LP35 - Diffraction de Fraunhofer

Cléments (de la Salle + Colléaux)

15 juin 2020

Niveau : L3

Bibliographie

✍ *La diffraction pour les nuls... Et les forts BUP 889*	→	Pédagogie
✍ *Optique*, **Pérez**	→	Le gars sûr
✍ *Optique expérimentale*, **Sextant**	→	On va vraiment besoin de se justifier ?
✍ *Optique physique*, **Taillet**	→	Une bonne base de leçon
✍ *Optique*, **Hecht**	→	Bien sympa notamment pour Huygens-Fresnel
✍ vidéo	→	
✍ vidéo	→	
✍ vidéo	→	
✍ vidéo	→	
✍ *De l'optique électromagnétique à l'interférométrie*, **Lequime + Amra**	→	Un bout pour être calé sur la diffraction de Fresnel
✍ **Sextant**	→	Chap III.1
✍ *Physique tout-en-un PC, éd.4*, **Sanz**	→	Chap. 24

Prérequis

➢ Transformée de Fourrier

➢

Expériences

☕

Table des matières

Introduction

Disclaimer

> On s'excuse d'avance pour toutes les fois où l'on écrira Fraunhofer avec 2 F, ou encore les Rayleigh avec un T...

Diffraction vient du latin "diffringere" qui veut dire "briser en morceaux". Il est naturel d'avoir donné un tel nom à ce phénomène puisque, partant d'un unique rayon, on observe plusieurs tâches sur un écran.

Manip' : Démo

Avec une fente réglable et un laser... Montrer qualitativement l'influence de la largeur de la fente. Pourquoi pas avec un réseau aussi.

Ce phénomène est donc totalement imprévisible dans le cadre de l'optique géométrique. Il faut donc se replacer en optique scalaire : L'onde est restreinte à un unique un champ scalaire A qui renseigne l'état vibratoire de chaque point de l'espace (on oublie la polarisation notamment).

On remarque de plus que ce phénomène n'apparaît que lorsque la taille de l'objet se rapproche de la longueur d'onde (la laser ne diffracte pas quand il passe une porte).

Définition : Diffraction

La **diffraction** est le comportement des ondes lorsqu'elles rencontrent un obstacle ou une ouverture.

Pas mauvais

> On peut aussi faire une intro en mode "la diffraction ça fout le merde... Ou alors..."

Mais spawn sur Discord toi

1 Principe de Huygens-Fresnel

1.1 Formulations historique et mathématique

✍ *Hecht p.110*

Christiaan Huygens voit la lumière comme une onde (déjà rien que pour ça, je lui tire mon chapeau... Bon j'en n'ai pas mais quand même). Il imagine qu'elle se propage un peu à la manière d'une onde sonore de proche en proche. La question qu'il se pose est la suivante : étant donnée la forme du front d'onde à un instant, est-il possible de prévoir la forme du front d'onde après un temps dt ?

Pour y répondre, il formule dans son *Traité de la lumière* en 1690 le principe suivant :

Tout point d'un front d'onde se comporte comme une source secondaire d'ondelettes sphériques, telles qu'à un instant plus tard, le front d'onde soit l'enveloppe de ces ondelettes.

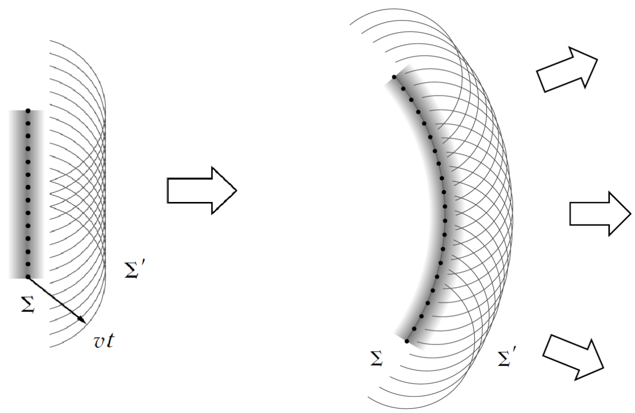

FIGURE 1.1 – HUYGENS arrive ainsi à expliquer qu'une onde plane reste plane et qu'une onde sphérique reste sphériques !

En 1800, FRESNEL ajoute à ce principe la notion d'interférences :

Les sources secondaires sont cohérentes et les ondelettes émises interfèrent entre elles.

Remarquons au passage que dans ces schémas on triche un peu : on ne représente que les hémishpères qui nous arrangent (ceux qui avancent) mais théoriquement, on devrait aussi représenter les interférences retour... On commence à comprendre que pour connaître l'état ondulatoire d'un point P de l'espace, il ne suffit (théoriquement) pas de connaître seulement la forme d'un front d'onde. Il faut connaître l'état ondulatoire de tous les points M formant une surface fermée autour de P !

