

Table des matières

21	Interférence par division d'amplitude	2
21.1	Exercices d'application	2
21.2	Problèmes	2
21.2.1	Interféromètre de MICHELSON et indice optique	2
21.2.2	Doublet du sodium	2
21.2.3	Mesure de l'épaisseur d'un film alimentaire	3
21.2.4	Spectroscopie par transformée de FOURIER	4
21.3	Annales	4
21.3.1	Résolution interférométrique d'un doublet spectral.....	4

21 Interférence par division d'amplitude

21.1 Exercices d'application

21.2 Problèmes

21.2.1 Interféromètre de Michelson et indice optique

On dispose d'un interféromètre de MICHELSON que l'on éclaire avec une lampe spectrale de longueur d'onde λ_0 . On dispose également d'un condenseur, d'un diaphragme, et de quatre lentilles de distances focales $f'_1 = -20$ cm, $f'_2 = 100$ cm, $f'_3 = 5$ cm et $f'_4 = 20$ cm. On souhaite obtenir une figure d'interférence lumineuse composée de raies d'égale épaisseur.

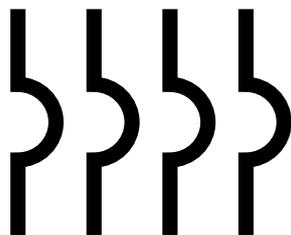


Fig. 21.1

1. Décrire le montage à utiliser.
2. La distance miroir fixe - écran est de 2 m, quelle lentille doit-on prendre et où doit-on la placer ?
3. La différence de marche est $\delta = 2\alpha x$ où α est l'angle virtuel formé par les deux miroirs. Où se situent la figure d'interférence ?
4. À l'aide d'un bec BUNSEN de diamètre $d = 3$ cm, on fait passer un gaz d'indice n_{gaz} devant le miroir mobile. Les franges sont localement décalées et on obtient la figure 21.1. Quelle est la nouvelle différence de marche δ' ? En déduire n_{gaz} .

21.2.2 Doublet du sodium

On considère un interféromètre de MICHELSON réglé en lame d'air d'épaisseur e et éclairé par une source étendue constituée d'un doublet monochromatique (la raie double du sodium) de longueurs d'onde $\lambda_{0,1} = \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ et $\lambda_{0,2} = \lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ avec $\Delta\lambda \ll \lambda_0$.

On s'intéresse d'abord à une seule des longueurs d'onde.

1. Faites un schéma du montage en lame d'air, et montrez que la différence de marche introduite par cette lame d'air entre les rayons de même incidence i est $\delta = 2ne \cos i$.
 2. Sous quelle condition peut-on observer une figure d'interférence ? En déduire l'expression de l'éclairement $I(M)$ résultant de la superposition des deux rayons. On notera I_0 l'intensité maximale
-

On s'intéresse maintenant aux deux longueurs d'onde.

3. Exprimez l'éclairement $I_t(M)$ résultant de la figure d'interférence obtenue par superposition des deux longueurs d'onde en fonction de $\Delta\lambda$, λ_0 , I_0 et δ .
4. On note C le contraste. Exprimez C en fonction de $\Delta\lambda$, λ_0 , et δ et donnez une condition sur δ pour obtenir un contraste maximal.
5. Combien de franges d'éclairement maximal observe-t-on entre deux brouillages (annulation du contraste) successifs ?
6. Calculez cette valeur pour le doublet du sodium, en déduire la distance de chariotage e nécessaire pour l'observer.

Données :

- $\cos a + \cos b = 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$,
- $\lambda_{0,1} \simeq 589,5 \text{ nm}$ et $\lambda_{0,2} \simeq 589,0 \text{ nm}$.

21.2.3 Mesure de l'épaisseur d'un film alimentaire

On dispose d'un interféromètre de MICHELSON réglé en configuration lame d'air éclairé par une source de lumière blanche.

