

M9 : Diffraction d'ondes lumineuses

Allen LIM

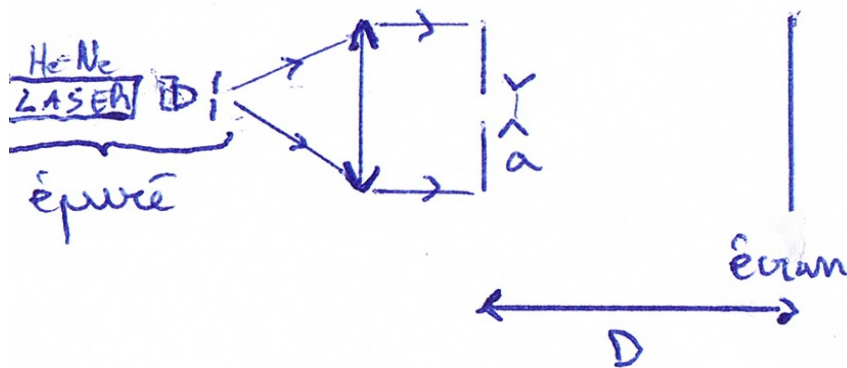
Oliver HARPER (présentateur)

Intro

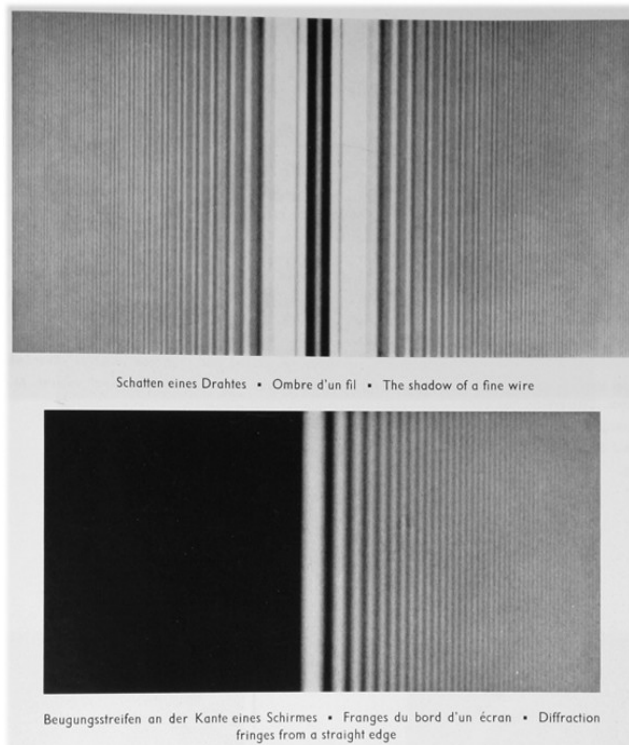
La lumière est un flux de particules appelées photons. On met en évidence l'aspect corpusculaire de la lumière avec des phénomènes comme l'effet photoélectrique ou effet Compton.

La lumière est aussi une onde. C'est cet aspect là qu'on mettra en évidence à travers ce montage car la diffraction est un phénomène commun à toutes les ondes.

I. Diffraction de Fresnel



Le nombre sans dimension $Nf = (a/2)^2 / \lambda D$, nombre de Fresnel caractérise le régime de diffraction (Fraunhofer, champ lointain si $Nf < 1$ ou Fresnel, champ proche $Nf > 1$). On peut montrer que ce nombre équivaut au nombre de raies brillantes à l'écran, y compris les bords de l'image géométrique. On voit ce genre de truc



On repère D où on voit Nf raies lumineuses. On trace $Nf = f(1/D)$ pour en déduire a .

Cela marche assez bien mais c'est plus pédagogique et sûrement plus précis d'ajouter une lentille pour projeter l'image à l'écran. L'image est donc plus grande. Cela complique un peu car il faut remonter à la position de l'objet étant donné la position de la lentille et l'image.

