

Montage n° 08 : Interférences lumineuses

Moulié Vincent

09/12/2016

Introduction

- Définition des interférences lumineuses : définition du phénomène physique (ex des irisations sur le film d'une bulle de savon) et définition mathématique (terme d'interférences dans l'expression de l'intensité lumineuse résultante).
- Conditions d'obtention du phénomène; les différentes cohérences :
 1. Cohérence mutuelle : une source de lumière unique (cas ici) (utiliser 2 lampes torches et montrer l'incohérence des sources : pas d'interférence)
 2. Cohérences temporelles des sources lumineuses et spatiales : discutées lors des expériences.

A Interféromètre par division du front d'onde : bifentes d'Young.

Matériel : Lampe Quartz-Iode, condenseur, filtre coloré (rouge, au choix), fente réglable montée sur cavalier chariotable, diapositive avec bifente, capteur CCD avec atténuateurs et polariseurs, et caméra 2D « thorlabs ». (Option : rouleau en carton pour s'affranchir du « bruit », mais moins long (30cm) de façon à conserver un maximum de luminosité, et à observer plus distinctement les inversions de contraste sur l'ordinateur)

On se place en lumière considérée monochromatique (même si le filtre coloré utilisé est tout sauf sélectif...) et on va étudier la figure d'interférence obtenue en fonction de la position et de la taille de la fente source, considérée comme la source lumineuse.

A.1 Petite ouverture de la fente source (quantitatif)

On se place, pour commencer, dans le cas d'une source lumineuse considérée comme ponctuelle : petite ouverture de la fente. On va alors retrouver la distance notée a entre les deux fentes via la relation $i = \frac{\lambda D}{a}$ avec

i : l'interfrange mesuré grâce au logiciel Caliens (mesurer plusieurs interfranges avec les curseurs pour gagner en précision),

λ : la longueur d'onde de la lumière émise (pris 630 nm),

D : distance entre la bifente et la capteur CCD.

Pour cela, mesure d'une distance D , de l'interfrange associé et utilisation de Pyzo : ajustement linéaire de $i = f(D)$, le coefficient directeur nous donnant a , à un coefficient près. ($a = 0.6$ mm)

On peut aussi montrer la délocalisation de la figure d'interférence (on bouge un écran blanc, le contraste est toujours égal à 1)

A.2 Translation de la fente source (qualitatif)

Ici, on place la caméra Thorlabs 2D, on vérifie que l'on est toujours bien aux alentours d'un contraste de 1, et cette fois, on va translater la fente source transversalement. Conséquence : la figure d'interférence se déplace transversalement également et, d'après la théorie, la position de la frange brillante centrale est repérée par la position $x = -x_s \frac{D}{d}$ avec

x_s : position de la fente source par rapport à l'axe optique

D : distance entre la bifente et la caméra 2D

d : distance entre la fente source et la bifente.

En se plaçant à une position x telle que la figure d'interférence anticoïncide avec la figure d'interférence relative à la position $x = 0$ (soit à $x = \frac{i}{2}$), on montre alors par le calcul que $x_s = -\frac{\lambda d}{2a}$. Ainsi, si l'on considérait deux sources ponctuelles (une placée à $x=0$ et l'autre à $x = x_s$), on aurait un brouillage des franges (anticoïncidence). On introduit ainsi ici la largeur cohérence spatiale de la fente source (L_c), via celle de 2 points sources dans un premier temps, et distants de $2|x_s|$ (symétrique par rapport à l'axe optique à considérer). Il existe donc une distance entre les deux points sources à ne pas atteindre, sous peine de ne plus voir d'interférences. Translation à montrer via le logiciel « ucv480viewer ».

A.3 Élargissement de la fente source (quantitatif)

Dans un second temps, on explique qu'une fente large se comporte comme une infinité de fentes fines, celles-ci superposant alors 2 à 2 leur figure d'interférence. Cela nous permet de comprendre qu'au delà d'une certaine largeur (la largeur de cohérence trouvée précédemment), il y a brouillage total. On va, de plus, remonter cette même valeur de L_c en utilisant le terme de visibilité apparaissant dans l'expression de l'intensité lumineuse produite par une fente élargie. Il s'agit du terme $\text{sinc}(\frac{\pi ah}{\lambda d})$ avec h , la largeur de la source, qui s'annule pour $h = \frac{\lambda d}{a} = L_c$. Donc, si $h < L_c$, on a bien des interférences.

La mesure s'effectue via le vernier, en visualisant en même temps sur l'ordinateur, la perte de contraste. Dès que le contraste est nul, on repère la valeur de L_c .

