

LP n° 34 : Interférométrie à division d'amplitude

NIVEAU : CPGE (2E ANNÉE)

PRÉREQUIS :

- Optique géométrique
- Interférences à 2 ondes
- Division du front d'onde
- Notion de cohérence

PLAN :

1. Principe de la division d'amplitude
2. L'interféromètre de Michelson

3. Interférences à N ondes, la cavité Fabry-Pérot

BIBLIOGRAPHIE :

- [58] J.-P. Pérez, *Optique. Fondements et applications* (7e édition)
- [51] D. Mauras, *Optique Physique et électronique*.
- [71] *Physique PC/PC**, Dunod (2014)
- TD *Interférences* de C. Sayrin

IDÉES À FAIRE PASSER :

Introduction : Les dispositifs de division du front d'onde présentent l'inconvénient d'être sensible à la perte de cohérence spatiale et contraignent les utilisateurs à limiter la taille de la source, donc irrémédiablement l'intensité lumineuse envoyée dans le dispositif.

Expérience : Dans le dispositif des fentes d'Young, élargir la source et observer la perte de contraste due à la perte de cohérence spatiale.

1 Principe de la division d'amplitude

1.1 Avantages et inconvénients de la division d'amplitude

Source ponctuelle implique interférences bien contrastée, partout dans l'espace, mais pour une source étendue, la division par front d'onde n'est pas optimale : la division d'amplitude est nécessaire : [51], p. 160 et [58], p. 292 - un train d'onde donne deux trains d'onde images. La surface des 2 fronts d'onde n'est pas modifiée mais l'intensité est divisée par deux (division énergétique).

Comme les 2 rayons qui interfèrent sont issus d'un même rayon incident, l'élargissement de la source n'altère pas les interférences. Franges localisée à l'intersection des couples rayons. Mentionner le théorème de localisation et voir la fiche de Thibierge à ce sujet : il existe une surface de contraste maximal, où les interférences sont dites « localisées ». Retenir que le chemin optique entre la source et le point M d'observation ne dépend pas du point O de départ sur la source !

1.2 Illustration sur une lame à faces parallèles

Voir TD de C. Sayrin et [58], p. 319 - Faire un schéma lame + source ponctuelle. Dessiner les sources secondaires et montrer les hyperboloïdes sur slide. On observe des anneaux dans cette configuration ! Montrer qualitativement ce qu'il se passe si on étend progressivement la source. Brouillage des anneaux.

[58], p. 321 - Calcul (efficace !) de la différence de marche $\delta = 2e \cos(i)$ qui ne dépend que de l'angle d'incidence (anneaux d'égale inclinaison ou anneaux d'Haidinger). La différence de marche ne dépendant que de l'angle si on envoie tout à l'infini c'est gagné !

Transition : Ce système de lame à face parallèle est un système permettant d'observer des interférences mais qui est totalement fixe : on ne peut jouer ni sur l'angle entre les lames, ni sur l'écartement entre elles, ni ajouter des objets sur le parcours de la lumière. On doit donc passer à un dispositif concret de division d'amplitude, permettant de mettre en application ces phénomènes et de réaliser des mesures extrêmement précises.

2 L'interféromètre de Michelson

Stipuler tout de suite que le réglage de l'interféromètre de Michelson sera étudié longuement en TP. Au cours de cette partie on peut d'ailleurs insister sur les éléments qu'il sera alors crucial d'avoir à l'esprit.

2.1 Présentation du dispositif

[71], p. 778 - **slide** schéma + présenter sur le vrai. Présentée la séparatrice qui permet la division d'amplitude et insister sur la nécessité d'une compensatrice. D'après [51], p. 86, présenter successivement les cheminements de la lumière le long des deux bras de l'interféromètre pour arriver à introduire les deux situations classiques de coin d'air et lame d'air. On peut remarquer (cf. slide) que dans le cas général ce qu'on voit sur l'écran est un couple quelconque des hyperboloïdes de révolution.

2.2 Configuration lame d'air

[71], p. 780 - (D'abord en source ponctuelle!) Explication du nom. Réduire le système à deux sources secondaires selon le schéma de [51], p. 91. C'est facile de calculer la différence de marche, on est dans le même cas que pour la lame à faces parallèles donc on obtient à nouveau des anneaux d'égale d'inclinaison. Décrire ce qu'il se passe dans le cas où on étend la source ([51], p. 158 et 161), nécessité de mettre une lentille en sortie pour projeter à l'infini. Localisation des franges.

Expérience : On peut écarter progressivement la fente source sur le dispositif des fentes d'Young pour voir le contraste s'annuler puis s'inverser. L'inversion est difficile à voir nettement, peut être qu'une caméra CCD pourra aider mais ça me semble difficile à mettre en place en leçon (jongler avec l'écran etc...). On peut la garder sous le coude et la mentionner pendant l'oral.

Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation. Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférence en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde. Mesurer l'écart $\Delta\lambda$ d'un doublet et la longueur de cohérence d'une radiation. Interpréter les observations en lumière blanche.

lame d'air avec une lampe de sodium, conditions d'éclairement (choix du condenseur) et d'observation (à l'infini), contact optique, teinte plate, variation du nombre d'anneaux, avant, après. Alternance sombre/lumineux : interférence destr./constr. [51], p. 164 rayon des anneaux brillants. Effet de e sur les anneaux : plus on s'approche du contact optique plus le rayon des anneaux est grand.

Application : Exp : [51] p. 178 Mesure de l'écart des raies d'un doublet : sodium. Deux raies : deux systèmes d'anneaux, anti coïncidence : brouillage si brillant1 = sombre2. $\Delta e = (\lambda_m^2)/2\Delta\lambda$ Transition : deuxième configuration ?

2.3 Configuration coin d'air

[71], p. 787 définition + **slide** + Schéma simplifié au tableau + localisation des franges. Avec le schéma des hyperboloïdes on comprend qu'on observe des franges rectilignes. Incidence normale : $\delta = 2e(x) = 2\alpha x$. Franges d'égale épaisseur localisées au voisinage du coin d'air. [1] p. 334 Trouver l'interfrange

Etude de la cohérence temporelle de la source : Exp : lampe QI + condenseur 15 cm proche du C.O, on doit voir quelques franges puis blanc d'ordre supérieur : apparition des cannelures.

Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation. Admettre et utiliser l'expression de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences. Analyser un objet (miroir déformé, lame de phase introduite sur un des trajets, etc...). Interpréter les observations en lumière blanche.

Remarque : au programme, « l'étude de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est abordée de manière exclusivement expérimentale »

Conclusion : En ouverture de cette leçon il faut insister sur les interférences à N ondes et l'interféromètre de Fabry-Pérot. Voire, si on a un peu de temps (ce qui serait étonnant) en évoquer le traitement. Voir le TD de C. Sayrin *Interférences*.

BONUS :

- La division du front d'onde correspond à une division géométrique, la division d'amplitude à une division énergétique.