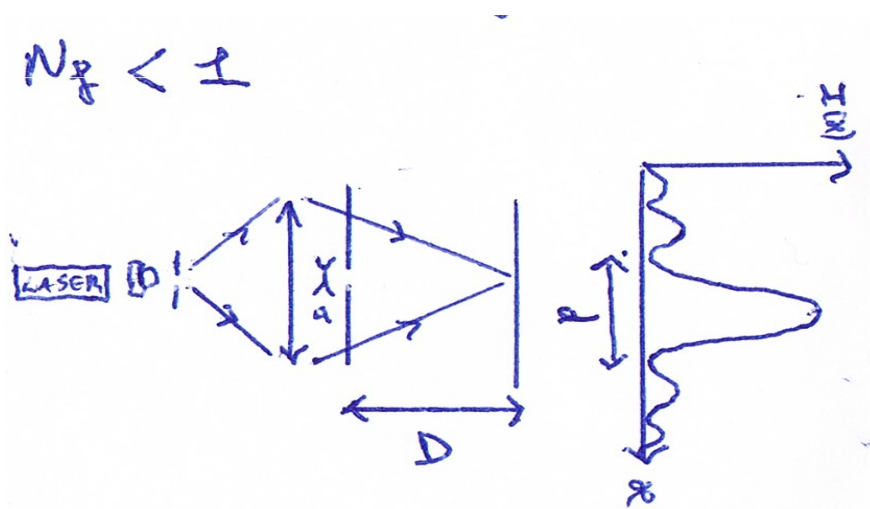
Questions :

Comment définit-on le nombre de Fresnel ? Il y a des éléments de réponse plus qualitatifs dans le Hecht et des réponses en calcul dans le Taillet.

Que devient le nombre de Fresnel si l'éclairage n'est plus en incidence parallèle ? Nombre de Fresnel généralisé.

II. Diffraction de Fraunhofer

1. Par une fente



Avec la configuration ci-dessus on cherche à avoir une diffraction dans le plan image du laser par la lentille. On repère d grâce à un capteur CCD et on l'exploite sur Caliens. Il faut bien préciser que $I=I_0 \text{sinc}^2(\dots)$ **seulement dans ce cas particulier de Fraunhofer vrai, ie $N_f=0$** strictement parce qu'il y a un **lien de TF entre le facteur de transmission de la fente et la figure de diffraction**.

On mesure d pour différents a et on trace $d = f(1/a)$. Ca marche plutôt bien !

On peut ouvrir sur les problèmes de résolution dus à la tache d'Airy.

2. Par des spores de lycopode

Dans le montage ci-dessus on remplace la fente par une lame recouverte de spores de lycopode (cf Sextant).

Un peu comme avant, on cherche à mesurer la largeur de la tache d'Airy pour en déduire a , la taille de spores.

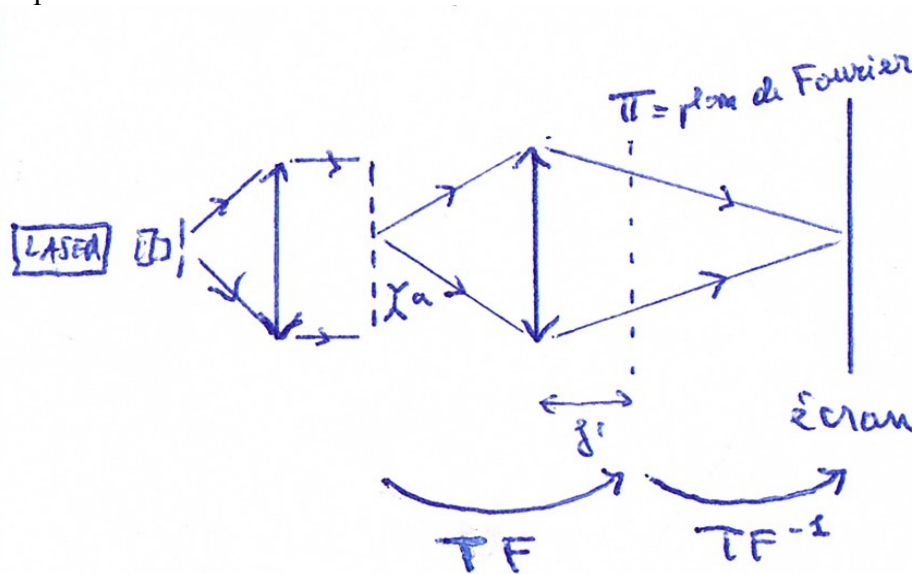
Il faut mentionner le **Théorème de Babinet** pour justifier qu'un spore opaque et un trou circulaire donnent la même figure de diffraction à part l'image géométrique. Les spores sont réparties aléatoirement donc il n'y a pas de facteur de structure qui intervient. On voit qu'une tache d'Airy mais d'intensité $I=N \cdot I_0$ si N spores sont éclairées et I_0 est l'intensité émise par un spore.

