

Travaux Pratiques de Physique

Lycée
Charlemagne
Paris

MP

2 heures

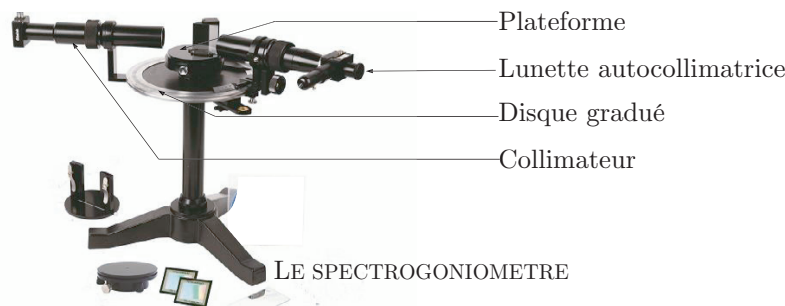
Calculatrices autorisées

Le goniomètre à prisme

Objectif

L'objectif de ce TP est d'apprendre à régler un spectrogoniomètre, comprendre ces réglages, et savoir l'utiliser avec un prisme.

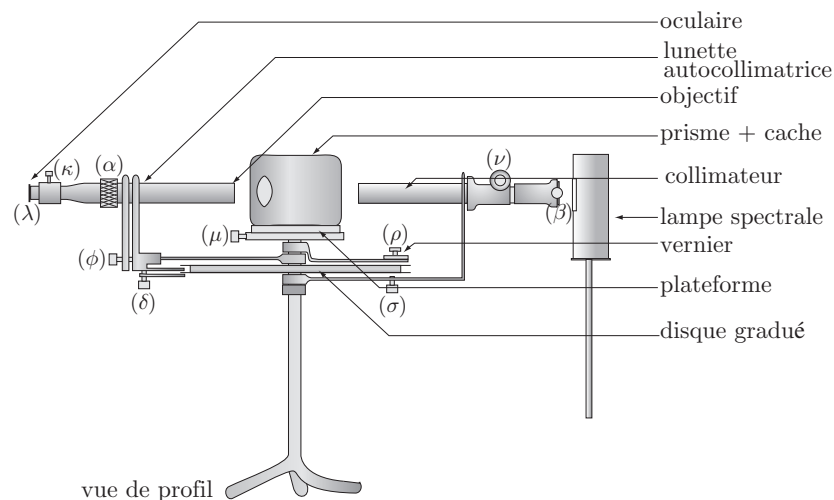
I- Présentation du matériel



1- Le goniomètre

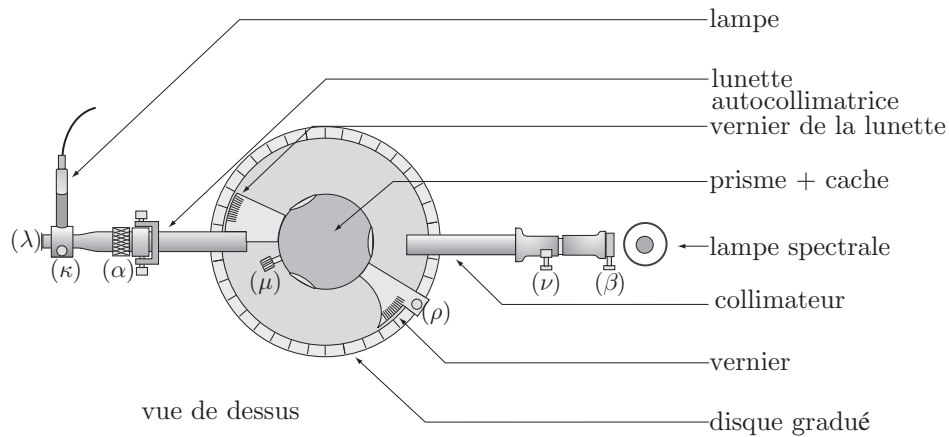
Le spectrogoniomètre disponible est composé :

- d'un collimateur qui forme, à l'infini, l'image d'une fente fine ;
- d'une lunette de visée auto-collimatrice, réglée à l'infini, qui permet d'observer l'image de la fente fine ;
- d'une plateforme supportant un prisme (ou autre dispositif : miroir, réseau...) ;
- d'un disque gradué et de plusieurs verniers qui autorisent les mesures d'angles avec une précision d'une minute d'arc ;
- d'une lampe associée à la lunette de visée, elle-même pourvue d'une lame semi-réfléchissante rétractable ; ces dispositifs assurent le réglage de la lunette à l'infini.



