TP d'optique n°1

Spectrométrie à prisme et mesure d'indice

Le goniomètre sert à mesurer des angles. La spectrométrie réalise l'analyse de lumière polychromatique sous forme de raies spectrales associées à diverses longueurs d'onde.
Le système dispersif peut être un prisme ou un réseau.

Nous allons utiliser le goniomètre pour :

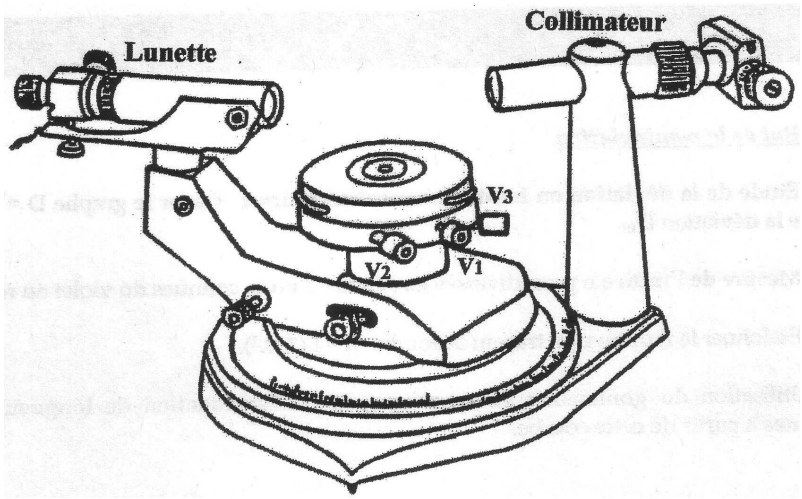
- ☛ mesurer avec précision l'angle d'un prisme et l'indice de réfraction de celui-ci pour une couleur donnée en mesurant l'angle de déviation minimale du prisme de cette couleur ;
- ☛ réaliser une courbe d'étalonnage à l'aide d'une source dont les longueurs d'onde sont connues puis en déduire la longueur d'onde, supposée inconnue, de la raie double du Sodium.

Attention !

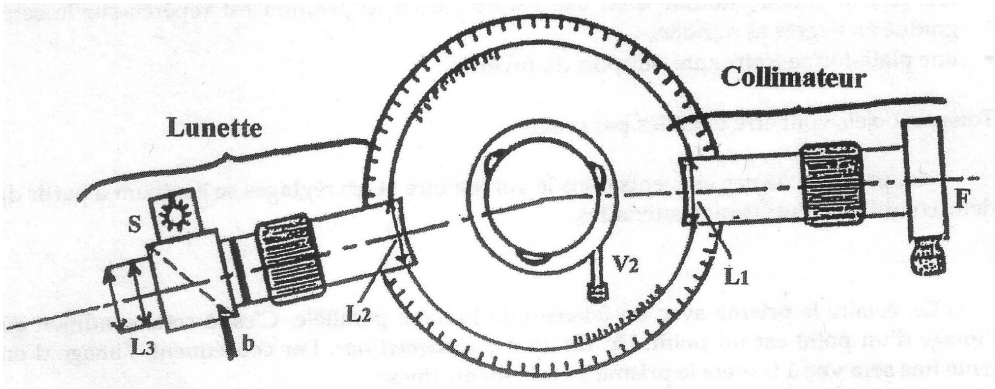
- ➔ Venir en T.P. les mains propres afin de ne pas mettre de graisse avec les doigts sur les lentilles et le prisme.
- ➔ Les lampes spectrales sont fragiles ; elles ne supportent pas les allumages et extinctions répétitifs. Donc, n'éteignez les lampes que lorsque vous êtes sûr de ne plus les utiliser (il faut attendre au moins 20 minutes avant de les rallumer).
- ➔ Le prisme n'est pas fixé à la plate-forme ; manipuler celle-ci doucement pour ne pas qu'il tombe et éviter de toucher le prisme ; serrer modérément les vis.

I. Matériel - présentation du goniomètre

Le goniomètre comprend trois parties fixes ou mobiles autour d'un axe central (Δ) ainsi qu'un cercle gradué qui permet le repérage des angles.



