

Leçon de Physique n°18
Interférométrie à division d'amplitude

Niveau : CPGE 2ème année

Programme :

Notions et contenus

Capacités exigibles

4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson

a) Interféromètre de Michelson équivalent à une lame d'air éclairée par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale inclinaison.

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.

b) Interféromètre de Michelson équivalent à un coin d'air éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges. Franges d'égale épaisseur.

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.

Livres : Mauras Optique physique, Perez Optique, Tout-en un, Tec&Doc, Poly Montrouge

Pré-requis : Optique ondulatoire, interférences

Intérêt de l'interférométrie à division d'amplitude

Grâce à la sensibilité des phénomènes interférentiels, on peut mesurer des différences de longueurs d'onde faibles grâce à des interféromètres

=> fabrication de spectroscopes : mesures de très faibles différences de λ

1 – Interféromètre et cohérence spatiale

a – Rappels : interférences dues à deux sources mutuellement cohérentes

- On rappelle la formule fondamentale des interférences en considérant deux sources S1 et S2 totalement cohérentes, les surfaces où l'éclairement est constant est l'ensemble des points M tels que $S_2M - S_1M = \text{const}$ => hyperboloïdes de foyers S1 et S2, dans le champ d'interférences on observe la répartition de ε sur un écran plan, l'intersection de ce plan avec les surfaces ε_{max} donne des franges brillantes et réciproquement
- si on place un écran perpendiculaire à une médiatrice de S1S2 => franges rectilignes
- si on place un écran perpendiculaire à S1S2 => franges circulaires d'axe S1S2
- on considère maintenant un montage en lame d'air et deux sources incohérentes : chacune fournit ses deux sources secondaires et les éclairagements produits par chaque

point source s'additionnent au point considéré du champ d'interférences, chacune des sources produit son propre système d'anneaux sur l'écran d'observation, si la source est large => brouillage

- conclusion : dans le cas d'une source ponctuelle on observe des franges partout dans l'espace (dans la limite de l_c) : interférences non localisées, si on élargit la source : brouillage, on verra que dans ce cas là les interférences sont localisées à l'infini

Mauras ch2, Mauras ch3

b – Théorème de localisation

On considère un système optique à deux voies, la source large est décomposable en sources quasi ponctuelles produisant en M de l'écran des éclairissements qui s'ajoutent : l'élargissement de la source ne produit pas de brouillage si $\varepsilon(M)$ dû à S ne varie pas lorsque $S \rightarrow S'$ (ou encore si $\delta(M)$ ne varie pas lorsque $S \rightarrow S'$)

Intérêt des interféromètres à division d'amplitude : l'interféromètre sépare puis recombine à partir du même rayon incident, l'élargissement de la source n'altère pas les interférences (avantage car on peut avoir des source larges donc lumineuses), inconvénient : localisation des interférences, *Mauras ch3, Perez p303*

2 – Interféromètre de Michelson avec source large

a – Présentation de l'interféromètre

Miroirs fixe et mobile, dispositif séparateur : séparatrice+compensatrice, principe : séparation d'un rayon, rôle de la compensatrice, *Tout en un, Mauras p170-171*

Monter un dessin d'un Michelson avec miroirs et vis, montrer la trajectoire des rayons (*Mauras*)

Michelson=spectromètre à transformée de Fourier

b – Interféromètre de Michelson réglé en lame d'air avec une source étendue

Miroirs M1 et M2 orthogonaux

- schéma équivalent à l'interféromètre réglé en lame d'air éclairé par une source ponctuelle : équivalence à une lame d'air
- dans le cas d'une source ponctuelle : une lame d'air donne des interférences non localisées (division du front d'onde) et d'après les conclusions précédentes l'élargissement provoque un brouillage
- dans le cas d'une utilisation en division d'amplitude : les rayons qui interfèrent doivent être issus d'un même rayon incident sur la séparatrice, les deux rayons ne se coupent qu'à l'infini => localisation à l'infini, observation dans le plan focal d'une lentille convergente de grande focale
- calcul de $\delta(M)$ au point M à l'infini : $\delta(M) = 2e \cdot n \cdot \cos(\theta)$
- anneaux d'égale inclinaison : rayons des anneaux (attention ils ne sont pas équidistants), contact optique, en lumière monochromatique chacune des radiations donne son propre système d'anneaux

Mauras ch3, Tout en un, Tec&Doc

c – Interféromètre de Michelson réglé en coin d'air avec une source étendue

M1' forme un coin d'air avec M2

- construction des rayons qui interfèrent lors d'une utilisation en coin d'air : ce sont des parties virtuelles de rayons qui interfèrent ou réelles suivant l'inclinaison, on considère