En fait KIRSHHOFF (1824 - 1887) démontre que pour un champ vérifiant une équation de D'ALEMBERT, la connaissance de l'état ondulatoire de tous les points d'une surface fermée $\mathcal{S}$ nous donne l'amplitude exacte en tout point du domaine ainsi entouré $\mathcal{D}$!

$$A(\mathrm{P}) = \frac{1}{i\lambda} \oiint_{\mathcal{S}} A(\mathrm{M}) K \frac{e^{ik\,\mathrm{MP}}}{\mathrm{MP}}\,\mathrm{d}S$$

Avec

$$K = \frac{1}{2}(\cos(\mathrm{d}\mathbf{S}, \mathbf{e_r}) - \cos(\mathrm{d}\mathbf{S}, \mathbf{e_s}))$$

Calculs

Alors en vrai en écrivant ça, on déjà supposé que les distances mises en jeu étaient grandes devant la longueur d'onde et qu'on avait une source ponctuelle donc on peut directement écrire

$$A(\mathrm{M}) = A_0 \frac{e^{ik\mathrm{MS}}}{\mathrm{MS}} \qquad \mathrm{MP}, \mathrm{MS} \gg \lambda$$

Mais on le fait pas pour se rapprocher le plus de la formulation de Huygens-Fresnel. Avant de faire cette hypothèse, la formule plus générale était :

$$A(\mathrm{P}) = -\frac{1}{4\pi} \oiint \left(A(\mathrm{MP}) \left(ik\mathrm{MP} - \frac{1}{\mathrm{MP}} \right) \frac{e^{ik\mathrm{MP}}}{\mathrm{MP}} \, \mathbf{e_r} - \frac{e^{ik\mathrm{MP}}}{\mathrm{MP}} \, \mathbf{grad}\, A \right) \cdot \mathrm{d}\mathbf{S}$$

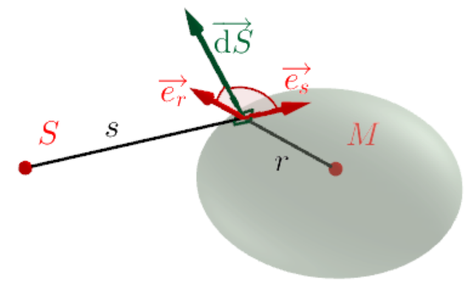

Figure 1.2 – Notations utilisées

Ensuite, pour étudier seulement l'effet d'un objet diffractant Σ, on est tentés de calculer cette intégrale sur une surface qui comprend cet objet

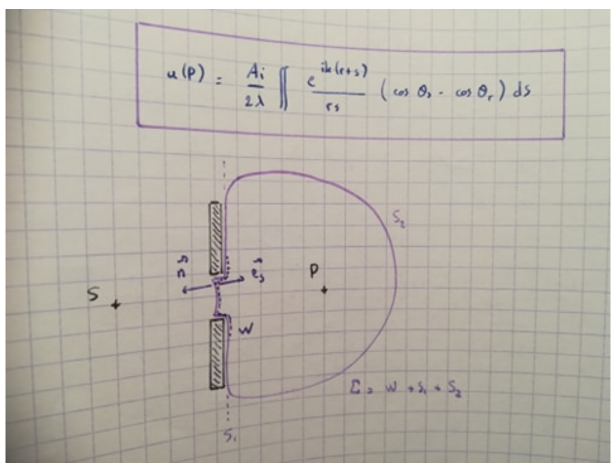

Figure 1.3 – Le calcul de l'intégrale se fait sur une surface comprenant l'objet diffractant (ici noté W). L'intégrale se calcule sur W + S_1 + S_2 et on montre que la contibution de S_1 + S_2 est nulle donc elle se calcule seulement sur l'ouverture Σ (ici W)

Or l'intégrale sur S_1 est nulle puisqu'on se situe alors juste derrière la surface opaque.

~~Magouille~~ Astuce

On lit alors parfois que la contibution de S_2 tend vers zéro lorsque l'on l'agrandit à l'infini car l'amplitude décroît en $1/r$. Le résultat est juste mais la justification est fausse ! En effet, on multiplie le terme d'amplitude en $1/r$ par $\mathrm{d}S \propto r^2$ donc on devrait avoir une intégrale divergente ! On s'en sort en invoquant la causalité : si S_2 est suffisamment grande, l'onde n'a pas eu le temps d'arriver et donc $A(\mathrm{M}) = 0$.

On peut remarquer que cette astuce revient à oublier les hémisphères de retour précédemment évoqués... Comme si Huygens avait déjà tout prévu !