(a)



(b)

FIGURE 1 – Vues du goniomètre

1. Collimateur

Il se compose d'un objectif convergent et d'une fente réglable situé dans le plan focal. La fente sera éclairée plus loin par une lampe spectrale ; le collimateur convenablement réglé (cf. plus loin) donnera de la fente une image à l'infini qui jouera le rôle d'un objet à l'infini pour le reste du montage optique (prisme et lunette).

Le collimateur est fixe.

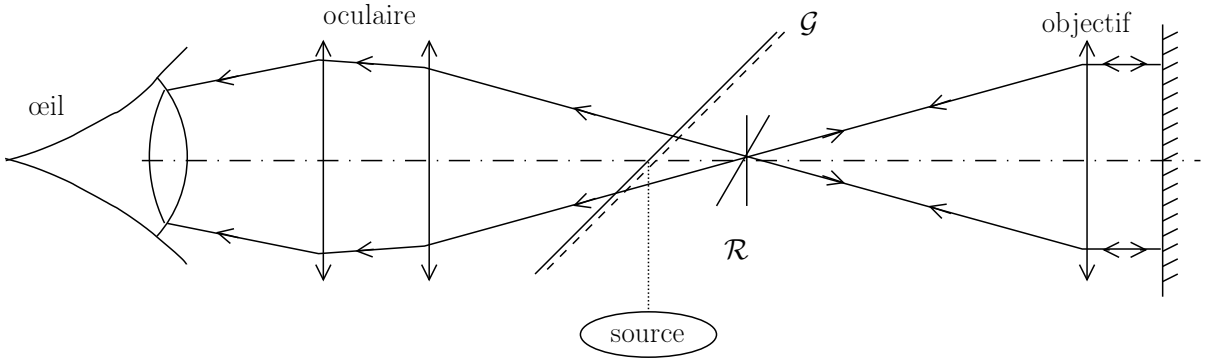


FIGURE 2 – Schéma du réglage de la lunette autocollimatrice avec un miroir plan

2. Lunette autocollimatrice

C'est une lunette à réticule dont le réticule est éclairé par une source placée latéralement par l'intermédiaire d'une lame semi-transparente $\mathcal{G}$ placée entre l'oculaire et le réticule.
La lunette est mobile autour de l'axe (Δ) et sa position est repérée sur un cercle gradué.
La lumière traverse le prisme, puis les observations se font à l'aide de cette lunette réglée à l'infini ; ce dispositif fournit une image en superposition avec un réticule, ce qui permet la visée d'une raie.
Cette lunette est constituée d'une lentille (l'objectif) qui fournit une image dans son plan focal image, cette image est observée à l'aide d'une deuxième lentille (l'oculaire) ; l'oculaire est réglable ainsi que la distance oculaire-objectif.
Le support de la lunette porte une molette de blocage rapide (située sous la plate-forme) et une vis de mouvement lent (placée sur le « bras » qui soutient la lunette).

3. Plate-forme

Le prise est posé sur la plate-forme. Celle-ci est mobile autour de (Δ). Elle repose sur 3 vis calantes qui permettent de régler son horizontalité. Une vis permet de bloquer la rotation de la plate-forme.

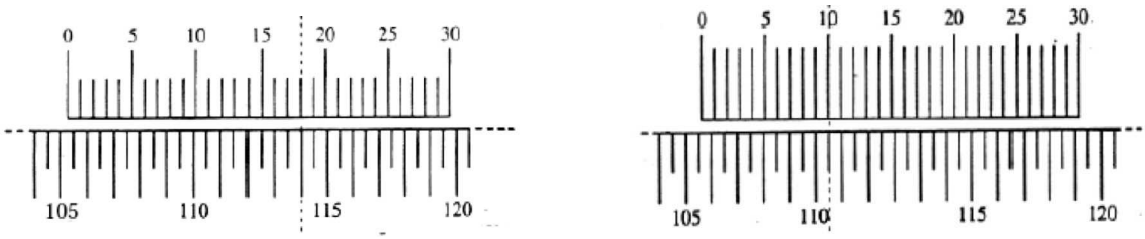
4. Cercle gradué, mesure de position angulaire

La plate forme centrale de forme circulaire est graduée en degrés. La lunette possède, en outre sur son support, une échelle graduée de 0 à 60 appelée vernier (il y a deux verniers, on veillera à utiliser toujours le même, marqué avec une croix).

