

MP09 - Diffraction des ondes lumineuses

Gauthier Legrand et Francis Pagaud

10 Décembre 2019

Bibliographie

- ↳ *Physique expérimentale*, **Jolidon**
- ↳ *Optique expérimentale*, **Sextant**
- ↳ *Optique*, **Houard**

- Fresnel, Fraunhofer et optique de Fourier.
- Diffraction par un motif aléatoire.
- Compléments en tout genre (marche avec pleins d'autres bouquins)

Expériences

- ☛ De Fresnel à Fraunhofer
- ☛ Mesure de la taille d'un cheveu
- ☛ Optique de Fourier

Table des matières

1	Principe de la diffraction	2
2	Diffraction de Fraunhofer	3
3	Optique de Fourier	4
4	Questions	5
5	Remarques	5
6	Remarques perso lors du passage	5

Intro

Diffraction = phénomène ondulatoire que l'on connaît bien dans notre quotidien. Ex : Vague à l'approche d'une embouchure → Onde sphérique.

La lumière étant une onde, ça s'applique aussi.

On va étudier plusieurs aspects de la diffraction des ondes lumineuses dans ce montage : ...

1 Principe de la diffraction

Phénomène : (attention, il faut pas y passer 100 ans. On peut abrégé les explications. Penser à noter l'approximation des rayons paraxiaux. Ne pas se tromper entre diamètre et rayon. Il faut également exploiter les deux coeffs d'ajustement) Via Huygens-Fresnel, l'intensité sur l'écran est calculée par une intégrale sur l'ouverture. Or la phase n'est pas du tout triviale, et de cette phase émerge le nombre de Fresnel.

On peut découper l'onde issue de l'ouverture en sphères de rayon D , $D + \lambda/2$, etc., c'est-à-dire en zones concentriques et en opposition de phase. Dans l'approximation paraxiale, la contribution à l'amplitude finale des zones concentriques adjacentes se compensent (pas tout à fait vrai, on n'a pas compensation parfaite). Ainsi, si on observe un nombre pair de zones de Fresnel, l'amplitude lumineuse se rapproche de 0 → Zone sombre. Sinon, zone lumineuse.

Pour avoir le tout en 2D, on se décale sur l'écran. Lorsqu'une zone de Fresnel est occultée, alors il y a changement de luminosité, et ce jusqu'à occultation de la zone de 0 Fresnel centrale.

Résultat : le nombre de zones de Fresnel est égal au nombre de franges. De plus, on peut montrer que le nombre de zones, c'est le nombre de Fresnel.

Diffraction de Fresnel

🔗 Jolidon, p.303

⌚ 10 minutes

Laser + microscope afin d'obtenir une onde sphérique. Le 10X marche très bien, le 60X marque mieux le contraste. Mettre un trou de 1.5 mm de diamètre sur un banc optique, et la lentille de projection (160mm c'est pas mal). L'écran non dépoli est plus agréable, la mesure est plus lisible. L'alignement du microscope est critique, il faut le mettre en dernier.

On peut s'essayer à l'épurateur du faisceau si on est déter, mais il faut connaître le principe (sur lequel on peut revenir après l'optique de Fourier. Jolidon, p. 300).

La lentille de projection est baladée sur le banc optique de manière à observer un nombre de Fresnel variable (nombre de franges lumineuses et sombres). La distance lentille-écran est mesurée et la plage d'incertitude est faite en mesurant les positions extrémales de la lentille.

Deux coeffs sont sortis de l'ajustement, ce qui permet de remonter à la taille du trou et à la distance source-trou.

Le but n'est pas de mesurer la taille du trou comme cela a été fait, mais de voir le phénomène de la diffraction dans un cas très général : source à distance finie. Très bien, expliquons pourquoi on a ce motif.

Bilan : Interférences qui donne une tâche différente de l'image géométrique. C'est bien souvent un problème (résolution d'un microscope).

Transition : Mais la diffraction ne comporte pas que des inconvénients, on sait l'utiliser à notre avantage.

2 Diffraction de Fraunhofer

On a vu qu'en ordre de grandeur, ce nombre de Fresnel est le terme non-linéaire de la phase sur lequel on intègre. Si $\mathcal{F} = 0$, ce terme est nul, et Huygens devient une TF : c'est un régime particulier, la diffraction de Fraunhofer.

