TD8

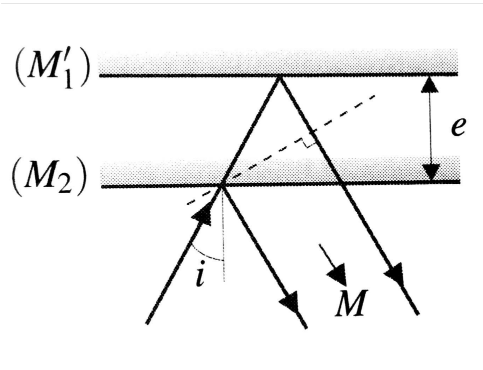
Division d'amplitude

Questions de cours

- Expliquer la différence entre les deux configurations principales du Michelson. Dans chaque cas donner les caractéristiques des interférences et les conditions d'éclairement optimales.
- Qu'est ce que le contact optique ? Qu'observe t-on sur un écran d'observation dans cette configuration ?
- Dans le cas d'une source étendue, ou se situent les interférences dans chacune des configurations ? Même question dans le cas d'une source ponctuelle
- Dans le cas de la configuration lame d'air démontrer l'expression de la différence de marche
- Déterminer le rayon des anneaux brillants
- Expliquer la figure d'interférence obtenue pour un Michelson en coin d'air éclairé par la lumière blanche

Applications directes du cours

Exercice 1 - Lame d'air - ♥♥♥ / ★★



En utilisant la construction géométrique ci-dessus, établir l'expression de la différence de marche au point M situé à l'infini par un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air.

Exercice 2 - Franges d'égale inclinaison - ♥♥♥ / ★★

un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air. Il est éclairé par une source étendue monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 0,546\ \mu m$.

1. Où doit-on placer l'écran pour observer des anneaux bien contrastés ?
2. On utilise une lentille convergente de distance focale $f' = 50\ cm$. On mesure sur l'écran les rayons du premier anneau brillant $\rho_1 = 4,8 \pm 0,1\ cm$ et du cinquième anneau brillant $\rho_5 = 13,3 \pm 0,1\ cm$. En déduire l'épaisseur e de la lame.

Exercice 3 - Angle du coin d'air - ♥♥ / ★

On observe les franges d'égale épaisseur produites par un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air, et éclairé par une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 589\ nm$. Les miroirs de l'interféromètre sont circulaires, de diamètre $d = 2,00\ cm$. On peut compter 16 franges brillantes sur toute la largeur du miroir.

Estimer l'angle α entre les deux miroirs.

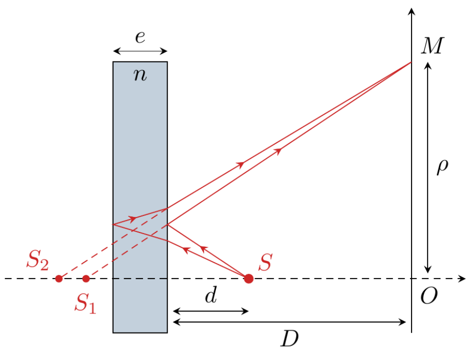
Exercice 4 - Mesure de l'indice de l'air - ♥♥♥ / ★

Un interféromètre de Michelson est réglé de façon à observer des franges rectilignes avec une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 589\ nm$. Sur l'une des voies, le faisceau traverse une cuve dont la longueur intérieure est $\ell = 1,00\ cm$.
Un détecteur mesure l'intensité en un point fixe du champ d'interférences. Initialement, la cuve est vide, et le détecteur est placé sur un maximum d'intensité.
On fait entrer l'air dans la cuve, jusqu'à ce que la pression soit égale à la pression atmosphérique. On voit défiler alternativement 10 franges noires et 9 franges claires, et le détecteur indique finalement une intensité égale à la moitié de l'intensité maximale.

1. Expliquer comment il faut placer le détecteur si l'interféromètre est éclairé par une source étendue.
2. Déterminer l'indice de réfraction de l'air à la pression atmosphérique.

Approfondissement

Exercice 5 - Franges de Pohl - ♥ / ★★★



L'utilisation d'une lame mince, à faces parallèles, en verre ou en mica, d'indice n, permet d'observer un phénomène d'interférences. La figure ci-contre présente le dispositif expérimental pour une source ponctuelle monochromatique S de longueur d'onde λ_0 dans le vide.

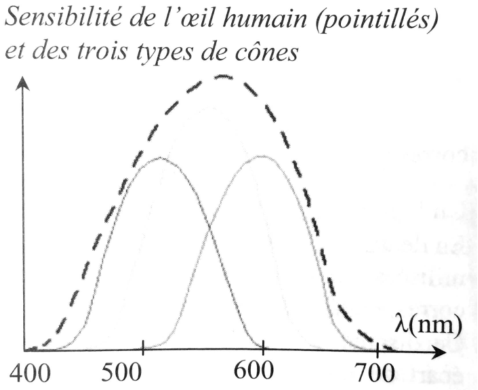
L'écran est situé parallèlement à la lame, à une distance D de celle-ci, la source S étant située à une distance d de la lame. Deux rayons issus de S interfèrent en M situé à la distance ρ de O. Le premier se réfléchit sur la face avant de la lame, ce qui rajoute un déphasage supplémentaire de π. Le second se réfléchit sur la face arrière sans introduire de déphasage.

