plan du cours d'optique

ÉTUDE DE DIFFÉRENTS SYSTÈMES OPTIQUES PERMETTANT DE RÉALISER DES INTERFÉRENCES ENTRE DEUX OU PLUSIEURS ONDES LUMINEUSES

INTERFÉRENCES ENTRE DEUX ONDES

A) INTERFÉRENCES PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE :

I) EXEMPLES DE DISPOSITIFS INTERFÉRENTIELS :

1) Trous d'Young

à retenir : il faut savoir utiliser le théorème de Malus-Dupin pour calculer certains chemins optiques et en particulier se souvenir que, pour un faisceau parallèle, tous les points d'un plan orthogonal à la direction du faisceau constituent un plan d'onde, donc un plan équiphase ou iso-eïkonal

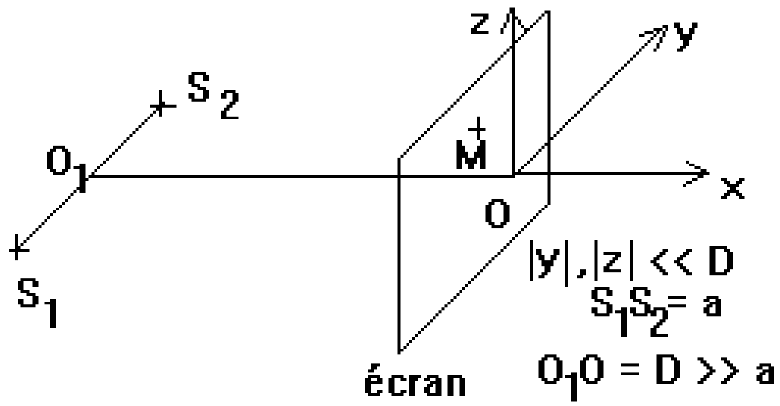
2) Miroirs de Fresnel

à retenir : il faut savoir utiliser de manière simple les notions de points objets et images, avec la condition nécessaire et suffisante de stigmatisme : le chemin optique est le même le long de tous les rayons joignant un point objet et un point image

conclusion : dans les dispositifs se ramenant à un dispositif de type « trous d'Young, les franges sont délocalisées dans toute une région de l'espace : elles sont dites « délocalisées »

II) PRINCIPE : INTERFÉRENCES ENTRE DEUX ONDES ÉMISES PAR DEUX SOURCES PONCTUELLES :

1) Schéma de principe : expérience des trous d'Young :



lieu des points d'éclairement maximal : M tel que : $S_2M - S_1M = q.\lambda_0$ (q entier) : hyperboloïdes de révolution de foyers S_1 et S_2
l'intersection de ces hyperboloïdes par un plan parallèle à S_1S_2 est un ensemble d'hyperboles
l'intersection de ces hyperboloïdes par un plan orthogonal à S_1S_2 est un ensemble d'anneaux concentriques d'axe S_1S_2

2) Eclairement de l'écran :

théorème : $\delta(M) = \frac{a.y}{D}$ et $\varphi(M) = 2\pi.\frac{\delta(M)}{\lambda_0}$

théorème : $\mathcal{E}(M) = \frac{\mathcal{E}_0}{2}.(1+\cos\varphi(M)) = \frac{\mathcal{E}_0}{2}.\left(1+\cos\left(2\pi.\frac{\delta(M)}{\lambda_0}\right)\right) = \frac{\mathcal{E}_0}{2}.\left(1+\cos\left(2\pi.\frac{ay}{\lambda_0 D}\right)\right)$

3) Ordre d'interférence, interfrange :

définition: l'interfrange linéaire Δ est la période (spatiale) de la figure d'interférence, c'est-à-dire la distance séparant, dans le plan P de l'écran, les centres de deux franges noires consécutives (ou de deux franges claires consécutives)

théorème : $\Delta = \frac{\lambda_0.D}{a}$

III) INTERFÉRENCES ENTRE DEUX ONDES ÉMISES PAR DEUX SOURCES NON PONCTUELLES OU ÉTENDUES : COHÉRENCE SPATIALE :

1) Étude générale de la cohérence spatiale :

a) Dispositif des trous d'Young avec une source primaire constituée de deux sources ponctuelles alignées orthogonalement à la direction S_1S_2 initiale

b) Dispositif des trous d'Young avec une source primaire constituée de deux sources ponctuelles alignées parallèlement à la direction S_1S_2 initiale

c) Dispositif des trous d'Young avec une source primaire étendue continûment dans une direction orthogonale à la direction initiale S_1S_2

d) Dispositif des trous d'Young avec une source primaire étendue continûment dans une direction colinéaire à la direction initiale S_1S_2