1. Décrire le dispositif, notamment l'allure des franges d'interférences et la façon de les observer.

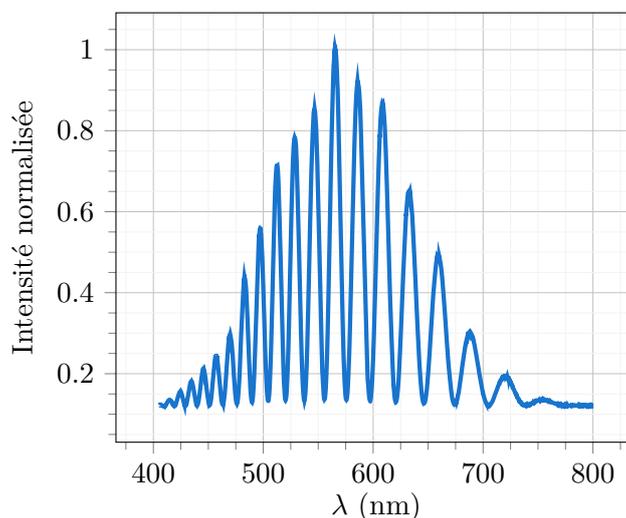
On règle le MICHELSON au contact optique, puis on insère dans l'un des bras de l'interféromètre un film alimentaire tendu, assimilé une lame à faces parallèles d'épaisseur e faite d'indice $n = 1,5$.

2. L'écran apparaît blanc dans les deux cas, cependant lorsqu'on observe le spectre en présence de la lame l'intensité est nulle pour certaines longueurs d'ondes. Expliquer.
3. Montrer que pour une longueur d'onde sombre dans le spectre on a

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2k + 1}{2} \frac{1}{\delta}$$

avec δ la différence de marche et k un entier.

4. On enregistre le spectre au centre de la figure d'interférences. En déduire l'épaisseur e du film alimentaire.



21.2.4 Spectroscopie par transformée de Fourier

On considère un interféromètre de MICHELSON en lame d'air, éclairé par une lampe au mercure dont on isole par un filtre la raie verte de longueur d'onde λ .

1. Représenter l'interféromètre et préciser la localisation des franges. Justifier qu'il s'agit d'anneaux.
2. On déplace le miroir mobile de 2λ . Qu'observe-t-on ?

Le miroir mobile est motorisé, et se déplace avec une vitesse constante $v_0 = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On place un photo-détecteur au centre de la figure d'interférences, il renvoie une tension image de l'éclairement de la forme :

$$u(t) = U_0 + U_1 \cos(\omega t + \varphi)$$

3. Justifier l'expression de u et exprimer ω en fonction de v_0 et λ .
4. On décide de numériser le signal. Quelle précaution faut-il prendre ?
5. Une transformée de FOURIER numérique de u donne un pic à la fréquence $f = 3,7 \text{ Hz}$. En déduire λ .

21.3 Annales

21.3.1 Résolution interférométrique d'un doublet spectral

[2018 CCP MP Physique]

Les moyens spectroscopiques conventionnels (spectroscopie à prisme ou à réseau) peuvent se révéler insuffisants quand il s'agit de résoudre un doublet à très faible écart spectral. On peut alors avoir recours à des méthodes interférométriques. Il est question dans cette partie de l'utilisation de l'interféromètre de MICHELSON.

Le schéma 21.2 de principe d'un interféromètre de MICHELSON réglé en lame d'air est donné. On note Ox et Oy deux axes perpendiculaires définissant les directions des deux bras de l'interféromètre. S est une source lumineuse ponctuelle située sur Ox . M_1 et M_2 sont deux miroirs plans parfaitement réfléchissants, disposés perpendiculairement à Ox en H_1 et respectivement à Oy en H_2 . Le trait incliné à 45° , noté L_s , schématise un groupe de deux lames semi-réfléchissantes à faces parallèles. Ce groupe est supposé n'introduire aucune différence de marche sur les trajets lumineux. L_p désigne une lentille mince convergente placée à la sortie de l'interféromètre de manière à ce que son axe optique soit confondu avec l'axe Oy . Un écran E est placé dans le plan focal image de L_p . On note C le foyer image de L_p .

