Méthode

Fiche synthèse pour LP11 : Filtrage optique. Applications.

Table des matières

1 Objectifs pédagogiques de la LP **1**

2 Introduction générale de la leçon **1**

3 Proposition de plan **1**

3.1 Filtrage spectral 1

3.2 Filtrage spatial 2

4 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon **2**

5 Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels **2**

6 Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon **3**

7 Bibliographie pour construire la leçon **3**

8 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique **3**

9 Critique des choix pédagogiques de la leçon **4**

10 Questions diverses et remarques générales **4**

1 Objectifs pédagogiques de la LP

▷ Comprendre les principes de bases du filtrage optique : filtrage spectral (en absorbant/réfléchissant certaines longueurs d'ondes), filtrage spatial (en modifiant les rayons du plan de fourier, soit en amplitude (le filtre coupe certaines fréquences spatiales), soit en phase (microscope à contraste de phase))

▷ Comprendre les intérêts en microscopie (j'axe ma leçon autour de la microscopie), et quelques utilisations de la vie courante

2 Introduction générale de la leçon

Les premiers microscopes ont élé inventés dès 1600, à la suite des premiers télescopes. Ils ont tout de suite été très utilisés pour observer la matière à petite échelle, et c'est ainsi que Robert Hooke découvrit la cellule biologique en 1665. Nous allons voir aujourd'hui comment le filtrage optique a permis d'améliorer cet instrument d'optique au fil des siècles.

3 Proposition de plan

Pour le développement de chaque partie, voir mes notes (sur le discord)

3.1 Filtrage spectral

▶ Exemples de dispositifs

Verres colorés et miroirs dichroïques

Développement du calcul d'interférences par Fabry-Pérot

▶ Applications

Cinéma 3D et microscopie de fluorescence (ne pas s'attarder sur le cinéma 3D)

Transition didactique : Je n'en ai pas fait, c'est un point à améliorer...

3.2 Filtrage spatial

▶ Principe

On fait la diffraction de Fraunhofer (= TF) pusi on refait l'image de l'objet derrière (en effectuant une TF $^{-1}$)

▶ Montage et exemple simple

Montage 4f' et montage qu'on fait en pratique (plus compact) puis application à une grille filtrée par une fente avec exemple

▶ Applications

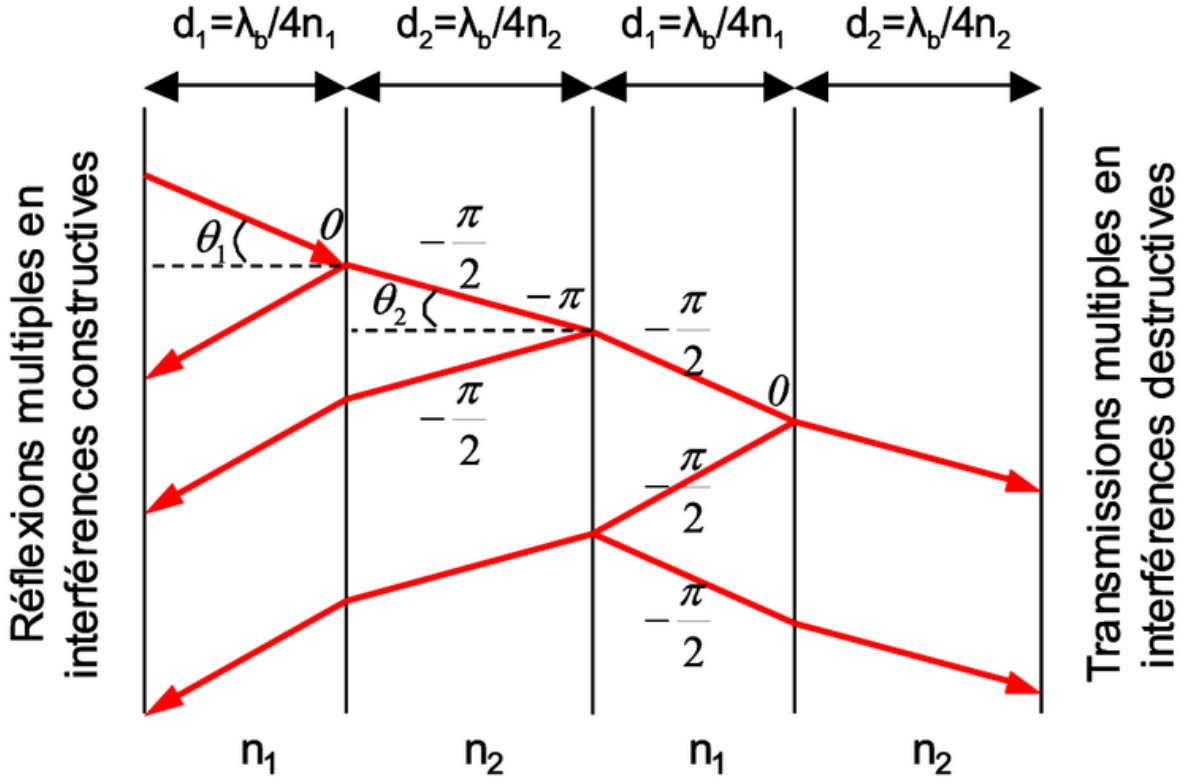
Détramage et microscopie à contraste de phase (développement du calcul de contraste de phase dans la partie "subtilités de la lecon [...]")

4 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon

Ouverture au filtrage numérique, bien plus performant et qui offre beaucoup de nouvelles possibilités (filtrage actif en rajoutant des composantes de fourier,...)

