

INTERFERENCES PAR DIVISION D'AMPLITUDE

- OBJECTIFS :** - Réaliser un interféromètre.
- Mesurer la longueur d'onde de la source LASER.
- Mesurer l'indice optique de l'air.

PREPARATION : Les questions signalées en italiques seront reprises dans le compte-rendu.

I- ETUDE THEORIQUE.

1- Composition de deux O.P.P.M.(Onde plane progressive monochromatique).

L'analyse de Fourier nous indique que l'on peut décomposer l'onde périodique émise par une source lumineuse en ondes planes progressives monochromatiques de la forme:

$$\psi(M, t) = A \cdot \cos[\omega(t - \tau) - \varphi_s] \quad \text{où}$$

A : amplitude de l'onde, constante lorsque celle-ci est plane.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ pulsation de l'onde.}$$

$\tau = \frac{SM}{c}$: temps mis par la lumière pour se propager de S à M dans un milieu d'indice : $n = \frac{c_0}{c}$ où c_0 et c sont les célérités de la lumière respectivement dans le vide et dans le milieu d'indice n .

Par ailleurs, le chemin optique défini par : $(SM) = \int_{SM} n \cdot ds$, peut encore s'écrire dans un milieu d'indice n constant : $(SM) = n \cdot SM = c_0 \cdot \tau$.

Montrer que : $\psi(M, t) = A \cdot \cos(\omega t - \varphi_M)$ en posant $\varphi_M = \varphi_s + \frac{2\pi}{\lambda_0}(SM)$.

Soit $\underline{\psi(M, t)} = A \cdot e^{j(\omega t - \varphi_M)}$: expression complexe type d'une OPPM de pulsation ω .

Les dispositifs que nous allons étudier réalisent la **division d'amplitude de l'onde** issue de la source primaire.

Placés sur le trajet du faisceau lumineux, ils permettent d'obtenir deux ondes à partir d'une seule source primaire.

Cette **division d'amplitude de l'onde** assure la **cohérence mutuelle** des deux **ondes qui interfèrent**.

Cette **cohérence mutuelle** permet **d'ajouter les ondes** $\psi_1(M, t)$ et $\psi_2(M, t)$ qui se superposent en un même point M.

Dans le cas d'ondes incohérentes entre elles, il faudrait ajouter les éclaircissements.

On note : $\underline{\psi_1(M, t)} = A_1 \cdot e^{j(\omega t - \varphi_1)}$ et $\underline{\psi_2(M, t)} = A_2 \cdot e^{j(\omega t - \varphi_2)}$

Onde résultante : $\underline{\psi(M, t)} = \underline{\psi_1(M, t)} + \underline{\psi_2(M, t)} = (A_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + A_2 \cdot e^{-j\varphi_2}) \cdot e^{j\omega t}$

2- Eclairement

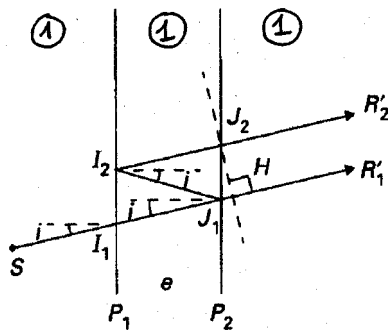
En optique, la fréquence des O.P.P.M. est très élevée ($\sim 10^{15}$ Hz), un détecteur d'ondes lumineuses ne peut donc être sensible qu'à une moyenne temporelle.

Mais $\langle \psi(M,t) \rangle = 0$, par conséquent les détecteurs utilisés sont quadratiques, c'est à dire sensibles à $\langle \psi^2(M,t) \rangle$.

On définit donc l'éclairement en M à l'instant t par : $E(M,t) = \underline{\psi}(M,t) \cdot \underline{\psi}^*(M,t)$

On pose $E_1 = A_1^2$, $E_2 = A_2^2$ et $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Montrer que : $E(M,t) = E_1 + E_2 + 2\sqrt{E_1 \cdot E_2} \cdot \cos \varphi$

Les dispositifs à division d'amplitude peuvent se ramener au schéma suivant :



Ainsi :

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\varphi = \varphi_s + \frac{2\pi}{\lambda_0} (SJ_2M) - \varphi_s - \frac{2\pi}{\lambda_0} (SJ_1M)$$

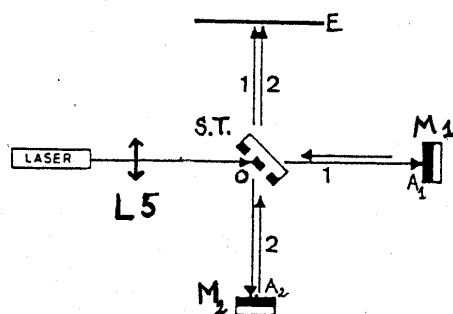
$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} [(J_1I_2J_2) - (J_1H)] \text{ soit en posant : } \delta = (J_1I_2J_2) - (J_1H)$$

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta \quad (\text{Dans l'air, on pourra confondre } \lambda \text{ et } \lambda_0).$$

Montrer que $\delta = 2e \cdot \cos i$. En déduire les expressions de φ et de $E(M,t)$ en fonction de e et i .

