

MP 9 : Diffraction des ondes lumineuses.

Correcteurs : Jérémy Ferrand¹ et Vincent De Zotti²

Montage présenté le 1 décembre 2017 par Bruno Etcheverry

Extraits des rapports du jury

- 2017 : Ce montage a parfois été très bien présenté. Une condition nécessaire est de connaître la différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel, et on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire. Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'ondes de lasers !
- 2014, 2015, 2016 : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire.
- 2010, 2011, 2012, 2013 : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer (tant sur l'onde incidente que sur le plan d'observation) sont remplies si l'on utilise les formules associées. Rappelons que les phénomènes de diffraction peuvent s'observer avec d'autres sources lumineuses que des lasers, dont le « speckle » peut parfois nuire à la précision des mesures.

Commentaires généraux sur le montage

La présentation était de qualité moyenne, bien qu'un travail évident a été fourni en préparation.

Le tableau contenait les informations importantes, mais il faut être plus soigneux dans la réalisation des schémas et écrire clairement les lois physiques utilisées pour réaliser les régressions linéaires.

Le temps d'exposé a été légèrement dépassé, vous serez probablement coupé par le jury si vous n'avez pas commencé votre conclusion après 40 min.

Les expériences présentées sont conformes à ce qui est attendu dans ce montage. Leurs principes ont bien été décrits, les images formées étaient globalement de bonne qualité.

L'évaluation des incertitudes a été discutée. Bien qu'il n'y ait pas de consensus absolu sur la présentation des incertitudes au tableau (nombre de chiffres significatifs...), elle doit être cohérente avec la mesure et il faut pouvoir la justifier.

Commentaires détaillés du montage

Introduction (2 min)

Illustrer le phénomène de diffraction en fermant progressivement une fente est une bonne façon d'introduire le montage.

1. jeremy.ferrand@ens-lyon.fr

2. vincent.de_zotti@ens-lyon.fr

1 Diffraction par une fente (13 min)

Il faut préciser que la diffraction étudiée dans cette partie est celle dans les conditions de Fraunhofer. Il serait possible d'utiliser une autre source lumineuse que le laser pour mesurer l'interfrange, comme une lampe QI avec un filtre interférentiel par exemple, afin de montrer son évolution en changeant la longueur d'onde.

La mesure réalisée n'a pas permis de retrouver la largeur de la fente. Cependant, il sera valorisé d'avoir cherché l'origine du problème pendant quelques minutes avant d'être passé à la partie suivante.

Lorsque vous réalisez une régression linéaire sur une courbe, il faut bien expliquer quels sont les paramètres en abscisse et en ordonnée. On peut également représenter schématiquement l'allure de la courbe attendue au tableau pour aider à la compréhension.

2 De Fresnel à Fraunhofer (5 min)

Le passage de la diffraction de Fraunhofer à la diffraction de Fresnel a bien été illustré expérimentalement. Il serait bien d'estimer le nombre de Fresnel pour plusieurs positions de la lentille.

Si la tache de diffraction se translate sur l'écran lorsque l'on déplace la lentille, c'est que le faisceau lumineux ne croise pas la lentille en son centre. L'alignement du montage doit être soigné.

3 Mesure du rayon d'un trou en régime de Fresnel (15 min)

Le principe de la mesure du nombre de zones de Fresnel en fonction de la position de la lentille a bien été décrit, mais le schéma au tableau n'était pas très clair.

La mesure effectuée était en accord avec celles réalisées en préparation. Il faut faire attention à l'estimation des incertitudes qui n'est pas évidente pour cette expérience.

Éviter de dire qu'un ajustement linéaire est bon car le coefficient de corrélation donné par Regressi est proche de 1. Ce n'est pas toujours vrai, et l'interprétation de ce coefficient est assez complexe, mieux vaut ne pas en parler.

4 Fraunhofer - filtrage spatial (6 min)

Le lien entre une diffraction de Fraunhofer et une transformée de Fourier spatiale n'est pas évident, il faut bien l'expliquer, de préférence avec un schéma au tableau.

Il existe deux montages possibles pour réaliser du filtrage spatial : celui avec une lentille (présenté ici), et celui avec deux lentilles (voir *Physique expérimentale* de FLTCLD). Nous vous conseillons d'utiliser le second qui est plus simple à réaliser.

Illustrer les propriétés de la transformée de Fourier, comme par exemple l'invariance par translation de l'objet, et le filtrage spatial est intéressant. Cela peut mener à de belles images, bien qu'il soit difficile de réaliser des mesures quantitatives. Cette partie pourrait être considérée comme une partie facultative à la fin du montage, à ne réaliser que s'il vous reste du temps.

Conclusion (1 min)

L'ouverture sur la diffraction dans d'autres domaines de la physique est cohérente avec ce montage.

Questions posées et éléments de réponses

Est-ce que toutes les annulations successives de la figure de diffraction d'une fente sont séparées de la même distance ?

Toutes les annulations successives sont séparées d'une interfrange, sauf au centre de la figure car la tache centrale est deux fois plus large que les autres.

Comment vérifier rapidement l'alignement horizontal d'un laser ?

On peut par exemple déplacer un trou sur un pied le long de l'axe optique, le laser doit passer par le centre tout le long.

Quelle est la différence entre un régime de diffraction de Fraunhofer exacte et de Fraunhofer approchée ?

Un régime de diffraction de Fraunhofer exacte est obtenu lorsque le nombre de Fresnel F est rigoureusement nul. C'est le cas limite du régime de diffraction de Fraunhofer approchée, qui correspond à $F \ll 1$.

Est-ce que la condition sur le nombre de Fresnel $F \ll 1$ est suffisante pour réaliser le développement limité de la diffraction de Fraunhofer ?

Non, il faut également que la condition $\frac{R^2}{D^2}F \ll 1$ soit vérifiée (voir *Physique expérimentale* de FLTCLD pour plus de détails), avec R le rayon typique de la tache de diffraction sur l'écran et D la distance à l'objet diffractant. En pratique, il suffit de vérifier que $R \ll D$ pour que cette condition soit réalisée.

Quelle approximation peut-on réaliser sur les fronts d'onde émergeant de l'objet diffractant pour la diffraction de Fraunhofer ?

Dans le cas de la diffraction de Fraunhofer, on peut assimiler les fronts d'onde sphériques à des fronts d'onde plans.

Conseils et compléments

Les expériences présentées lors de ce montage sont conformes à ce qui est attendu. D'autres expériences sont cependant possibles, comme la mesure quantitative de la limite de résolution par exemple, qui est une conséquence directe de la diffraction.

Pour chaque expérience, il faut bien préciser si vous êtes en régime de diffraction de Fraunhofer ou de Fresnel, et le justifier en estimant le nombre de Fresnel.

Toutes les expériences ont été réalisées avec un laser, le jury pourrait vous demander de justifier ce choix. Il est possible d'utiliser différentes sources lumineuses (avec différentes longueurs d'onde) dans ce montage, comme par exemple une lampe QI avec un filtre interférentiel pour les mesures en régime de Fraunhofer.

J'en profite pour vous rappeler l'importance de lire les rapports du jury³ pour être au courant des attentes du jury, lors de l'épreuve de montage notamment.

Nous restons à votre disposition par mail si vous avez d'autres questions.

3. sur le site www.agregation-physique.org