

Mesure des spectres de raies de gaz rares et de vapeurs métalliques avec un spectromètre à prisme

Objectifs expérimentaux

- Ajustage du spectromètre à prisme
- Calibrage du spectromètre à prisme avec une lampe He
- Mesure d'un spectre de raies «inconnu»
- Identification de la source lumineuse «inconnue»

Principes de base

Des gaz rares et des vapeurs métalliques amenés à rayonner émettent des raies spectrales, donc une sélection particulière de longueurs d'onde caractéristiques de l'élément. Une mesure exacte des longueurs d'onde donne des informations spécifiques aux sources lumineuses.

A l'aide d'un prisme, il est possible de séparer les raies spectrales. On se sert pour cela de la subordination de l'indice de réfraction n du matériau prismatique, ici le flint, à la longueur d'onde. Les rayons lumineux sont réfractés à travers le prisme et déviés plus ou moins fortement en fonction de leur longueur d'onde. Une lumière de faible longueur d'onde sera plus fortement déviée dans le domaine du spectre visible qu'une lumière de grande longueur d'onde.

Dans le spectromètre à prisme, la lumière traverse en divergent la fente S verticale, de largeur et hauteur variables pour incider ensuite sur l'objectif O_1 situé à une distance équivalant à la distance focale de la fente (voir fig. 1). A eux deux, la fente et l'objectif constituent un collimateur. Derrière l'objectif, la lumière parvient au prisme P sous forme de faisceau de rayons lumineux parallèles, c.-à-d. que tous les rayons pénètrent dans le prisme avec le même angle. La lumière est diffractée par le

prisme, chaque longueur d'onde subissant alors une déviation différente. Finalement, tous les rayons parallèles d'une longueur d'onde sont réunis par un autre objectif O_2 dans le plan focal de l'objectif en une image de la fente S . C'est ainsi qu'il se forme dans le plan focal un spectre pur que l'on peut observer avec l'oculaire O' . A eux deux, l'objectif O_2 et l'oculaire O' constituent une lunette astronomique réglée sur infini.

Le prisme est positionné de façon à ce que pour une longueur d'onde moyenne du spectre (env. 500 à 600 nm), la marche des rayons soit symétrique et donc la déviation minimale. Le pouvoir de résolution spectral est alors maximal.

La lunette est fixée à un bras pivotant pour pouvoir ainsi mesurer l'angle de déviation. A la rotation de la lunette, on règle un réticule situé dans le plan focal de l'oculaire sur les diverses raies spectrales. Pour la mesure de l'angle et donc de la position relative de chacune des raies, la position de la lunette est combinée à un cadran gradué en demi-degrés d'angle, ledit limbe gradué, pour ainsi former un goniomètre. Un vernier permet de relever la position à une minute d'angle près.

L'influence de la longueur d'onde sur l'indice de réfraction n n'est pas linéaire. Pour que les longueurs d'onde d'une source lumineuse inconnue puissent être assignées aux déviations par le prisme, il faut au préalable calibrer le spectromètre. On utilise pour cela une lampe dont les raies spectrales sont connues et réparties sur tout le domaine visible. A l'appui de la courbe de calibration, les longueurs d'onde peuvent alors être assignées aux raies spectrales correspondantes d'une source lumineuse inconnue pour une géométrie inchangée du montage. C'est à partir de celles-ci que pourra être déterminée la source lumineuse, par comparaison avec un tableau donné.

