LPOB : Notion de cohérence en optique

Louis Heitz et Vincent Brémaud

Sommaire

Le code couleur utilisé dans ce document est le suivant :

- → Pour des éléments de correction / des questions posées par le correcteur
- **Pour les renvois vers la bibliographie**
- *Pour des remarques diverses des auteurs*
- ⚠ **Pour des points particulièrement délicats, des erreurs à ne pas commettre**
- Pour des liens cliquables

Rapports du jury

Bibliographie

[1] Ondes lumineuses, Champeau. Pour la théorie, Wiener-Kintchine etc

[2] Hprépa, optique ondulatoire, édition 2004. Pour les exemples, le théorème de localisation.

Introduction

Niveau : L3
PR :
Limite d'une source ponctuelle et monochromatique

I Cohérence spatiale

I.1 Effet de l'élargissement d'une source

Expérience fente d'Young
Figure d'interférence :
-on a perdu la figure d'interférence.
-on a augmenté la luminosité.
Perdre de contraste dûe à l'extension spatiale : cohérence spatiale.

I.2 Mise en équation

Que vaut I(M) ?

$$I = \sum_{s \in \text{source}} 2I_0(1 + cos(\frac{2\pi}{\lambda}\delta(S, M)) = I_0 \int \frac{dx}{b}(1 + cos(\frac{2\pi}{\lambda}\delta(x_1, M)))$$

Avec $\delta = \frac{ax_1}{L} + \frac{ax}{D}$, on trouve :

$$I(M) = 2I_0(1 + cos(\frac{2\pi ax}{\lambda D})sinc(\frac{\pi ab}{\lambda L}))$$

On a alors brouillage lorsque :

$$\frac{b}{\lambda L} \sim 1$$

$$b \sim \frac{\lambda L}{a} \sim 6mm$$

Remarques :
La perte de contraste est globale. C'est la caractéristique de la cohérence spatiale.

II Cohérence temporelle

II.1 Origine physique

animation battements
L'extension fréquentielle de la source induit un brouillage : on parle de cohérence temporelle.
Considérons une lampe à vapeur de sodium.
Pour celle-ci, $\Delta\nu_0 = 10MHz$

En réalité, il y a deux effets à prendre en compte :
-Élargissement dû aux mouvements chaotique des atomes, il y a un effet Doppler.
-Les collisions entre ceux-ci.

II.2 Retour sur l'interférence à deux ondes

Notons S l'amplitude lumineuse.
Notons S_1, l'amplitude du champ passant par la voie 1, S_2 par la voie 2.

$$I =< |S_1 + S_2|^2 >_{\tau d}=< |S_1|^2 > + < |S_2|^2 > +2Re(< S_1 S_2^* >)$$

τd étant le temps de réponse du capteur.
Notons δ la différence de marche introduite par l'interféromètre.
$S_2 = S(t - \tau) o \tau = \frac{\delta}{C}$
$S_1 = S(t)$

Alors :

$$< S_1 S_2^* >_{\tau d}= \Gamma(\tau)$$

Où Γ est la fonction d'auto-corrélation de la source.

$$I = I_1 + I_2 + 2Re(\Gamma(\tau))$$

Exemple : pour une onde monochromatique,
$S(t) = e^{(-2i\pi\nu_0 t)}$
$\Gamma(\tau) = \frac{1}{\tau}...$
$\Gamma(\tau) = e^{(-2i\pi\nu_0 \tau)}$

II.3 Théorème de Wiener Khintchine

Rappel sur la densité spectrale

La fonction d'autocorrélation n'est rien d'autre que la transformée de Fourier de la densité spectrale évaluée au même instant tau.
On associe τ_c à Γ.
On associe Δ_ν à C (densité spectrale).
Par les propriétés de la TF : $\Delta\nu\tau_c \sim 1$

Exemple : élargissement par effet Dopller.
Décalage en fréquence :

$$\nu^{'} = \nu_0(1 + \frac{v}{c})$$

Repartission des vitesses (phy stat) :

$$dNexp(-\frac{1}{2}\frac{mv^2}{k_BT})$$

On trouve :

$$\Delta\nu \sim \sqrt{\frac{RT}{M}}\frac{\nu_0}{c}$$

Conclusion

Cohérence spatiale : brouillage globale.
Cohérence temporelle : brouillage localisée.
A partir de l'interférrogramme on peut remonter aux caractéristiques de la source.

A Correction

Bonne leçon, bien niveau L3. Il manque un peu de concret dans cette leçon. Il faudrait raccourcir un peu quelque part, il faut un diapo sous le coude pour afficher des chiffres. Pour le reste c'était clair et cohérent.
Peut être parler du déphasage aléatoire. Fil conducteur bien choisi.
Les animations étaient bien.

B Commentaires

→ Problèmes de cohérences spatiales dans un interféromètre à division d'amplitude ? A l'ordre 1, pas de problème pour s'affranchir de la cohérence spatiale. Par contre on a la localisation des interférences.
→ Théorème de localisation ? On regarde le même rayon entrant dans l'interféromètre pour s'affranchir des problèmes de cohérence spatiale.
→ Temps de réponse d'un capteur moderne ? De l'ordre de la ms. Les plus rapides vont jusqu'à $10^{-12}s$.
→ Est ce que si on prend 2 lasers à la même longueur d'onde, est ce qu'on peut faire des interférences ? Ils vérifient le critère sur la longueur d'onde, mais le critère de phase n'est pas forcément vérifier ça dépend du temps de fluctuation de la phase devant le temps de réponse du capteur. ça fait partie de la leçon (notion d'incohérence des sources).
→ Parler du détecteur dans cette leçon.
→ Condition sur la polarisation des ondes pour avoir des interférences ? Il ne faut pas qu'il y ait orthogonalité.
→ Deux effets tjrs observable ? Dépend de la pression pour le temps entre les collisions (prop à la pression) et de la température pour Doppler.
→ Utilité de la cohérence ?
→ Mesure précise en lumière blanche (avec une faible cohérence). De l'ordre de 1.10^{-6} m, plus précis que le vernier du Michelson, 1.10^{-5} m. On compte les franges plutôt que le vernier.
→ Critère pour la polarisation ? Expérience de Babinet.
→ Spectre cannelé ? Spectre où il manque des longueurs d'ondes. Cela vient du fait que le déphasage $p\pi$ est réalisé à plusieurs longueurs d'ondes à différence de marche fixé. On peut faire de la biréfringence linéaire. Ou regarder dans le blanc d'ordre supérieur.
→ Mesure de longueurs précise avec les cannelures.