1. Montrer en argumentant la présence d'interférences sur l'écran.
2. Déterminer sans faire de calcul la forme de la figure d'interférences.
3. Déterminer le chemin optique $(SM)_1$ associé au premier rayon en fonction de d, D, ρ et $\lambda_0/2$.
   On donne pour le second rayon pour e et ρ très petits :
$$(SM)_2 = D + d + 2ne + \frac{\rho^2}{2(D+d+2e)}$$
4. Déterminer une expression approchée de la différence de marche et de l'ordre d'interférence.

5. Donner l'ordre et le rayon du premier cercle brillant pour $d + D = 1,25\ m$, $n = 1,617$, $e = 13\ \mu m$ et $\lambda_0 = 0,580\ \mu m$.

Exercice 6 - Couleurs interférentielles - ♥♥ / ★★★

La vision des couleurs par l'œil humain se fait grâce à la présence sur la rétine de trois types de photorécepteurs (les cônes) sensibles dans trois gammes spectrales différentes (la gamme du bleu, du vert et du rouge). On parle de vision trichromique. Toute teinte est interprétée par le cerveau en fonction de la quantité de lumière perçue par ces trois types de photorécepteurs. Par exemple, une lumière à 650 nm n'excite quasiment que les cônes sensibles au rouge et est ainsi perçue rouge. Une lumière à 570 nm excite essentiellement les cônes sensibles au vert et au route, ce qui est interprété comme une couleur jaune. Une lumière qui contient suffisamment de composantes de longueurs d'ondes différentes pour exciter les trois types de cône de façon équivalente est perçue blanche, que son spectre soit continu ou non.



1. Rappeler la condition d'interférences destructives reliant la différence de marche δ à la longueur d'onde dans le vide λ_0.
2. Chercher les valeurs de λ_0 appartenant au domaine du visible et vérifiant cette relation avec une différence de marche $\delta = 3\ \mu m$.
3. En considérant que l'œil ne perçoit pas de teinte sensible (c'est-à-dire voit du blanc) dès que le spectre de la lumière contient plus de trois cannelures (longueurs d'onde éteintes par interférences) dans la gamme du visible, en déduire que la différence de marche maximale permettant d'obtenir une teinte interférentielle sensible à l'oeil est proche de 3 μm.

   En identifiant cette différence de marche à la longueur de cohérence temporelle L_c de la lumière blanche, en déduire l'élargissement spectral $\Delta\lambda$ correspondant.

   Pourquoi est-il plus faible que la largeur spectrale totale du spectre visible ?
4. En considérant que les interférences sur une bulle de savon d'épaisseur e et d'indice n se font (sous un angle d'incidence $\theta \simeq 0$) avec une différence de marche $\delta = 2ne + \dfrac{\lambda_0}{2}$ (tenant compte d'un déphasage de π dû à la réflexion vitreuse sur la face avant de la bulle) donner l'ordre de grandeur de l'épaisseur e maximale donnant un reflet coloré visible à sa surface (l'indice de l'eau savonneuse est un peu supérieur à celui de l'eau : on prend $n =\simeq 1,4$)

