

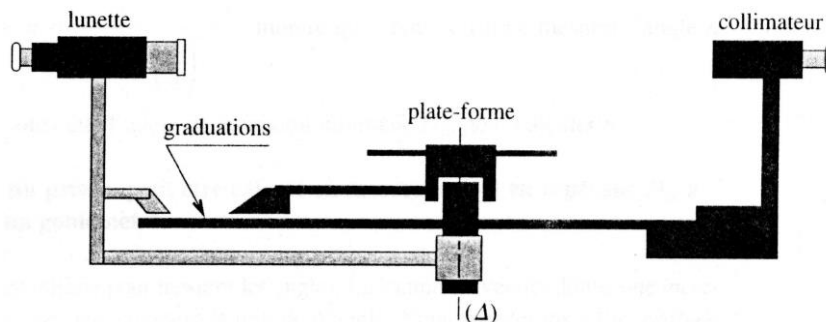
TP O1 : SPECTROSCOPIE A PRISME

Capacités exigibles :

- Mesurer une longueur à l'aide d'un oculaire à vis micrométrique.
- Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.
- Régler et mettre en œuvre une lunette auto-collimatrice et un collimateur.

I) Description du goniomètre :

Un goniomètre est un appareil qui permet de mesurer la déviation d'un faisceau lumineux avec une très grande précision.



Un goniomètre comprend :

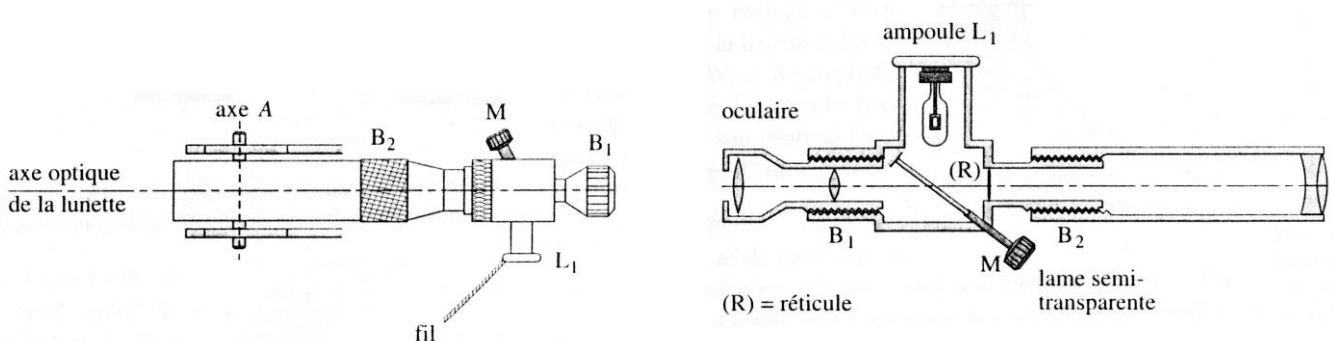
- une lunette : elle comporte un objectif, un oculaire et un réticule (composé de deux fils croisés). Elle s'oriente autour d'un axe vertical (Δ) perpendiculaire à son axe optique. Son orientation est mesurée à l'aide d'un cercle gradué. La lunette permet donc de mesurer la déviation subie par le faisceau lumineux après avoir traversé le prisme.
- un plateau mobile autour de l'axe de rotation (Δ) du goniomètre. Ce plateau supporte le prisme.
- un collimateur : il se compose d'une fente d'ouverture réglable et d'une lentille. On place la fente au foyer de la lentille : on obtient ainsi un faisceau de lumière parallèle à la sortie du collimateur.

Lecture du vernier : l'unité de graduation sur le cercle correspond au demi-degré (de 0° à $359,5^\circ$) ; un vernier au $1/30$ permet de faire une lecture à la minute d'arc près ($0,5^\circ = 30$ minutes d'arc). Pour une lecture plus aisée, vous pourrez éventuellement faire des photographies du vernier, puis zoomer !

II) Réglages du goniomètre :

Pour des raisons de commodité, placer le collimateur vers le fond de la paillasse, et la lunette vers vous (de manière à pouvoir regarder à travers elle sans que vous ayez à monter sur la paillasse !). De plus, pour vous faciliter les calculs, assurez-vous que lorsque l'on fait pivoter la lunette, celle-ci ne passe pas par la graduation zéro du cercle gradué. Placer donc le zéro de la graduation angulaire vers le collimateur.