On a entendu beaucoup de noms mais toujours pas de FRAUNHOFER *:'(*

1.2 Régime de FRAUNHOFER

✍ *Jolidon p.323*

Plaçons-nous dans un cas bien particulier qui va restreindre notre étude et simplifier la formule précédemment établie.

— Déjà prenons une onde plane incidente comme c'est souvent le cas. Ceci indique qu'en tout point de l'ouverture, on a strictement $\cos(\mathrm{d}\mathbf{S}, \mathbf{e_s}) = -1$ et en tout point de l'ouvertur, l'amplitude est la même A_0.

— Puis on place notre écran suffisamment loin $d \gg X, Y$ (notés x_1, x_2 sur le figure) de sorte que $\cos(\mathrm{d}\mathbf{S}, \mathbf{e_r}) \sim 1$.

Avec ces deux simlpifications, le facteur d'inclinaison se réécrit juste $K = 1$ de sorte que

$$A(\mathrm{P}) = \frac{A_0}{i\lambda} \iint_\Sigma \frac{e^{ik\mathrm{MP}}}{\mathrm{MP}}\,\mathrm{d}S$$

Il reste à simplifier le terme MP... Mais attention, il apparaît deux fois et il faut donc le traiter en fonction de sa place :

Amplitude On peut directement s'arrêter à l'ordre zéro : $\mathrm{MP} \sim d$

Phase Cette fois-ci, il faut aller plus loin car on ne compare pas les ordres entre eux, mais à 2π qui est fixé !

$$\mathrm{MP} = \sqrt{d^2 + (x-X)^2 + (y-Y)^2} \sim d + \frac{(x-X)^2 + (y-Y)^2}{2d}$$

Ce qui donne alors la formule de diffraction de FRESNEL

$$A(\mathrm{P}) = \frac{A_0}{i\lambda}\frac{e^{ikd}}{d} \iint_\Sigma e^{ik\frac{(x-X)^2+(y-Y)^2}{2d}}\,\mathrm{d}X\mathrm{d}Y$$

PTDR c ki FRESNEL !? Rendez nous FRAUNHOFER ! Continuons nos approximations dans la joie (et au final ça marche vraiment donc ça vaut le coup !). On considère toujours que l'on se situe loin de la source $d \gg X, Y$ mais **on garde des angles constants** (donc pas $d \gg x, y$!) :

$$\alpha = \frac{x}{d} = \text{cste} \qquad \beta = \frac{y}{d} = \text{cste}$$

Ainsi, le terme de phase s'écrit

$$k\frac{x^2 + X^2 + y^2 + Y^2}{2d} - k(\alpha X + \beta Y) \sim k\frac{x^2 + y^2}{2d} - k(\alpha X + \beta Y)$$

D'où la formule de FRAUNHOFER :

$$\boxed{A(\mathrm{P}) = \underbrace{\frac{A_0}{i\lambda}\frac{e^{ik(d+\frac{x^2+y^2}{2d})}}{d}}_{A'_0(x,y)} \iint_\Sigma e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}(\alpha X + \beta Y)}\,\mathrm{d}X\mathrm{d}Y}$$

<u>De FRESNEL à FRAUNHOFER</u>

Pour faire ce passage, il a fallu négliger le terme quadratique de la phase... Mais attention, il faut qu'il soit négligeable devant 2π ! (Pas devant un autre terme du développement...) :

$$\frac{2\pi}{\lambda}\frac{X^2+Y^2}{2d} \ll 2\pi \implies \mathcal{F} \ll 1 \qquad \text{avec} \quad \mathcal{F} = \frac{r^2}{2\lambda d}$$

Où r est la taille caractéristique de l'objet. Cette hypothèse porte donc sur la comparaison de la taille de **l'objet** et la distance à l'écran, la taille de l'image sur l'écran étant fixée par les angles constants.

Lorsque $\mathcal{F} \gg 1$, on est dans le régime de Fresnel.

1.3 Obtention expérimentale

<u>OdG</u>

On peut calculer le nombre de Fresnel dans la manip (vidéo) introductive et vérifier qu'on est bien dans la limite de Fraunhofer

Selon nos hypothèses, il faut donc :

— se placer en incidence normale, ce qui peut se réaliser avec une source ponctuelle dans un plan focal objet d'une première lentille

— observer l'image à l'infini donc placer l'objet dans le plan focal objet d'une deuxième lentille

Pour observer la figure de diffraction de Fraunhofer il faut donc observer dans le plan focal image de cette deuxième lentille (conjugué de l'infini, donc conjugué de la source). En toute logique, ce plan est appelé plan de Fourier.

Pour observer l'image de l'objet, il faut refaire converger les rayons pour conjuguer l'objet sur un écran... On utilise donc une troisième lentille !

