

Titre : Notions de cohérence en optique

Présentée par : Pierre Eloi-Nielen

Rapport écrit par : Gabriel Gouraud

Correcteur : Erwan Allys

Date : 16/04/2020

Bibliographie de la leçon :

| Titre | Auteurs | Éditeur | Année |
|--|---------|---------|-------|
| BFR optique et physique ondulatoire | | | |
| Dunod MP | | | |
| TD optique clément sayrin | | | |
| | | | |
| | | | |

Plan détaillé

| |
|--|
| |
|--|

Niveau choisi pour la leçon :

Pré-requis : différence de marche fente d'Young

On a vu la figure de diffraction avec un laser, en réalité, il peut être difficile d'obtenir une figure de diffraction pourquoi ?

I. Ondes lumineuses

1) Modèle des trains d'ondes

Spectre d'une source quasi monochromatique

$\Delta \nu \cdot \tau_c = 1$

Odg : source classique $\tau_c = 10^{-11}$ s

$L_c = 1$ nm

Laser $\tau_c = 10^{-8}$ s

$L_c = 1$ m

La phase est aléatoire avec une variation en moyenne tous les τ_c

2) Interférence

On écrit l'intensité de la somme de 2 signaux et on obtient la condition sur les fréquences et sur le déphasage.

II. Cohérence spatiale et temporelle. Exemples des fentes d'Young

1) Trous d'Young en lumière monochromatique

2) Notion de cohérence, contraste

le contraste n'est pas égale à un : source étendue/cohérence spatiale

Source non monochromatique/cohérence temporelle

3) Influence de la largeur de la fente source : cohérence spatiale

4) Largeur de raie et longueur des trains d'onde : cohérence temporelle"

Questions posées par l'enseignant

Question 1 : C'est quoi la différence entre diffraction et interférence ?

Bien que la distinction entre notion soit parfois ambiguë, on utilise généralement le terme d'interférence lorsqu'on considère une somme discrète de signaux cohérents, et le terme de diffraction lorsqu'on considère une somme continue de signaux cohérents.

Question 2 : Si je prends des fentes d'Young avec des fentes larges. Est-ce de la diffraction, des interférences ? Un peu des 2 ? si les fentes sont trop larges on n'observe aucun des 2.

Cf question précédente. Si les fentes d'Young sont larges, on y aura un phénomène de diffraction qui va faire qu'on va traiter l'émission au niveau de ces fentes d'Young comme un continuum de sources cohérentes, et donc en utilisant les formules de diffraction. On peut évoquer une interférence entre deux continuums de sources. Et en pratique, dans la formule obtenue, on identifie un terme typique d'interférence à deux ondes (un cos) et un terme typique de diffraction par une porte (une sinc au carré).

Question 3 : Tu as parlé des battements d'un diapason pour présenter les interférences. Sont-ce réellement des interférences ?

C'est un exemple maladroite car on a des sources à différentes fréquences, ce qui ne correspond

pas à ce qui est étudié ensuite dans la leçon.

Question 3 bis : Finalement pour les étudiants, tu leur parles d'interférence pour le diapason, pourtant ensuite tu dis que pour voir des interférences il faut absolument la même fréquence. Du coup c'est un peu confusant. Tu as d'autres exemples d'onde mécaniques qui permettraient d'observer des interférences ?

Ondes à la surface de l'eau

Question 4 : Tu as dit que les sources monochromatiques n'existaient pas. Tu as parlé de quasi monochromatisme, de fréquence centrale, de largeur de raie. Connais tu un critère appelé finesse ou facteur de qualité qui permet d'évaluer la largeur spectrale ?

C'est la fréquence centrale d'une raie divisée par sa largeur caractéristique.

Question 5 : Tu as dit il y avait un lien entre l'épaisseur de raie et la longueur d'émission. Pourquoi et d'où vient ce lien ?

C'est une propriété des transformé de Fourier. Plus précisément, comme un train d'onde est émis pendant un temps fini, à ce temps fini correspond une largeur spectrale minimum.

Question 6 : Tu as parlé de source classique qui a un temps de cohérence de l'ordre de 10^{-11} s. C'est quoi une source classique ?

Par source classique on décrit généralement dans ce contexte des lampes à vapeur métallique. Dans ces lampes, il y a excitations d'atomes par des charges électriques, puis désexcitations spontanées par émissions de photons.

Question 6 bis : Une lampe à filament c'est une source classique ? Et une lampe à vapeur ?

Cf question précédente. Une lampe à filament produit du rayonnement thermique. À savoir l'excitation thermique d'une assemblée d'atomes couplés dont la désexcitation produit un spectre continu.

Question 6 ter : c'est quoi la différence entre le spectre d'une lampe à filament et une lampe à vapeur ?

Les deux lampes ont respectivement un spectre continu et un spectre de raie.

Question 6 quater : Les élèves ont ils donc accès à des sources que tu appelles classiques (à vapeur) ?

Certains lampadaires utilisaient des lampes à vapeur de sodium, initialement à basse pression puis à haute pression.

Question 7 : Un train d'onde c'est une succession de morceaux de sinusoïdes accolées ? Ou parfois ils se superposent ?

Ces trains d'ondes sont émis aléatoirement. Ils ne se succèdent pas forcément exactement, et peuvent potentiellement se chevaucher.