Il y a qualitativement brouillage de la figure d'interférence qu'on avait obtenue avec une fente source primaire infiniment mince lorsqu'on élargit cette fente source primaire

e) étude générale de l'élargissement de la source primaire et de la localisation des franges :

On ne peut pas réaliser, dans le cas le plus général, la condition de non brouillage du système de franges par élargissement de la source primaire ; mais on peut toutefois la réaliser dans deux cas particuliers très importants :

α) dans le cas d'interférences par division du front d'onde ou séparation de faisceaux : si le dispositif interférentiel possède un plan de symétrie (Π) et qu'on observe les interférences au voisinage de ce plan de symétrie (Π), alors on peut élargir la source dans la direction orthogonale à (Π) ; dans ce cas, les interférences restent non localisées : elles sont observables dans un volume au voisinage de (Π)

β) dans le cas d'interférences par division d'amplitude ou séparation de flux : alors la condition de non brouillage du système de franges est vérifiée quelle que soit la façon dont on étend la source : on peut donc, dans ce cas, utiliser une source étendue ; mais, dans ce cas, les interférences sont localisées sur une surface (éventuellement à l'infini)

2) Exemple de réalisation pratique : (voir le polycopié annexe)

a) Source primaire ponctuelle et deux trous d'Young

b) Placement de la source primaire ponctuelle dans le plan focal d'une lentille mince convergente :

- observation à distance finie
- observation à l'infini ou dans le plan focal d'une lentille convergente

c) Remplacement des deux trous d'Young par deux fentes d'Young

d) Remplacement de la source primaire par une fente source parallèle aux fentes d'Young

IV) DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX :

voir les exercices et les travaux pratiques

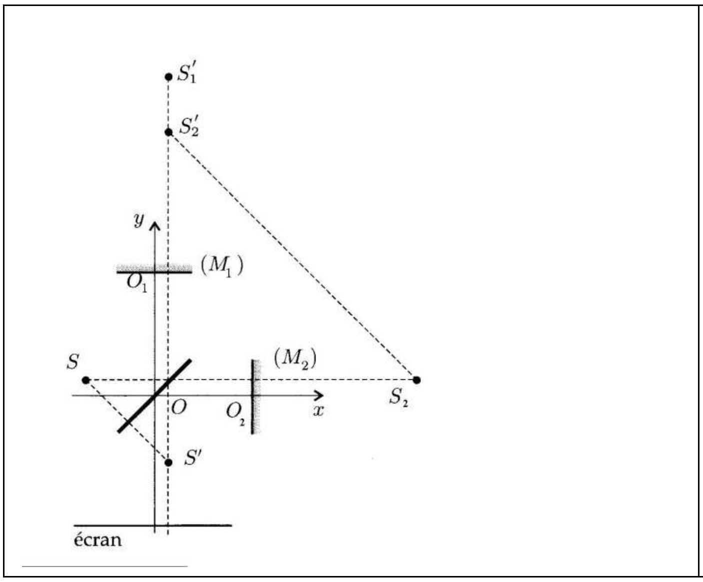
remarque : certains dispositifs introduisent des déphasages supplémentaires :
a) introduction d'un objet sur le trajet de l'un des faisceaux ;
b) déphasage de π dû à la réflexion sur un miroir;
c) déphasage de π par passage par un point image.

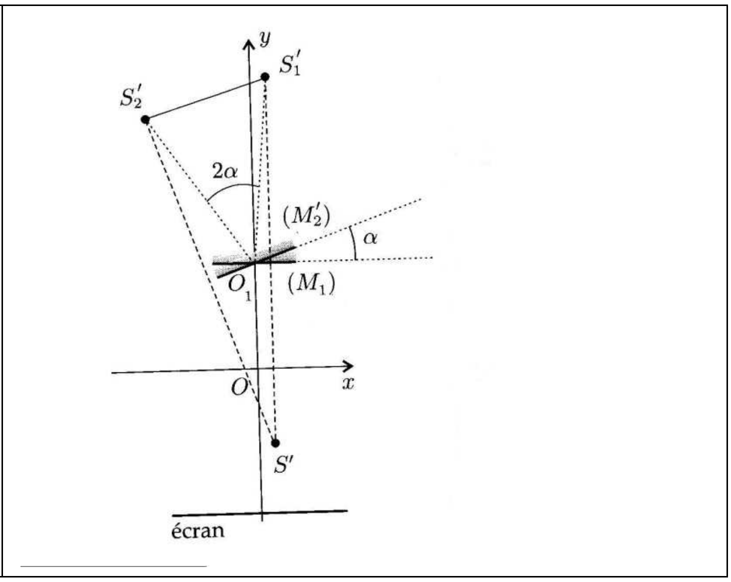
B) INTERFÉRENCES PAR DIVISION D'AMPLITUDE :

