

On étudiera soigneusement la présentation du goniomètre ainsi que les questions de la partie II.1 avant la séance.

Objectifs :

Utiliser un goniomètre pour mesurer précisément les déviations d'un réseau de diffraction (formé de fentes très fines équidistantes et parallèles) et en déduire les raies d'une lampe à décharge.

Matériel :

- goniomètre, réseau marqué « 140 traits par mm » (ou « 530 traits par mm »)
- lampes à décharge à vapeur de sodium et mercure/cadmium.
- spectromètre à fibre

Capacités mises en œuvre :

- ☐ Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique
- ☐ Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau

Le réglage de la lunette autocollimatrice sur « l'infini » est nécessaire au réglage du collimateur, et des autres instruments utilisés lors de prochains travaux pratiques. Il doit donc être réalisé avec soin.

On allumera les lampes à décharge au début de la première séance et on ne les éteindra qu'à la fin de la deuxième séance.

On illustrera chaque manipulation par un schéma représentant la source lumineuse (primaire ou secondaire), la construction de son image à l'aide d'au moins deux rayons non parallèles hors de l'axe et l'enveloppe du faisceau pouvant traverser le système optique.

I Utilisation d'un goniomètre

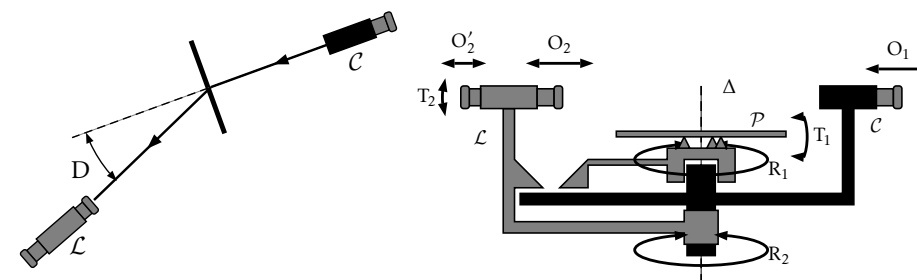
I.1 Principe

Un goniomètre est un appareil permettant de mesurer des angles avec une grande précision, de l'ordre de la minute d'angle. Le principe en est représenté sur la figure 1a.

- Une fente fine, éclairée par une lampe à décharge illumine un collimateur \mathcal{C} ,
- celui-ci produit un faisceau collimaté qui rencontre un objet placé sur le plateau \mathcal{P} ,
- l'objet dévie le faisceau d'un angle D ,
- une lunette autocollimatrice \mathcal{L} pouvant tourner autour de l'objet permet de pointer la direction dans laquelle a été dévié le faisceau.

L'objet à étudier est placé sur le plateau \mathcal{P} . Les parties mobiles sont représentées sur le schéma de la figure 1b en gris :

- le plateau et le support de la lunette peuvent tourner indépendamment autour d'un axe de rotation Δ (R_1 et R_2)
- le plateau et la lunette peuvent être inclinés par rapport à l'axe Δ (T_1 et T_2),
- on peut enfin régler les objectifs du collimateur (O_1) et de la lunette (O_2) et l'oculaire de la lunette O'_2 .



(a) Déviation du faisceau du collimateur par le réseau. Vue de dessus.

(b) Constitution d'un goniomètre. Coupe dans un plan vertical.

FIG. 1 : Utilisation d'un goniomètre.

I.2 Réglages

I.2.a Réglages optiques

On utilise tout d'abord la lampe à vapeur de sodium (lumière jaune), dont on utilisera la raie jaune, quasi-monochromatique, formée d'un doublet de raies à 589,00 nm et 589,59 nm.

On se référera au TP précédent pour le principe et le réglage de la lunette autocollimatrice et du collimateur intégrés au goniomètre. On rappelle qu'il faut à chaque séance la régler « sur l'infini », ie faire coïncider le plan focal image de l'objectif avec le plan réticulaire. Ensuite, chaque manipulateur réglera l'oculaire de la lunette à sa vue de manière à voir net le réticule sans accommoder.

On travaille dans un premier temps sans rien poser sur le plateau du goniomètre.

L'objet du collimateur est une fente de largeur réglable éclairée par une lampe à décharge.

Manipulations :

Lunette Régler l'objectif de la lunette \mathcal{L} par autocollimation sur un miroir tenu à la main devant la lunette.

Collimateur Observer directement l'image de la fente à travers le collimateur \mathcal{C} et la lunette. Régler l'objectif du collimateur de manière à voir nettement simultanément l'image de la fente et le réticule. On commencera par une fente large dont on réduira ensuite la largeur. Vérifier que l'image de la fente est bien verticale.

I.2.b Réglages géométriques

La déviation par le réseau est étudiée dans la géométrie la plus simple, possédant les plus grandes symétries, ie quand les fentes du réseau restent parallèles à l'axe de rotation du plan du réseau. Il faut pour cela :

- que l'axe de rotation Δ du dispositif soit toujours contenu dans le plan du réseau (on dira abusivement¹ que le réseau est « vertical »)
- que les fentes du réseau soient elles-aussi parallèles à Δ (on dira abusivement que le réseau est « horizontal » ou que les fentes sont « verticales »)

¹Rien n'impose en effet que l'axe Δ soit vertical.