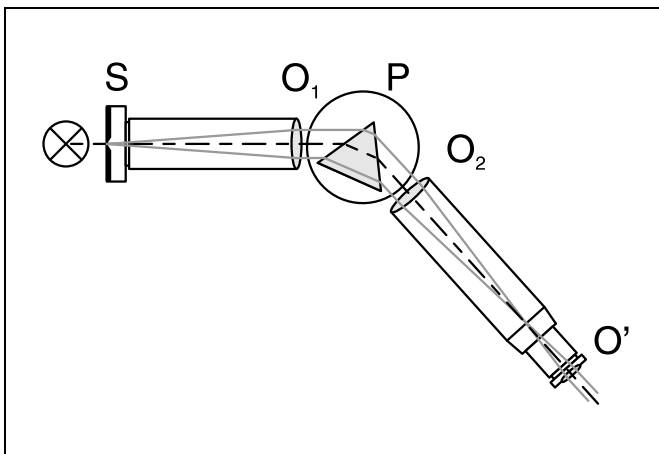


Fig. 1 Marche des rayons dans un spectromètre à prisme

Matériel

1 spectromètre et goniomètre	467 23
1 lampe spectrale He; culot à tige	451 031
1 lampe spectrale Cd; culot à tige	451 041
1 carter pour lampes spectrales avec culot à tige	451 16
1 bobine de self universelle, dans boîtier 230 V, 50 Hz	451 30
1 transformateur 6 V~, 12 V~	562 73
1 petit pied en V	300 02

Matériel supplémentaire utilisable:

1 lampe spectrale Ne; culot à tige	451 011
1 lampe spectrale Hg/Cd; culot à tige	451 071
1 lampe spectrale Ti; culot à tige	451 081
1 lampe spectrale Na; culot à tige	451 111

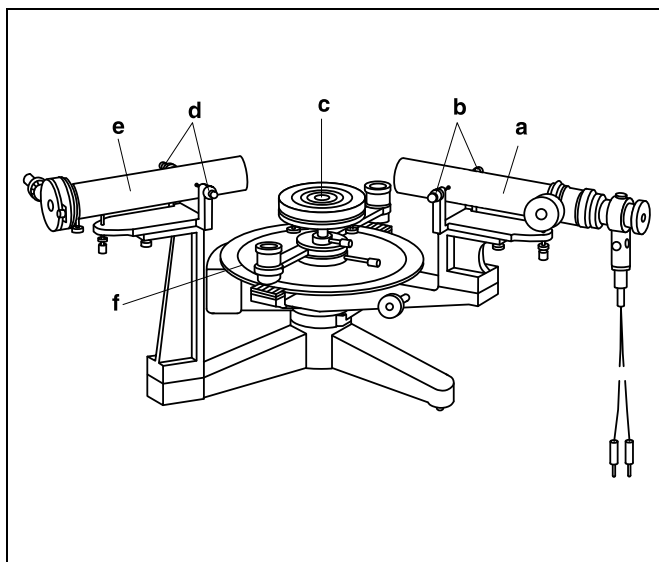


Fig. 2 Spectromètre

- a lunette
- b vis d'ajustage pour le déplacement latéral du collimateur
- c plateau pour prisme
- d vis d'ajustage pour le déplacement latéral de la lunette
- e collimateur
- f appareil de base du spectromètre

Ajustage du spectromètre

Afin de pouvoir réaliser des mesures précises, il faut ajuster l'appareil avec soin.

La fente et le réticule de la lunette doivent être dans les plans focaux des objectifs correspondants (marche des rayons télé-cosmique).

La fente et les faces du prisme doivent être parallèles à l'axe de rotation de la lunette.

Il vaut mieux que la salle soit légèrement obscurcie pour certaines opérations relatives à l'ajustage et à la mesure.

Préajustage:

Le plateau pour prisme ne peut s'incliner que jusqu'à un certain point. Afin de s'assurer suffisamment de jeu pour l'ajustage de précision, il est recommandé, lors du préajustage, de le mettre le plus à l'horizontale possible (à vue d'oeil).

- A vue d'oeil, mettre à l'horizontale la lunette (a), le plateau pour prisme (c) et le collimateur (e) (voir fig. 2).
- Centrer la lunette et le collimateur avec les vis d'ajustage pour le déplacement latéral (b), (d) et bloquer par contre-écrous. Ne pas trop desserrer les vis d'un côté car elles servent à la fixation de la lunette et du collimateur.

