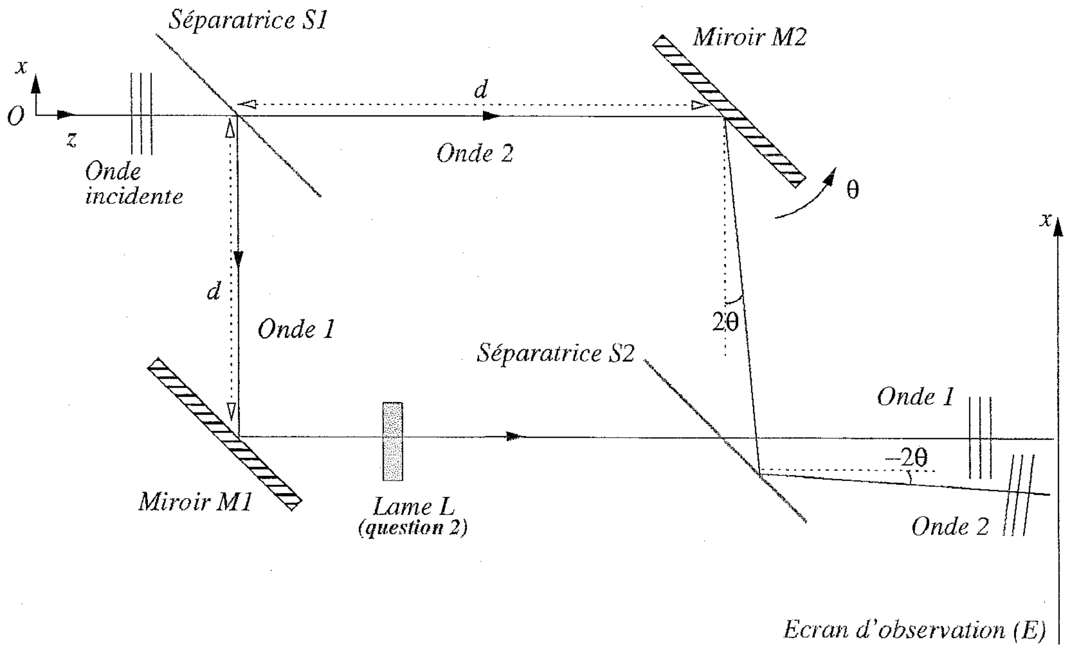
Licence de Physique — Second partiel d'optique II

Documents: feuille A4 RV manuscrite + formulaire de TF – durée 2h

17 Décembre 2008

1 Interféromètre de Mach-Zehnder

L'interféromètre de Mach-Zehnder est représenté ci-dessous. Comme dans le Michelson, l'onde incidente est séparée en deux ondes par une lame séparatrice S_1 de de coefficient de réflexion r et de transmission t égaux. L'onde 1 se réfléchit sur le miroir M_1 faisant un angle de 45° par rapport à la direction de propagation, puis éclaire une seconde lame séparatrice S_2 identique à S_1, qui transmet une partie de l'onde vers l'écran d'observation (E). On nomme "bras 1" de l'interféromètre le trajet $S_1M_1S_2$. L'onde 2 se réfléchit sur un miroir M_2 incliné de $45° + \theta$. Une partie de l'onde est ensuite réfléchie vers l'écran d'observation (E), elle arrive sur cet écran avec un angle incidence -2θ (voir schéma). On nomme "bras 2" le trajet $S_1M_2S_2$. On observe l'interférence des deux ondes 1 et 2 en un point M de coordonnées x, y sur l'écran (E). On pose $a = OS_1$, $d = S_1M_1 = S_1M_2 = M_1S_2 = M_2S_2$ et $b = S_2E$. On suppose $\theta \ll 1$ (approximation paraxiale).



Cet interféromètre est éclairé par une onde plane arrivant sous incidence normale (direction de propagation $\hat{z}$).

1. La lumière est monochromatique de longueur d'onde λ et d'amplitude E_0 dans le plan $z = 0$. on se place dans l'hypothèse du champ scalaire (on ne s'occupe pas des directions des champs électriques, comme dans le premier chapitre du cours).
   (a) Ecrire l'amplitude complexe des ondes 1 et 2 au point M
   (b) En déduire l'intensité, donner l'interfrange et le contraste des franges.
2. La lumière est toujours monochromatique mais non polarisée (lumière naturelle). A l'entrée de l'interféromètre, dans le plan $z = 0$, on place un polariseur P dont la direction $\hat{P}$ fait un angle de 45° avec $\hat{x}$, soit $\hat{P} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$.
   On place dans le bras 1 une lame anisotrope L à faces parallèles, d'épaisseur e, dont l'axe optique est parallèle à $\hat{x}$. La lame est éclairée sous incidence normale, les indices ordinaire et extraordinaire sont nommés respectivement n_o et n_e.

