

M08 : Interférences lumineuses

Rapport du jury :

Les connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle doivent être reliées aux observations expérimentales. Enfin, il est judicieux de réaliser des expériences simples avant de se lancer dans des expériences sur les notions de cohérence. Il n'est pas raisonnable d'envisager d'apprendre à régler un interféromètre de Michelson devant le jury. Certains candidats ne font pas le rapport entre leurs connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle, et leurs observations expérimentales. Il en résulte alors des montages mal réglés ou mal utilisés. Pourtant ce montage peut fournir des résultats quantitatifs précis. Il est en particulier intéressant de se placer dans des cas limites où la cohérence spatiale ou la cohérence temporelle peuvent être étudiées indépendamment.

Introduction :

Le phénomène d'interférence est un phénomène ondulatoire que l'on peut observer en mécanique, acoustique mais aussi en optique. Mais pour cela, il faut prendre en compte plusieurs précautions afin d'observer une figure d'interférence.

→ Expérience Anneaux Newton : voir M08 I.1

Fonctionnement dispositif (division d'amplitude):

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/newton.html>

On observe plutôt en réflexion (écran côté lumière) → meilleure visibilité (notion de contraste ; si une différence importante de luminosité entre 2 faisceaux → difficulté pour percevoir les franges).

1ère manip: source: laser vert (pas besoin forcément de l'objectif micro car déjà divergent) : source cohérente (monochromatique quasi ponctuelle : cohérence temporelle + spatiale parfaite) → aucune difficulté pour les interférences; on constate que si que lorsqu'on bouge l'écran la figure est la même dans tout le domaine de superposition des ondes et on a un contraste constant : Les interférences sont délocalisées.

2ème manip: utilisation d'une source polychromatique et spatialement étendue (non cohérente) , on n'observe plus les interférences; on place une lentille pour observer sur un écran l'image conjuguée → observation des interférences : anneaux de différentes couleurs (car interférence dépend de la longueur d'onde). On déplace l'écran, on remarque qu'on n'observe plus la figure d'interférences → interférences localisées sur le dispositif des anneaux de Newton (source non ponctuelle).

→ Si on souhaite observer des interférences, avec une source autre qu'un laser il faut prendre certaines précautions. On peut placer ensuite un filtre interférentiel (source monochromatique), on constate qu'on observe plus d'anneaux, il y avait donc une mauvaise cohérence temporelle due au fait que la source soit polychromatique : création d'un brouillage des interférences dû à la superposition des interférences de différentes longueurs d'ondes.

I/ Influence de la cohérence spatiale

Sextant p171 + poly M08 II.1

Cohérence spatiale → traduit l'influence de l'extension d'une source lumineuse sur le contraste des franges. Source spatialement étendue : contraste diminue mais ce n'est pas le cas dans certaines régions de l'espace : localisation des interférences.

On suppose qu'il n'y a pas d'effets de cohérence temporelle → on s'en affranchit en considérant des différences de marches faibles et spectre réduit.

On va alors essayer d'étudier l'influence de l'extension d'une source lumineuse sur la figure d'interférence.

- **Bi fentes d'Young (division du front d'onde):**

M08 - II.1.1

Il faut soigner le parallélisme fente-bifente. **Ne pas oublier d'ajuster le tirage du condenseur en observant l'image du filament sur la bifente.**

Utilisation CDD pour meilleure vision, ainsi qu'un filtre interférentiel pour une meilleure précision.

Ecriture de l'intensité en annexe 1 du M08

→ Influence de la largeur de la fente source:

Lorsqu'on élargit la fente source il y a brouillage de la figure d'interférences → annulation du contraste, puis on re-obtient ensuite la figure d'interférences avec inversion de contraste (pic central nul). → dû à la fonction de contraste voir graphe Sextant.

→ Figure d'interférences:

Mesures: Possibilité de mesurer la distance entre les bi-fentes b avec la figure d'interférences avec l'interfrange formule $b = \lambda D / i$. Penser à prendre une bi-fente avec valeurs tabulées.

→ Elargissement de la fente:

Manip pour explication de l'élargissement : on peut montrer qu'en déplaçant une fente fine perpendiculairement à l'axe optique, la figure d'interférences se déplace donc une source large donne une juxtaposition de franges décalées incohérentes entre elles → affaiblissement du contraste : brouillage.

Mesures: 1er brouillage : $a = \lambda d / b$. On connaît b (distance entre les bi-fentes) et d (distance fente source et bifente), on calcule a (largeur fente source) et on compare avec la lecture de la valeur.

→ au-delà de cette largeur la source n'est plus suffisamment cohérente spatialement pour obtenir des interférences contrastées. On peut montrer que le brouillage a lieu quelque soit la position de l'écran (en réglant la fente source à la valeur de a) → franges d'Young ne sont pas localisées.