Réglage de la lunette sur infini:

Remarque: Les expérimentateurs qui n'ont pas une bonne vue peuvent certes observer avec netteté des objets très éloignés à l'aide de la lunette mais on ne peut pas dire dans ce cas que la lunette est réglée par définition exactement sur infini. Il est néanmoins possible de réaliser des mesures précises si c'est le même expérimentateur qui réalise l'ajustage du collimateur

avec la lunette ainsi réglée. Pour que d'autres expérimentateurs puissent observer les spectres, le réglage de la netteté ne devra se faire que par déplacement de l'oculaire (a4).

- Enlever l'oculaire (a4), fixer le dispositif d'éclairage (a3) sur la lunette et remettre l'oculaire avec l'ouverture pour le dispositif d'éclairage (a5) tournée vers le bas (voir fig. 3).
- Régler la netteté du réticule par déplacement de l'oculaire (a4) dans le tube de l'oculaire et éventuellement modifier l'orientation. Veiller à ce que l'ouverture pour le dispositif d'éclairage (a5) sur l'oculaire soit encore tournée vers le bas.
- A l'aide de la vis de réglage de la netteté (a1), régler la lunette positionnée à l'horizontale sur un objet éloigné (> 500 m).

Etant donné qu'en cas de réglage correct, l'image de l'objet observé et le réticule doivent être dans le plan focal de l'objectif, il faut éviter si possible les parallaxes entre l'objet observé et le réticule.

Remarques de sécurité

- Ne pas dépasser la tension maximale admissible pour la lampe du dispositif d'éclairage ($U_{\max} = 8 \text{ V}$).

Les lampes spectrales et le boîtier chauffent lors du fonctionnement.

- Avant tout changement, les laisser refroidir.

Ajustage du dispositif d'éclairage:

- Orienter la lunette vers le collimateur (fente légèrement ouverte).
- Brancher le dispositif d'éclairage (a3) à une tension $U = 6 \text{ V}$.
- Fixer le dispositif d'éclairage sur la lunette avec la vis de fixation (a2) de façon à ce que l'intérieur de la fente soit bien éclairé sans modifier pour autant l'oculaire.

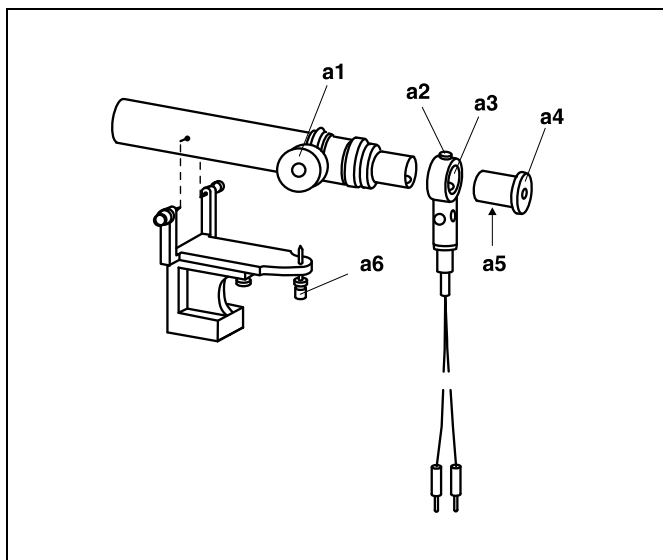


Fig. 3 Lunette avec dispositif d'éclairage
a1 vis de réglage de la netteté
a2 vis de fixation pour le dispositif d'éclairage
a3 dispositif d'éclairage
a4 oculaire
a5 orifice pour le dispositif d'éclairage (caché)
a6 vis de réglage en hauteur pour la lunette