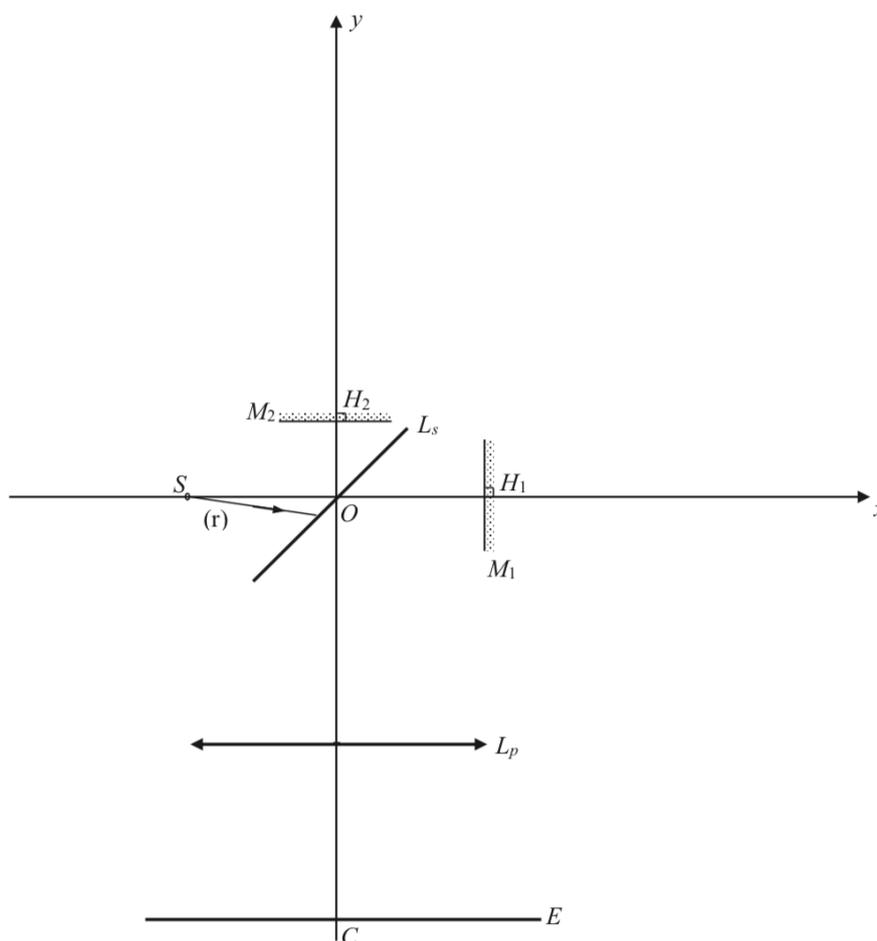


Fig. 21.2 – Interféromètre de MICHELSON

- Nommer les lames qui composent L_s . Qu'est-ce qui les distingue? Expliquer la nécessité pratique d'utiliser deux lames.
- Un rayon lumineux, noté (r) , émis par S , a été représenté. Reproduire le schéma ci-dessous sur la copie avec $SO = OH_1 = 2OH_2$ et le compléter en faisant un tracé soigné des deux rayons (r_1) et (r_2) qui émergent de l'interféromètre après division de (r) . On laissera apparent tout élément de construction (traits, prolongements de rayons, points remarquables, etc.) justifiant d'un tracé raisonné *sans utilisation d'aucun rapporteur d'angle*. Tout élément explicatif (noms, positions des points, constructions réalisées...) sera également mentionné.
- Sur ce même schéma positionner le miroir fictif M'_1 justifiant de la dénomination « lame d'air » en faisant apparaître le point Q_1 intersection de M'_1 avec les deux prolongements fictifs ad hoc de (r_1) et de (r_2) .
Enfin, terminer le tracé des rayons (r_1) et (r_2) après la lentille L_p jusqu'à l'écran E (on demande comme ci-dessus un tracé raisonné).
- Indiquer quelle est la forme des franges d'interférences observées sur l'écran (aucune justification n'est demandée). Comment nomme-t-on ces franges?
- En appelant e l'épaisseur de la lame d'air et en prenant l'indice optique de l'air égal à 1, exprimer la différence de marche δ au centre C de l'écran.
- On étudie le cas où la source de lumière utilisée présente un doublet spectral de nombres d'ondes σ_1 et σ_2 . Donner l'expression des ordres d'interférence p_1 et p_2 en C pour chaque radiation du doublet en fonction de δ , σ_1 et σ_2 .
- Pour quelles valeurs de la différence $p_1 - p_2$ y-a-t-il brouillage en C ? En pratique la totalité de la figure d'interférences est affectée et on perd la visibilité des franges partout sur l'écran. En déduire, en fonction de l'écart spectral $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$, la variation D_δ de la différence de marche entre deux situations consécutives de brouillage. Comment nomme-t-on ces situations?

