

Montage agrégation — commentaires

Interférences lumineuses

Bon exposé, globalement dynamique, avec quelques « baisses de régime » dans certaines parties (hésitations avec les grandissements). Plan choisi :

1 — Fentes de Young

Belle manip mais insuffisamment exploitée.

2 — Interféromètres de Michelson en lame d'air : battements du doublet du sodium

Les réglages sont perfectibles (éclairage du Michelson en particulier).

Une erreur de calcul dans l'exploitation des mesures.

3 — Interféromètre de Michelson en coin d'air : mesure de l'indice d'une lame de verre par le spectre cannelé

Manip avortée faute d'avoir pu se placer correctement en lumière blanche.

Quelques remarques et suggestions

Fentes de Young

Très bonne manip en montage : intensité reçue sur le capteur très bien visible sur l'écran. C'est dommage de ne pas avoir poussé à fond l'étude.

- Il faut dire que la figure d'interférences a pour enveloppe la figure de diffraction d'une fente. On peut rapidement estimer la largeur des fentes de Young à partir de la figure projetée.
- **Surtout** cette manip est l'occasion de bien mettre en évidence les propriétés des interférences par division du front d'onde ou par division d'amplitude, en élargissant la fente source : il faut absolument parler de **cohérence spatiale**.

1^{re} approche : on élargit la fente source, et on observe un premier brouillage de la figure d'interférences. L'explication qualitative donnée était bien (points incohérents entre eux, etc.). On peut estimer la largeur de la fente source en utilisant le critère semi-quantitatif de brouillage (vu en spé) : la variation de l'ordre d'interférence atteint $\Delta p = 1/2$, en la calculant entre deux points de la source distants de la moitié de l'étendue spatiale de la source (en gros, un au milieu et un au bord).

2^e approche : on continue d'élargir la fente source ; on voit les franges réapparaître, nettement moins contrastées, mais surtout avec une inversion de contraste (le centre est sombre). Puis on observe de nouveau un brouillage, puis les franges reviennent avec le contraste non inversé. C'était très bien visible sur la manip (ajuster le gain du capteur pendant qu'on élargit la fente source pour éviter la saturation). Si on veut l'expliquer il faut se lancer dans le calcul classique qui conduit à un terme de visibilité en sinus cardinal.

- On pourra se reporter à l'article *Subtleties with Young's double-slit experiment : Investigation of spatial coherence and fringe visibility*, D. Jackson, N. Ferris, R. Strauss, H. Li and B. Pearson, Am. J. Phys. **86** (9), September 2018 de l'*American Journal of Physics*, dont on peut reconstituer les courbes avec l'expérience proposée.
- Historiquement, Grimaldi, a tenté en 1665 de réaliser une expérience d'interférences en éclairant deux trous par le Soleil. Son expérience a échoué : le diamètre apparent du Soleil fait que la source est trop « étendue » : les franges sont brouillées.

Interféromètre de Michelson en lame d'air

Il faut au maximum faire les réglages avant la présentation pour éviter toute retouche hasardeuse en *live*. En l'occurrence, la façon de l'éclairer n'était pas bonne.

La façon d'éclairer le Michelson dépend de quel paramètre est fonction l'ordre d'interférence : pour la lame d'air, l'ordre dépend de l'inclinaison des rayons incidents (« franges d'égales inclinaison ». Sachant qu'entre deux franges successives l'ordre p varie de 1, il faut que p varie sur le plus large intervalle possible pour observer le plus grand nombre de franges (i.e. avoir une « belle » figure d'interférences). Faire varier l'incidence le plus possible revient à frapper les miroirs avec un faisceau convergeant : **on faut l'image de la source sur les miroirs**. Dans la pratique, il faut regarder les miroirs quand on fait les réglages! Ce n'était pas du tout réglé comme ça dans la manip présentée. Il faut d'ailleurs parler des conditions d'éclairage et des conditions d'observation.

Pour le doublet du sodium, l'expression de l'intensité était juste, mais la mesure faite pendant la présentation donnait une valeur deux fois plus grande que celle attendue (pour $\delta\lambda$). Dans ces cas-là, il faut se dire que ce n'est pas une erreur de mesure, mais un facteur 2 oublié dans les calculs... ce qui était le cas! Le terme de visibilité était bon ; il faut bien avoir en tête qu'une fonction sinusoïdale est de la forme $\cos\left(2\pi\frac{\text{variable}}{\text{période}} + \text{phase}\right)$. Le contraste s'annule deux fois par période...

Interféromètre de Michelson coin d'air

Bien insister : il faut changer les conditions d'éclairage et les conditions d'observation.

Ici les franges sont d'égales épaisseur ; p varie sur le plus grand intervalle si l'épaisseur éclairée varie le plus ; il faut donc éclairer la totalité des miroirs, sous incidence quasi-normale : on bouge le condenseur pour mettre la source à son foyer.

Les franges sont localisées au voisinage du coin, donc en gros « sur les miroirs ».

- Éviter de prendre une lentille au hasard et de la déplacer entre l'objet et l'écran en espérant obtenir une image nette! En l'occurrence, la focale choisie était de l'ordre de $D/4$... avec un peu de chance on était dans le montage $4f$: image de même taille que l'objet donc petite ici (les miroirs ne sont pas grand). Il faut choisir une focale plus courte, et la placer plus proche de l'objet. Ne pas hésiter à faire un petit calcul de conjugaison pour ne pas prendre n'importe quelle valeur!
- La localisation est beaucoup plus drastique pour le coin d'air que pour la lame d'air : si la conjugaison entre les miroirs et l'écran n'est pas parfaite, on ne voit rien! Penser à l'astuce de petit bout de papier que l'on place devant le miroir pour avoir un objet au bord net, ce qui permet de juger plus facilement de la netteté de l'image.

L'expérience proposée avec une lame de verre est intéressante, il faudrait prendre le temps de la retravailler. Une autre expérience pourrait être de déterminer la longueur d'onde centrale d'estimer la bande passante d'un filtre interférentiel (cohérence temporelle).

- Le fait de parler de « division du front d'onde » avec le Michelson dans le cas d'une source ponctuelle nous a laissé perplexes... Certes, en un point M à distance finie, les deux rayons qui interfèrent en M proviennent bien de deux rayons différents au départ de la source, mais est-ce évident de considérer que la séparatrice réalise une division du front d'onde? On peut l'évoquer dans la discussion après le montage, mais on a trouvé que l'exposé insistait trop sur ce point assez anecdotique en l'occurrence, voire risqué si on ne maîtrise pas bien la chose.

Il faut insister sur les différences des deux types d'interféromètres, dans le cas d'une source étendue :

- avec les fentes de Young, on a un brouillage de la figure d'interférence quand la source n'est plus spatialement cohérente. Ce dispositif est présenté surtout de façon didactique ou historique ;
- avec le Michelson, quand la source est étendue, les interférences sont localisées, ce qui peut paraître plus contraignant mais permet de travailler avec une figure d'interférences bien plus lumineuse. On peut alors faire de la métrologie : doublet du sodium, indice d'une lame, bande passante d'un filtre, faible variation d'indice (gaz d'un briquet ou air chaud au-dessus d'une pièce métallique chaude par exemple).