
DM N°25
Interféromètre à division d'amplitude

Lycée LANGEVIN - WALLON

28 mars 2021

À lire attentivement...

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 4 pages numérotées 1/4, 2/4, ... 4/4.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Le sujet comporte :

- 1 exercice d'annale de physique.

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numérotter les questions.



Fig. 1 – Carte mémoire d'optique

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE,
NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.

LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.

LE PHOTO-COPILLAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.

UN RÉSULTAT NON ENCADRÉ NE SERA PAS PRIS EN COMPTE.

Si au cours de la rédaction, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

2018 CCP MP Physique – Questionnements et découvertes autour de l'atome le plus simple de l'univers

Dans ce sujet, on propose d'étudier quelques étapes clés de l'étude des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

Il est conseillé au candidat de faire une première lecture rapide du sujet afin d'en retirer une vue d'ensemble. Les paragraphes rédigés en italique donnent des explications permettant de situer chaque partie dans son contexte scientifique historique, avec leurs hypothèses d'étude.

Les constantes fondamentales intervenant dans le problème sont rappelées ci-dessous avec leurs valeurs numériques données avec 5 chiffres significatifs :

- charge élémentaire : $e = 1,6022 \times 10^{-19}$ C
- charge de l'électron : $-e$
- charge du proton : $+e$
- masse de l'électron : $m_e = 9,1094 \times 10^{-31}$ kg
- masse du proton : $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg
- rayon de BOHR : $a_B = 5,2919 \times 10^{-11}$ m
- vitesse de la lumière dans le vide : $c = 2,9979 \times 10^8$ m · s⁻¹
- perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H · m⁻¹
- permittivité diélectrique du vide : $\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = 8,8542 \times 10^{-12}$ F · m⁻¹
- l'électron-volt, unité d'énergie : 1 eV = $1,6022 \times 10^{-19}$ J

Même si elles ne sont pas systématiquement rappelées dans l'énoncé, le candidat utilisera à son initiative dans cette liste toute constante qu'il jugera nécessaire pour répondre aux questions posées.

1.1 Résolution interférométrique d'un doublet spectral

Les moyens spectroscopiques conventionnels (spectroscope 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 1.1 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 .