3- Interféromètre de Michelson.

M_1 est un miroir plan à inclinaison réglable placé sur un **support fixe**. M_2 est un miroir plan à inclinaison réglable placé sur un **support mobile** de façon à faire varier OA_2 . ST est une lame semi-transparente qui réalise la division d'amplitude puisque l'onde incidente est transmise à 50% vers M_1 et réfléchi à 50% vers M_2 .



L'onde 1 qui traverse ST est ensuite réfléchi par M_1 puis par ST, semblant ainsi provenir d'une source secondaire virtuelle S_1 .

L'onde 2 réfléchi par ST est ensuite réfléchi par M_2 puis traverse ST semblant ainsi provenir d'une source secondaire virtuelle S_2 .

Compléter le schéma du compte rendu pour une incidence $i \sim 0$ en construisant les trajets des ondes 1 et 2.

Placer les sources secondaires S_1 et S_2 en positionnant les images de S à travers M_1 , M_2 et ST.

Comparer alors la différence de chemin optique $\delta = (SM_2M) - (SM_1M)$ à S_2S_1 , puis à la distance $e = OA_2 - OA_1$.

On verra en cours que le Michelson avec ses miroirs perpendiculaires est équivalent à une lame d'air d'épaisseur e.

4- Géométrie des franges.

Une frange brillante correspond à $E = E_{\max}$, or nous avons vu que $E = 2E_0 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2e \cos i\right) \right)$ ainsi

lorsque la distance e est fixée, $E = E_{\max}$ correspond à : $\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2e \cos i\right) = 1$.

Soit encore : $\frac{2\pi}{\lambda} 2e \cos i = p \cdot 2\pi$, où p est l'ordre d'interférence entier.

$$\Rightarrow 2e \cos i = p\lambda$$

Cette condition impose des valeurs constantes de i correspondant aux valeurs entières de p.

Le lieu des points $i = \text{cste}$ sur le faisceau émergent de la lentille est un cône et son interception avec l'écran est un **anneau**.

La présence d'une lentille de courte focale placée devant le LASER nous permettra d'obtenir un faisceau incident conique tel que $0 < i < i_0$

On remarquera que lorsque i augmente p diminue : l'ordre d'interférence diminue donc lorsque le rayon des anneaux augmente.

Sur le schéma du compte-rendu, représenter les trajets des rayons issus de S faisant un angle $i = 1^\circ$ avec l'axe SO (Les deux rayons doivent interférer en un même point M).

En déduire l'expression du rayon R des anneaux en fonction de f(focale de la lentille) et de i(en radians).

II- ETUDE EXPERIMENTALE.

1- Réalisation de l'interféromètre. Obtention des interférences.

La qualité de l'interféromètre et donc des interférences obtenues dépend du soin apporté à l'alignement des divers éléments ainsi que du souci de ne pas perdre de lumière lors de la traversée de la ST et des réflexions sur les miroirs.

- Placer les plots magnétiques aux divers emplacements prévus sur le gabarit du Michelson.
- Allumer le LASER, placer la lentille L5 de 5mm et le miroir M_1 , tiges enfoncées au maximum.
- Le miroir M_1 doit être entièrement éclairé et renvoyer la lumière centrée sur L5. On ajuste d'abord en desserrant la tige de M_1 , puis à l'aide des trois vis calantes. Ces vis doivent toujours être en appui mais jamais vissées fortement sous peine de déformation des miroirs.
- Placer la ST en soignant l'alignement.
- Placer M_2 sur son support mobile. Tourner la ST de façon à éclairer complètement M_2 .

- f) Masquer avec un écran mobile le miroir M_1 afin de contrôler le faisceau frappant M_2 . Ajuster l'orientation du miroir M_2 par sa tige, puis à l'aide des vis calantes, afin que la lumière renvoyée par la ST soit centrée sur la L5. La ST est environ sur la bissectrice de l'angle formé par M_1 et M_2 .
- g) Retirer l'écran mobile et placer une lentille de projection (100 ou 200 mm) dans l'alignement M_2 , ST. On doit voir apparaître deux disques sur l'écran. Si ce n'est pas le cas, il faut reprendre les réglages de base.
- h) Amener les deux disques en coïncidence en agissant sur les vis calantes. Lorsque les disques coïncident parfaitement on voit apparaître des anneaux. On peut retirer la lentille de projection pour élargir le champ d'observation.
- Rmq : Les anneaux ne sont pas toujours circulaires, l'essentiel est qu'ils soient fermés sur eux-mêmes pour pouvoir compter leur défilement au centre.
- i) Appeler l'enseignant pour vérification du montage et pour fixer le démultiplicateur.