M1' horizontal et M2 qui fait un angle $+\alpha$ avec M1', soit i l'angle d'incidence du rayon par rapport à la normale de M1', les deux rayons réfléchis par M1' et M2 se coupent un point M

- La surface de localisation est un plan qui contient l'arête du coin d'air et fait l'angle i avec M2, généralement l'observateur vise perpendiculairement à M1' donc le plan est pratiquement confondu avec M2 => franges localisées sur les miroirs, observation en faisant l'image des miroirs à l'aide d'une lentille de courte focale

- on a des franges rectilignes parallèles à l'arête du coin d'air, on a $\delta(M) \sim 2^*e$
Mauras

3 – Applications

a – Mesure d'un doublet

On considère la superposition de 2 radiations parfaitement monochromatiques et on écrit la somme des éclairissements : $\varepsilon' = 2\varepsilon_0'(1 + \cos(2\pi\delta(M)/\lambda'))$ et $\varepsilon'' = 2\varepsilon_0''(1 + \cos(2\pi\delta(M)/\lambda''))$

$$\varepsilon = \varepsilon' + \varepsilon'' = 2\varepsilon_0 * (1 + \cos(2\pi e \Delta\lambda / \lambda_0^2) \cos(2\pi\delta(M)/\lambda_0))$$

on obtient un contraste qui s'annule périodiquement en fonction de l'épaisseur e de la lame d'air : $C = |\cos(2\pi e \Delta\lambda / \lambda_0^2)|$, *Tec&Doc, Tout en un*

b – Mesure de l'épaisseur d'une lame

On considère une lame de mica placée entre la séparatrice et le miroir M1 par exemple, pour un rayon d'incidence i sur dispositif en lame d'air, la lame introduit une différence de marche supplémentaire $\delta(M) = 2^*e_{\text{mica}} * (n \cos(r) - \cos(i))$ où n est l'indice du mica et r l'angle de réfraction à l'intérieur de la lame de mica, la différence de marche totale vaut :

$$\delta(M) = 2e \cos(i) + 2^*e_{\text{mica}} * (n \cos(r) - \cos(i)) \sim 2(e - e_{\text{mica}}) + 2n^*e_{\text{mica}} - i^2((e - e_{\text{mica}}) + e_{\text{mica}}/n)$$

En l'absence de lame on se place au contact optique ($e=0$), on place la lame et on chariotte jusqu'à retrouver le contact optique (obtenu pour $\delta(M)$ constant quelque soit l'inclinaison i) => $e_{\text{mica}} = (n/(1+n))e$

Tout en un ch4 TP cours

ou

1) Interférence à deux ondes

- Schéma de principe
- Utilisation en lame d'air
- Utilisation en coin d'air
- Application à la spectroscopie

2) Interférences à N ondes (plus sensible : N ondes au lieu de 2 => augmente la sensibilité => sépare mieux les λ)

Ne pas faire le montage, montrer des images seulement

- Schéma de principe
- Lame d'air

quand $I \approx 0$: où est passée l'énergie ? => emmagasinées dans la cavité + énergie réfléchie (creux à la transmission mais max à la réflexion)

c) Application au filtrage interférentiel

Aide : réglage du Michelson

Secret du Michelson : il faut éclairer le plus largement possible => faire l'image de la lampe ou des filaments sur les miroirs

En 1^{er}, on règle la compensatrice

Laser :

éclairer à 45°

mettre les points lumineux les uns sur les autres → mais pas suffisant donc ajouter une séparatrice compensatrice

Lentille de diamètre 5mm → anneaux, centrer

remettre le laser perpendiculairement et aligner les taches les plus lumineuses « ça clignote » → ajouter la lentille > interférences mais pas centré

Sodium :

très difficile d'avoir les miroirs parallèles donc autant faire un coin d'air

=> il faut faire l'image des miroirs sur la sortie du Michelson → lentille de diamètre 125 + écran assez éloigné

à l'entrée du condenseur, petit morceau de papier sur le miroir pour faire l'image du morceau de papier

Elargir les franges → teinte plate (contact optique ≈ 11 quand c'est la teinte plate)

Pour repasser en égale épaisseur :

prendre lentille de 1m avec un écran à 1m

Repasser à un éclairage où l'image sur la source → anneaux à recentrer

Mesurer les brouillages → $\Delta\lambda$

Avec le Michelson, comment être sûr qu'on regarde à l'infini ?

→ utiliser une lentille de focale 1 mètre

→ regarder à l'infini => regarder à la focale de la lentille