Ces différents organes sont asservis par des vis de réglage ou de fixation :

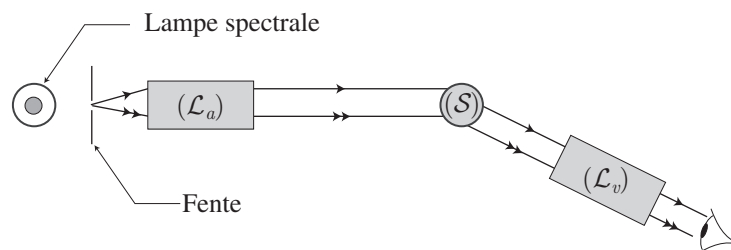
- la vis (α) modifie la distance qui sépare l'objectif de l'oculaire et son réticule ;
- la vis (β) règle l'ouverture de la fente fine ;
- la vis (δ) libère la lunette de visée et en permet une libre rotation ;
- la vis (ϕ) contrôle l'orientation de la lunette de visée ;
- la vis (κ) positionne ou retire la lame semi-réfléchissante de la lunette ; lorsque cette lame est sollicitée, le réticule apparaît brillant ;
- la vis (μ) assure la fixation de la plateforme ;
- la vis (ν) règle la distance entre la fente et la lentille du collimateur ;
- la vis (ρ) permet la fixation de la plateforme et du vernier qui lui est solidaire ;
- la vis (σ) libère ou fixe le collimateur.



2- Les réglages

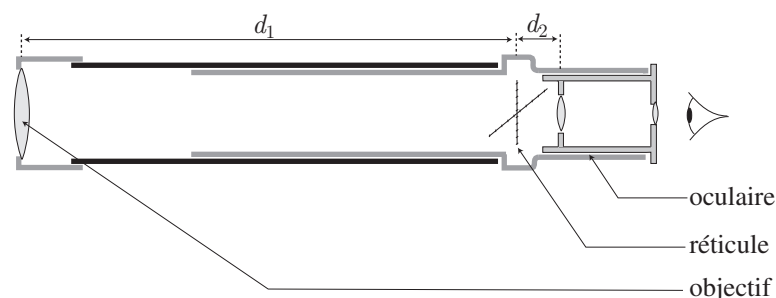
Un spectrogoniomètre ne peut être opérationnel qu'après avoir été l'objet de trois types de réglages :

- Le collimateur (\mathcal{L}_a) qui forme, d'une fente, une image à l'infini ;
- un système dispersif (\mathcal{S}), qui peut être un prisme ou un réseau ;
- une lunette de visée à l'infini, auto-collimatrice, (\mathcal{L}_v) qui rend visibles les rayons qui sortent de (\mathcal{S}) par faisceaux parallèles.



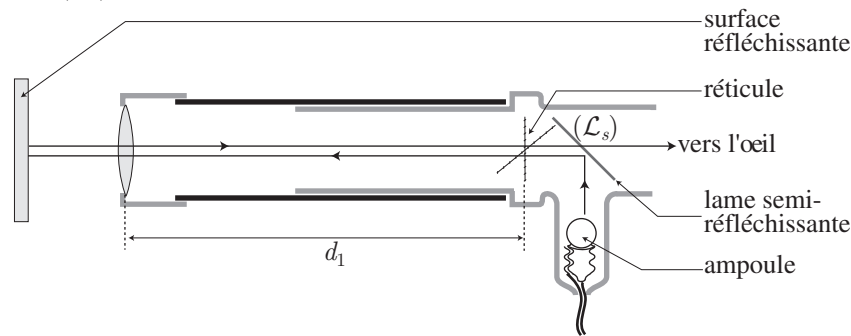
1. Réglage de la lunette de visée

La lunette de visée est composée d'un objectif (qui recueille les faisceaux de lumière issus de (\mathcal{S})), d'un réticule et d'un oculaire (qui permet à l'œil une observation simultanée du réticule et de l'image formée par l'objectif).