Exercice 7 - Doublet jaune du mercure - ♥♥ / ★★

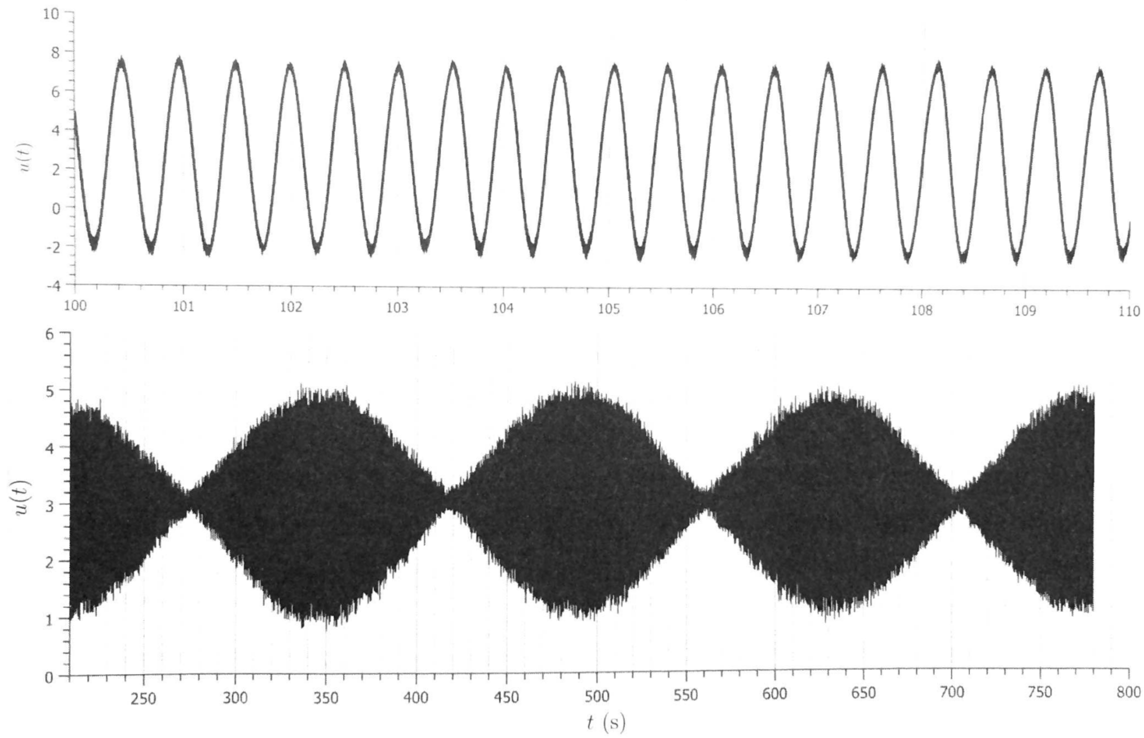
On souhaite déterminer expérimentalement les caractéristiques du doublet jaune du mercure. On utilise pour cela un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et éclairé par une lampe à vapeur de mercure munie d'un filtre jaune.
Le mercure possède un doublet de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 dans le jaune. Pour simplifier, on fait l'hypothèse que ces deux composantes ont la même intensité lumineuse $\mathcal{E}_0$ et sont de largeur spectrale nulle.
On note $\lambda_m = \dfrac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ la longueur d'onde moyenne et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ l'écart entre les deux longueurs d'onde. On a $\Delta\lambda \ll \lambda_m$, donc $\lambda_1 \simeq \lambda_2 \simeq \lambda_m$.
On place au centre O des anneaux un capteur de lumière de petite taille délivrant un signal u fonction affine de l'intensité lumineuse $\mathcal{E}$ en O : $u = \alpha + \beta\mathcal{E}$. À l'aide d'un moteur, on translate le miroir mobile à vitesse constante $V = 0,56\ \mu m.s^{-1}$, ce qui permet de faire varier l'épaisseur de la lame d'air $e(t) = Vt$ en partant du contact optique à l'instant $t = 0$.

1. Montrer que l'intensité résultante en O s'exprime sous la forme

$$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{\Delta t}t\right)\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)\right],$$

   où T_0 et $\Delta t \gg T_0$ sont deux grandeurs homogènes à des temps, à exprimer en fonction de λ_m, $\Delta\lambda$ et V.

2. On donne les deux courbes suivantes qui représentent l'enregistrement obtenu, la première sur un temps court, la deuxième sur un temps long.



   En exploitant ces courbes expérimentales, déterminer λ_m et $\Delta\lambda$.

3. En utilisant la deuxième figure, préciser si l'hypothèse sur l'intensité des deux composantes du doublet est vérifiée (justifier).

   L'exploitation de la courbe aurait-elle été modifiée si cette hypothèse n'avait pas été valable ?

Élements de réponse

Ex 1. $\delta = 2ne\cos i$

Ex 2. $e = \dfrac{4\lambda_0 f'^2}{n(\rho_5^2 - \rho_1^2)} = 35,5 \pm 0,8\ \mu m.$

Ex 3. $\alpha \simeq 2,2.10^{-4}\ rad.$

Ex 4. $n - 1 = \dfrac{\Delta p \lambda_0}{2d} = 3.10^{-4}.$

Ex 5.
1.
2. On observe des anneaux
3. $(SM)_1 = \sqrt{\rho^2 + (D+d)^2} + \lambda_0/2$
4. $\delta = 2ne - \frac{e\rho^2}{(D+d)^2} - \frac{\lambda_0}{2}$
5. $\rho_1 = (d+D)\sqrt{\frac{\lambda_0}{e}} = 26,4\ cm$

Ex 6.
1. $p = \dfrac{\delta}{\lambda_0}$ demi entier.
2. 3 valeurs possibles : $\lambda = 667\ nm$, $\lambda = 545\ nm$ et $\lambda = 462\ nm$.
3. Si δ est plus grand, il y a plus de cannelures. $L_c = \delta_{max} = 3\ \mu m$, d'où $\Delta\lambda = 100\ nm$.
4. $e < 0,9 \mu m$.

Ex 7.
1. $T_0 = \dfrac{\lambda_m}{2V}$ et $\Delta t = \dfrac{\lambda_m^2}{2V\Delta\lambda}$.
2. $\lambda_m = 0,58 \mu m$ et $\Delta\lambda = 2,1\ nm$.
3. L'intensité minimale est très proche de zéro, ce qui correspond à un contraste maximum, et à une égale intensité pour les deux composantes.
   Le raisonnement est le même si le contraste ne s'annule pas totalement, il conserve quand même la même période, qui permet de calculer $\Delta\lambda$.