(Attention, la valeur a trouvée ne vaut que pour le montage considéré ! Si on change la distance d on peut revoir les franges apparaître) On le montre ci-dessous :

On peut directement relier directement la valeur de l'élargissement a par rapport à l'angle de cohérence spatiale $\Theta_c = \lambda / a$: toute l'explication dans le Sextant page 171-174. Pour une largeur de fente choisie, faire varier la distance d entre la fente source et la bifente, et voir que l'apparition du brouillage dépend de l'angle de cohérence spatiale sous lequel est

éclairé la bifente. On a l'angle d'observation $\Theta_{\text{obs}} = b/d$, ainsi pour a et b fixée, on fait varier d et on remarque que lorsque $\Theta < \Theta_c$: il y a interférences sinon non car la bifente est une source secondaire dite incohérente → brouillage des interférences.

Dernier point, on remarque lorsqu'on dépasse l'angle de cohérence la réapparition des franges : zone d'inversion de contraste dû au changement de signe de la fonction de contraste (sinus cardinal).

Conclusion : cohérence spatiale → traduit l'influence de l'extension d'une source lumineuse sur le contraste des franges. Angle de cohérence dépend de la source et de la fente source mais pas des bi-fentes mais la figure d'interférences dépend alors de l'angle sous lequel on éclaire.

II/ Influence de la cohérence temporelle

Etude de l'influence de la largeur spectrale sur le contraste des figures d'interférence.

Théorie M10-II

Le Michelson en anneaux (lame d'air) est moins sensible à la cohérence spatiale de la source si on observe les interférences au loin. Il est en tout rigueur complètement insensible à la cohérence spatiale lorsque l'on effectue une observation à l'infini. L'observation dans le plan focal d'une lentille correspond à ce cas de figure. Justification page.64 [4] Françon : vibration lumineuses optique cohérente.

On peut alors utiliser une source large et observer les phénomènes interférentiels dans les meilleurs conditions.

Voir généralité Michelson a la fin.

Réglages du Michelson :

Très bonne démarche dans le Sextant

Démarche décrite aussi à la fin de ce doc

Mesure longueur de cohérence de la raie verte du Mercure:

M08 III-1.2

Lampe Hg BP:

Utilisation d'un filtre interférentiel 546 nm pour sélectionner la raie verte. On s'éloigne du contact optique et on chariote jusqu'à avoir un brouillage total. La longueur de cohérence est 2 fois cette distance (prendre les valeurs de part et d'autre du contact optique pour une meilleure précision). De plus, énorme battement au niveau du brouillage donc énorme imprécision. On peut ainsi mesurer la largeur de la raie $\Delta\lambda = \lambda^2/L_c$.

Lampe Hg MP:

Filtre interf en sortie pour pas le cramer. Même expérience.

On compare les résultats entre les 2 : Longueur de cohérence = Longueur spatiale d'un train d'onde. L_c plus faible avec MP dû à la diminution de longueur des trains d'onde dû aux nombres de collisions plus important. Il en est donc de même avec la température.

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons utilisé deux interféromètres largement employés, l'un dans un cadre éducatif à division de front d'onde (bi fente d'Young), le second dans un cadre industriel à division d'amplitude (Michelson). En effet, celui-ci, couplé à la transformée de Fourier est un outil d'analyse très puissant et rapide pour effectuer des analyses poussées, dans l'infrarouge notamment

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie_infrarouge_%C3%A0_transform%C3%A9e_de_Fourier). Et on a ainsi pu voir l'influence de la cohérence temporelle et spatiale.

Questions :

- Pourquoi mettre un verre anti-calorique devant la lampe quartz-iode ? Pour éviter un échauffement trop intense on interpose un filtre infrarouge appelé verre anti-calorique.

- Comment fonctionne le dispositif Caliens ?

http://materiel-physique.ens-lyon.fr/Notices/P17.10_Cam%C3%A9ra%20CCD%20Caliens_ULICE.pdf

- Expliquer le réglage du condenseur de la lampe par rapport aux autres éléments du banc optique ? De sorte que le filament soit sur l'objet, c'est la source de lumière.

- À quoi sert la fente fine avant les fentes de Young ? Quelle différence si on l'enlève ? Elle sert de fente source, pour rendre la source cohérente.

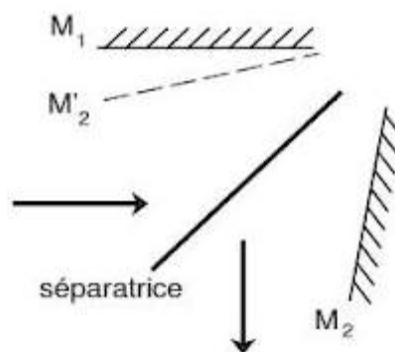
- Quel terme est de la diffraction et quel terme est de l'interférence ?

- Diverses questions sur la spectroscopie par transformée de Fourier.

Annexe : Généralités sur le Michelson

L'interféromètre de Michelson est composé de 2 bras à l'extrémité desquels on trouve 2 miroirs. Grâce à une séparatrice (lame semi réfléchissantes), le faisceau incident est divisé en 2 d'intensité égale. Après réflexion, ils se recombinaient au niveau de la séparatrice et on observe leurs interférences dans une direction transverse au faisceau incident.

