

Table des matières

1	Diffraction de Fraunhofer.	2
I	Conditions de Fraunhofer de la diffraction	3
I.1	Principe d'Huygens-Fresnel	3
I.2	Amplitude d'une onde à travers un diaphragme plan	3
I.3	Conditions et approximations de Fraunhofer	3
II	Deux exemples de systèmes diffractants	4
II.1	Diffraction par une fente	4
II.2	Diffraction par un trou d'Young	5
II.3	Ensemble de structure diffractante (peut sauter si besoin, ou en ouverture)	5
III	Applications de la diffraction	5
IV	6

Leçon 1

Diffraction de Fraunhofer.

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Tout-en-un PC/PC*	M.-N. Sanz	Dunod (2022)	
Optique - Fondements et applications	J.P. Pérez	Dunod (2011)	
https://www.lkb.upmc.fr/cqed/teaching/teachingsayrin/	C. Sayrin		
Optique Physique	R. Taillet	de boeck (2015)	
Optique Physique	D. Mauras	PUF (2001)	

Commentaires des années précédentes :

- **2017** : Les conditions de Fraunhofer et leurs conséquences doivent être présentées, ainsi que le lien entre les dimensions caractéristiques d'un objet diffractant et celles de sa figure de diffraction,
- **2014-2011** : Les conditions de l'approximation de Fraunhofer doivent être clairement énoncées. Pour autant, elles ne constituent pas le coeur de la leçon.

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : Licence 3

Prérequis :

- optique géométrique,

- modèle scalaire des ondes lumineuses,
- transformées de Fourier,
- microscopie optique ?



Le message essentiel de la leçon est que la figure de diffraction de Fraunhofer se trouve dans le plan image de la source qui éclaire l'objet diffractant

Introduction

I Conditions de Fraunhofer de la diffraction

I.1 Principe d'Huygens-Fresnel

Voir Pérez p263. Enoncé, faire le dessins. Introduire le facteur d'obliquité et dire qu'il est constant si on considère des rayons proches de l'axe optique.

La démo de Huygens-Fresnel est sur Wikipédia https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_de_Kirchhoff.

Donner l'amplitude scalaire de l'onde $s(M)$ (prendre les notations de C. Sayrin).

I.2 Amplitude d'une onde à travers un diaphragme plan

Cf TD Clément Sayrin Diffraction (1).



On peut garder $\frac{e^{ikr}}{r} \sim \frac{e^{ikr}}{D}$ mais pour évaluer la phase $\mathbf{k} \cdot \mathbf{PM}$, il faut tenir compte des variations de $PM=r$ à l'échelle de λ et l'on garde donc les ordres plus élevés du développement.

I.3 Conditions et approximations de Fraunhofer

On néglige le terme quadratique en r^2 dans la phase de l'onde. Enoncer les conditions pour avoir le terme de Fraunhofer nul voir Sextant p139 :

- onde plane ($d = 0$) à l'infini ($D = 0$), il suffit de placer une source lumineuse dans le plan focal objet d'une lentille convergente et observer la figure dans le plan focal image d'une autre lentille convergente,

- en pratique, condition pas très restrictive car : onde plane (source à l'infini) mais $kr^2 \ll 2D \Leftrightarrow D \gg \frac{r^2}{4\lambda}$. Application numérique : pour un laser de longueur d'onde $\lambda = 648nm$, on trouve $D \gg 500m$ et si $r = 1cm$, $D \gg 5m$ si $r = 1mm$, $D \gg 5\mu m$ si $r = 1\mu m$. Il est très facile d'être dans les conditions de Fraunhofer pour les petits objets diffractants ! Pour les objets plus grand, il faut faire l'image de la source lumineuse par une lentille,
- cas particulier de la source sur l'écran ($d=D$) (à omettre, garder pour les questions ?)

On voit quand même que l'amplitude de l'onde résultante est la transformée de Fourier de la fonction $t(x, y)$ de l'objet diffractant. Il y a une relation de réciprocité entre les distances angulaires de la figure de diffraction et les distances dans le plan d'ouverture de l'objet diffractant.

Transition : on va mettre en application ce qu'on vient de détailler en observant la figure de diffraction d'objets simples.

II Deux exemples de systèmes diffractants

II.1 Diffraction par une fente

Faire le calcul + la manip. Il faut juste prendre $t(x, y) = \text{rect}_x(-a/2, a/2)$.

Manip qualitative : mesure d'une largeur de fente. Voir Poly TP Montrouge Diffraction. On a besoin

- barette CCD + logiciel MIGHTEX,
- laser + boys + lentille $f=50mm$,
- ordinateur avec Spectra Suite + câble connexion caméra,
- fentes sources de différentes taille + fente de taille variable,

Montrer visuellement que plus la largeur de la fente diminue, plus l'espacement entre les maxima est grand. Parler de la réciprocité entre espace réel et espace de Fourier.

Transition : avec l'étude de la figure de diffraction de la fente, on peut en déduire celle d'un trou.

II.2 Diffraction par un trou d'Young

Le faire rapidement sur slide ou en estimant à l'aide de la formule précédente : un trou de rayon a est contenu entre deux carrés de côté $\sqrt{2}a$ donc :

$$\frac{\lambda}{a} < \theta < \frac{\sqrt{2}\lambda}{a} \sim 1.4 \frac{\lambda}{a} \quad (1.1)$$

En prenant la moyenne : $\theta \sim (1.2 \pm 0.2) \frac{\lambda}{a}$. Le calcul réel se fait dans le Taillet p154.

Conséquence voir Perez p276-277 :

- parler du critère de Rayleigh donnant la résolution latérale maximale d'un microscope optique standard,
- **Attention, nécessite le théorème de Babinet.** slide : tâches de diffraction circulaire autour de la Lune attribuées aux gouttellettes d'eau/glace dans l'atmosphère. Calcul du diamètre "moyen" des gouttes d'eau : $\theta = \frac{1.22\lambda}{D}$, si on prend $\theta \sim 6\theta_L = 0.5^\circ$, on trouve en prenant $\lambda = 600nm$: $D = \frac{1.22 \times 600e^{-9}}{\times 6 \times 0.5\pi/180} = 14\mu m$

Apodisation voir Mauras p258 et Clément Sayrin Diffraction (2) : pour observer les exoplanètes de faible intensité lumineuse proche des étoiles qui ont une très grande intensité lumineuse, on peut choisir de mettre un masque dont la fonction de transmission de la lentille décroît de l'unité en son milieu à zéro à son bord : réduit l'intensité de des lobes secondaires de diffraction d'un objet très lumineux.

II.3 Ensemble de structure diffractante (peut sauter si besoin, ou en ouverture)

Si on prend pleins de trous d'Young et qu'on connaît leur répartition spatiale,

III Applications de la diffraction

Au choix : expérience d'Abbe avec le filtrage spatiale, microscopie à contraste de phase,

IV

Conclusion

Ouverture sur la diffraction des rayons X. Conditions de Laue.