Table des matières

Leçon 1

Diffraction sur des structures périodiques

Bibliographie de la leçon :			
Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Physique du solide	Ashcroft et Mermin	EDP Sciences	
Tout-en-un MP	M.-N. Sanz	Dunod (2009)	
Optique Physique	R. Taillet	de boeck (2006)	
Optique Physique et électronique	D. Mauras	PUF (2011)	
`http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/reseauphase.html`	Simulation réseau	Université du Mans	
`https://www.lkb.upmc.fr/cqed/wp-content/uploads/sites/14/2020/09/optique_TD_diffraction_1.pdf`	C. Sayrin		

Commentaires des années précédentes :

- **2017 :** Il faut traiter de diffraction par des structures périodiques et pas seulement d'interférences à N ondes,
- **2015 :** Il est important de bien mettre en évidence les différentes longueurs

caractéristiques en jeu,

— **2014-2012 :** Cette leçon donne souvent l'occasion de présenter les travaux de Bragg ; malheureusement, les ordres de grandeur dans différents domaines ne sont pas toujours maîtrisés,

— **2010-2009 :** La notion de facteur de forme peut être introduite sur un exemple simple. L'influence du nombre d'éléments diffractants doit être discutée.

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : Licence
Prérequis :

— Principe de retour inverse de la lumière, théorème de Malus

— Diffraction de Fraunhofer, diffraction par une fente rectangulaire

— notion de cohérence spatiale et temporelle

Déroulé détaillé de la leçon :
La diffraction, en particulier dans les conditions de Fraunhofer, permet de faire le lien entre les caractéristiques de l'objet diffractant et la figure de diffraction résultante. On va dans cette leçon s'intéresser aux propriétés d'objet diffractant possédant des structures périodiques et montrer en particulier deux choses : 1) si on connait les caractéristiques de l'objet diffractant, on peut connaitre les caractéristiques de la source, 2) on peut utiliser la figure de diffraction pour remonter à la structure interne de l'objet diffractant. On verra quelles limitations on obtient dans ces deux visions.

L'objet périodique par excellence est le réseau.

I Diffraction par un réseau

Voir D. Mauras p194.

I.1 Définition

Il en existe de différents types (amplitude par transmission, phase par transmission, amplitude par réflexion (voir la dernière partie) et phase par réflexion). On va s'intéresser pour l'instant aux réseaux d'amplitude par transmission. Faire un dessin en définissant le pas du réseau.

I.2 Formule fondamentale du réseau

On va considérer ici un montage de type Fraunhofer (source à l'infini, observation à l'infini) : faire le dessin (voir D. Mauras p195) en forçant le trait sur le réseau pour faire apparaitre l'angle θ_0. Les ondes diffractées par les fentes donnent lieu à des interférences non localisées. On les observe à l'infini dans la direction θ, réalité dans le plan focal de la lentille (L_2) au point M(x). Le principe de retour inverse (source fictive en M) et le théorème de Malus nous permet de montrer que pour avoir interférences constructives au point d'observation M :

$$\sin(\theta_p) - \sin(\theta_0) = \frac{p\lambda_0}{na} \tag{1.1}$$

qui est la formule fondamentale des réseaux. Remarque : pour un réseau blazé (cf `http://olivier.sigwarth.free.fr/CoursTS2/Ch5/Chap5.pdf`), on remplace $\sin(\theta_p)$ par $\sin(\theta_p + \alpha)$. p est l'ordre d'interférence :

— $p = 0$: la lumière se propage en ligne droite selon les lois de l'optique géométrique,

— l'ordre d'interférence est borné car $-1 \leq sin(\theta_p) \leq 1 \rightarrow |p| \leq \frac{a}{\lambda}$ donc plus a est grand, plus on peut avoir des ordres d'interférences élevés. Plus la longueur d'onde est faible, plus il y a d'ordres d'interférences. Ex : pour un réseau à 500 traits/mm, si $\lambda = 550$ nm, p=-3, -2, -1, 0, 1, 2 ,3 (7 ordres d'interférences).

Utilisation en lumière polychromatique : comme θ_p dépend de λ, le réseau est donc un disperseur de la lumière. D'autre part :

$$d\theta_p \cos(\theta_p) = p\frac{d\lambda}{a}$$
$$\frac{d\theta_p}{d\lambda} = \frac{p\lambda}{a\sqrt{1-(sin(\theta_0)+p\frac{\lambda}{a})^2}}$$

On commente :

1. Pour un ordre donné, la dispersion augmente avec la longueur d'onde contrairement au prisme,
2. la dispersion augmente avec l'ordre d'interférence,

On va voir visuellement tout ça à l'aide de l'expérience ci-après.