2- Détermination de la longueur d'onde du LASER.

a- Principe.

On a vu que dans ce montage : $\delta = 2e \cdot \cos i$
 Or pour les franges brillantes : $\delta = p\lambda$.
 Ainsi pour la frange brillante centrale ($i = 0$) : $2e = p_0\lambda$.

Si l'on déplace le miroir M_2 d'une distance Δe connue, on observe un défilement des anneaux et par conséquent une variation de l'ordre d'interférence au centre Δp_0 que l'on peut mesurer si le défilement des anneaux est suffisamment lent.

Les mesures de Δe et Δp_0 permettent de connaître λ avec précision.

b- Mesures.

Sachant qu'un tour de vernier crée un avancement de M_2 de $500 \mu\text{m}$ et correspond à 100 tours de démultiplicateur. Calculer l'avancement Δe créé par 2 tours de démultiplicateur.

$\Delta e =$

Compléter le tableau suivant.

Variation d'ordre	Δp_0	Δp_0	Δp_0	Δp_0	$\Delta p_{0\text{moy}}$
Au centre					

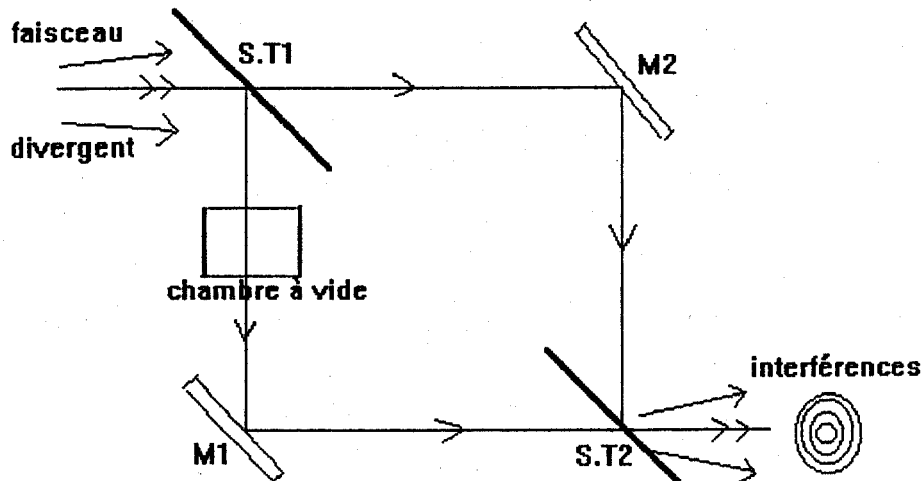
Calculer λ , estimer la précision, calculer $\Delta\lambda$, présenter le résultat.

3- Mesure de l'indice optique de l'air.

a- Réalisation de l'interféromètre de Mach-Zehnder.

La qualité de l'interféromètre et donc des interférences obtenues dépend du soin apporté à l'alignement des divers éléments ainsi que du souci de ne pas perdre de lumière lors de la traversée de la ST et des réflexions sur les miroirs.

- Placer le gabarit Mach-Zehnder sur la platine de l'interféromètre et positionner les plots magnétiques.
- Placer la L5, la L50 et la **chambre à vide solidement.**
- Placer ST₁, ST₂, M₁ et M₂ comme indiqué sur le schéma ci-dessous.



- Orienter les divers éléments de façon à optimiser leurs éclairagements.
- Placer la lentille de projection. On doit voir apparaître deux disques lumineux.
- Comme précédemment on amène les deux disques en coïncidence en agissant d'abord sur la tige des miroirs puis sur leurs vis calantes.
- Lorsqu'on voit apparaître les anneaux, on peut retirer la lentille de projection. L'interféromètre est réglé.

b- Principe de mesure de n.

Comme on peut le voir sur le schéma précédent, les ondes qui interfèrent ne suivent pas le même trajet. La première traverse la chambre à vide alors que la seconde effectue son chemin optique entièrement dans l'air d'indice $n > 1$ (on doit distinguer ici l'indice de l'air de celui du vide).

La chambre à vide a une longueur connue : $e = 50,0 \pm 0,1 \text{ mm}$.

La longueur d'onde du LASER a été déterminée précédemment.

Ainsi lorsque le vide n'a pas encore été fait dans la chambre, nous avons : $\delta = L_2 - L_1 = d = \text{cste}$.

Lorsqu'on fait le vide dans la chambre, montrer que la différence de chemin optique devient :
 $\delta = d + (n-1)e$.

Cette variation $\Delta\delta$ provoque une variation d'ordre au centre Δp_0 puisque : $\Delta\delta = \Delta p_0 \cdot \lambda$

En pratique, on mesure Δp_0 lors de l'entrée d'air dans la chambre à vide et non lors du pompage en raison des vibrations créées par ce dernier.

On connaît e et λ , on mesure Δp_0 . Etablir l'expression de n en fonction de ces grandeurs.

Calculer n , estimer la précision, calculer Δn et présenter le résultat.