En oubliant le système pour créer la source à l'infini, on peut donc utiliser deux lentilles de focales égales à f. Le montage prend alors une place $4f$ ce qui lui vaut le fameux nom de "montage à verouillage de phase".

on veut de l'infini donc une lentille convergente, on a fait converger la source en une point, la troisième sert juste

où mettre l'objet ? Conjuguer l'objet avec l'écran car on veut l'image nette

Pour observer l'image de l'objet, il faut donc réaliser les conjugaisons suivantes :

$$\text{Source} \xrightarrow{\text{conjugé à}} \text{Plan de Fourier}$$
$$\text{Objet} \xrightarrow{\text{conjugé à}} \text{Écran}$$

Notons bien que la figure calculée par l'intégrale dégueu ne s'observe que dans la plan de Fourier, selon les hypothèses faites !

<u>Une seule lentille ?</u>

Théoriquement, on peut y arriver avec une seule lentille, mais c'est moins clair je trouve...

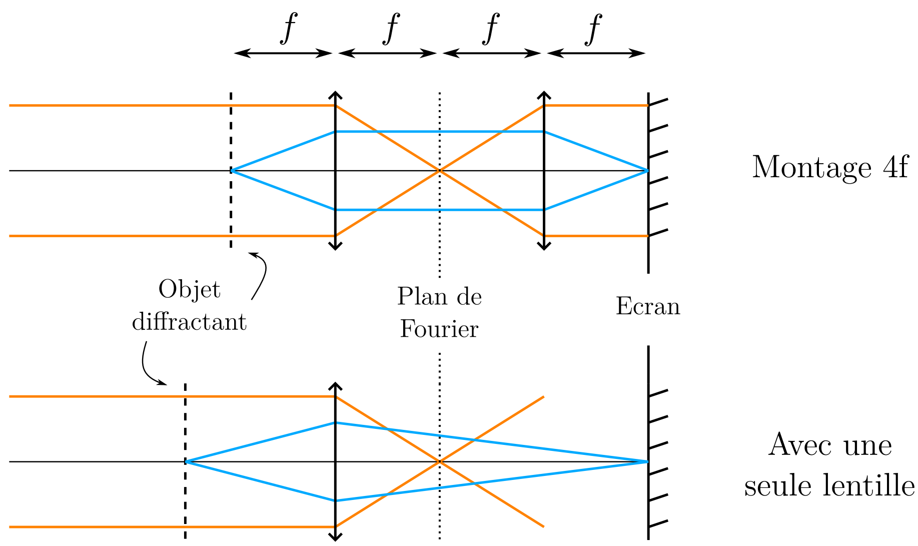

FIGURE 1.4 – Différents montages utilisés pour visualiser le plan de FOURIER ou l'image de l'objet

2 Figure de diffraction

2.1 Retour sur la fente simple

✍ *Taillet, p.133*
✍ *Jolidon, p.323*

Appliquons l'expression que nous avons obtenue pour l'onde diffractée à l'expérience introductive avec le fente simple.

Nous nous étions arrétés à, dans le cadre d'une onde incidente plane :

$$A(x,y) = A_0' \iint_\Sigma e^{-ik\left(\frac{xX}{d}+\frac{yY}{d}\right)} \, \mathrm{d}X \, \mathrm{d}Y$$

où l'intégrale sur Σ est l'intégrale sur l'objet diffractant. Mais justement, ici notre objet diffractant est une fente simple de dimensions a et b. On peut alors préciser les limites d'intégration avec une onde plane incidente :

$$A(x,y) = A_0' \int_{X=-a/2}^{X=a/2} \int_{Y=-b/2}^{Y=b/2} e^{-ik\frac{xX}{d}} e^{-ik\frac{yY}{d}} \, \mathrm{d}X \, \mathrm{d}Y$$

On peut alors séparer l'intégrale en deux et après avoir détaillé le calcul (qui est celui de la leçon) proprement, on tombe sur

$$A(x,y) = A_0 \, \mathrm{sinc}\left(\frac{\pi x a}{\lambda d}\right) \, \mathrm{sinc}\left(\frac{\pi y b}{\lambda d}\right)$$

L'intensité lumineuse associée varie donc en

$$I(x,y) \propto \text{sinc}^2\left(\frac{\pi x a}{\lambda d}\right)\ \text{sinc}^2\left(\frac{\pi y b}{\lambda d}\right)$$

Fente fine

Une fente fine (ou mince vous choissisez comme des grands) est caractérisée par une dimension très grande devant l'autre. Ainsi, une fente avec $a \ll b$ est une fente simple et on peut alors négliger la variation selon y. On se retrouve alors avec :

$$I(x) \propto \text{sinc}^2\left(\frac{\pi x a}{\lambda d}\right)$$

On peut s'amuser à montrer une courbe théorique de cette expression.
La première annulation de l'intensité nous permet de retrouver une formule vue au lycée : la fameuse $x = \frac{\lambda d}{a}$