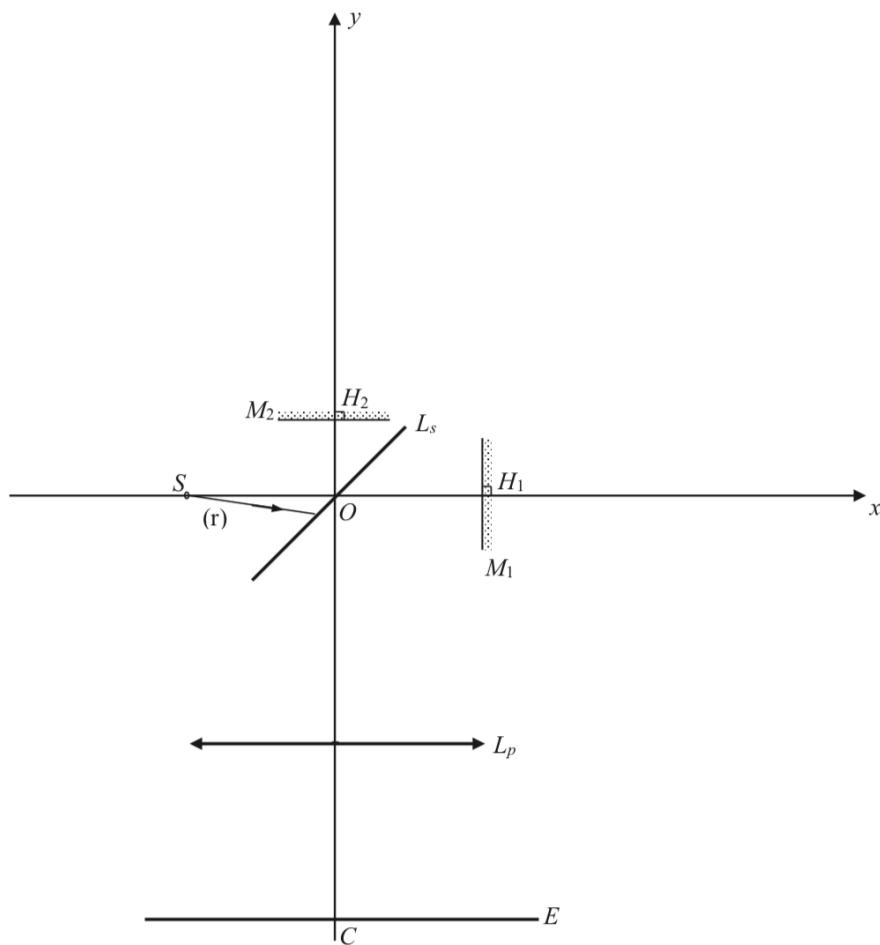


Fig. 1.1 – Interféromètre de MICHELSON

1. Nommer les lames qui composent L_s . Qu'est-ce qui les distingue ? Expliquer la nécessité pratique d'utiliser deux lames.
2. 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 raisonnable *sans utilisation d'aucun rapporteur d'angle*. Tout élément explicatif (noms, positions des points, constructions réalisées...) sera également mentionné.
3. 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 raisonnable).
4. Indiquer quelle est la forme des franges d'interférences observées sur l'écran (aucune justification n'est demandée). Comment nomme-t-on ces franges ?
5. 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.
6. 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 .
7. 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.

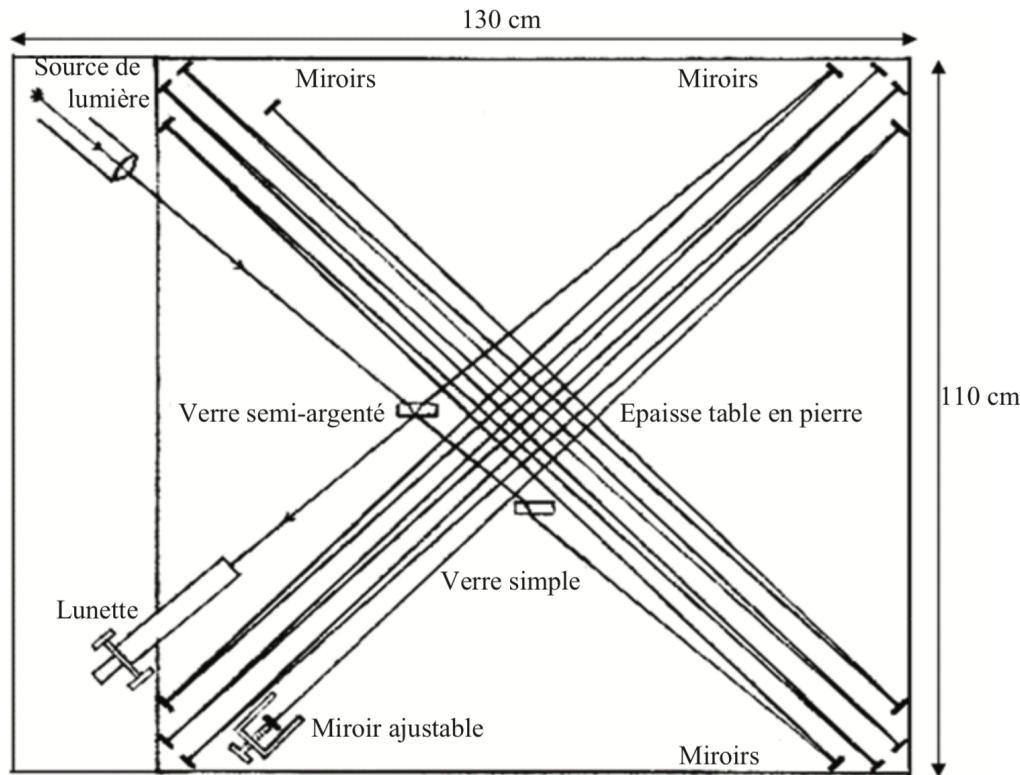


Fig. 1.2 – Schéma des trajets lumineux dans l'interféromètre de MICHELSON et MORLEY de 1887

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 $1/160^{\text{e}}$ 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 1.2.

À partir de la figure 1.2, 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 ?