- Pour un œil *normal* (émétrope), l'observation du réticule à travers l'oculaire se fera sans accommodation si leur distance d_2 vaut la distance focale de l'oculaire ; il conviendra donc de régler cette distance, c'est-à-dire positionner le réticule dans le plan focal objet de l'oculaire.

- Le réticule doit également se trouver dans le plan focal image de l'objectif (la distance d_1 doit être égale à la distance focale de l'objectif). Pour parvenir à ce résultat, la lunette est équipée d'une lame semi-réfléchissante (\mathcal{L}_s) et d'une ampoule.

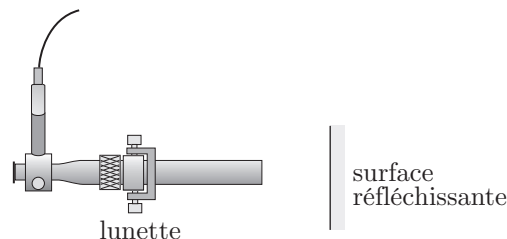


Un faisceau lumineux, issu de l'ampoule, est partiellement réfléchi sur (\mathcal{L}_s), ce qui lui permet d'éclairer le réticule ainsi visible par l'œil. Une partie de cette lumière sort de la lunette et se réfléchit sur une surface plane (miroir ou face de prisme) afin de revenir dans la lunette. Lorsque ce faisceau de retour forme une image nette du réticule dans le plan de celui-ci (les deux peuvent se superposer), la distance d_1 s'identifie à la distance focale de l'objectif; c'est l'*autocollimation*, qui peut être observée par l'œil qui reçoit une partie de la lumière de retour qui traverse (\mathcal{L}_s).

Question

À l'aide de la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$, justifier l'autocollimation pour trouver la position du plan focal objet.

- Placer une surface semi-réfléchissante (miroir ou face du prisme) sur la plateforme, allumer la lampe associée à la lunette de visée (mais pas la lampe spectrale) et mettre en place la lame semi-transparente (la vis (κ)) occupe la position de gauche et, dans le même temps, le réticule apparaît brillant); tourner la molette (λ) qui règle la distance entre l'oculaire et le réticule, jusqu'à observer ce dernier nettement. Placer la lunette de visée de manière à ce que son axe soit perpendiculaire à la surface réfléchissante :



Par autocollimation, la lumière émise par la lame semi-réfléchissante de la lunette revient dans la lunette. Déplacer la lunette afin d'observer, dans l'oculaire, la lumière réfléchie (un repérage préalable à l'œil nu est parfois nécessaire).

- Agir sur la vis de réglage (α) afin d'observer nettement l'image du réticule dans le même plan que le réticule.
Retirer alors la lame semi-transparente en agissant sur la vis (κ).

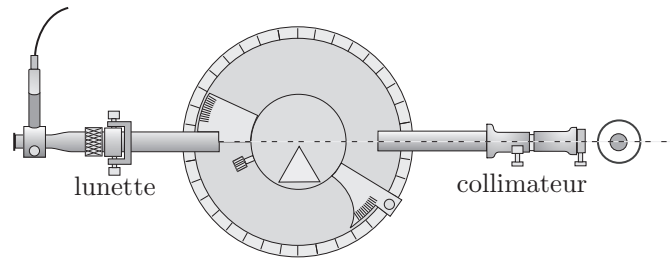
2. Réglage du collimateur et alignement des instruments

Le collimateur (\mathcal{L}_a) est simplement composé d'un tube qui contient une lentille convergente; le réglage de la longueur de ce tube permet de placer la fente dans le plan focal objet de la lentille, qui en forme ainsi une image à l'infini, désormais observable à travers la lunette auto-collimatrice réglée à l'infini.

