MP 2020/2021

DM n°2

Thème(s) : Optique

EXERCICE 1 : MESURE D'EPAISSEUR PAR INTERFEROMETRIE

Frits Zernike, qui a obtenu le prix Nobel en 1953 pour son microscope à contraste de phase, a dans un premier temps utilisé un montage interférentiel à trois fentes, pour contrôler ou mesurer l'épaisseur d'une fine lame transparente à faces parallèles.

Frits Zernike (1888-1966)

Dans tout le sujet, on suppose tous les rayons lumineux très peu inclinés par rapport à l'axe horizontal.
On se place dans l'air d'indice n = 1
L'éclairement d'une onde définie par l'amplitude $\underline{S}$ écrite sous sa forme complexe est donné par :
$E = \alpha.|\underline{S}|^2$ où α désigne une constante et $|\underline{S}|$ le module de $\underline{S}$.
j désigne le nombre imaginaire pur : $j^2 = -1$.
On rappelle la formule trigonométrique : $\cos(2x) = 2\cos^2 x - 1$.

1. Système interférentiel à deux fentes

On considère d'abord un système de deux fentes F_1 et F_2 très fines perpendiculaires. Elles sont distantes de a et de grande longueur. L'ensemble est éclairé par une source S ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde λ placée au foyer objet d'une lentille convergente L_1. L'observation de la figure d'interférences se fait sur un écran placé dans le plan focal image d'une lentille convergente L_2 de distance focale image f'.

On s'intéresse aux ondes reçues au point M d'ordonnée z sur l'écran et on suppose z et a très petits devant f ' : x et a << f '.

1-1) Compléter la figure 1 sur le document réponse en traçant les rayons lumineux interférant au point M.

1-2) Après avoir cité le théorème utile, exprimer le déphasage φ du rayon passant par la fente F_2 par rapport à celui passant par la fente F_1 en fonction de a, f ', λ et z.

On adopte le modèle scalaire de la lumière.

1-3) Donner sans démonstration l'éclairement E résultant de l'interférence des deux ondes en fonction de φ.
Tracer l'allure de la courbe E en fonction de φ.

2. Système interférentiel à trois fentes

On ajoute une troisième fente F_3 au milieu des deux autres et identique à celles-ci.
On choisit la phase de l'onde issue de F_3 comme origine.

2-1) Montrer que les amplitudes complexes des deux rayons issus de F_1, F_2 et F_3 peuvent alors s'écrire sous la forme complexe : $\underline{s}_1 = \underline{s}_0 e^{-j\varphi/2}$, $\underline{s}_2 = \underline{s}_0 e^{+j\varphi/2}$ et $\underline{s}_3 = \underline{s}_0$.

2-1) Montrer que le nouvel éclairement peut se mettre sous la forme : $E = E_0.\left(1+2.\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)^2$.

2-2) Reproduire et compléter le tableau de valeurs suivant :

φ en rad	0	4π/3	2π	8π/3	4π
E / E_0					

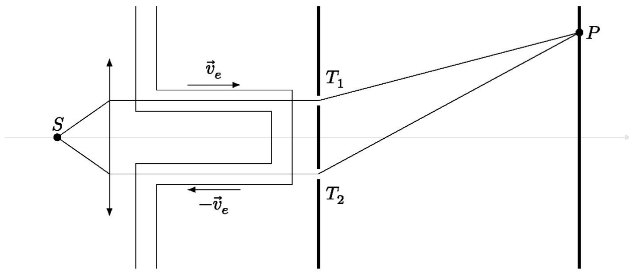
2-3) Tracer l'allure de la courbe E/E_0 en fonction de φ.

2-4) A partir du montage à trois fentes, on ajoute devant la fente centrale F_3 et parallèlement au plan des fentes, une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur e et d'indice n = 1,5.
e étant très faible, on considèrera que le rayon lumineux qui traverse la lame, parcourt une distance e dans le verre, sans être dévié.
Montrer que si l'épaisseur de la lame est telle qu'elle induit un retard de phase de π/2 pour le rayon central, on retrouve une alternance régulière de franges brillantes et de franges sombres (pas nécessairement noires), contrairement à la question précédente.

2-5). Si on veut contrôler par cette méthode que la lame a bien l'épaisseur souhaitée e = 0,3 μm, quelle valeur faut-il choisir pour λ ?

EXERCICE 2 : EXPERIENCE DE FIZEAU

Soit deux trous d'Young T_1 et T_2 distants de a = 10 mm, percés dans un écran opaque éclairé sous incidence normale par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde λ = 585,0 nm. S est située dans le plan médiateur de T_1 et T_2, au foyer principal objet d'une lentille convergente. On observe les phénomènes d'interférences sur un écran situé à D = 20 m des trous d'Young.
L'expérience de Fizeau consiste à placer devant chaque trou un tube horizontal de longueur L = 5 m rempli d'eau ; les deux tubes sont traversés par la lumière sous incidence normale. On crée dans ces tubes deux courants d'eau de même vitesse v_e = 7 $m\cdot s^{-1}$, de sens opposés.



L'indice de l'eau au repos valant n = 1,337, la vitesse de la lumière est égale à c/n dans le référentiel de l'eau.

1) Calculer l'ordre d'interférence au point en l'absence de courants d'eau.
On suppose que la vitesse de la lumière dans l'eau en mouvement, mesurée dans le référentiel du laboratoire, vaut: $v = \frac{c}{n} \pm v_e$ (hypothèse H).

2) Calculer la variation de l'ordre d'interférence au point P provoquée par l'établissement des courants d'eau. Sachant qu'on observe un déplacement des franges de Δx = 0,37 ± 0,05 mm, que faut-il penser de l'hypothèse (H) ?

3) Un raisonnement plus fin analysant la propagation d'ondes électromagnétiques dans un milieu en mouvement donne une vitesse de la lumière dans l'eau en mouvement, mesurée dans le référentiel du laboratoire, valant : $v=\frac{c}{n}\pm v_e\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$

Le résultat de ce calcul est-il en accord avec l'expérience ? Conclure.

NOM : Prénom :

DOCUMENT REPONSE

Problème n°2 *(Figure 1)*