Les mesures se feront par la visée d'une raie par la lunette à l'aide du réticule, cette raie devant être fine et nette.

La valeur de l'angle est lue, au degré près (au demi-degré près sur les verniers 30'), sur le cercle gradué fixé à la plate-forme, en face du zéro du vernier. On cherche ensuite la graduation du vernier qui coïncide exactement avec une graduation du cercle gradué fixe, celle-ci donne le nombre de minute d'angle à ajouter à la lecture précédente. (rappel : 1 min d'angle = $1/60^\circ$ de degré)
Cela permet une mesure à la minute d'arc près.

Ce type de vernier gradué en degrés et non en demi-degrés est rare. Sont donnés ci-dessous deux exemples de lecture d'angle avec un vernier 30' coulissant sur un cercle gradué en demi-degrés (il est important de savoir lire les angles sur tous les types de verniers) :



(a) angle mesuré : 105°18'

(b) angle mesuré : 105°40'

FIGURE 3 – Mesures d'angle avec un vernier 30'

II. Réglages

1. Objet des réglages

Le prisme ne donne en général pas d'images acceptables, cependant il transforme un faisceau parallèle incident en un faisceau parallèle émergent, dévié vers la base du prisme (le prisme est stigmatique pour un point à l'infini). L'image observée est celle de la fente, il est utile de rejeter l'image définitive au «ponctum remotum» de l'œil (absence d'accomodation donc de fatigue). Faire les réglages suivant dans l'*ordre imposé*.

2. Réglage de la lunette autocollimatrice

Réglage de l'oculaire Il s'agit d'un *réglage personnel*, définitif pour un observateur donné. Il s'agit simplement de voir nettement le réticule à travers l'oculaire, ce qui s'obtient en modifiant la distance de l'oculaire au réticule ; cette opération semble simple et immédiate, cependant une mise au point défectueuse entraîne une fatigue de l'observateur et est à l'origine d'erreurs dans les mesures.
Un observateur règle instinctivement un instrument pour que l'image définitive soit situé à son punctum proximum : il distingue le plus de détails sur l'image qui est vue sous le plus grand angle possible. Mais cette accommodation importante fatigue l'œil.
Pour faire de bonnes mesures, il est nécessaire de travailler sous un certain «confort visuel», obtenu en regardant des images éloignées, au mieux situées au punctum remotum. La mise au point est effectuée lentement en sortant l'oculaire (de manière générale en éloignant l'appareil de l'objet) ; dépasser la position pour laquelle l'image est nette puis rapprocher l'oculaire (ou l'appareil en général) d'une quantité juste suffisante pour retrouver la netteté : l'image est alors au voisinage du punctum remotum (à l'infini pour un œil emmétrope).

Réglage de la lunette à l'infini Il s'agit ici d'un *réglage impersonnel*. Accoler à la lunette un miroir plan (une des faces du prisme, alors posé sur la plate-forme, peut jouer ce rôle) et éclairer le réticule latéralement.

ce réglage a déjà été effectué

Par rotation de la lunette autour de l'axe Δ, par réglage éventuel autour de Δ' (vis qui règle l'inclinaison de l'axe optique de la lunette), amener l'axe de la lunette à être normal au miroir ; ce réglage peut être dégrossi par simple observation de l'image de la lunette dans le miroir puis précisé ultérieurement par vision à travers la lunette. On doit apercevoir, dans le champ de la lunette, une tache circulaire. Sinon il faut régler les vis assurant l'horizontalité de la plate-forme.

Déplacer en bloc l'ensemble oculaire-réticule réglé plus haut, à l'aide de la bague crantée située sur le corps de la lunette de manière à faire apparaître l'image du réticule. Le réglage précis consiste cette image dans le plan du réticule, ce que l'on apprécie par l'*absence de parallaxe* : l'œil de l'observateur se

déplaçant latéralement derrière l'oculaire, on ne doit observer aucun déplacement relatif de l'image par rapport au réticule.
Lorsque ce réglage est effectué, la construction géométrique de la figure précédente (cf figure 2) montre que le réticule se trouve dans le plan focal image de l'objectif. La lunette est réglée à l'infini : lorsque le miroir est enlevé, l'œil observe à travers l'oculaire les images situées dans le même plan que le réticule, qui est le plan focal image de l'objectif, conjugué du plan à l'infini pour cet objectif ; ou, sous une autre forme, seuls les objets à l'infini seront vus par l'observateur à travers la lunette.
Ce réglage impersonnel *ne doit plus être modifié* pendant toute la manipulation (mais le réglage personnel de l'oculaire peut être modifié lors d'un changement d'observateur, en déplaçant *uniquement* l'oculaire par rapport au réticule comme cela a été dit au début du paragraphe II.2).
Noter que si l'œil est emmétrope (punctum remotum à l'infini), la lunette réglée à l'infini comme il a été dit, est *afocale*.