Questions :

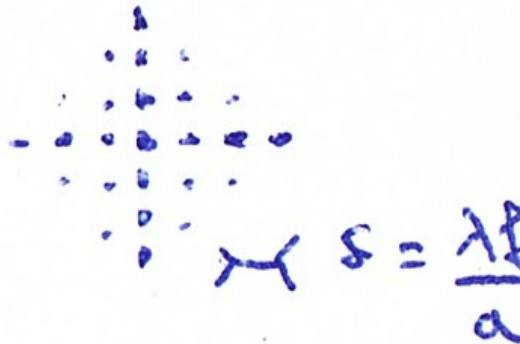
Quelle est la validité du théorème de Babinet ? Seulement en Fraunhofer vrai car ça découle des propriétés de TF.

Que se passe-t-il si on décale l'objet dans son plan ? Rien

III. Filtrage Spatial



Le réglage se fait comme décrit ci-dessus. C'est une grille de petit pas (0,5mm environ). On observe la décomposition des fréquences spatiales dans le plan de Fourier :



Une première mesure à faire est de mesurer δ pour remonter à a , le pas de la grille. Pour ce faire, utiliser une autre lentille pour projeter le plan de Fourier sur un écran. Une figure plus grande offre une meilleure précision (il faut bien sûr mesurer plusieurs périodes et diviser). Ne pas oublier de tenir compte du grandissement.

Ensuite intercaler une fente dans le plan de Fourier qui servira à couper des fréquences spatiales. Juste après ajouter une lame semi-réfléchissante puis une lentille pour projeter le plan de Fourier à l'écran. On verra donc l'image de la grille et l'image du plan de Fourier. On pourra observer comment agir dans le plan de Fourier aura une influence sur l'image finale de la grille.

Après avoir illustré ce filtrage passe-bas, il aurait été (pas le temps pour nous) bien de passer en lumière blanche (pas encore fait lors du montage) et faire de la strioscopie par exemple. On aurait pu faire la diffraction d'une empreinte digitale et filtrer avec une mine de crayon. Il y a d'autres possibilités bien sûr.

Questions

Comment comprendre la décomposition en fréquences spatiales ? Ces toujours une histoire de TF. Il s'agit de diffraction par un motif convolué avec un peigne de Dirac de période $1/a$. Que se passe-t-il si la fente est tournée de 45° ? On peut en théorie mettre en évidence une périodicité $a \cdot \sqrt{2}$ mais en pratique on ne voit rien...

Remarques générales :

La difficulté notable de ce montage est de travailler qu'avec un seul banc et changer les instruments et tout régler en direct. C'est pas non plus un Michelson mais le faire bien malgré le stress du live montre pas mal de qualités.

Avoir réfléchi également à la projection des images sur écran montre le souci de la pédagogie et soigner les résultats. Cela montre qu'on a suffisamment de recul en diffraction pour réfléchir à une problématique d'optique géométrique.

La diffraction de Fresnel est certainement la plus délicate à cause des questions de théorie auxquelles on s'expose si on en parle. Mais ça peut valoir le coup.

Biblio

Hecht, Taillet, Sextant, Champeau