1) Réglage de la lunette sur l'infini (avec une lunette auto-collimatrice) :



- Brancher le système d'éclairage de la lunette et mettre en place le miroir semi-réfléchissant M (vérifier à l'aide d'une feuille blanche que la lumière sort bien de la lunette).
- Commencer par régler l'oculaire : observer le réticule (2 fils croisés) à travers l'oculaire, et tourner la bague de réglage B_1 jusqu'à ce que l'image du réticule soit nette (dépasser en fait la plage de netteté, et revenir en arrière). Ainsi, l'image du réticule par l'oculaire se forme à l'infini, et l'œil n'a donc pas à accommoder : la fatigue visuelle est minimale.
- Régler l'orientation du réticule (un fil horizontal et un fil vertical) grâce à la bague prévue à cet effet.
- Disposer une face du prisme (on se sert de cette face comme d'une surface réfléchissante) devant l'objectif de la lunette et perpendiculairement à l'axe de celle-ci. Chercher à observer un cercle lumineux (parfois une « tache » lumineuse) dans la lunette. Cette opération n'est pas difficile dans son principe mais elle prend parfois un peu de temps. Il faudra éventuellement utiliser la bague qui permet de régler l'horizontalité de la lunette.
- Régler l'objectif en tournant la bague de réglage B_2 afin que l'image du réticule soit nette dans le même plan que le réticule lui-même. La lunette est alors réglée sur l'infini. En effet, le réticule est dans le plan focal image de l'objectif de la lunette.

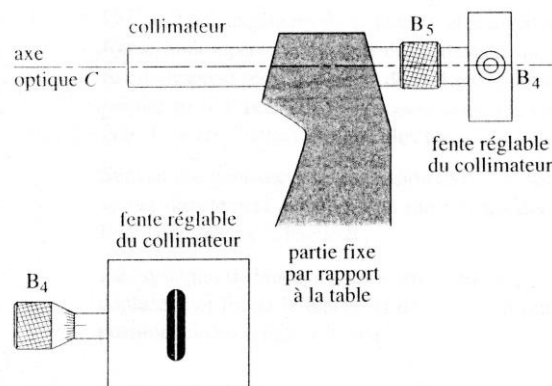
2) Réglage de la lunette sur l'infini (avec une lunette simple) :

On ne réglera pas ici la lunette par cette méthode (mais par auto-collimation), car on travaillera dans le noir (volets fermés !). Je vous décris quand même la méthode à suivre :

- Viser un objet éloigné (si possible à l'extérieur de la pièce) avec la lunette.
- En regardant à travers l'oculaire de la lunette, tourner la bague de réglage B_1 afin que l'image du réticule soit nette.
- Régler l'orientation du réticule (un fil horizontal et un fil vertical) grâce à la bague prévue à cet effet.
- Tourner ensuite la bague de réglage B_2 afin que l'image de l'objet éloigné soit dans le même plan que le réticule. La lunette est alors réglée sur l'infini.

A partir de maintenant, le réglage de la lunette ne doit pas être modifié, sinon il faudra recommencer les réglages depuis le début !

3) Réglage du collimateur :

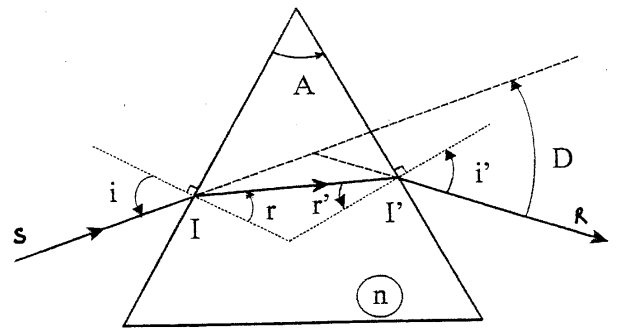


- Enlever le prisme (c'est-à-dire le plateau dont il est solidaire), enlever le miroir semi-réfléchissant, puis aligner la lunette sur l'axe du collimateur.
- Placer la source lumineuse devant la fente du collimateur. En regardant à travers l'oculaire de la lunette, régler le collimateur (bague de réglage B_5) de façon à obtenir une image nette de la fente (image dans le plan du réticule). De plus, le fil vertical du réticule doit être parallèle à la fente d'entrée du collimateur, retoucher si nécessaire l'orientation du réticule avec la bague prévue à cet effet.
- Affiner le réglage avec une ouverture très fine de la fente (bague de réglage B_4).

Le collimateur ainsi réglé donne un faisceau de lumière parallèle.

III) Principe de la spectroscopie à prisme :

On considère un prisme d'indice n . Sa section droite est un triangle d'angle au sommet A . Le prisme est placé dans l'air d'indice égal à 1. Un rayon incident rencontre la face d'entrée au point I sous l'angle d'incidence i et l'émergent associé ressort par l'autre face au point I' sous l'angle i' . La convention de signe pour les angles est trigonométrique.