L'alignement des lunettes (\mathcal{L}_a) et (\mathcal{L}_v) se fait par observation directe : il est obtenu lorsque l'image de la fente est centrée sur le réticule.

Néanmoins, comme la vocation du spectrogoniomètre est la mesure des angles de déviation, l'alignement préalable devra être réalisé de sorte que la déviation mesurée soit presque nulle. La réalisation pratique de cette condition est spécifique à chaque appareil.

- Faire coïncider le zéro du vernier de la lunette avec le zéro du disque gradué, puis fixer cette position à l'aide de la vis (δ). Desserrer la vis (σ) du collimateur afin de l'aligner approximativement sur l'axe de la lunette; on retirera le cache du prisme de manière à ce que la lumière atteigne la lunette sans rencontrer d'obstacle.



- Allumer la lampe spectrale et observer, à travers la lunette de visée, l'image de la fente fine ; une rotation du collimateur permettra de centrer l'image de la fente fine sur le réticule de la lunette. Resserrer la vis (σ) afin de fixer le collimateur.

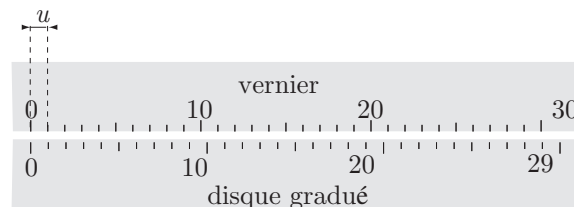
En agissant sur la fente (ν) régler la netteté de l'image de la fente fine.

3. Réglage de l'alignement des lunettes

L'alignement des lunettes (\mathcal{L}_a) et (\mathcal{L}_v) se fait par observation directe : il est obtenu lorsque l'image de la fente est centrée sur le réticule.

3- Le vernier

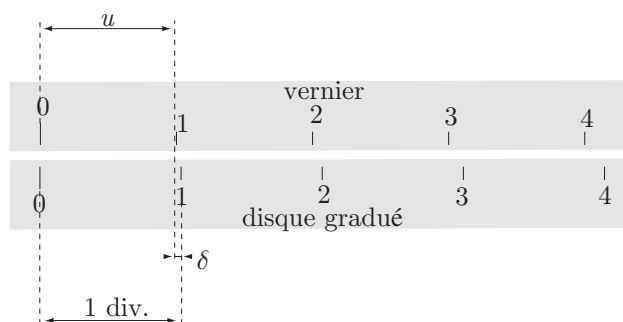
Le vernier possède une échelle composée de 30 graduations, dont la longueur correspond à 29 divisions du cercle gradué. Ces 30 graduations correspondent à un demi-degré (30 minutes d'arc).



Si on appelle u la distance séparant deux graduations successives du vernier, on remarque alors que :

$$30 u = 29 \text{ div.} \Rightarrow u = \frac{29}{30} \text{ div}$$

Soit δ la distance qui sépare les deux premières graduations des deux échelles lorsque leurs zéros coïncident :

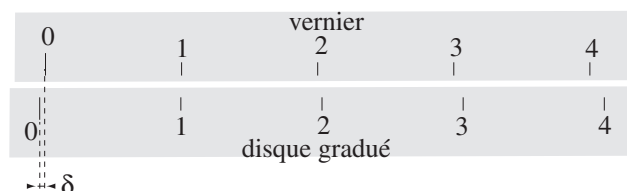


La différence de longueur entre les deux échelles vaut donc :

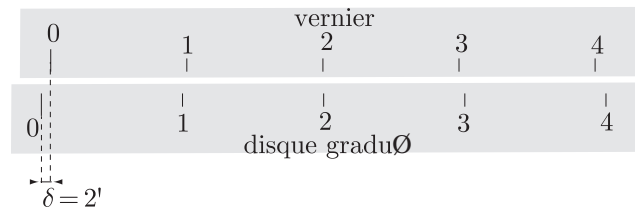
$$\delta = 1 \text{ div.} - \frac{29}{30} \text{ div.} = \frac{1}{30} \text{ div.} = \frac{1}{60} \text{ degré}$$

car deux divisions successives du cercle gradué représentent un demi-degré. On rappelle, en outre, qu'une minute d'arc correspond aussi à $\frac{1}{60}$ de degré ($1^\circ = 60'$), il s'ensuit que $\delta = 1'$.