Ces conditions peuvent être remplies en réglant l'inclinaison du plateau \mathcal{P} et celle de la lunette.

- Les supports de la lunette et du plateau comportent une vis de blocage et une vis de réglage fin. La position angulaire de la lunette est repérée sur un cercle muni d'un vernier permettant la mesure à une minute d'angle près.
- L'inclinaison du plan du plateau est réglée par trois vis calantes verticales.

Une fois réalisés ces réglages, on n'effectuera plus que des rotations du plateau, sans déplacer le réseau sur le plateau.

On commencera par régler approximativement :

- le plateau en plaçant toutes les vis calantes à mi-course et en vérifiant visuellement par rotation son orthogonalité à Δ ,
- la lunette en vérifiant visuellement son orthogonalité à Δ .

Axe optique de la lunette et « verticalité » du réseau On procède par autocollimation en utilisant la réflexion sur lame disposée sur le plateau.

Manipulations :

- régler approximativement l'horizontalité de la lunette (T_2) de sorte que le fil horizontal du réticule soit à mi-hauteur de l'image de la fente.
- placer le réseau de manière à avoir deux des vis calantes (on les notera V_1 et V_3) alignées parallèlement au réseau,
- régler l'inclinaison de la lunette et celle du plateau (à l'aide de la troisième vis calante V_2) pour aligner le fil horizontal du réticule et son image réfléchi : on effectuera « la moitié du chemin » avec la lunette et l'autre avec la vis (figure 2a),
- recommencer la procédure en plaçant la lunette en position diamétralement opposée. (figure 2b),
- recommencer éventuellement la procédure si l'alignement n'est pas parfait sur les deux positions diamétralement opposées.

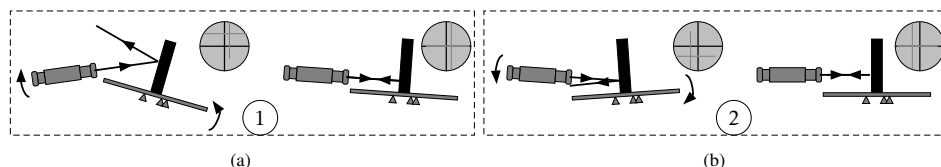


FIG. 2 : Réglage géométrique d'un goniomètre.

À l'issue de ces manipulations, l'axe de la lunette et la « verticalité » du réseau sont correctement réglés.

« Horizontalité » du réseau On règle finalement le plateau pour que fentes soient elles-aussi parallèles à Δ . Comme le réseau diffracte dans un plan perpendiculaire à la direction des fentes, il suffit de s'assurer que la figure de diffraction se répartit dans le plan orthogonal à Δ . Pour cela,

Manipulations :

- masquer une partie de la fente source pour qu'elle soit peu étendue verticalement,
- repérer à la lunette un ordre non nul de diffraction (voir la section II),
- observer son mouvement dans le champ de la lunette quand on fait tourner le plateau ou la lunette,
- corriger avec les vis calantes V_1 et V_3 jusqu'à ce que la figure ne se déplace plus dans un plan orthogonal à Δ , sans monter ou descendre.

II Diffraction par un réseau plan

II.1 Présentation

Un réseau plan est constitué d'un matériau opaque dans lequel ont été percées des fentes fines parallèles et équidistantes tracées dans un même plan. Elles constituent les *traits* du réseau, et on nomme *pas du réseau* la distance a séparant deux fentes voisines.

On donne ici une présentation succincte de ses propriétés, qui seront étudiées en deuxième année. L'ensemble des fentes diffracte la lumière faisceau incident parallèle dans toutes les directions. Dans le cas d'un rayonnement monochromatique de longueur d'onde λ , il y a interférence constructive pour certaines directions de propagation de la lumière diffusée et destructiveⁱⁱ dans toutes les autres directions : un faisceau parallèle monochromatique donne donc naissance à un ensemble discret de faisceaux parallèles monochromatiques. Si le rayonnement n'est pas monochromatique, chaque longueur d'onde donne une image différente et la lumière est décomposée en ses différentes composantes comme elle le serait par un prismeⁱⁱⁱ : on réalise ainsi le « spectre » du rayonnement incident.

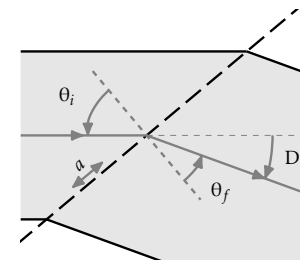
On peut facilement observer ce phénomène en regardant la nuit une lampe à lumière blanche à travers un voileage, ou la réflexion d'une ampoule par un écran éteint de téléphone portable. Dans les deux cas, la périodicité^{iv} du tissage ou du réseau de LED joue le rôle des fentes du modèle précédent.