1) Grâce aux lois de Descartes, donner une relation entre i et r , et une relation entre r' et i' . On suppose que le prisme permet l'existence du rayon émergent et on néglige, dans la suite, toute réflexion.

2) Par des considérations géométriques, trouver une relation simple entre r , r' et A .

3) Etablir la relation : $D = i + i' - A$.

4) En appliquant le principe de retour inverse de la lumière, montrer que, pour une valeur de D possible donnée, il existe deux couples de solutions (i, i') . En déduire l'égalité de i et i' lorsque D passe par un minimum (supposé unique).

5) Déterminer la valeur i_0 de i correspondant au minimum de déviation en fonction de n et de A . En

déduire la relation $n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$, où D_m est la déviation minimale.

Le verre étant un matériau dispersif, l'indice n dépend de la longueur d'onde, et donc D_m aussi.

La détermination expérimentale de A , puis celle de D_m pour des longueurs d'onde connues, permet donc de déterminer l'indice n du prisme pour différentes longueurs d'onde.

Pour tester la validité de la loi de Cauchy $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$ (loi empirique), nous tracerons la courbe $n = f\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$

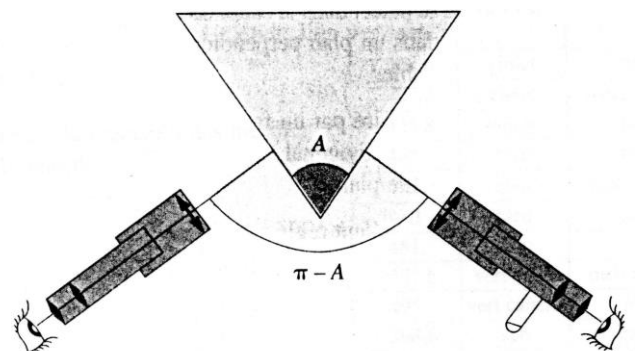
et nous modéliserons par une droite (courbe d'étalonnage).

Il nous restera à mesurer le minimum de déviation D_m pour une longueur d'onde inconnue, à en déduire n et finalement λ grâce à la courbe d'étalonnage.

IV) Mesure de l'angle au sommet A du prisme :

1) Par auto-collimation sur les deux faces du prisme :

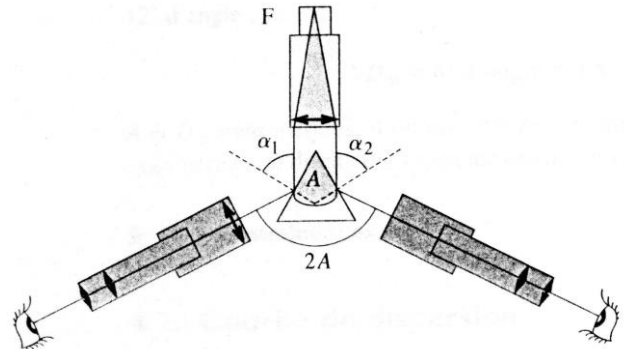
- Mettre en place le miroir semi-réfléchissant.
- Réaliser l'auto-collimation de la lunette sur une des faces du prisme (superposer le réticule et son image). Noter la position angulaire β_1 de la lunette.
- Le prisme restant fixe, tourner la lunette afin de réaliser l'auto-collimation sur la deuxième face du prisme et noter la position angulaire β_2 de la lunette.
- Par des considérations géométriques, montrer que $|\beta_1 - \beta_2| = \pi - A$.
- En déduire A et évaluer l'incertitude.



2) Par double réflexion :

Cette méthode est à employer si le goniomètre ne possède pas de lunette auto-collimatrice (ce qui n'est pas le cas des goniomètres du laboratoire). Réaliser tout de même cette mesure, afin de comparer la précision des deux méthodes.

- Enlever le miroir semi-réfléchissant.
- Eclairer la fente du collimateur avec une lampe spectrale.
- Tourner le prisme de telle sorte que le faisceau sortant du collimateur éclaire les deux faces.
- Déplacer la lunette pour que l'image de la fente (après réflexion du faisceau sur le prisme) soit superposée au réticule.
- Repérer les positions angulaires β_1 et β_2 de la lunette.
- Par des considérations géométriques, montrer que $|\beta_1 - \beta_2| = 2A$.
- En déduire A et évaluer l'incertitude.