Manip' : Vérification de la loi en sinc^2

cf MP09

2.2 Généralisation

Pour généraliser la détermination de la figure de diffraction obtenue plus tôt, il nous faut définir une grandeur qui n'est pas assez ressortie avec la fente simple : la transmittance de l'objet diffractant :

Définition : Transmittance

La **transmittance** (ou transparence) $\underline{t}(X,Y)$ de l'objet diffractant est définie comme le rapport des amplitudes de l'onde avant et après l'objet :

$$\underline{t}(X,Y) = \frac{A(X,Y,z=0^+)}{A(X,Y,z=0^-)}$$

Remarques

- ça ressemble beaucoup à une fonction de transfert
- si $\underline{t} \in \mathbb{R}$, l'objet est dit objet d'amplitude, comme la fente qui ne modifie que l'amplitude ce qu'on vérifie avec la transmittance réelle comme produit de deux portes
- si $\underline{t} \in \mathbb{C}$, l'objet est dit objet de phase comme il ne modifie que la phase de l'onde

Maintenant qu'on a a définit la transmittance, on peut voir qu'elle apparaît dans l'expression de l'onde diffractée :

$$A(x,y) = \frac{-i}{\lambda d}\ e^{ikd}\ \iint_\Sigma A(X,Y,z=0^+)\ e^{-ik(\frac{xX}{d}+\frac{yY}{d})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
$$A(x,y) = \frac{-i}{\lambda d}\ e^{ikd}\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)A(X,Y,z=0^-)\ e^{-ik(\frac{xX}{d}+\frac{yY}{d})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$

On est encore dans le cas d'une onde plane incidente donc $A(X,Y,z=0^-) = A_0$ donc

$$A(x,y) = \frac{-i}{\lambda d}\ e^{ikd}\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)A(X,Y,z=0^-)\ e^{-ik(\frac{xX}{d}+\frac{yY}{d})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
$$A(x,y) = A_0\frac{-i}{\lambda d}\ e^{ikd}\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)e^{-ik(\frac{xX}{d}+\frac{yY}{d})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
$$A(x,y) = A_0'\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)e^{-ik(\frac{xX}{d}+\frac{yY}{d})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
$$A(x,y) = A_0'\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)e^{-i2\pi(\frac{\theta_x X}{\lambda}+\frac{\theta_y Y}{\lambda})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$

où on a défini les angles θ_x et θ_y en les prenant égaux à leur sinus (on ne prend pas la peine de se justifier, le jury est assez grand comme ça et, bon, la connexion de la visio sera mauvaise donc on va limiter ce qu'on dit et oui je rage sur la visio).

Pertinence des angles

> Alors les angles c'était un peuple germanique cité dans KAAMELOTT.. Plus sérieusement, comme on a précisé dans le DL de Huygens-Fresnel, dans l'approximation de Fraunhofer on regarde à l'infini mais en gardant les angles constants, il est donc tout à fait normal de voir apparaître ces angles !

Et dernière définition parce qu'on ADORE ça, on définit les fréquences spatiales $\nu_x = \theta_x/\lambda$ et $\nu_y = \theta_y/\lambda$ dont on verra toute la pertinence dans ciiiiinq minutes

$$A(x,y) = A_0'\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)e^{-i2\pi(\frac{\theta_x X}{\lambda}+\frac{\theta_y Y}{\lambda})}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
$$A(x,y) = A_0'\ \iint_\Sigma \underline{t}(X,Y)e^{-i2\pi(\nu_x X+\nu_Y Y)}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
$$A(x,y) = A_0'\ \mathcal{TF}\left[\underline{t}(X,Y)\right](\nu_x,\nu_y)$$

comprendre la dernière ligne comme Transformée de Fourier de la transmittance prise en les variables ν_x et ν_y.

Convention

> La convention prise pour la TF est la suivante :
>
> $$\mathcal{TF}[f(x,y)](\nu_x,\nu_y) = \iint_{\mathbb{R}^2} f(X,Y)\ e^{-i2\pi(\nu_x yX+\nu_Y Y)}\ \mathrm{d}X\ \mathrm{d}Y$$
>
> On peut faire une petite remarque sur le passage de l'intégrale sur l'objet à l'intégrale sur $\mathbb{R}^2$.

Ainsi, la figure de diffraction de Fraunhofer n'est rien d'autre que la transformée de Fourier de la transmittance de l'objet ! On remarque la cohérence avec le calcul mené plus tôt pour la fente : la TF d'une fonction porte (qui est la transmittance de ladite fente) est bien une sinus cardinal).

A partir de là, on utilisera le terme fréquence pour désigner la fréquence spatiale. On ne parlera pas de la fréquence de l'onde (que l'on désigne par sa longueur d'onde λ) parce que ça ne nous sert pas du tout.