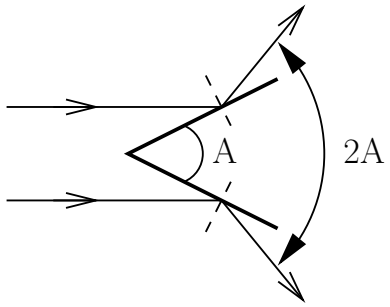
3. Réglage du collimateur

Son axe est la direction de référence du TP : le fixer soigneusement. Enlever le prisme de la plate-forme. Placer la lunette et le collimateur de manière que leurs axes coïncident à peu près. Ouvrir la fente du collimateur et l'éclairer par une lampe à vapeur de mercure (si la lumière est trop vive, interposer devant la fente une feuille de papier blanc ordinaire, on l'enlèvera dès la fin du réglage). Amener l'image de la fente au centre du champ de la lunette. En général si l'image n'est pas nette : faire varier la distance fente-objectif du collimateur en jouant sur la bague crantée du collimateur, jusqu'à avoir une image nette (on doit distinguer les détails fins des bords de la fente qui a toujours quelques petits défauts) ; préciser le réglage par la vérification d'absence de parallaxe.
Après ce réglage, la fente se trouve dans le plan focal de l'objectif du collimateur : il est *réglé à l'infini*.
Amincir la fente sans modifier le réglage ; pour contrôler si elle assez fine, placer le prisme et sa plate-forme sur le goniomètre et chercher l'image transmise par le prisme : on doit distinguer les *deux raies* jaunes du mercure (commencer par regarder à l'œil nu au dessus du montage d'optique, puis à l'œil nu à travers le prisme et enfin seulement à travers la lunette : trop d'observateurs regardent tout de suite à travers la lunette sans s'assurer qu'elle pointe dans la bonne direction).

III. Mesure de l'angle A du prisme

Bloquer le collimateur.

On envoie le faisceau issu du collimateur sur l'arête du prisme de sorte qu'il se réfléchisse sur les deux faces du prisme (repérer les deux images à l'oeil nu avant les mesures). Viser successivement les deux images sans toucher à la position du prisme. Pour cela lorque l'on arrive à proximité, on bloque la lunette et on réalise la coïncidence à l'aide de la vis de déplacement lent.



<u>Lecture du vernier</u>

> Repérer entre quelle et quelle graduation se trouve le 0 du vernier ; repérer la graduation du vernier qui se trouve en coïncidence avec la graduation du disque : la valeur de l'angle s'obtient en ajoutant à la valeur indiquée par le 0 du vernier la valeur de la graduation qui coïncide exprimée en minutes d'arc ($'$). Voir la figure 3 pour visualiser la coïncidence de deux graduations.

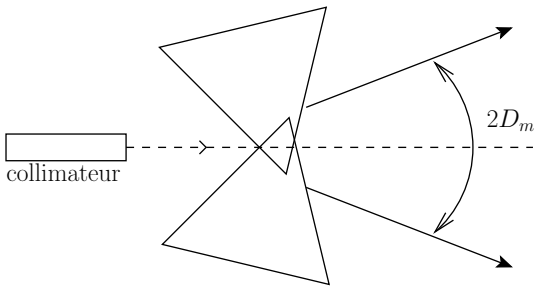
En déduire l'angle au sommet A du prisme.

Recommencer plusieurs fois la mesure précédente pour estimer l'incertitude ΔA.

IV. Mesure de l'indice de réfraction du prisme

Elle se fait à partir de l'angle D_m de déviation minimale.

