Diffraction de Fraunhofer

7 juin 2025

Référence

Expérience : Mesure de la taille d'une fente avec la diffraction par un laser
Livre :
— Optique, une approche expérimentale et pratique, S. Houard, DeBoeck
Prérequis :
— Blop
Niveau :

Introduction

Historique de la diffraction dans le Houard p.293
Peut-être une démonstration expérimentale de la diffraction avec une cuve à ondes.

1 Diffraction : principe et définitions

1.1 Principe de Huygens-Fresnel

Principe : Une onde diffractée par une ouverture ou un obstacle opaque de surface Σ est la somme des ondelettes secondaires fictives émises en chacun de ses points.

- Toutes les ondelettes secondaires ont la même fréquence que l'onde directe. - L'onde diffractée est en phase avec l'onde directe au niveau de la surface Σ - Amplitude de l'onde diffractée proportionnelle à l'amplitude l'onde directe et de la surface élémentaire de la source secondaire

Principe de Huygens-Fresnel : Principe des ondelettes secondaires + superposition des ondes

La diffraction est un phénomène d'interférences.

Schéma pour représenter la relation suivante

L'amplitude de l'onde diffractée en M s'écrit alors : $s(M) = \int_\Sigma Q \times t(x,y) \times s_0(P) \frac{e^{ikPM}}{PM} d\Sigma$ où Q est appelé coefficient d'inclinaison, t(x,y) est la transmittance de l'objet diffractant et $k = 2\pi/\lambda$ avec λ la longueur d'onde de la source.

1.2 Domaines de diffraction

Deux domaines de diffraction : Diffraction de Fresnel : figure de diffraction à distance finie - l'écran ou la source sont à "courte distance" de l'objet diffractant

Diffraction de Fraunhofer : figure de diffraction observée à l'infini - l'écran ou la source sont à "grande distance" de l'objet diffractant

Mais à quoi correspond cette grande distance ?

Schéma du Perez p.245

$s(M) = \int_\Sigma Q \times t(x,y) \times s_0(P) \frac{e^{ikPM}}{PM} d\Sigma$ où $PM = [(X-x)^2 + (Y-y)^2 + z^2]^{1/2} = (X^2 + Y^2 + z^2 + x^2 + y^2 - 2xX - 2yY)^{1/2}$

En définissant le vecteur OP dont la norme est $R = (X^2 + Y^2 + z^2)^{1/2}$, on peut réécrire PM suivant :

$PM = R\left(1 + \frac{x^2+y^2}{R^2} - \frac{2xX+2yY}{R^2}\right)$

L'approximation de Fraunhofer consiste à négliger les termes quadratiques en x et en y, soit $\frac{k(x^2+y^2)}{R} \ll 1 \Leftrightarrow R \gg k(x^2+y^2) = \frac{\pi(x^2+y^2)}{2\lambda}$

En pratique, pour un objet de taille caractéristique

— 0.1 mm -> $R \gg 5cm$ dans le visible
— 1 mm -> $R \gg 5m$ dans le visible
— 1 cm -> $R \gg 500m$ dans le visible

Ainsi, l'onde diffractée dans les conditions de Fraunhofer s'écrit :
$s(M) = \tilde{s_0} \int_\Sigma t(x,y) \times e^{ik[(\alpha-\alpha_0)x+(\beta-\beta_0)y]} d\Sigma$
α_0 et β_0 sont nuls si le point source est sur l'axe optique.

2 Diffraction de Fraunhofer

2.1 Par une pupille rectangulaire

Voir calcul dans le Houard p.311

Schéma d'une pupille rectangulaire de longueur a et de largeur b Expression de la fonction de transmittance d'une fente.

Développement du calcul pour la pupille rectangulaire -> expression finale en intensité (module au carré de l'amplitude complexe)

Schéma de la figure de diffraction observée

Expérience quantitative de la mesure d'une fente

2.2 Par un ouverture circulaire

Expérience qualitative du disque d'Airy

Figure de diffraction d'une ouverture circulaire de diamètre D est la tâche d'Airy. Le disque central appelé disque d'Airy est limité par la première annulation de l'intensité dépendant de θ. Le disque vérifie la relation : $\sin\theta = 1,22\frac{\lambda}{D}$.

Détails du calcul ne sont pas présentés ici car le calcul fait intervenir les fonctions de Bessel.

Parler du critère de Rayleigh -> limite de résolution des instruments d'optique.

Expérience quantitative

Objectif de l'expérience

Mesurer la taille d'une fente

Matériels

— Laser à 633nm
— Lentilles pour laser avec support
— Support élévateur
— Lentille convergente (20/30 cm)
— Fente de taille connue
— Écran
— Caméra CCD

Protocole

Faire une source ponctuelle à partir du laser Former un système afocal à deux lentilles Identifier le plan de Fourier (image de la source ponctuelle) Placer la fente entre les deux lentilles du système afocal Mesurer la figure de diffraction dans le plan de Fourier à la CCD Ajustement sur Qtiplot :
$y = y_0 + A^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{x-x_c}{B}\right)}{\frac{x-x_c}{B}}\right)^2$

Précautions expérimentales

Pas sûr pour l'analyse car les valeurs de taille des fentes sont pas clairs