Super, maintenant qu'on sait que la figure de diffraction c'est juste une TF on peut voir ce que donnent physiquement les propriétés mathématiques de la TF :D

2.3 Propriétés de la figure de diffraction

✍ *Taillet, p.144*
✍ *Sextant, p.113*

- **Translation de l'objet :**

$$\mathcal{TF}\left[\underline{t}(X-a,Y-b)\right](\nu_x,\nu_y) = e^{-2i\pi\nu_x a}\ e^{-2i\pi\nu_y b}\ \mathcal{TF}\left[\underline{t}(X,Y)\right](\nu_x,\nu_y)$$

La translation de l'objet implique donc un terme de phase dans la TF et ce terme de phase disparait quand on regarde l'intensité lumineuse. La figure de diffraction n'est donc pas modifiée par la translation de l'objet.

- **Changement d'échelle :**

$$\mathcal{TF}\left[\underline{t}(aX,bY)\right](\nu_x,\nu_y) = \frac{1}{|ab|}e^{-2i\pi\nu_x a}\ e^{-2i\pi\nu_y b}\mathcal{TF}\left[\underline{t}(a,Y)\right](\nu_x/a,\nu_y/b)$$

Augmenter la taille de l'objet va donc diminuer les fréquences spatiales. On comprend également pourquoi,lorsque l'objet est trop grand, on n'observe plus de diffraction, puisque les fréquences se rapprochent trop de la tache centrale.

- **Produit de convolution :**

$$TF[f*g] = TF[f]\times TF[g]$$

Grâce à cette propriété, on peut simplement prédire la figure de diffraction d'objets assez complexes, comme la double fente de transmittance $\underline{t}(X,Y) = \Pi(X,e)*[\delta(x-a/2)+\delta(x+a/2)]$

- **Théorème de Babinet :**

La figure de diffraction d'un objet est la même que celle de son objet complémentaire (où le complémentaired'un objet est défini comme étant un objet de transparence $\underline{t}' = 1-\underline{t}$), au terme de fréquence spatiales nulles (au centre) près.

3 Optique de Fourier

Déso Fraunhofer tu t'es fait voler la vedette...

3.1 Filtrage optique (strioscopie)

On reprend le montage 4f... On vient de voir que dans le plan de Fourier, la figure observée était directement la transformée de Fourier de l'objet diffractant (on rappelle que les calculs faits précédemment avec l'intégrale ne sont vrais exactement que dans le plan de Fourier, là où on se situe effectivement à l'infini !). On peut alors imaginer faire du filtrage !

Sur le montage $4f$

Ce montage est d'autant plus stylé qu'on peut se dire que la première lentille fait la TF de l'objet et que la seconde fait la TF^{-1}

Expérience : Filtrage optique

✍ Sextant, Jolidon, Duffait la sainte trinité — ⏲ 5 min

On peut choisir d'illustrer plein de choses...

- Montrer des plans de Fourier pour différentes grilles
- Faire du filtrage de grille pour montrer l'influence de l'orientation
- La plume ça marche bien souvent
- Faire sortir le tigre de sa cage
- Foutre le LASER dans les yeux de son binôme

TOUJOURS ÉCLAIRER AVEC UN LASER !!!

Quand on y pense, c'est franchement fou quand même... Faire du filtrage juste en foutant son doigt sur le trajet de la lumière

On peut aussi imaginer d'autres applications comme la microscopie à contraste de phase : Lorsque l'on veut observer des cellules quasi-transparentes

$$t(x,y) = e^{i\phi(\nu_x,\nu_y)} \sim 1 + i\phi(x,y) \underset{\text{Plan Fourier}}{\Longrightarrow} \hat{t}(\nu_x,\nu_y) = \delta(\nu_x,\nu_y) + i\hat{\phi}(\nu_x,\nu_y)$$

Il est impossible de les voir puisque $|t| = 1$ c-à-d que la cellule n'introduit qu'un déphasage donc pas de perte d'intensité. Alors on introduit dans le PF une lame de déphasage $\pi/2$ au niveau du dirac :

$$\hat{t}'(\nu_x,\nu_y) = i\delta(\nu_x,\nu_y) + i\hat{\phi}(\nu_x,\nu_y) \sim ie^{\hat{\phi}(\nu_x,\nu_y)} \underset{\text{Écran}}{\Longrightarrow} I = I_0|\hat{t}'|^2 \sim I_0(1 + 2\phi(x,y))$$

Alors on est capables de voir les très faibles variations de transparence. C'est ce même principe qui est utilisé dans cette très belle vidéo.