I) EXEMPLES DE DISPOSITIFS INTERFÉRENTIELS :

1) Lame à faces parallèles ou non parallèles

2) Interféromètre de Michelson





II) PRINCIPE : INTERFÉRENCES ENTRE DEUX ONDES ÉMISES PAR UNE SOURCE PRIMAIRE PONCTUELLE :

Les franges sont délocalisées dans toute une région de l'espace : on peut se ramener à un dispositif de type : trous d'Young

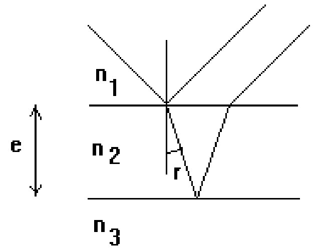
Mais, en pratique, les interférences obtenues ainsi sont bien trop peu lumineuses pour pouvoir être observées. Il faut donc utiliser une source primaire étendue

III) FRANGES D'ÉGALE INCLINAISON , DONNÉES PAR LES LAMES A FACES PARALLÈLES OU FRANGES DE HAIDINGER :

1) Localisation des franges : les franges sont localisées à l'infini

2) Calcul de la différence de marche et de l'ordre d'interférence :

a) calcul de la différence de marche :



$\delta = 2.n_2.e.\cos(r)$

b) calcul de l'ordre d'interférence : dans le cas le plus fréquent : $p = 2.n_2.e.\cos(r)/\lambda_0 + 1/2$

3) Anneaux par réflexion :

rayons des anneaux ayant même ordre d'interférence qu'au centre :

$$R = \sqrt{q}.\sqrt{\frac{\lambda_0 n_2}{e n_1^2}}.f' \qquad \text{(q entier)}$$

4) Anneaux par transmission :

Le système d'anneaux obtenus par transmission est complémentaire du système d'anneaux obtenus par réflexion.

5) Etude du contraste des anneaux par réflexion et par transmission :

a) pratiquement, on n'observe d'anneaux que par réflexion ;
b) pratiquement, seuls les deux premiers rayons interfèrent.

IV) FRANGES D'ÉGALE ÉPAISSEUR , DONNEES PAR LES LAMES A FACES NON PARALLÈLES OU FRANGES DE FIZEAU :

1) Localisation des franges :

Les franges sont localisées au voisinage de la lame.

2) Calcul de la différence de marche et de l'ordre d'interférence:

on utilise les résultats des lames à faces parallèles en considérant que l'épaisseur de la lame est variable en fonction du point d'incidence du rayon lumineux incident sur le premier dioptre

3) Coin d'air

4) Lame d'air : anneaux de Newton

III) INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON (voir le polycopié annexe)

1) Interféromètre éclairé par une source ponctuelle :

L'interféromètre est équivalent à un dispositif de trous d'Young, ces deux trous d'Young étant les images de la source ponctuelle S par l'ensemble séparatrice/miroir 1 d'une part et séparatrice/miroir 2 d'autre part : les interférences sont donc délocalisées et les franges sont des hyperboloïdes de révolution et, selon la direction du plan de l'écran on observe des anneaux ou des hyperboles

2) Interféromètre éclairé par une source étendue :

L'interféromètre est alors équivalent soit à une lame d'air (à faces parallèles) soit à un coin d'air et les interférences sont localisées : si les deux miroirs sont orthogonaux entre eux les interférences sont des anneaux localisés à l'infini (ou dans le plan focal d'une lentille) ; si les miroirs ne sont pas orthogonaux entre eux les interférences sont localisées au voisinage du coin d'air que constituent ces deux miroirs et sont des droites parallèles à l'arête du coin d'air

IV) INTERFÉRENCES EN LUMIÈRE NON MONOCHROMATIQUE :

1) Interférences observées avec une lumière constituée par un doublet :

il y a superposition des systèmes de franges donnés pour les deux raies par le dispositif interférentiel, ce qui conduit à un système de coïncidences et d'anticoïncidences (ou brouillages) des franges

2) Interférences observées avec une lumière polychromatique :

il y a superposition des systèmes de franges donnés pour toutes les longueurs d'onde du spectre de la lampe