I.3 Mesure des raies spectrales de la lampe à vapeur de mercure

On va ici faire une application de l'utilisation des réseaux.
Matériel :

- un réseau (prendre celui où on peut changer le pas du réseau ENSP 3637), choisir le 3000 traits/mm,
- lampe à vapeur de mercure + condenseur de 8cm,
- une lentille convergente de 15-20cm de focale + une autre de focale 10cm,
- une fente réglable,
- un écran blanc avec une feuille blanche et du scotch
- un miroir, une règle de 1m (ou un mètre).

Expérience quantitative : On dispose d'une source à vapeur de mercure. On fait passer la lumière par une fente source de largeur réglable. On met une lentille de focale 15-20cm pour faire une image sur un écran éloigné. On intercale un réseau entre les deux. On oriente le réseau pour obtenir le minimum de déviation. On mesure l'angle $\tan D_{p,min} = \frac{d_{ecran}}{L_{ecran-reseau}}$. On en déduit λ (avec incertitudes) la formule des réseaux à l'angle de déviation minimum.

Mettre sur slide l'angle de déviation minimum :

$$\begin{aligned} D_p &= \theta_p - \theta_0 \\ \sin\theta_p &= \sin(\theta_0) + p\frac{\lambda}{a} \\ \frac{dD_p}{d\theta_0} &= \frac{\cos(\theta_0)}{\cos(\theta_p)} - 1 = 0 \rightarrow \cos(\theta_p) = \cos(\theta_0) \end{aligned}$$

Dériver D_p une seconde fois par rapport à θ_0 pour montrer que c'est un angle de déviation minimum. En prenant $\theta_{p,min} = -\theta_{0,min}$, le rayon émergeant est symétrique du rayon incident par rapport au plan du réseau et l'angle de déviation vaut :

$$2\sin\left(\frac{D_{p,min}}{2}\right) = p\frac{\lambda}{a} \tag{1.2}$$

Transition : Ce qu'on a vu pour l'instant c'est qu'on peut analyser le spectre d'émission d'une source polychromatique à partir des ordres d'interférences. Pour l'instant on a considéré une interférence entre deux ondes du réseau. On va voir ci-après ce qui se passe lorsqu'on a interférences avec toutes les fentes. On va voir que cela fait intervenir deux nouvelles notions : le facteur de forme et le facteur de structure.

II Facteur de structure et facteur de forme d'un réseau

Voir Polycopié Diffration (1) exo 2 qu3 de Clément Sayrin.

II.1 Interférences à N ondes

Voir Dunod p 757-759. Faire le calcul pour les interférences à N ondes, parler du contrase, de la finesse, etc... Montrer que l'intensité résultante donne le facteur de structure qui est la transformée de Fourier de la structure du réseau. Cela donne des informations sur les symétries du réseau !

Transition : et si on prend des fentes larges ?

II.2 Facteur de forme

Voir Taillet p141. L'intensité est modulée par un terme provenant de la forme elle-même de la structure diffractante. C'est le facteur de forme qui dépend donc de la nature de l'objet diffractant : cela renseigne sur la nature interne de l'objet !

III Application : diffraction des solides cristallins

Voir Kittel Chapitre 2.

III.1 Conditions de diffraction de Bragg

La condition des interférences contructives entre deux plans réticulaires séparés par la distance d s'écrit :

$$2d \sin\theta = n\lambda \tag{1.3}$$

Remarque : pour qu'il y ait diffraction, on doit avoir $2d \sim 5\text{Å} \leq \lambda$ ce qui montre qu'on ne peut pas utiliser la lumière pour résoudre la structure cristalline.

Dire que le facteur de structure dépend de la densité électronique autour des atomes et donc qu'il sonde la nature des atomes à l'intérieur du cristal et que le facteur de forme va être modifié suivant la maille du cristal.

Conclusion

Ouverture sur la diffraction des rayons X. Méthode de Laue. Tâches de diffraction des papillons `https://planet-vie.ens.fr/thematiques/cellules-et-molecules/biophysique/la-coloration-des-ailes-de-morpho-menelaus` ?