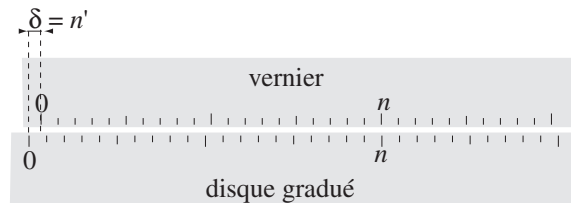
Supposons maintenant que les graduations 1 des deux échelles coïncident :



Cela signifie aussi que les deux graduations zéros sont espacées d'une minute d'arc (δ); cette distance est multipliée par 2 si les graduations 2 des deux échelles coïncident :

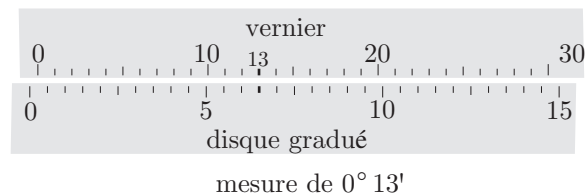


De même, lorsque les graduations n coïncident :

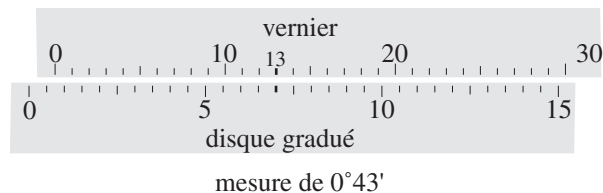


cela signifie que δ vaut n minutes d'arc.

Ainsi, lorsque le zéro du vernier se trouve entre les divisions 0 et $0,5^\circ$ du disque gradué, et que la coïncidence entre les deux échelles se réalise à la $n^{\text{ème}}$ graduation du vernier, l'angle mesuré vaut n minutes.



En revanche, si le zéro du vernier est compris entre $0,5^\circ$ et 1° et que la coïncidence des deux échelles se produit à la $n^{\text{ème}}$ graduation du vernier, on veillera à ajouter n minutes à $30'$ (soit $0,5^\circ$).



L'angle mesuré ci-dessus vaut :

$$\alpha = 0,5^\circ + 13' = 30' + 13' = 43'$$

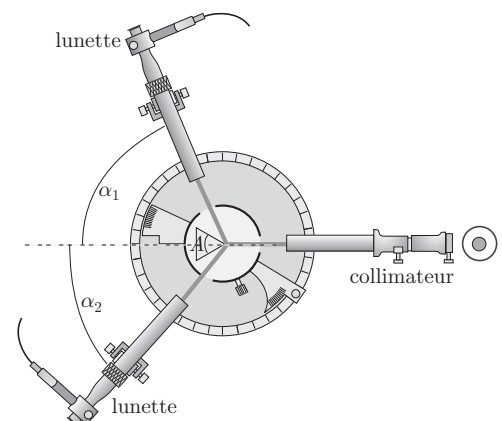
II- Mesure d'un indice de réfraction

1- Mesure de l'angle du prisme

Lorsque la lunette de visée et le collimateur sont alignés (l'image nette de la fente fine du collimateur est centrée sur le réticule de la lunette), resserrer la vis (δ). Libérer ensuite la rotation du disque gradué; tourner ce disque de manière à ce que coïncident les zéros du disque gradué et du vernier. Fixer alors le disque.

- Déposer le cache sur le prisme et desserrer la vis (μ) afin d'orienter le prisme de la manière suivante :
- Vérifier, à l'œil nu, que l'ouverture de la fente fine assure l'éclairage des deux faces du prisme, qui font un angle A entre-elles. Sinon, agir sur la vis (β) afin d'ouvrir cette fente.

En outre, ce contrôle permettra une localisation grossière des faisceaux réfléchis par le prisme.