3.2 Limite de résolution

✍ *LP35 - Microscopie optiques*
✍ *Programme Rayleight*

Blablabla l'angle d'étalement d'intensité pour une ouverture circulaire s'obtient avec la TF d'un cercle (fonction de Bessel) qui ressemble à un sinus cardinal :

$$I = I_0 J_1^2(2\pi R\nu) \qquad \text{avec} \quad \nu = \frac{\theta}{\lambda} \quad \text{la fréquence spatiale}$$

La première racine est en 1.22π

$$2\pi R\nu = 1.22 \implies \theta = 1.22\frac{\lambda}{2R} = 0.61\frac{\lambda}{R}$$

Donc la demie-largeur de la tâche sur l'écran est

$$r = 0.61\frac{\lambda d}{R}$$

Et pour un microscope, on a la condition d'Abbe (applanétisme transverse). On note r_{lim} la plus petite distance observable entre deux objets (telle que leurs images soient espacées de r selon Rayleigh)

$$n_0 r_{lim}\sin\alpha_0 = nr\sin\alpha \implies r_{lim} = \frac{0.61\lambda}{\mathrm{ON}}$$

Questions

Comment savoir si on est en diffraction de Fraunhofer ?

Qu'est ce que le nombre de Fresnel ?

Qu'est ce que la diffraction de Fresnel ? Comment l'observer expérimentalement ?

Vous avez parlé de microscopie et de diffraction ? Comment fait on pour s'affranchir de la diffraction ? ODG de la résolution ?

Qu'est ce que la microscopie à contraste de phase ? Qu'est ce qui joue un rôle parmi les grandeurs présentées ?

Pourquoi avoir choisi un laser pour les expériences ?

D'où vient la transformée de Fourier ?

Comment expliqueriez vous la cohérence temporelle à un élève ?

Quels sont les différents montages expérimentaux pour observer la diffraction de Fraunhofer ?

À quoi sert de faire un développement limité au second ordre ?

Quelle est la condition sur le nombre de Fresnel pour être en complètement en Fraunhofer ?

Peut on démontrer le principe de Huyghens-Fresnel ou est ce une formule empirique ?

Quelle est l'unité de la vibration lumineuse ?

Expliquez concrètement comment est réalisé le filtrage spatial dans votre expérience ?

Comment l'expérience (Duffait p. 109) illustre-t-elle le critère de Rayleigh ?

Connaissez vous d'autres domaines où l'on réalise de la diffraction ?

Quelles conditions faut-il respecter pour avoir diffraction entre la longueur de l'onde et la taille de l'obstacle ?

Dans un cristal, quelle est la taille de l'obstacle ? Quelles sont les ondes utilisées ? Quelles particules fait-on diffracter ? Donnez une condition sur la longueur d'onde de De Bröglie en vous aidant de l'incertitude d'Heisenberg pour avoir diffraction.

Fraunhofer, c'est pour n'importe quelle onde incidente ?

Comment retrouver la forme de la figure de diffraction par un rectangle sans calcul (et bien sûr sans dire que c'est une TF) ?

Lien entre polissage des miroirs et diffraction ?

Conséquence d'une translation de la fente ?

Que se passe-t-il en incidence non normale ?

Différents modèles de la lumière ? Optique ondulatoire (scalaire) : domaine de l'optique dans lequel la lumière est modélisée par une onde dont la nature n'est pas nécessairement spécifiée [Taillet]. Par opposition à optique quantique (photons), optique géométrique (pas d'hypothèse sur la nature de la lumière) et ondes électromagnétiques (on tient compte de la nature vectorielle de E + onde).

Pourquoi est-ce qu'on peut uiliser la notation complexe ? Possible si équations linéaires, ce qui est le cas en optique (EM).

Différence Fraunhofer/Fresnel ? étalement de la lumière, on ne reconnait plus la forme géométrique de l'objet diffractant. Par opposition à la diffraction de Fresnel où l'on voit de la lumière à l'intérieur de l'ombre géométrique.

Diffraction et étoile double ?

Nom de la figure de diffraction par un diaphragme ? Tache d'Airy

Schéma d'un télescope ? Savoir faire un schéma d'un télescope simple de type Cassegrain ou Newton.

Comment obtenir la constante dans la formule de diffraction ? Par la théorie de Kirchhoff.

Différence entre l'apport de Huygens de Fresnel ? Huygens a mis en place le modèle ondulatoire avec des sources secondaires fictives émettant des ondelettes. Fresnel a repris plus tard ces travaux en y apportant le bon formalisme mathématique et les propriétés sur la phase et l'amplitude des ondelettes et sur le sur le fait que les vibrations de ces différentes sources sont cohérentes entre elles.

Vous utilisez un faisceau laser comme onde plane, est-ce bien légitime ? Revoir la notion de faisceau gaussien borné spatialement, validité du modèle d'onde cylindrique (plane localement) ou sphérique (avec la divergence du faisceau...) !