Question 8 : Φ_n suit elle une loi statistique ?

Une loi uniforme.

Question 10 : on a $s = s_1 + s_2$ parce qu'on a le principe de superposition. Ça vient d'où ça ?

Linéarité des équations de Maxwell.

Question 11 : Les ondes de surface elles sont linéaires également ?

Dans l'hypothèse des petites déformation, oui.

Question 12 : tu as écrit $I = k \langle s(t) \rangle^2$. Pourquoi c'est faux ?

La valeur moyenne doit englober le terme quadratique.

Question 13 : Tu dis que la vibration lumineuse n'est pas très bien définie. Si on voulait bien le définir, que ferions nous ?

On peut définir correctement un champ de vibration lumineuse (dans un cas simplifié d'OPPS dans un milieu LHI) de telle façon que l'intensité soit exactement égale au carré de cette vibration. Cette vibration s'écrit $A = \sqrt{n/2 \mu_0 c} E$.

Question 15 : Peut on faire interférer 2 ondes lumineuses différentes qui ne proviennent pas d'un même système physique ?

Oui si le temps de cohérence est de l'ordre du temps de réponse du détecteur, cela a été fait avec des lasers.

Question 16 : Tu as refait le calcul des fentes d'Young. A quel point les élèves l'auraient déjà fait ? Si ils l'ont déjà fait, à quel point était-ce intéressant de redémontrer la formule des fentes d'Young ?

Utile pour les calculs suivants.

Question 17 : Le contraste n'est jamais = à 1 ? Peut on avoir un contraste très proche de 1 ? Si oui avec quel type de système ?

Avec des lasers on peut facilement se retrouver avec un contraste très proche de 1.

Question 18 : Les points différents d'une même source étendue ont la même fréquence d'émission. Pourquoi on ne peut pas les faire interférer ?

à cause de la phase aléatoire

Question 19 : Qu'est ce que cela signifie que 2 sources sont cohérentes ?

même phase même fréquence

Question 21 : Si tu devais expliquer simplement à un élève qu'à un moment on a une disparition des interférences. Comment tu le montrerais ?

(Probablement dans le cadre de la cohérence spatiale pour une source étendue). Le fait que les deux points extrêmes d'une fente source donnent des figures de diffraction (en intensité) où les minima de l'un sont alignés avec les maxima de l'autre.

Question 22 : Tu as des applications de ce genre de choses ?

Mesure du diamètre apparent d'une étoile.

Question 23 : Le résultat de la cohérence spatiale/temporelle est elle similaire lorsqu'on regarde sur un écran ?

Non le contraste est globale pour la cohérence temporelle alors qu'il dépend de la position sur l'écran pour la cohérence spatiale.

Question 24 : Est ce que c'était prévisible le fait qu'on retrouve un sinus cardinal à chaque fois pour la fonction de contraste ?

Oui, cf les théorèmes sur la cohérence spatiale et temporelle, car on a utilisé la même fonction porte pour la source étendue et pour le profil spectral de la source.

Question 25 : Dans quel classe de CPGE tu as des notions de cohérence spatiale ?

Seulement de vagues notions.

Question 26 : si tu devais donner un take away à tes élèves, tu soulignerais quels points comme notion à retenir de la leçon ?

Dépend de la façon dont la leçon est construite.

Commentaires donnés par l'enseignant

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Leçon plutôt bien présentée, les points importants étaient présents. Bien réfléchir aux différents pré-requis pour architecturer la leçon de la façon la plus fluide possible. Prendre du recul sur les calculs pour en faire ressortir le contenu physique. Dans ce sens, il est intéressant d'identifier les similitudes entre calculs pour ne pas refaire des calculs proches. Plutôt que d'introduire les notions de base d'interférence et de profil spectral, plus d'exemple ou d'applications auraient été appréciables.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Notion de sources cohérentes, modèles des trains d'ondes. Cohérence spatiale et perte du contraste associée, lien avec différents point sources incohérents. Cohérence temporelle et perte du contraste associée, lien avec le profil spectral de la source utilisée.

Pour la cohérence spatiale, l'expérience des doubles fentes d'Young avec une fente source semble. Pour la cohérence temporelle, plusieurs profils spectraux sont possible, les principaux étant une fente de largeur finie modélisée par une fonction porte et une fente double. Cette étude peut être menée dans les cadres des doubles fentes d'Young, mais également dans le cadre d'un interféromètre de Michelson en lame d'air. Dans le deuxième cas, cela permet plus simplement une illustration expérimentale visuel, ainsi que d'ouvrir plus directement sur la spectroscopie par transformée de Fourier. En fonction des montages d'interférences étudiés, il faudra définir de manière avisée les pré-requis. Des applications pour la cohérence spatiale sont par exemple la détermination de la d'une étoile ou de distance entre deux étoiles, mais sont plus succinctes, à ma connaissance.

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Doubles fentes d'Young avec fente source, interféromètre de Michelson en montage lame d'air avec la raie double du sodium pour voir les annulations de contraste.

Bibliographie conseillée

Anciens livres de classe préparatoire :

Tec & Doc Olivier Gié Sarmant

BFR

Le Perez récapitule utilement des notions allant un peu au-delà des anciens programmes