5 Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels

▷ Qu'est-ce qu'un miroir de Bragg ? Succession de diélectriques d'épaisseurs et d'indices choisis de telle sorte à ce qu'une seule longueur d'onde interfère constructivement après de multiples réflexions. C'est un miroir avec un coefficient de réflexion très bon (supérieur à 0.999 contre 0.9 pour un miroir métalique) mais très sélectif en fréquence (ne réfléchit bien qu'à une longueur d'onde, contrairement aux miroirs métalliques)



▷ Application aux lunettes 3D : les lunettes 3D fonctionnant en polarisation ne sont pas des polariseurs linéaires ! Autrement, en tournant la tête sur le côté on perdrait la 3D. Ils fonctionnent en fait en polarisation circulaire gauche ou droite.

▷ Pour les lunettes 3D à filtres colorés, les deux filtres doivent être de couleurs complémentaires, et avoir une bande spectrale où l'absorption des deux filtres se recouvre pour qu'il soit possible de reconstituer toutes les couleurs.

▷ Pour le contraste de phase, il faut bien comprendre l'idée :
- ⋆ Après objet diffractant : $A = A_0 e^{i\Phi(X,Y)} \simeq A_0(1 + i\Phi(X,Y))$
- ⋆ À ce stade, si on calcule l'intensité approchée $I = I_0|1 + i\Phi(X,Y)|^2 = I_0(1 + \Phi(X,Y)^2)$ le terme dépendant de la phase est à l'ordre 2 (en Φ^2) donc peu influent sur l'intensité.
- ⋆ Dans le plan de Fourier, on a la transformée de Fourier de ceci : $A = A_0(\delta(x,y) + iTF(\Phi(X,Y)))$
- ⋆ On place au centre du plan de fourier (composante continue représentée dans Fourier par le dirac δ) une lame quart d'onde qui rajoute une phase $e^{i\pi/2} = i$ à la composante continue uniquement : $A = A_0(i\delta(x,y) + iTF(\Phi(X,Y))) = iA_0(\delta(x,y) + TF(\Phi(X,Y)))$
  On pourrait également mettre un objet opaque au centre du plan de Fourier : on obtient alors la microscopie en champ sombre. Seulement, on perd l'information sur le **signe** de la phase (car lorsque l'on passe au carré pour obtenir l'intensité, on obtient $I_0\Phi^2$) contrairement à la microscopie à contraste de phase.
- ⋆ La suite du montage effectue de nouveau une TF, et on obtient : $A = iA_0(1+\Phi(-x,-y)))$. L'intensité associée est : $I = I_0(1 + \Phi(-x,-y))^2$: la phase a une grande influence sur l'intensité, donc la phase s'est transformée en contraste !

▷ Le contraste de phase dans un microscope : voir cette superbe animation : `https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Microscopie_%C3%A0_champ_sombre_puis_%C3%A0_contraste_de_phase.ogv`

▷ Il y a un facteur d'échelle entre la TF de la grille et la diffraction de Fraunhofer ? Oui ! En partie dûe à la longueur d'onde : une longueur d'onde élevée donnera des points plus espacées dans le plan de Fourier pour une grille donnée.

▷ Comment calculer la différence de marche pour un fabry-pérot en interférences à N ondes en incidence oblique ? Cf notes manuscrites sur Discord. On utilise le théorème de Malus couplé avec le tréorème du retour inverse de la lumière.

6 Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon

▷ Calcul de l'intensité en sortie de Fabry-Pérot pour s'en servir comme filtre (voir notes manuscrites sur Discord)

▷ Démonstration microscopie à contraste de phase (voir partie précédente)

7 Bibliographie pour construire la leçon

▷ Taillet, Optique physique

▷ Physique expérimentale (livre d'Arnaud)

8 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique

▷ Animation Géogebra qui trace la transmission du Fabry-Pérot en fonction de la longueur d'onde (sur Discord)

▷ Montage de spectro : on regarde le spectre de la lumière après passage au travers d'un verre coloré ou d'un filtre dichroïque et on compare les deux (verre coloré : large ; dichroïque : très sélectif). Il faut bien exploiter cette expérience, montrer le spectre de la lumière blanche, puis le spectre après verre coloré, donner un OdG de la bande passante, etc...

▷ Montage de filtrage spatial : diffraction par une grille puis filtrage grâce à une fente : on obtient des lignes horizontales, verticales ou diagonales selon la direction de la fente.

9 Critique des choix pédagogiques de la leçon

▷ Pour le choix du plan et des sujets abordés, il a paru étrange au premier abord de traiter le filtrage spectral pour Arnaud et le correcteur. Après discussion, c'est tout à fait cohérent et justifiable même si le jury s'attend probablement à un partie plus importante sur le filtrage spatial.

▷ J'ai choisi de tourner cette leçon autour de la microscopie, le correcteur a apprécié cela, ça fait un bon fil conducteur, entre le filtrage spectral utile à la microscopie de fluorescence, et le filtrage spatial utile à la microscopie de contraste de phase. Par contre, il faut aller plus au fond des applications : donner le principe utilisé (typiquement en microscopie à contraste de phase, le fait qu'on utilise un **anneau** de phase (cf animation donnée plus haut))

10 Questions diverses et remarques générales

▷ Comment fonctionne un hologramme ? On utilise des SLM : Spatial Light Modulator (à creuser...)
▷ $TF[TF[f(x)]] = f(-x)$
▷ On utilise les interférences type Fabry-Pérot pour les filtres anti-reflet (ordinateurs...).
▷ Il faut aller plus vite tout le long de la leçon pour arriver plus vite sur le contraste de phase. Il faut aussi passer plus de temps sur la microscopie de fluorescence : à quoi on s'en sert, etc... L'idée serait donc d'abandonner la stéréoscopie (lunettes 3D) et d'enlever l'application au détramage pour se concentrer sur les microscopies.