3) Interférences observées avec une lumière non monochromatique de largeur spectrale $\Delta\lambda$:

condition d'observation d'interférences avec une bonne visibilité : $\delta < L_c \approx \dfrac{\lambda_m^2}{\Delta\lambda}$

4) Interférences observées avec une lumière blanche :

il y a superposition des systèmes de franges donnés pour toutes les longueurs d'onde du spectre visible par le dispositif interférentiel, ce qui conduit à un blanc d'ordre supérieur (superposition de longueurs d'onde réparties dans tout le spectre visible) sauf au voisinage immédiat de l'ordre d'interférence zéro

INTERFÉRENCES À L'INFINI D'UN GRAND NOMBRE D'ONDES ISSUES DE SOURCES COHÉRENTES

I) INTERFÉRENCES ENTRE N ONDES COHÉRENTES (N > 2) : ÉTUDE GÉNÉRALE :

$$I(M) = \frac{1}{2}.\alpha.\left|\sum_{i=1}^{N} E_{i0}.\exp[j\Phi_i(M)]\right|^2 = \frac{1}{2}.\alpha.\left(\sum_{i=1}^{N} E_{i0}.\exp[j\Phi_i(M)]\right).\left(\sum_{l=1}^{N} E_{l0}.\exp[-j\Phi_l(M)]\right)$$

où : $\Phi_i(M)$= avance de phase en M de l'onde i par rapport à l'onde 1

II) EXEMPLE DE RÉALISATION PRATIQUE : INTERFÉRENCES DONNÉES (À L'INFINI) PAR UN RÉSEAU :

1) Définition et description d'un réseau optique par transmission :

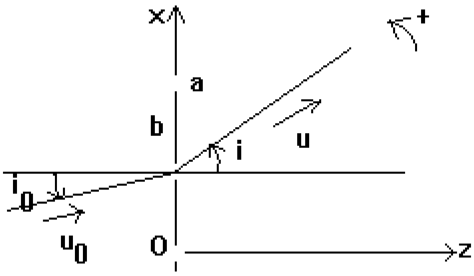
définition : on appelle réseau optique par transmission un ensemble de N fentes parallèles, équidistantes, situées dans un même plan

définitions : les fentes sont appelées "traits" du réseau
la distance entre deux traits consécutifs du réseau est le pas du réseau

2) Calcul de l'éclairement lumineux diffracté à l'infini par le réseau par transmission :

théorème : $$\mathcal{E}(i) = \mathcal{E}_0 . \frac{\sin^2\left(N\frac{\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$$

où : $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} b(\sin i - \sin i_0)$ représente le déphasage entre deux rayons diffractés dans la direction i par les centres de deux traits consécutif, pour un angle d'incidence i_o :



$$u_o \begin{pmatrix} \sin i_0 \\ 0 \\ \cos i_0 \end{pmatrix} \qquad u \begin{pmatrix} \sin i \\ 0 \\ \cos i \end{pmatrix}$$

3) Réseau par réflexion :

définition : on appelle réseau optique par réflexion un ensemble de N surfaces réfléchissantes parallèles, équidistantes, situées dans un même plan

théorème :l'éclairement lumineux diffracté à l'infini a même expression que pour un réseau par transmission, mais le déphasage ϕ entre deux traits consécutifs a pour expression :

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} b(\sin i + \sin i_0)$$

4) Application des réseaux optiques : utilisation en spectroscopes :

a) Principe ; dispersion du réseau :

définition : un spectroscope est un appareil permettant d'analyser une lumière polychromatique, c'est-à-dire de séparer géométriquement les différentes radiations monochromatiques composant la lumière polychromatique

b) Principaux résultats concernant les réseaux optiques :

1) en lumière monochromatique

2) en lumière polychromatique

3) dispersion d'un réseau :

définition : la dispersion d_q dans l'ordre q d'un réseau est : $d_q = \frac{di_q}{d\lambda_0}$

théorème: pour un réseau de pas b, utilisé dans l'ordre k, l'observation étant faite dans la direction i, la dispersion est donnée par : $d_q = \frac{q}{b.\cos i}$

4) utilisation pratique :

on utilise le plus souvent le réseau au minimum de déviation ; on a un minimum de déviation pour la longueur d'onde λ_0 dans l'ordre q si, et seulement si : $i = - i_0$; alors la déviation minimale correspondante D_{min} est donnée par : $2\sin\frac{D_{min}}{2} = q.\frac{\lambda_0}{b}$