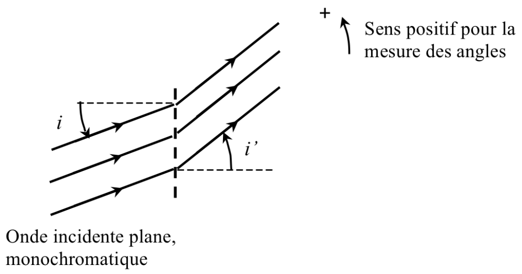
Cette séance sera mise à profit pour réviser deux thèmes d'optiques : les réseaux de diffration et la focométrie des lentilles minces convergentes.

A) Étude d'un réseau - Spectroscope à réseau

On rappelle qu'un réseau de pas a éclairé en incidence oblique (angle i, *mesuré par rapport à la normale* au plan du réseau) par une onde monochromatique de longueur d'onde λ issu d'une source ponctuelle à l'infini ou dans le plan focal objet d'une lentille mince convergente ne produit une intensité non négligeable que dans des directions faisant un angle $i' = f(i, p, \lambda)$ (mesuré par rapport à la normale) qui dépend de i, d'un entier p (appelé ordre d'interférence) et de λ, tel que :



$$\boxed{\sin i' - \sin i = p\,\frac{\lambda}{a}, \qquad p \in \mathbb{Z} \qquad (1)}$$

De plus, un réseau est caractérisé par son nombre de *traits par millimètre*, noté n. Par exemple, dans le cas d'un réseau constitué de N trous d'Young espacés de a, il s'agit du nombre de trous par millimètre du réseau. Cela permet d'en déduire a.

1 Réglage et détermination du pas du réseau

- Effectuer le réglage des différents éléments du spectroscope (lunette, collimateur). Lorsque la lunette est dans le prolongement exact du collimateur, son angle est θ_0. Mesurer cet angle.
- Positionner un réseau n traits / mm sur la plateforme du goniomètre et visualiser le spectre de la lampe au mercure Hg. Comment identifier l'ordre $p = 0$? Les ordres $p = +1$ et $p = -1$? Observer les ordres $p = 2$ et $p = -2$.

  Pour un angle d'incidence i, on appelle déviation de la raie de longueur d'onde λ dans l'ordre p la grandeur :

  $$\boxed{D = i'(i, p, \lambda) - i}$$

  Il s'agit bien sûr d'une fonction de i, p et de λ. Pour p et λ fixés on souhaite étudier l'évolution de D lorsque i varie.

- Choisir la raie verte intense du mercure ($\lambda = 546{,}1$ nm) dans le spectre d'ordre $p = 1$ et observer le mouvement de cette raie lorsqu'on fait tourner la plateforme sur laquelle est posé le réseau. Constater l'existence d'une valeur particulière i_m de l'angle d'incidence i pour lequel la déviation D de cette raie est minimale.

  Démontrer que la valeur D_m de ce minimum vérifie la relation :

  $$\boxed{2\,\sin\left(\frac{D_m}{2}\right) = p\,\frac{\lambda}{a}}$$

- Proposer un protocole permettant de mesurer D_m pour cette raie verte et le faire valider par le professeur.

  Quelle est l'incertitude-type sur D_m ? En déduire le pas a du réseau ainsi que le nombre n de traits par mm et comparer à la valeur donnée par le constructeur. Faire un calcul d'incertitude de a et n par une méthode de Monte-Carlo.

2 Vérification de la loi du réseau

On souhaite maintenant déterminer le pas a du réseau en effectuant une série de mesures plutôt qu'une mesure isolée. On adopte un nouveau protocole pour mesurer a et vérifier en même temps la loi (1) du réseau.

- Ôter le réseau de la platine du goniomètre et éclairer la fente source par une lampe à vapeur de mercure (Hg). Déplacer la lunette pour placer le trait vertical de son réticule exactement dans l'image de la fente source. Bloquer la lunette dans cette position et mesurer l'angle θ_0 qui repère la position de la lunette.
- Retirer temporairement la lampe Hg (sans l'éteindre !) et procéder comme pour l'autocollimation de la lunette mais en utilisant le réseau comme miroir. Comment faire en sorte que le plan du réseau soit exactement orthogonal à l'axe optique de la lunette ? Que vaut l'angle d'incidence i lorsque ce réglage est effectué ?

  On se place dans ce cas pour la suite et on ne touche plus au réseau (le bloquer grâce à sa vis de serrage).
- On éclaire à nouveau le réseau par la lampe Hg. Observer la raie de longueur d'onde $\lambda = 546{,}1$ nm et mesurer sa position angulaire dans les ordres $p \in \{-2, -1, 1, 2\}$. En déduire les valeurs de i' pour chacun de ces ordres.
- Tracer $\sin i'$ en fonction de p. En déduire le pas a du réseau grâce à `np.polyfit`.Déterminer l'incertitude-type sur la pente de la droite $\sin i' = f(p)$ (consulter le doc. de TP). En déduire l'incertitude-type sur a.

3 Utilisation en spectroscope : mesure d'une longueur d'onde inconnue

Remplacer la lampe Hg par la lampe à vapeur de sodium Na et observer son spectre dans l'ordre $p = +1$. Connaissant a, mesurer les longueurs d'onde des deux raies jaunes du sodium. Les comparer aux valeurs tabulées.

Caractéristiques des raies / Atome	Couleur	λ (Å)	Intensité
Na	Rouge	6157	Pâle
	Jaune	5890 – 5896	Doublet intense
	Jaune-Vert	5683 – 5688	Pâle
	Vert	4981	Pâle
Hg	Rouge	6907	Pâle
	Rouge	6234	Pâle
	Rouge	6123	Très pâle
	Rouge	6072	Très pâle
	Jaune	5791	Intense
	Jaune	5770	Intense
	Jaune Vert	5461	Très intense
	Vert	4960	Très pâle
	Vert-Bleu	4916	Pâle
	Bleu-Violet	4358	Intense
	Violet	4078	Très pâle
	Violet	4047	Intense

B) Focométrie des lentilles minces

Données :

Relation de conjugaison de Descartes : $\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f'}$

Grandissement : $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Vous disposez d'une lentille convergente (L) de distance focale image f'.

1. Évaluez f' rapidement par autocollimation. Quelle est l'incertitude-type associée ?

2. Afin d'affiner la mesure de f', on souhaite utiliser la méthode de Bessel. On appelle AB l'objet (perpendiculaire à l'axe optique) et $A'B'$ son image. D'autre part, on note $D = \overline{AA'}$ la distance objet-image sur l'axe optique.

a) Constater que si D est "suffisamment grand" (à préciser plus loin), il existe deux positions de la lentille qui donnent de AB une image nette $A'B'$. Si O_1 et O_2 sont les deux positions du centre optique de (L) et qu'on pose $d = \overline{O_1O_2}$, montrer que :

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

à condition que $D > \alpha f'$ où α est un coefficient numérique à déterminer.

b) Mesurer f' par cette méthode et déterminer l'incertitude-type sur f' en écrivant un script sur ordinateur basé sur la méthode de Monte Carlo.

3. On souhaite maintenant confirmer les mesures précédentes en utilisant le grandissement (méthode de Silbermann).

a) Que vaut D lorsque le grandissement $\gamma = -1$?

b) Définir un protocole expérimental qui utilise cette propriété pour mesurer f'. Conclure.