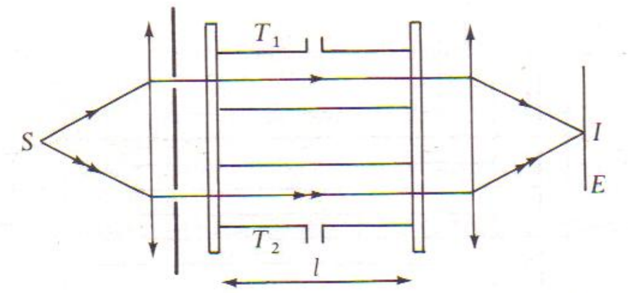
GOP 1 Devoir surveillé n°3 du 23/04/2010

Exercice 1 : interférences à deux ondes

1) On considère deux ondes d'amplitudes complexes a_1 et $a_2e^{i\phi}$. Exprimer les intensités I_1 et I_2 de ces deux ondes.
2) Déterminer l'amplitude complexe, puis l'intensité de la superposition de ces deux ondes. On indiquera le terme d'interférences.
3) Montrer que dans le cas où $I_1 = I_2 = I_0$, l'intensité est $I = 2I_0(1 + \cos\phi)$.
4) Quelle est la définition du contraste des interférences ? Le calculer dans le cas de la question 3).
5) Les deux ondes sont produites par deux sources ponctuelles cohérentes entre-elles, distantes de a. On observe les interférences dans un plan parallèle à l'axe des sources. Que voit-on ?
6) Si le plan est à la distance D des sources, et que la lumière a pour longueur d'onde λ, quel est l'interfrange ?
7) Si on observe maintenant les interférences dans un plan perpendiculaire à l'axe des sources, que voit-on ?

Exercice 2 : réfractomètre interférentiel

L'interféromètre de Rayleigh, dérivé des fentes d'Young, est représenté sur la figure ci-dessous. Il permet de mesurer l'indice de réfraction d'un gaz. Il est composé d'une source S ponctuelle et monochromatique émettant la longueur d'onde $\lambda = 577$ nm, qui éclaire en faisceau parallèle deux fentes, derrière lesquelles on place deux tubes identiques T_1 et T_2, de longueur l = 20,0 cm. On observe la figure d'interférences sur l'écran E.



1) Lorsque les deux tubes sont remplis d'air (même pression, même température), observe-t-on une frange brillante ou une frange sombre au centre I de l'écran ? On justifiera la réponse.
2) T_2 étant toujours rempli d'air, on fait progressivement le vide dans T_1. Comment évolue le chemin optique des rayons passant par T_1 ? En déduire le sens de déplacement de la frange initialement au centre (pour laquelle les deux chemins optiques passant par T_1 et T_2 sont égaux), puis le sens de déplacement de l'ensemble des franges.
3) Une fois le vide fait dans T_1, quelle est la différence de chemin optique δ entre les rayons passant par T_1 et ceux passant par T_2, en fonction de l'indice n de l'air et de la longueur l des tubes ?
4) A quelle différence de marche (ou de chemin optique) correspond le déplacement d'une frange ?
5) Pendant le pompage, 101 franges brillantes défilent au point central I, et lorsque le vide est fait, on observe une frange sombre en I. En déduire la valeur de (n - 1) avec le bon nombre de chiffres significatifs, puis la valeur de n, toujours avec le bon nombre de chiffres significatifs.

Exercice 3 : cohérence spatiale et cohérence temporelle

1) On réalise le dispositif des fentes d'Young avec une fente source de largeur réglable, émettant une lumière monochromatique. Au départ, la fente est la plus fine possible. Décrire ce que l'on observe lorsqu'on augmente progressivement la largeur de la fente source.
2) Le phénomène observé à la question 1) pose le problème de quelle cohérence de la source ? On justifiera la réponse.
3) La largeur de cohérence spatiale d'une source est $l_s = \lambda/\theta$ où θ est l'angle sous lequel on voit la source et λ la longueur d'onde moyenne de la source. Si on veut prendre la lumière du soleil réfléchie par une glace de 10 cm de côté comme source de lumière pour une expérience des trous d'Young, à quelle distance de la glace faut-il placer les trous distants entre eux de a = 1 mm pour observer des franges d'interférences ? On prendra $\lambda = 550$ nm.

4) On sait réaliser des lasers émettant à λ = 690 nm avec une largeur spectrale en fréquence $\Delta\nu$ de 7 kHz (ce n'est pas le record). Quelles sont les durée et longueur de cohérence temporelle de ces lasers ? On donne la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \cdot 10^8$ m/s.
5) Un laser He-Ne du laboratoire a une longueur de cohérence temporelle d'environ 20 cm. Quelle condition doit vérifier la différence de chemin optique entre les deux voies d'un interféromètre pour qu'on puisse observer des franges ?

Exercice 4 : cavité résonnante utilisée en filtre interférentiel

Pour éliminer en grande partie les effets de la lumière ambiante sur un détecteur, on place devant celui-ci un filtre interférentiel. On considère que ce filtre est constamment éclairé sous incidence normale.
Le filtre est constitué d'une couche de cryolithe d'indice n = 1,365 (supposé indépendant de la longueur d'onde) et d'épaisseur e. Sur chaque face est déposée une couche fortement réfléchissante, mais laissant passer un peu de lumière de sorte que de la lumière peut entrer dans le filtre à gauche, et sortir du filtre à droite.

1) Faire un schéma du filtre interférentiel. On représentera le rayon lumineux incident et les deux premiers rayons transmis.
2) Expliquer en quoi ce filtre interférentiel est une cavité résonnante.
3) Déterminer la différence de chemin optique entre deux rayons successifs sortant de la cavité. En déduire leur différence de phase pour la longueur d'onde dans le vide λ.
4) A quelle condition sur la différence de chemin optique ou sur la différence de phase ces deux rayons interfèrent-ils constructivement ? Comparer à la condition de résonnance d'une cavité.
5) En tenant compte du fait qu'un rayon entrant dans la cavité effectue un grand nombre d'allers-retours dans la cavité, expliquer pourquoi seuls les rayons vérifiant la condition de la question précédente sont transmis.
6) Si le filtre est éclairé en lumière blanche (λ variant de 400 nm à 750 nm), et que e = 695 nm, déterminer combien de longueurs d'onde seront transmises par le filtre, ainsi que les valeurs de ces longueurs d'onde.
7) Préciser les couleurs de ces deux longueurs d'onde. Laquelle est très proche de la longueur d'onde d'un laser He-Ne ?
8) Une cavité est souvent caractérisée par son intervalle spectral libre (ISL). De quoi s'agit-il ?
9) Justifier le nom de filtre interférentiel donné à la cavité.