Placer le prisme sous incidence assez grande et chercher d'abord à l'œil nu, puis dans la lunette les raies colorées issues de la réfraction à travers le prisme. Faire tourner lentement la plate-forme, en suivant l'image avec la lunette, jusqu'à la position correspondant au minimum de déviation pour la raie verte du mercure. Bloquer la lunette et agir sur la vis micrométrique de déplacement lent. Vérifier à nouveau que l'on est bien au minimum de déviation. Pointer la position. Donner au prisme, par rotation de la plate-forme, une position symétrique de la précédente et refaire une mesure du minimum de déviation. La rotation de la lunette entre ces deux positions vaut $2D_m$.



On peut alors calculer l'indice du prisme pour la raie verte par la formule : $n = \dfrac{\sin\left(\dfrac{A + D_m}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{A}{2}\right)}$

V. Précision des mesures

Recommencer plusieurs fois la mesure précédente pour estimer l'incertitude sur D_m.

À l'aide de la formule précédente on peut estimer l'erreur sur l'indice en fonction de l'incertitude de mesure sur A et sur D_m. En effet

$$\frac{dn}{n} = \text{cotan}\left(\frac{A + D_m}{2}\right) d\left(\frac{A + D_m}{2}\right) - \text{cotan}\left(\frac{A}{2}\right) d\left(\frac{A}{2}\right)$$

Continuer ce calcul et montrer que :

$$\frac{\Delta n}{n} = \left|\text{cotan}\left(\frac{A + D_m}{2}\right)\right| \frac{\Delta D_m}{2} + \left|\text{cotan}\left(\frac{A}{2}\right) - \text{cotan}\left(\frac{A + D_m}{2}\right)\right| \frac{\Delta A}{2}$$

Évaluer ΔA et en déduire Δn et $\dfrac{\Delta n}{n}$. Conclusion.

VI. Variation de l'indice avec la longueur d'onde

1. Courbe de Cauchy

La formule de Cauchy donne l'indice d'une substance transparente en fonction de la longueur d'onde :

$$\boxed{n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}}$$

Cette loi est bien vérifiée pour les verres dans le domaine visible. On fera les mesures en utilisant les raies du mercure. En opérant comme pour la raie verte, on complètera le tableau de résultats suivants.

Couleur	Intensité	λ (μm)	D_m	n	$\frac{1}{\lambda^2}$ (μm)$^{-2}$
violet	intense	0,4047			6,1057
violet	très pâle	0,4078			6,0132
bleu-violet	intense	0,4358			5,2653
bleu-vert	pâle	0,4916			4,1379
vert	très pâle	0,4960			4,0648
vert-jaune	intense	0,5461			3,3532
jaune	intense	0,5770			3,0036
jaune	intense	0,5791			2,9819
rouge	très pâle	0,6072			2,7123
rouge	très pâle	0,6123			2,6673
rouge	très pâle	0,6234			2,5732
rouge	très pâle	0,6907			2,0961

TABLE 1 – Tableau de résultats à compléter sur la feuille ou à la calculette

Remarque : les raies rouges sont moins lumineuses, faire en priorité les mesures sur les autres raies.

Tracer la courbe donnant n en fonction de $\dfrac{1}{\lambda^2}$, sur papier millimétré. On doit obtenir une droite.

En déduire les coefficients A et B (préciser l'unité de B).

2. Détermination de la longueur d'onde de la raie jaune du sodium

La raie jaune du sodium est une raie double dont on veut déterminer la longueur d'onde grâce à la courbe tracée précédemment.

Mesurer pour cette raie à l'aide du goniomètre l'indice du verre du prisme. Reporter cette valeur sur la courbe et en déduire la longueur d'onde de la raie jaune du sodium.

3. Pouvoir dispersif du verre constituant le prisme

Sur la courbe précédente, lire les valeurs de n correspondant aux radiations :

raie D : 0,5893 μm $n_D =$

raie F : 0,4861 μm $n_F =$

raie C : 0,6563 μm $n_C =$

En déduire le pouvoir dispersif $$K = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Pour un verre Crown, K est voisin de 65 et pour un Flint lourd K est voisin de 25. Quelle est la nature du verre du prisme ?

Matériel

Paillasses élèves (5)

- 5 Goniomètres et 1 spectrogoniomètre
- Miroir plan
- Lampe spectrale Hg ou Cd ou Hg-Cd
- Lampe spectrale Na
- Feuilles de papier millimétré