Conclusion :

- Étude de l'influence de la fente source et de sa cohérence spatiale. Mais, (le montrer) si on déplace la bifente en direction de la fente source, la figure d'interférence réapparaît. Ainsi, cette cohérence spatiale s'explique davantage en considérant le système fente source/bifente et en traitant l'évolution de l'angle sous lequel est vu la bifente. (Angle de cohérence spatiale)
- Rappel historique de l'invention de ce dispositif et application encore actuelle : interférométrie stellaire (étoile double $\Leftarrow \Rightarrow$ 2 points sources).

B Interféromètre par division d'amplitude : interféromètre de Michelson (cf [1] pour l'origine des expressions exposées)

Matériel : Lampes à vapeur de mercure (B.1.1) et à vapeur de sodium (B.1.2), condenseur, filtre interférentiel (546nm) (B.1.1), dépoli avec mire (pour le réglage), lentilles convergentes (une de 50cm pour le B.1, une de 20cm pour le B.2), capteur CCD (B.1.1 et B.2), écran blanc (B.1.2).

Second dispositif (expliquer son fonctionnement) pour lequel la source lumineuse sera élargie mais ne posera pas de problèmes de cohérence spatiale. Le montrer en utilisant un diaphragme (délocalisation de la figure d'interférence comme le 1er cas) puis en l'ouvrant (localisation à l'infini). On utilisera ainsi une lentille convergente pour « ramener » le lieu des interférences dans le plan focal image de la lentille. (Tout cela implique que l'interféromètre de Michelson est préalablement bien réglé en lame d'air!)

B.1 Dispositif en lame d'air

B.1.1 Expression du rayon des anneaux brillants

Théoriquement, on trouve une expression du rayon des anneaux telle que : $R^2 = \frac{f^2 \lambda}{e} m + \frac{f^2 \lambda}{e} (\varepsilon_{pmax} - 1)$ avec :

R : rayon de l'anneau brillant numéro m (m=1 est le premier anneau brillant, au centre)

f : distance focale de la lentille

λ : longueur d'onde de la lumière émise

e : épaisseur de la lame d'air

m : numéro de l'anneau brillant

ε_{pmax} : partie fractionnaire de l'ordre d'interférence au centre, déterminée par le calcul de $p_{max} = \frac{2e}{\lambda}$ (on se place à un e tel qu'un anneau brillant soit au centre de la figure d'interférence)

Donc ici, s'étant placé à un e fixé (mesurée via le vernier, ce qui implique de se positionner préalablement à la teinte plate), on peut mesurer le rayon des anneaux brillants qui se succèdent (avec les curseurs sur Caliens), en partant du centre, et retrouver, l'expression de type affine du rayon de l'anneau au carré en fonction de son numéro (Pyzo). De là, on peut retrouver la valeur de la focale de la lentille, par exemple.

B.1.2 Mesure du doublet du sodium

Cette disposition permet par exemple de retrouver l'écart spectral entre les deux longueurs d'onde caractéristiques de la lampe à vapeur de sodium ($\lambda_1 = 589 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$)

Pour cela, on sait que $\Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2\Delta e}$ (théorie) avec

λ_m : longueur d'onde moyenne, soit 589.3 nm

Δe : écart entre 2 contrastes nuls.

Expérimentalement, il s'agit, après avoir remplacé la lampe à vapeur de mercure par celle à vapeur de sodium, de repérer une position telle qu'il y a brouillage complet de la figure d'interférence. Puis, on chariote, on retrouve du contraste jusqu'à ce que ce dernier redevienne nul. Ce chariotage correspond à Δe . Pour plus de précision, on peut relever plusieurs positions, et en faire la moyenne. On trouve alors très bien la valeur de $\Delta\lambda = 0.6 \text{ nm}$.

B.2 Dispositif en coin d'air

Pour exposer le coin d'air, on doit se remettre à la teinte plate, et jouer sur les vis du miroir proche de la compensatrice (M1), afin de créer un angle entre les 2 miroirs. La figure d'interférence est alors localisée devant le miroir M1 et on va positionner une lentille convergente ainsi qu'une caméra en sortie de l'interféromètre de manière à observer et calculer via la barrette CCD l'interfrange alors grandi (conjugué du vrai interfrange par la lentille convergente). Celui ci étant relié à l'angle entre les deux miroirs, on peut remonter à ce dernier avec un ajustement linéaire sur Pyzo. ([1] pour les détails de calcul)

Conclusion :

- Caractéristiques à reprendre (lame d'air, coin d'air)
- Rappel historique du dispositif et applications actuelles (détection d'ondes gravitationnelles, technique de spectroscopie à l'image du doublet du sodium)

Bibliographie

- [1] Augier, More, MP MP* Physique Tec et Doc
- [2] Optique expérimentale, Sextant, Hermann
- [3] Expériences d'optique, Duffait, Bréal