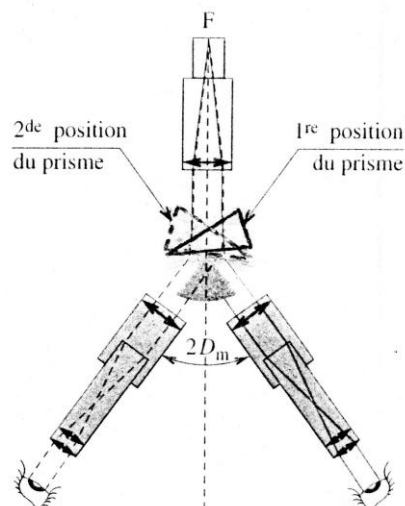
Laquelle des deux méthodes vous semble la plus précise ?

V) Recherche expérimentale du minimum de déviation :

- Placer une lampe spectrale devant la fente du collimateur.
- Placer la lunette à environ 120° du collimateur, et placer le prisme de telle sorte que la bissectrice de l'angle au sommet du prisme coïncide grossièrement avec la bissectrice de l'angle formé par la lunette et le collimateur.
- Ajuster les positions du prisme et de la lunette afin d'observer des raies lumineuses à travers la lunette.
- Tourner lentement le prisme et suivre en même temps le déplacement des raies lumineuses à travers l'oculaire de la lunette.
- Lorsque la raie observée revient en arrière, le minimum de déviation est atteint.
- Pour une meilleure précision, recommencer en réduisant l'ouverture de la fente pour avoir une image la plus fine possible et placer le trait vertical du réticule sur la raie observée. Noter la position angulaire θ_1 de la lunette.

- Méthode directe : enlever le prisme et viser la fente du collimateur. Lire la position angulaire θ_0 correspondant. La déviation minimale vaut alors : $D_m = |\theta_1 - \theta_0|$.
- Méthode de la double déviation : faire tourner la plate-forme de façon à inverser le rôle des faces du prisme. Rechercher à nouveau la valeur minimale de la déviation et lire la position angulaire θ_2 .

$$\text{On a alors } D_m = \frac{|\theta_2 - \theta_1|}{2}.$$



Laquelle des deux méthodes vous semble la plus précise ?

VI) Spectroscopie :

1) Mesures expérimentales de minima de déviation :

Mesurer le minimum de déviation D_m pour différentes longueurs d'onde connues issues de différentes lampes spectrales.

Remarque 1 : Vu le temps dont vous disposez, vous utiliserez la méthode directe, et pas la méthode de la double déviation (qui est deux fois plus précise, mais qui, à une mesure près, est deux fois moins rapide).

Remarque 2 : Vos mesures seront d'autant plus précises que la fente du collimateur sera fine. Mais si la fente est trop fine, les raies les moins intenses ne pourront plus être observées. Il faudra donc élargir plus ou moins la fente du collimateur selon la raie observée.

Remarque 3 : Les différentes raies ne sont pas à leur minimum de déviation pour la même position du prisme. Avant d'effectuer une mesure sur une nouvelle raie, il faudra donc faire tourner légèrement le prisme pour placer la nouvelle raie à son minimum de déviation, puis « pointer » précisément la raie.

Remarque 4 : Chaque binôme ne dispose pas de toutes les lampes spectrales, il faudra « partager » certaines lampes (notamment la lampe à vapeur de cadmium). Il ne faut donc pas que tous les binômes commencent avec les lampes dont nous disposons en plus grand nombre !

Données : longueurs d'onde des raies les plus intenses pour une lampe à vapeur de :

mercure :

couleur	violet	violet (moins intense)	indigo	bleu turquoise	vert	jaune	jaune
λ (en nm)	404,6	407,8	435,8	491,6	546,1	577,0	579,1

sodium :

couleur	bleu turquoise	vert	vert-jaune	doublet jaune	rouge
λ (en nm)	498,1	512,2	568,6	589,0 - 589,6	615,7

cadmium :

couleur	bleu	bleu turquoise	vert	rouge
λ (en nm)	467,8	480,0	508,6	643,8

2) Mesure de l'indice du prisme – étalonnage : courbe de Cauchy :

La détermination expérimentale de A , puis celle de D_m pour des longueurs d'onde connues, permet de déterminer l'indice n du prisme pour différentes longueurs d'onde. En effet, on rappelle que :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Pour tester la validité de la loi de Cauchy $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$ (loi empirique), tracer la courbe $n = f\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$ et modéliser par une droite (courbe d'étalonnage). Donner l'équation de la droite.

3) Mesure d'une longueur d'onde grâce la courbe de Cauchy :

Mesurer le minimum de déviation D_m pour une longueur d'onde qui n'a pas servi à tracer la courbe d'étalonnage (préciser dans le compte-rendu quelle raie vous avez choisie !). En déduire l'indice du prisme n pour cette longueur d'onde, et en déduire finalement la longueur d'onde λ de la raie visée grâce à l'équation de la droite d'étalonnage. Comparer la valeur expérimentale à la valeur tabulée.