Plus précisément, en notant θ_i l'angle d'incidence, les directions d'émergence θ_f dans lesquelles est émise la lumière sont nommées *ordres du réseau*, chacun caractérisé par $p \in \mathbb{Z}$ vérifiant la relation du réseau :

$$\sin \theta_f = \sin \theta_i + p \frac{\lambda}{a}. \quad (1)$$

On peut montrer que la déviation du faisceau incident ($D = \theta_f - \theta_i$) passe, quand on fait varier l'angle d'incidence θ_i , par un minimum noté D_m et vérifiant :

$$2 \sin \frac{D_m}{2} = p \frac{\lambda}{a}. \quad (2)$$



ⁱⁱ Elle n'est totalement destructive que dans le cas d'un nombre infini de fentes.

ⁱⁱⁱ Une différence notable est que, contrairement au cas du prisme, le rouge est plus dévié que le bleu par un réseau.

^{iv} Contrairement au réseau de fentes, la structure de l'image diffractée est ici bidimensionnelle car le réseau est lui aussi bidimensionnel.

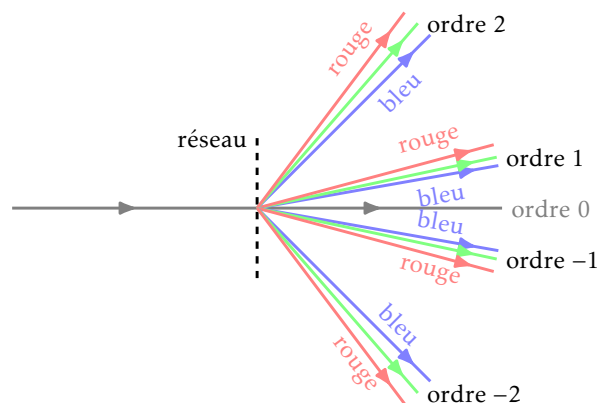
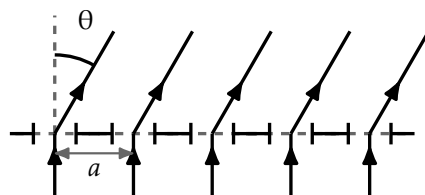


Fig. 3 : Décomposition du spectre d'un rayonnement par un réseau.

Questions :

1.

Établir la relation 1 en écrivant les conditions d'interférences constructives à l'infini entre des rayons différents rayons émergent des différentes fentes avec le même angle θ_f , d'abord pour $\theta_i = 0$. Justifier brièvement l'extension au cas où $\theta \neq 0$.



2. Établir la relation 2. Pour cela :

(a) Exprimer $\frac{dD}{d\theta_i}$ en fonction de $\frac{d\theta_f}{d\theta_i}$. Que vaut $\frac{dD}{d\theta_i}$ pour la valeur de θ_i réalisant la déviation minimale ? En

déduire $\frac{d\theta_f}{d\theta_i}$ au minimum de déviation.

(b) Dériver la relation 1 et en déduire la relation entre θ_f et θ_i au minimum de déviation (faire un schéma pour l'illustrer) puis l'expression de D_m correspondante. Conclure.

II.2 Raies d'un réseau

On effectuera d'abord chaque observation à l'œil nu, avant d'effectuer les mesures précises avec la lunette.

On réduira la largeur de la fente pour avoir des raies aussi fines que possible.

Pour chaque rotation (plateau du goniomètre et lunette) on commencera par tourner à la main pour déterminer grossièrement la position recherchée avant de bloquer la rotation libre et d'affiner le réglage par la vis de réglage

fin.

Manipulations (Étalonnage du réseau) :

- Mesurer au spectromètre à fibre sur la paillasse centrale la longueur d'onde du rayonnement de la lampe à vapeur de sodium
- Placer le réseau (140 ou 530 traits par mm) sur le plateau du goniomètre, approximativement orthogonal à l'axe optique du collimateur. Observer les raies correspondant aux différents ordres de diffraction en tournant autour du goniomètre.
- Faire tourner le plateau du goniomètre et observer les minimum de déviation des ordres de diffraction $p = 2$ et $p = -2$. Vérifier approximativement qu'ils sont bien symétriques par rapport à l'axe optique du collimateur. Noter les positions angulaires^v de la lunette correspondantes, θ_2 et θ_{-2} .

Exploitation :

Déduire des valeurs de θ_1 et θ_{-1} l'angle D_m , puis le pas a du réseau. Comparer à l'indication du nombre de traits par mm de la monture.

Manipulations (Raies de la lampe mercure/cadmium ☹) :

- Remplacer la lampe au sodium par la lampe mercure/cadmium (lumière bleutée).
- Repérer comme précédemment les minimum de déviation des différentes raies des ordres 1 et -1.

Exploitation :

Déduire des déviations minimales mesurées et de la valeur de a précédente les longueurs d'onde du rayonnement émis par la lampe.

Questions :

Pourquoi a-t-on besoin d'un collimateur et d'une lunette réglée sur l'infini ?

^v Attention, ces positions correspondent aux graduations du goniomètre et sont différentes des angles d'émergence θ_f et de la déviation D .