

## SP2 Devoir surveillé n°2 du 09/12/2016 Durée : 2h

### Exercice 1 : Diffraction par un cheveu

On éclaire un cheveu étiré de diamètre  $D= 43 \mu\text{m}$  à l'aide d'un faisceau laser, et on observe la figure de diffraction obtenue.

- 1) Justifier que la figure de diffraction sera la même que celle produite par une fente de largeur  $D$ , sauf au centre.
- 2) Dans quelle direction, par rapport à celle d'étirement du cheveu, s'étalera la figure de diffraction ?
- 3) Décrire l'allure de la figure de diffraction (on pourra faire un dessin).
- 4) Comment sera transformée la figure de diffraction si on remplace le cheveu par un cheveu plus fin ?

### Exercice 2 : Critère de Rayleigh

L'œil est assimilé à une lentille convergente parfaitement stigmatique au sens de l'optique géométrique, de distance focale  $f$ , diaphragmée par l'iris de diamètre  $d$ , derrière laquelle se trouve la rétine. Les phares d'une voiture sont assimilés à des sources lumineuses ponctuelles distantes de  $a$ . Une moto possède un seul phare.

- 1) Les phares d'une voiture constituent-ils deux sources de lumière cohérentes entre elles ?
- 2) Décrire l'image de diffraction qui se forme sur la rétine lorsqu'il y a un seul phare. Décrire trois situations possibles lorsqu'il y a deux phares.
- 3) Quelle est la distance maximale  $L$  à laquelle un humain peut distinguer une moto d'une voiture par une nuit sans lune ? On rappelle que le critère de Rayleigh fixe une séparation angulaire minimale de  $1,22\lambda/d$  pour séparer deux points lumineux. On raisonnera sur une seule longueur d'onde, celle à laquelle l'œil est le plus sensible.
- 4) Calculer  $L$  pour  $f=15\text{mm}$ ,  $a=1,5 \text{ m}$ ,  $\lambda=0,55 \mu\text{m}$  et  $d=4 \text{ mm}$ . Commenter la valeur trouvée.

### Exercice 3 : Spectroscopie à réseau

On réalise le spectre d'une lampe à mercure-cadmium sur un capteur CCD linéaire à l'aide d'un spectroscopie. Ce dernier est constitué d'une fente d'entrée, d'une lentille  $L_1$  de focale  $f_1 = 200 \text{ mm}$  qui permet d'éclairer un réseau par un faisceau parallèle en incidence normale, du réseau par transmission, et d'une lentille  $L_2$  de projection de focale  $f_2 = 300 \text{ mm}$ .

Le réseau contient 100 traits par mm et travaille à l'ordre 2. Sa largeur est de 2 cm.

- 1) Comment faut-il placer  $L_1$  par rapport à la fente d'entrée ? Quelle méthode pratique permet de le faire ?
- 2) Où faut-il placer le capteur CCD par rapport à  $L_2$  ?
- 3) Représenter deux fentes successives du réseau, avec le pas  $a$  du réseau, les rayons incidents d'incidence  $i$  et les rayons diffractés dans la direction  $i'$ . On représentera aussi ces angles.
- 4) Toujours sur le schéma, représenter la différence de marche entre deux rayons consécutifs diffractés dans la direction  $i'$ .
- 5) Exprimer cette différence de marche en fonction de  $a$ ,  $i$  et  $i'$ .
- 6) En déduire que pour une longueur d'onde  $\lambda$ , il y aura des interférences constructives dans les directions  $i'$  telles que  $a(\sin(i')-\sin(i))=p\lambda$  avec  $p$  entier.
- 7) Déterminer la valeur de  $i'$  obtenue avec le spectroscopie pour les deux longueurs d'onde extrêmes du spectre de la lampe à mercure-cadmium : 436 nm et 644 nm.
- 8) Exprimer la position de chacune de ces deux raies par rapport au foyer image de  $L_2$  en fonction de  $f_2$  et de l'angle  $i'$  correspondant. En déduire la distance en mm entre les deux raies sur le capteur CCD.
- 9) Sachant que le capteur contient 1024 pixels de  $14 \mu\text{m}$ , le spectre peut-il s'afficher entièrement sur le capteur ?
- 10) On cherche à savoir si ce spectromètre permet de séparer le doublet jaune du mercure. Il faut d'abord vérifier que le réseau le permet. Déterminer le plus petit écart en longueur d'onde

séparable par le réseau autour du doublet jaune du mercure ( $\lambda \approx 578$  nm). Les deux longueurs d'onde du doublet sont  $\lambda_1 = 577$  nm et  $\lambda_2 = 579$  nm : leur écart est-il résolu par le réseau ?

- 11) La largeur de la fente d'entrée est de 0,1 mm. Le grandissement par l'ensemble des deux lentilles est  $f_2/f_1$ . En déduire la largeur d'une raie monochromatique sur le capteur CCD.
- 12) Pour savoir si le spectroscopie peut résoudre le doublet du mercure, il faut comparer cette largeur à l'écart entre les deux longueurs d'onde du doublet sur le capteur : déterminer  $i'$  pour chacune des longueurs d'onde du doublet et en déduire la distance en mm entre les deux raies.
- 13) Conclure sur la résolution de ce doublet par le spectroscopie en comparant les résultats des questions 11) et 12).

**Exercice 4 :** Un corps de jumelle est constitué de 9 lentilles taillées dans un verre d'indice  $n_V = 1,52$  (crown).

- 1) Calculer le coefficient de transmission d'un corps de jumelle, en supposant que seules les lentilles influent sur la transmission. Comment l'image va-t-elle être affectée par ce résultat ?

Afin d'améliorer le coefficient de transmission de la lunette, chaque dioptré des lentilles composant la lunette a été traité antireflet par le dépôt d'une couche mince de cryolithe. On recherche ici l'indice optimum du matériau antireflet à utiliser et l'épaisseur du dépôt à effectuer.

2) Rappeler brièvement, en vous aidant éventuellement d'un schéma, le principe physique du traitement antireflet.

3) Quel devrait être l'indice théorique du matériau idéal à déposer ? (aucune démonstration n'est demandée).

En réalité, d'autres contraintes sont à prendre en compte, notamment des propriétés permettant une bonne adhérence lors du dépôt. L'indice  $n_C$  de la cryolithe utilisée vaut 1,35.

4) Établir l'expression  $e = (2m + 1) \frac{\lambda}{4n_C}$ , où  $m$  est un entier, de l'épaisseur de cryolithe à déposer ainsi que son épaisseur minimale pour des radiations de  $\lambda = 560$  nm.

5) Expliquer l'origine des reflets « bleu-violet » observés sur les objectifs de la paire de jumelles.

### Ressources scientifiques

Pouvoir séparateur d'un réseau :  $\lambda/\Delta\lambda = pN$ , où  $p$  est l'ordre de diffraction et  $N$  le nombre total de traits.

Coefficient de réflexion en amplitude d'un dioptré  $n_1 \rightarrow n_2$  :  $r = (n_1 - n_2)/(n_1 + n_2)$

Coefficient de réflexion en intensité d'un dioptré :  $R = r^2$

Relation entre le coefficient en réflexion d'un dioptré et son coefficient de transmission  $T$  :  $R + T = 1$