Application numérique : dans le cas du doublet H_α (écart spectral $\Delta\sigma_{\text{exp}} = 0,360 \text{ cm}^{-1}$), calculer la variation D_e de l'épaisseur de la lame d'air pour passer d'une situation de brouillage à la situation de brouillage directement consécutive.

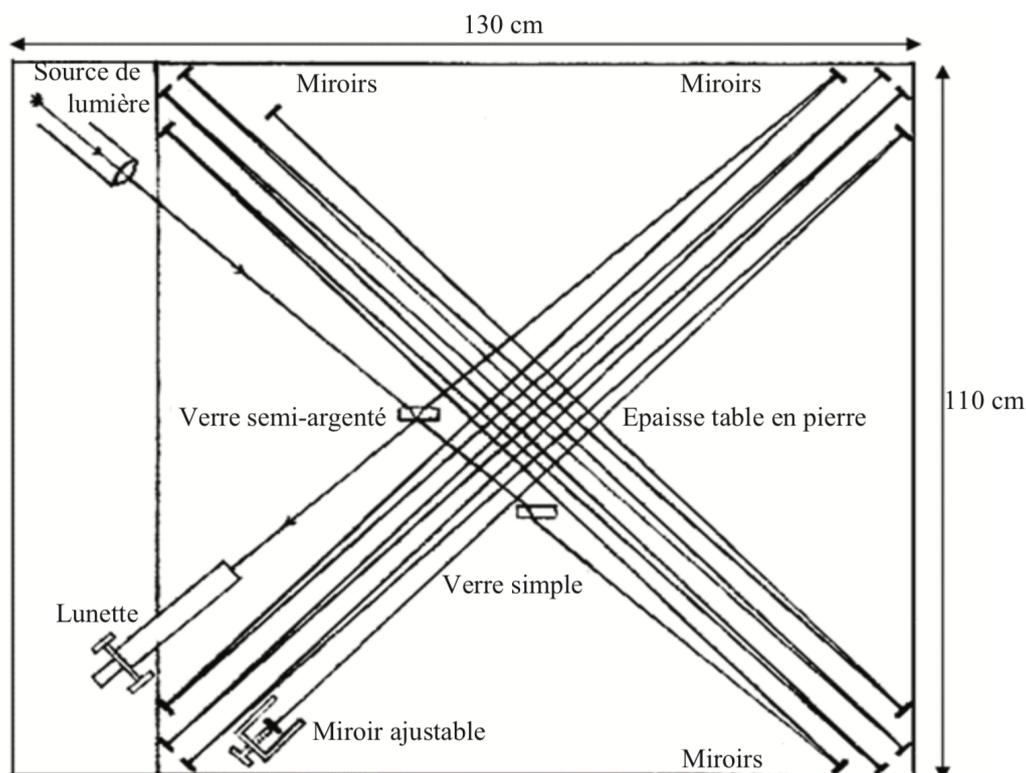


Fig. 21.3 – Schéma des trajets lumineux dans l'interféromètre de MICHELSON et MORLEY de 1887

8. À l'entrée de leur interféromètre historique de 1887, MICHELSON et MORLEY ont utilisé un dispositif à prismes muni d'une fente pour sélectionner la raie H_α présente dans le spectre solaire. Ils ont observé des brouillages périodiques lors de la translation du miroir mobile de leur interféromètre. Partant du contact optique (bras de longueurs rigoureusement égales à L_0), ils ont compté un total de 6 brouillages de part et d'autre du contact optique (3 de chaque côté) pour un déplacement du miroir égal à $1/160^e$ de la longueur L_0 .

Calculer la valeur de L_0 pour l'interféromètre de MICHELSON de 1887.

9. L'interféromètre, construit dans un sous-sol du campus de l'Université de Cleveland aux États-Unis, était monté sur une table en granite rectangulaire posée sur un cylindre de bois flottant dans du mercure.

La table faisait environ $130 \text{ cm} \times 110 \text{ cm}$ de côtés. La longueur L_0 des bras de l'interféromètre était synthétisée grâce à deux groupes de miroirs permettant plusieurs allers-retours du faisceau sur chaque voie, comme représenté sur la figure 21.3.

À partir de la figure 21.3, donner, en expliquant votre calcul, une estimation grossière de la longueur d'un bras de l'interféromètre. L'ordre de grandeur obtenu est-il en accord avec la valeur L_0 trouvée à la question 8 ?