Que se passe-t-il si on observe la figure de diffraction d'un objet comportant un très grand nombre de pupilles/ouvertures identiques réparties régulièrement ou aléatoirement (poudre de lycopode, buée,...) ? Intérêts, applications ?

La diffraction de Fraunhofer est forcément obtenue avec une source et une observation à l'infini ? Non, on peut aussi faire un montage à une lentille, conjuguant source et écran, donnant Fraunhofer approché (on rend le terme de Fresnel négligeable, mais pas le terme d'ordre supérieur).

Que se passe-t-il si on prend, au lieu d'un objet de transparence t, un objet de transparence 1-t ? Même figure, sauf pour l'image géométrique.

Comme, expérimentalement, peut-on dire si on est plutôt proche des conditions de Fraunhofer ou de Fresnel ? Dans le cas de la diffraction de Fraunhofer, la diffraction ajoute à l'image géométrique des structures en dehors de celle-ci, alors que la diffraction de Fresnel ajoute des structures dans l'image géométrique.

Donner une idée simple du phénomène de diffraction à un élève néophyte. Dans le cadre de l'optique géométrique, un rayon, définit par une seule direction de propagation, peut être dévié ou réfléchi par un objet, il reste un rayon, définit par une nouvelle direction de propagation. Dans le cadre de l'optique ondulatoire, un seul vecteur d'onde incident sur un objet peut donner en réflexion ou transmission une onde qui ne peut plus être décrite par un seul vecteur d'onde.

Quand survient la diffraction ? Lorsque la taille caractéristique des objets se rapproche de la longueur d'onde de la lumière. Attention, une fente diffractante de la taille de la longueur d'onde de la lumière va donner une ouverture pour la tache centrale d'environ 60, ce qui est déjà un effet très notable : pour une observation à 1 m de distance, on aura une tache centrale de l'ordre de la dizaine de centimètres. Dire que si la longueur d'onde est négligeable devant le taille de la fente la diffraction est négligeable est par trop simpliste : si on prend une fente dix fois plus grande que la longueur d'onde, on observera très bien une tache de diffraction, par exemple à 1 m de distance, mais celle-ci aura effectivement une taille très petite devant la distance d'observation, ce qui ne la rend pas forcément négligeable pour autant.

Quelle différence faites-vous entre diffraction et réflexion ? Pour répondre à cette question, on peut, par exemple, revenir à la définition de la diffraction par Sommerfeld : Tout écart à la propagation rectiligne qui ne peut s'expliquer ni par une réflexion, ni par une réfraction.

Intégrale de Kirchhoff : d'où vient le facteur -i/lambda ? le facteur K ? K : facteur d'inclinaison, l'émission des sources secondaires n'est pas isotrope.
$-\frac{i}{\lambda}$: permet de prendre en compte le déphasage de $\pi/2$ observé expérimentalement.

Les élèves font quoi au lycée ?
Critère de diffraction (longueur d'onde plus grande que l'objet) puis expression de l'angle de déviation

Définitions des ondes planes et sphériques ?
Fronts d'onde plans ou sphériques

Ça existe réellement ?
Planes non, spéhrique ça passe

Ça pose un problème pédagogique d'utiliser des ondes qui n'existent pas ?

Exemple de diffraction dans la vie de tous les jours ?
Vagues à l'entrée d'un port, ondes sonores peuvent être diffractées par une porte entre-ouverte, quand on regarde les étoiles, ou lentilles dans les microscopes...

C'est quoi un rayon lumineux ?
Théorème de de Malus, direction de propagation de l'énergie

Intérêt pédagogique de présenter la diffraction de Fresnel ?
Pour montrer où sont les hypothèses et que l'on part bien de Huygens-Fresnel

C'est quoi la différence des images en Fresnel ou Fraunhofer ?

Utilité concrète du filtrage optique ?
Voir les variations d'indice dans l'air

Date de la théorie ondulatoire ?
Traité de Huygens en 1690 (je crois)

Comment le conflit corpuscule / ondulatoire a-t-il été résolu ?

Comment concilier optique ondulatoir et géométrique ?
Approximation des milieux lentement variables

Différence entre interférence et diffraction ?

Propriétés des translations etc. pour Fresnel ?
Invariance n'est plus conservée

Comment obtenir une onde plane expérimentalement ?
Diaphragme + Lentille

Principe de l'épurateur de faisceau ?
Filtre passe bas

Commentaires

- Changer nom de la deuxième partie ("Diffraction sur un objet" c'est nul)
- Privilégier le filtrage optique donc virer le développement du début... Limite partir de Fresnel et mettre Huygens en pré-requis
- C'est important de laisser la partie sur les effets des translations et compagnie