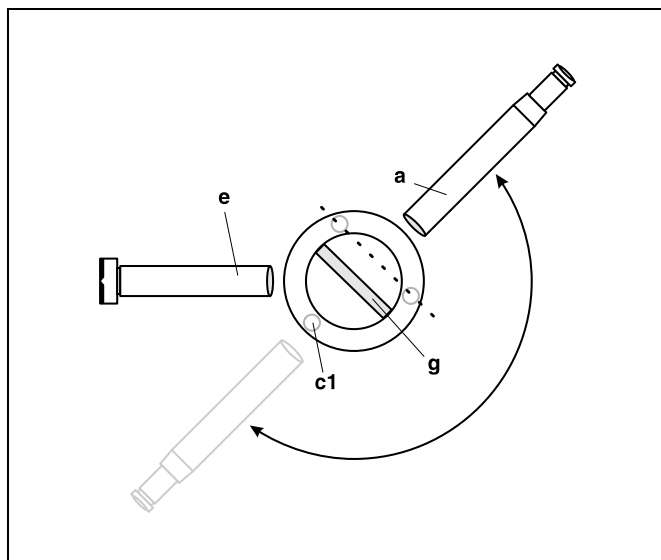


Fig. 4 Spectromètre avec plaque de verre plan
a lunette
c1 vis de niveau pour le plateau pour prisme
e collimateur
g plaque de verre plan sur support

Réglage de l'axe optique de la lunette perpendiculairement à l'axe du spectromètre:

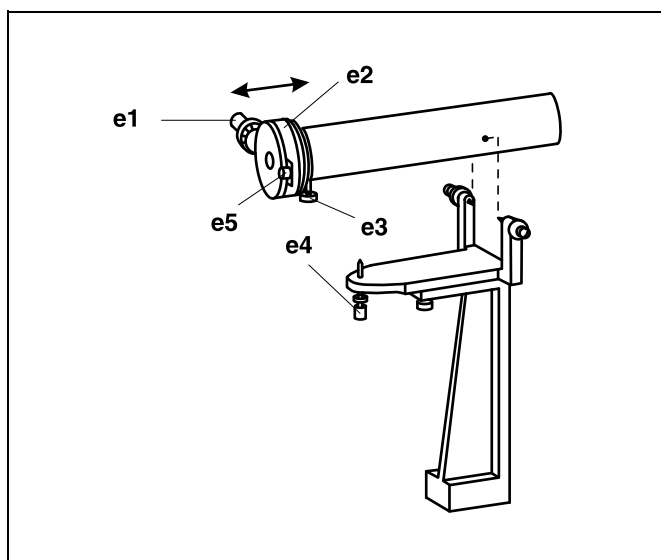
- Placer la plaque de verre plan (**g**) au milieu du plateau pour prisme dans un angle de 45° par rapport au collimateur (**e**) de façon à ce que la ligne de liaison de deux vis de niveau du plateau pour prisme soit parallèle aux faces latérales de la plaque de verre plan (voir fig. 4).
- Orienter la lunette (**a**) perpendiculairement à une face latérale de la plaque de verre plan pour que le réticule se réfléchisse dans la face latérale.
- Faire coïncider la partie horizontale du réticule et son image réfléchi. Pour cela, régler la moitié de la différence avec la vis de réglage en hauteur de la lunette (**a6**) (voir fig. 6) et l'autre moitié avec la vis de niveau du plateau pour prisme (**c1**).
- Recommencer les deux opérations suivantes jusqu'à ce que le fil vertical et son image réfléchi coïncident des deux côtés de la plaque de verre plan:
 - 1) Faire pivoter la lunette de 180° conformément à la fig. 4 de telle sorte que le réticule se réfléchisse sur l'autre face latérale de la plaque de verre plan.
 - 2) Vérifier si le fil et l'image réfléchi coïncident. Si tel n'est pas le cas, comme précédemment, régler la moitié de la différence avec la vis de réglage en hauteur de la lunette (**a6**) (voir fig. 6) et l'autre moitié avec la vis de niveau du plateau pour prisme (**c1**).
- Bloquer la vis de réglage en hauteur de la lunette (**a6**) à l'aide d'un contre-écrou.
- Enlever la plaque de verre plan avec support du plateau pour prisme.
- Déconnecter le dispositif d'éclairage de l'alimentation en tension.

