

Diffraction des ondes lumineuses

16 juin 2021

1 Diffraction de Fresnel

La diffraction de Fraunhofer, permettant d'employer le formalisme de Fourier (on peut exprimer la tache de diffraction comme transformée de Fourier de la fonction de transmission...) n'est valable que si l'objet diffractant est éclairé par une onde plane, et que la figure de diffraction est observée à l'infini.

Expérience qualitative : on utilise un objectif de microscope x10 (distance focale de 15mm) pour élargir le faisceau d'un laser. Faire converger ce faisceau au moyen d'une lentille de distance focale 150mm sur un écran. Intercaler la fente entre la lentille et l'écran. En rapprochant l'écran de la fente on constate qu'on sort de la diffraction de Fraunhofer.

En éloignant l'écran au-delà du point de convergence on repasse à nouveau en diffraction de Fresnel.

Note : Cette expérience est tirée du Sextant. Il est difficile de trouver une expérience quantitative assez simple à réaliser (on peut penser à celle du Thibierge au cas-où...)

2 Diffraction de Fraunhofer

Conditions pour la diffraction de Fraunhofer : onde incidente plane et observation à l'infini. Il est parfois judicieux d'employer des lentilles convergentes pour les respecter (transformation en onde plane du faisceau incident avec une première lentille, et mise sur l'écran dans le plan focal d'une seconde lentille) ; ce n'est pas toujours nécessaire si on utilise un laser et un écran assez éloigné.

On pourra employer une caméra CCD pour procéder à des mesures précises des dimensions des taches.

2.1 Fentes

2.1.1 Lumière monochromatique

Avec une longueur d'onde connue, étudier la figure de diffraction pour déterminer la largeur de la fente. On peut imaginer, si la fente est *bien calibrée*, vérifier la longueur d'onde du laser utilisé.

Pour une fente de largeur e , on observe la figure de diffraction sur un écran situé à la distance D , éclairé par une lumière de longueur d'onde λ est $I(\xi) = I_0 \text{sinc}^2\left(\frac{\pi e \xi}{\lambda D}\right)$ (avec ξ l'abscisse sur l'écran), si on se trouve dans des conditions proches de la diffraction de Fraunhofer.

On observe une annulation pour $\frac{\pi e \xi}{\lambda D} = n\pi$ (avec n un entier relatif non nul) d'où une interfrange de $\frac{\lambda D}{e}$ entre deux minima (sans tenir compte de la tache centrale un peu particulière d'après les propriétés du sinus cardinal).

2.1.2 Lumière blanche

Montrer, au moyen de filtres, que c'est une superposition de figures monochromatiques ; déterminer la largeur de la fente suivant les autres longueurs d'onde. On pourra sûrement procéder avec une quartz-iode et des lentilles convergentes pour avoir une onde incidente plane. On met ainsi en évidence que la diffraction amène une dispersion de la lumière qui peut être exploitée en spectroscopie.

2.2 Trou circulaire

On se remet en lumière monochromatique. On observe la *figure d'Airy*, avec une tache centrale dont le rayon vaut $\frac{1,22\lambda D}{a}$ avec a le *diamètre* du trou. On peut effectuer la mesure pour remonter à la dimension du trou.

2.2.1 Poudre de lycopodes

La poudre de lycopodes est constituée de petites particules ressemblant à des sphères, elles ont la particularité d'être de dimensions très semblables. On peut faire diffracter le faisceau laser par la poudre de lycopodes : on constate qu'on obtient une figure similaire à la figure d'Airy avec présence de speckle. Mesurer le rayon de la tache d'Airy permet de revenir au diamètre d'une des particules.

2.3 Fil calibré

Revenir à la dimension du fil calibré, montrer l'analogie avec la fente (théorème des écrans complémentaires).

2.4 Grille

Revenir aux dimensions de la grille. On peut prendre une grille carrée de pas connu.

3 Limite de résolution d'un instrument d'optique

La diffraction a des applications intéressantes pour sonder la matière à des échelles micrométriques, cependant elle peut aussi s'avérer gênante pour la conception d'instruments d'optique puisque ce phénomène empêche d'avoir un stigmatisme.

On peut illustrer le pouvoir séparateur d'un instrument d'optique en réalisant l'image d'une bifente puis au moyen d'une fente, de diffracter jusqu'à ne plus pouvoir distinguer les images des deux fentes en sortie.

On prend une lampe quartz-iode munie d'un filtre (pas forcément trop sélectif, mais on peut le centrer sur $\lambda = 600nm$ pour des raisons de luminosité). On réalise l'image d'une bifente sur un écran éloigné, au moyen d'une lentille convergente. On place ensuite derrière la lentille une fente de largeur réglable.

La distance entre les images des deux fentes est $\Delta = \frac{\lambda D}{e}$ avec e la largeur de la fente diffractante. Les positions des deux fentes sont déterminées par leurs images géométriques. Rétrécir la fente élargit seulement les deux taches par diffraction. On utilisera une CCD pour être plus rigoureux dans la détermination de la largeur de fente correspondant au critère de Rayleigh (taches distinctes si le maxima de l'une coïncide avec le premier minima de l'autre).

On a $e = \frac{\lambda D l_1}{a l_2}$ au critère de Rayleigh, avec l_1 la distance bifente - lentille, l_2 la distance lentille - écran, et a l'écartement entre les fentes de la bifente. Dans les faits cette relation est en général mal vérifiée donc on peut se contenter de vérifier l'inverse proportionnalité entre la largeur de fente diffractante limite et l'écartement de la bifente.

Bibliographie

- Sextant (1997). *Optique expérimentale*. Hermann.
- Fruchart, M. et al. (2016). *Physique expérimentale : Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique*. De Boeck Supérieur.