Diffraction de Fraunhofer

🔗 Jolidon p. 322

⌚ 2 minutes

Montage à une lentille : peu d'encombrement, original (si le timing de préparation est serré, on peut faire un montage 4f réutilisable pour l'optique de Fourier).

Laser / Microscope 10X / Lentille 120 mm qui conjugue le tout sur un écran. Une grande focale est bienvenue pour avoir une taille de tâche décente (ou Flexcam).. Fente réglable sur pied coulissant.

Présentation de la tache.

Propriétés de la TF avec une fente. invariance, dilatation, rotation de la fente, Babinet.

Par la propriété de dilatation, on peut lier taille de l'objet diffractant et tache de diffraction. A l'aide de cette propriété, établissons une droite étalon liant la taille de la fente à la taille entre deux taches du sinus cardinal. (Mettre au tableau que l'on mesure une droite d'étalonnage à partir du sinus cardinal)

Afin de gagner en précision, on peut utiliser une barrette CCD comme Caliens.

Mesure d'un cheveu par Babinet

🔗 Jolidon/Sextant

⌚ 5 minutes

Mise en place de Caliens sur pied réglable avec éventuellement tube occulteur.

Observation des maxima et des minima d'intensité. Expliquer que c'est le sinus cardinal au carré, que la tache centrale sature donc qu'on la dégage et que cette tache est deux fois plus grande que les autres. Pour s'assurer du parallélisme, on peut tourner Caliens pour réaliser un "minimum de déviation".

Mesure de la largeur d'une tache en fonction de la largeur de la fente mesurée au vernier. Obtention de la droite d'étalonnage (ordonnée à l'origine non-nulle car la fente n'est pas fermée à zéro).

Utilisation de cette droite d'étalonnage pour mesurer la largeur d'un cheveu

On a utilisé Caliens parce que ça marche trop bien. Là on a fait une expérience qui semble pas très utile (mesurer un cheveu) mais on peut l'utiliser pour plein de choses. Par exemple, en recherche : diapo de lycopodes.

[S'il y a du temps] Tache de diffraction par une diapo à motif placés aléatoirement

⚡ Sextant

⌚ 2 minutes

Observation de la tache de diffraction de la diapo dans le montage précédent, avec un écran. Des cercles concentriques apparaissent. Mesure possible (mais déconseillée) de la taille des motifs.

Blabla sur le facteur de forme/facteur de structure. On constate l'isotropie, et la distance typique d'interactions entre particules dans le cas d'un échantillon réel.

Transition : On a des fréquences, comme en temporel. On peut travailler dessus comme en élec
-> Application au filtrage.

3 Optique de Fourier

Montage 4f pour filtrage optique

⚡ Jolidon p. 331

⌚ 2 minutes

Présentation et construction du montage 4f en laser. Ça marche bien, c'est cool. On montre le plan de Fourier avec la petite grille afin de mieux le visualiser, et on filtre la grande pour avoir un résultat plus probant. Entre temps on est passé en lumière blanche (si on a le temps! Mention de l'utilité pratique des lasers, disparition de la figure de diffraction dans le PF).

Le passer en lumière blanche est conseillé, ça marche très bien. Le montage est le suivant :

QI / Filtre anti-calorique / diaphragme (ainsi on a l'onde sphérique) / Lentille placée par auto-collimation (achromat 100 mm) / objet diffractant / Lentille de 300 mm. L'image du diaphragme est dans le PF. On peut la placer tel que l'objet soit conjugué sur un plan plus loin, où l'on pourra observer l'ensemble filtré.

L'expérience de la grille d'Abbe peut être réalisée (les lignes verticales/horizontales/diagonales d'une grille peuvent être sélectionnées).

Cette technique est très efficace pour mettre en évidence des phénomènes subtils dans une image. La strioscopie, consistant à enlever la fréquence la plus basse, permet ainsi de voir des variations d'indice optique très fines par exemple.

Conclusion

Bilan des expériences réalisées.

4 Questions

5 Remarques

6 Remarques perso lors du passage