Ajustage du collimateur:

- Eclairer la fente de l'extérieur, par ex. avec la lumière d'une lampe incandescente ou à l'aide de l'une des lampes spectrales.

- Orienter la lunette vers le collimateur et ouvrir légèrement la fente avec la vis micrométrique pour l'élargissement de la fente (**e1**).
- Régler la fente avec le coulisseau (**e5**) pour qu'elle soit à une hauteur observable, appropriée.
- Avec la vis de réglage en hauteur du collimateur (**e4**), orienter la fente de façon à ce qu'elle soit centrée par rapport au fil horizontal du réticule et la bloquer par un contre-écrou.

Fig. 5 Collimateur
e1 vis micrométrique
e2 tube à fente
e3 vis de réglage pour le tube à fente
e4 vis de réglage en hauteur pour le collimateur
e5 limitation réglable de la fente



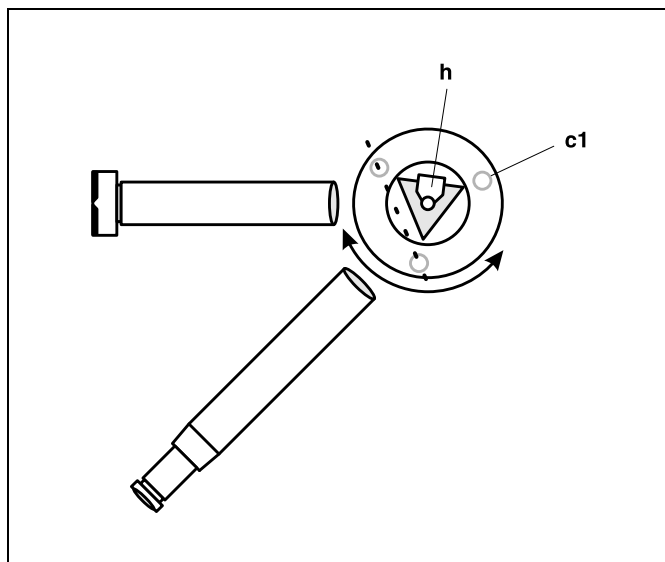


Fig. 6 Orientation des surfaces du prisme
c1 vis de niveau pour le plateau pour prisme
h (flint) prisme sur support

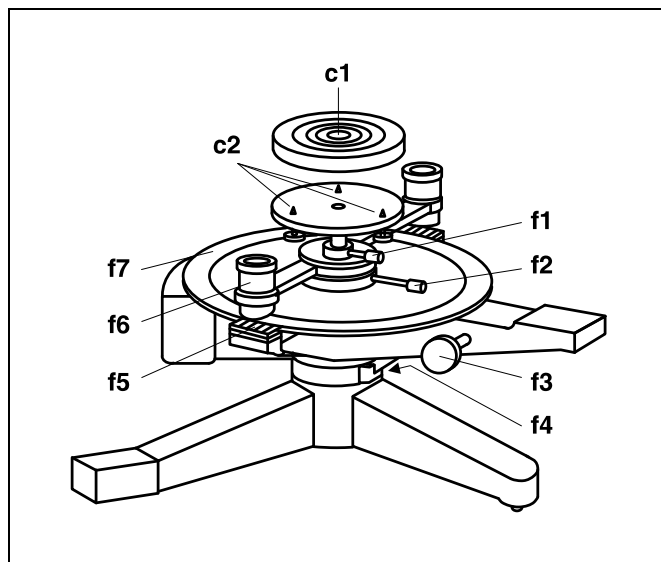


Fig. 7 Appareil de base du spectromètre et plateau pour prisme
c1 plateau pour prisme
c2 vis de niveau pour le plateau pour prisme
f1 vis de fixation pour le plateau pour prisme
f2 vis de fixation pour le limbe gradué
f3 réglage de précision pour la rotation de la lunette
f4 vis de fixation pour la lunette (caché)
f5 verniers
f6 loupes de lecture
f7 limbe gradué

- Desserrer la vis de fixation pour la rallonge de la fente (**e3**) et déplacer le tube à fente (**e2**) dans le sens de la flèche (voir fig. 5) de façon à ce que l'image soit bien nette.
- Par rotation du tube, mettre la fente à la verticale de façon à ce qu'elle soit parallèle au fil vertical du réticule puis resserrer la vis de fixation pour la rallonge de la fente (**e3**).

