left(\frac{r_k}{4}\right)^2}{\lambda_0 R} \text{ soit } r_k^2 = 16\lambda_0 R k$$

Dressons le tableau des valeurs de r_k^2 en fonction de k .

k	0	1	2	3	4
$r_k^2 (\times 10^{-4} \text{ m}^2)$	0	2,26	4,84	6,76	9,00

Le coefficient de régression linéaire vaut 0,9991 ce qui valide le modèle. Le coefficient directeur vaut

$$16\lambda_0 R = 2,251 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ donc } R = \frac{2,251 \cdot 10^{-4}}{16\lambda_0} = 24 \text{ m}$$