L'association miroir séparatrice revient à créer une image du miroir M2 par S qu'on appelle M2'.



On a une lame compensatrice dans le 2ème bras afin de compenser la différence de marche induite par l'épaisseur de la séparatrice. Il est donc nécessaire que la compensatrice et la séparatrice soient parallèles.

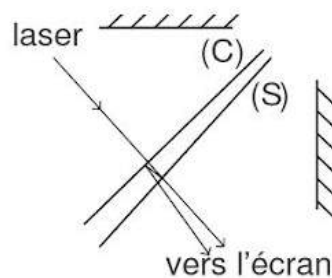
Quand les miroirs M1 et M2' sont rigoureusement parallèles on obtient des anneaux d'égalé inclinaisons situées à l'infini.

Quand les miroirs M1 et M2' ont une une petite inclinaison, on a des franges d'égalé épaisseur.

Réglages :

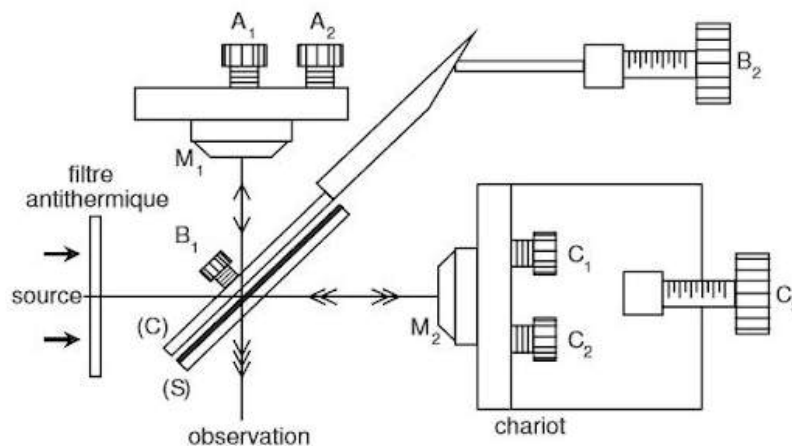
-Utilisation d'un laser

Réglage pour que la compensatrice et la séparatrice soient parallèles : On envoie un faisceau perpendiculairement à l'ensemble compensatrice/séparatrice et on superpose tâches. S'assurer qu'on a la même distance entre miroirs et compensatrice.



Puis on place le faisceau à l'incidence du Michelson.

Maintenant on veut le parallélisme des miroirs : on superpose les tâches en agissant sur vis C1 et C2. On peut employer une source large pour négliger la différence de marche.



On note e l'épaisseur entre M1 et M2'. Pour obtenir une géométrie où M1 et M2' sont rigoureusement parallèles et une différence de marche presque nulle, il faut que $e=0$.

Explication : Pour comprendre ce réglage, il faut avoir à l'esprit les points suivants :

– Quand la différence de marche diminue, les anneaux d'égalé inclinaison défilent vers leur centre (le démontrer à partir de la formule $2e \cos i = k\lambda$ avec k constant pour un anneau donné).

- Quand la différence de marche diminue, les anneaux se transforment progressivement en franges d'égale épaisseur si les miroirs ne sont pas rigoureusement parallèles (en effet pour une faible épaisseur les variations d'inclinaison des rayons changent beaucoup moins la différence de marche que lorsque l'épaisseur e est grande).
- Quand l'épaisseur moyenne e est nulle et que l'on diminue l'angle entre les miroirs, l'interfrange augmente et tend vers l'infini (teinte plate lorsque les miroirs sont parallèles).

Mise en oeuvre : Interposer entre le laser et le Michelson une lentille de très courte distance focale (un condenseur, $f \sim 5\text{mm}$), vous observez des anneaux dont le centre n'est pas nécessairement visible. Charioter (vis C3) de façon à faire défiler les anneaux vers leur centre de courbure (la différence de marche diminue – cf. 1). Lorsque les franges sont devenues rectilignes (cf. 2) cesser le chariotage et jouer sur l'angle des miroirs (vis C1 et C2) de façon à augmenter l'interfrange (cf. 3). Pour cela agir sur C1 dans le sens qui accroît l'interfrange jusqu'au maximum, puis faire de même avec C2. Si lors de ce réglage une courbure apparaît charioter à nouveau en priorité. Lorsqu'il n'y a plus que quelques franges rectilignes sur l'ensemble du champ, agir sur les vis de réglage fin du parallélisme (A1 et A2) pour obtenir une teinte plate : le champ a une teinte et une luminosité uniformes, on est au voisinage du contact optique avec des miroirs parallèles. **Noter la valeur repérant la position du chariot.**

Pour avoir le contact optique précisément : on remplace laser par la lampe à sodium + condenseur. Contact optique indépendant de la source.