Orientation des faces du prisme parallèlement à l'axe de rotation:

- Tourner la lunette pour qu'elle forme un angle aigu avec le collimateur et la fixer avec la vis de fixation (**f4**) (voir fig. 6 et fig. 7)
- Conformément à la fig. 6, placer le prisme sur support (**h**) sur le plateau pour prisme de façon à ce qu'il y ait une face du prisme qui soit parallèle à la ligne de liaison de deux vis de niveau du plateau pour prisme.
- Tourner le plateau pour prisme jusqu'à ce que l'image de la fente réfléchi par une face du prisme soit visible dans la lunette et le fixer avec la vis de fixation pour le plateau pour prisme (**f1**).
- Avec la vis de niveau arrière (**c1**) du plateau pour prisme, amener la fente réfléchi au milieu du réticule.
- Recommencer les deux opérations suivantes jusqu'à ce que la réflexion de la fente ne se déplace plus verticalement à la rotation du plateau pour prisme:
 - 1) Desserrer la vis de fixation du plateau pour prisme (**f1**), faire tourner le plateau pour prisme jusqu'à ce que l'image de la fente soit réfléchi sur l'autre face du prisme et la refixer avec la vis de fixation pour le plateau pour prisme.
 - 2) Avec la vis de niveau du plateau pour prisme qui, vue de la lunette, est située à l'arrière, amener la fente réfléchi au centre du réticule.

Montage

- Fixer la lampe spectrale He dans le carter, monter l'ensemble dans le pied ainsi que représenté à la fig. 8, effectuer le branchement à la bobine de self universelle et mettre en route.
- Eclairer la fente avec la lampe spectrale He. Veiller à ce que la lampe soit bien dans l'axe optique du collimateur.
- Positionner le prisme sur le plateau pour prisme et orienter la lunette de telle sorte que la lumière incidente qui traverse la fente éclaire le réseau (vu de dessus, voir fig. 1) et que le spectre puisse être observé avec la lunette.

Réalisation

a) Régler l'angle du minimum de la déviation:

Le pouvoir de résolution augmente au fur et à mesure que la largeur de la fente diminue, par contre l'intensité lumineuse du spectre s'affaiblit:

- Régler une largeur appropriée de la fente avec la vis micrométrique pour l'élargissement de la fente (**e1**).
- Faire lentement tourner le plateau pour prisme et suivre le déplacement des raies spectrales avec la lunette jusqu'à ce qu'une raie «centrale» du spectre (par ex. jaune, $\lambda = 587,6 \text{ nm}$) subisse juste un point de retournement (position minimale).
- Fixer le plateau pour prisme et la lunette dans la position minimale à l'aide des vis de fixation appropriées (**f1**) et (**f4**).

b) Calibrage du spectromètre avec la lampe spectrale He:

Remarque: Le spectromètre est équipé de deux verniers opposés. Afin de réduire les erreurs de lecture et de compenser une éventuelle excentricité de la division du cercle par rapport à l'axe tournant, faire la moyenne des deux relevés.