Questions

1. Si α_1 et α_2 désignent les angles des faisceaux réfléchis par le prisme, montrer que :

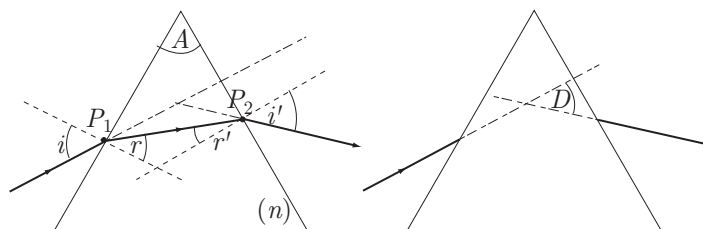
$$\alpha_1 + \alpha_2 = 2A$$

2. Mesurer (à une minute d'arc près) les angles α_1 et α_2 .
3. En déduire la valeur de A .

2- Principe de la mesure

Soient :

- i l'angle d'incidence d'un rayon lumineux (supposé monochromatique, de longueur d'onde λ) qui arrive sur le prisme d'angle A et d'indice de réfraction n ;
- r , l'angle de réfraction associé à i ;
- r' , l'angle d'incidence du rayon lumineux sur la deuxième face du prisme ;
- i' , l'angle de réfraction associé à r' .



On note, par ailleurs, D la déviation du rayon lumineux à la traversée du prisme.

Questions

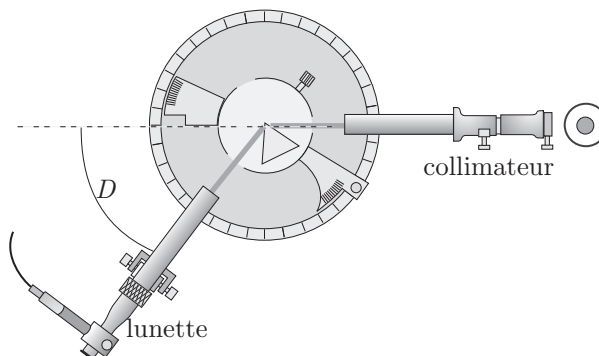
1. Démontrer que : $A = r + r'$
2. En étudiant les déviations successives du rayon lumineux aux points P_1 et P_2 , établir que : $D = i + i' - A$
3. Sachant qu'il existe une unique valeur *minimum* (D_m) pour D , qui correspond à $i_m = i'_m$ et

$$r_m = r'_m, \text{ en déduire que : } n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Cette étude montre qu'il suffit de trouver la valeur *minimum*, D_m , de déviation d'un rayon lumineux de longueur d'onde λ , pour accéder à la valeur de l'indice de réfraction $n(\lambda)$ du prisme.

3- Loi de Cauchy

- Desserrer la vis (μ) assurant la rotation de la plateforme afin de positionner le prisme (avec son cache) comme l'indique la figure ci-dessous :



- Repérer, à l'œil nu, la raie bleue du spectre de la lampe à mercure ; amener la lunette de visée dans cette direction, de manière à y observer la raie bleue, puis la raie violette – on pourra agir sur la vis (ϕ) afin de centrer cette raie sur le réticule. Diminuer alors la largeur de la fente fine.
- Faire tourner simultanément le prisme et la lunette afin de repérer le *minimum* de déviation, D_m , pour la raie violette ; mesurer D_m (avec une précision d'une minute d'arc).
- Recommencer l'opération pour les autres raies, afin de remplir le tableau suivant :

raie	λ (nm)	D_m	$n(\lambda)$
violette	407,8		
bleue	435,8		
verte	491,6		
vert-jaune	546,1		
jaune	577,0		
rouge	671,6		

Question

Construire la courbe $n(\lambda) = f\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$ et en déduire la loi de Cauchy :

$$n(\lambda) = \alpha + \frac{\beta}{\lambda^2}$$

Matériel disponible :

PAILLASSES ÉLÈVES

- 1 spectrogoniomètre ;
- lampe de la lunette + alimentation ;
- 1 prisme ;
- 1 lampe spectrale au mercure + 1 alimentation ;
- 1 lampe de bureau ;
- 1 miroir.