(a) Ecrire le champ électrique $\vec{E}_0$ de l'onde incidente en $z = 0+$ après traversée du polariseur P (on pourra omettre la dépendance temporelle $e^{-i\omega t}$ et on appellera E_0 l'amplitude du champ en $z = 0+$).

(b) Ecrire le champ électrique $\vec{E}_2$ de l'onde 2 en M.

(c) Ecrire les déphasages induits par la lame L sur les deux composantes E_{1x} et E_{1y} du champ électrique $\vec{E}_1$ de l'onde 1. En déduire l'expression de $\vec{E}_1$ en M.

(d) Que doit valoir λ pour que l'onde 1 soit circulaire gauche (on appellera λ_G cette valeur) ?

(e) Si on tourne la lame L de 90° de sorte que l'axe optique soit parallèle à $\hat{y}$, l'onde 1 sera-t-elle toujours circulaire gauche pour la longueur d'onde λ_G de la question précédente ? Sinon, préciser son état de polarisation.

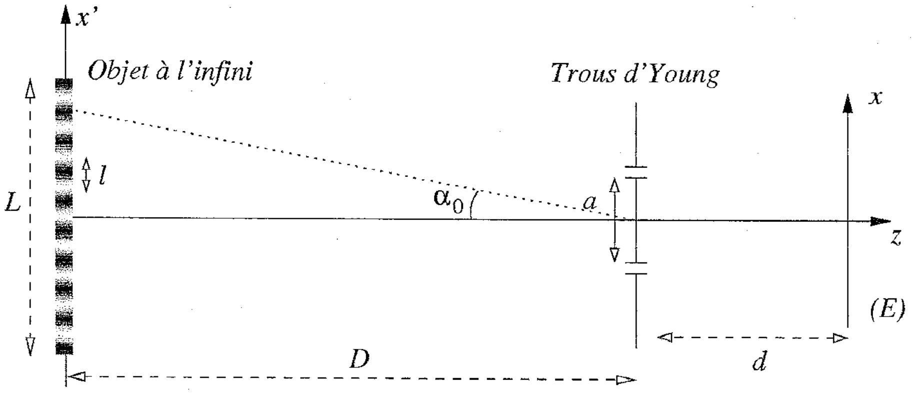
(f) On se place dans le cas où $n_o = n_e$ (λ est ici quelconque). Comment s'écrit l'intensité en M dans ce cas ? Qu'est-ce qui a changé par rapport à la question 1 ? Que se passe-t-il si on tourne le polariseur P dans le plan xOy ?

(g) On se place à la longueur d'onde $\lambda = \dfrac{2e(n_o - n_e)}{20}$. Calculer le champ $\vec{E}_1$ en M, faire un schéma montrant l'orientation des vecteurs $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ et $\hat{P}$ dans le plan (xy). Calculer l'intensité en M, décrire l'image dans le plan (E), préciser son contraste.

(h) Même question si $\lambda = \dfrac{2e(n_o - n_e)}{21}$

2 Cohérence spatiale

Un objet périodique spatialement incohérent émet par unité de surface une intensité $I_0\, \Pi\left(\dfrac{x'}{L}\right) \cos^2\left(\dfrac{\pi x'}{l}\right) \delta(y')$ (distribution *spatiale* d'intensité ou de brillance) où x' et y' représentent les coordonnées dans le plan de l'objet. On suppose $L \gg l$. Cet objet est placé à très grande distance (considéré comme à l'infini) D d'une paire de trous d'Young ponctuels alignés dans la direction x et séparés de a (les directions x et x' sont parallèles). On observe les franges sur un écran (E) placé à grande distance d du plan des trous. On se place dans l'approximation paraxiale.



1. Ecrire la distribution *angulaire* de brillance $O(\alpha_0, \beta_0)$ de cet objet (α_0 et β_0 sont les angles associés aux directions x' et y').

2. Calculer la transformée de Fourier $\hat{O}(u, v)$ de $O(\alpha_0, \beta_0)$ Tracer le graphe de la fonction $\hat{O}(u, 0)$ (on suppose $L \gg l$).

3. Relier le contraste $C(a)$ des franges d'Young dans le plan (E) à la la transformée de Fourier de $O(\alpha_0, \beta_0)$ (on rappelle que $L \gg l$)

4. Montrer qu'on n'observe des franges d'interférences qu'au voisinage de 2 valeurs a_0 et a_1 de la séparation a des trous ($a \geq 0$).

5. On réalise $a = a_1$. Ecrire l'intensité $I(x, y)$ des franges d'Young en un point de coordonnées (x, y) dans le plan (E). Tracer le graphe de $I(x, 0)$ et préciser le contraste des franges.