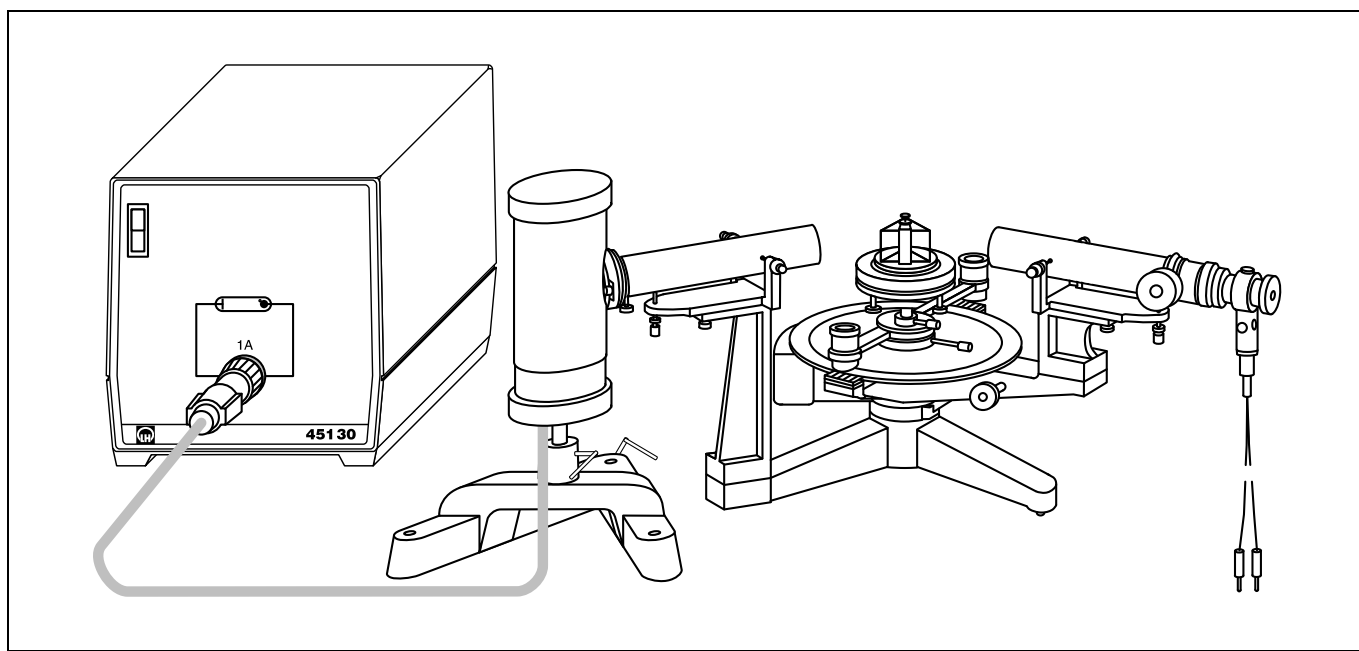
- Orienter la lunette de telle sorte que le fil vertical du réticule coïncide avec une raie spectrale extérieure (dans l'exemple de mesure, la raie rouge).

- Régler le limbe gradué (**f7**) sur la ligne 0° ou 180° des verniers (**f5**) et le fixer avec la vis de fixation appropriée (**f2**).
- Avec le réglage de précision pour la rotation de la lunette (**f3**), régler le fil vertical du réticule successivement sur chacune des raies spectrales. Relever et noter la position correspondante de la lunette sur le limbe gradué à l'aide des loupes de lecture (**f6**) et des deux verniers (**f5**).

c) Mesure des raies spectrales d'autres sources lumineuses, par ex. de la lampe spectrale Cd:

- Changer de lampe après avoir laissé refroidir le carter puis éclairer la fente.
- Comme précédemment, à l'aide du réglage de précision pour la rotation de la lunette (**f3**), régler le fil vertical du réticule sur chacune des raies spectrales puis relever et noter les différentes positions.

Fig. 8 Montage expérimental complet après l'ajustage



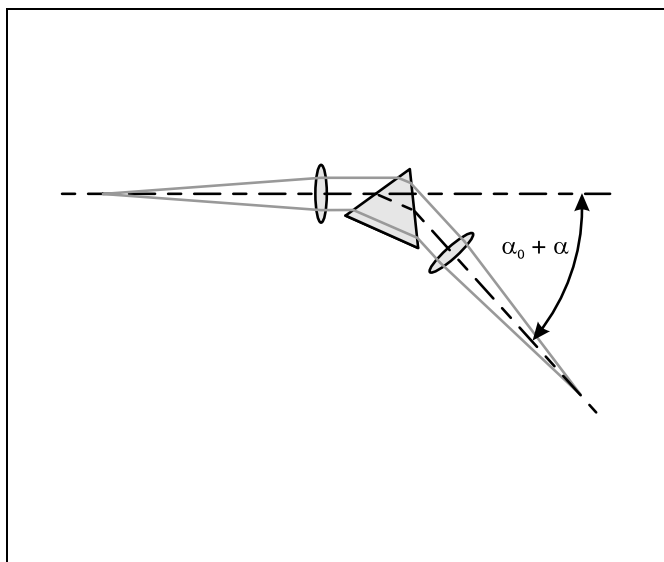


Fig. 9 Schéma pour la définition de l'angle α
 α_0 a été choisi dans l'exemple de mesure de façon à ce que $\alpha = 0,00^\circ$ pour la longueur d'onde $\lambda = 706,5 \text{ nm}$.

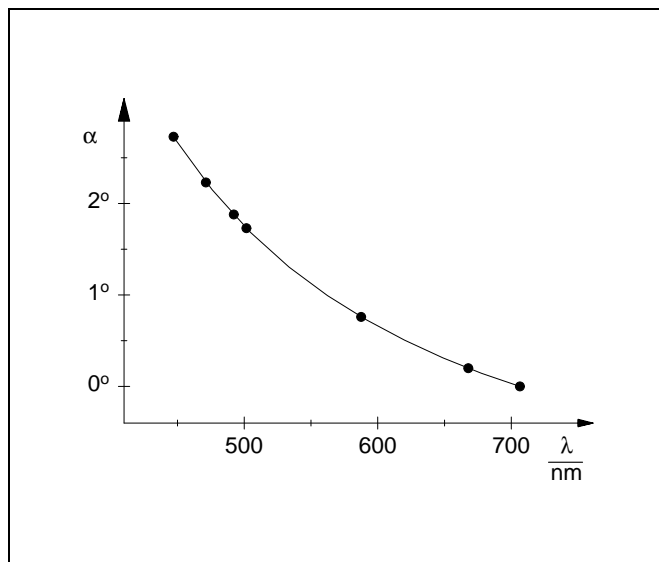


Fig. 10 Courbe de calibration du spectromètre à prisme
 Points: valeurs mesurées prélevées du tableau 1
 Ligne: courbe d'interpolation

Exemple de mesure et exploitation

Remarque: Le spectromètre à prisme permet aussi d'observer des raies de faible intensité qui ne font pas partie du spectre de la vapeur métallique ou du gaz rare en question. Suivant le processus de fabrication, il est possible d'insérer des gaz étrangers dans les ampoules. Dans le cas des lampes à vapeur métallique, on utilise en supplément de l'argon (Ar) comme gaz de base.

Tab. 1: Valeurs mesurées pour le calibrage du spectromètre avec la lampe spectrale He, pour la définition de α , voir fig. 9

$\frac{\lambda_{\text{littérature}}}{\text{nm}}$	α
706,5	0,00°
667,8	0,20°
587,6	0,76°
501,6	1,73°
492,2	1,88°
471,3	2,23°
447,1	2,73°

Pour identifier des sources lumineuses inconnues, les longueurs d'onde des raies spectrales sont relevées à l'appui des angles mesurés de la courbe de calibration (voir fig. 10). Les valeurs littéraires données se réfèrent aux longueurs d'onde dans le vide. Il n'est pas nécessaire de procéder à la conversion en longueurs d'onde dans l'air.

Tab. 2: Valeurs mesurées pour la lampe Cd citée en exemple, pour la définition de α , voir fig. 9.

α	$\frac{\lambda_{\text{exploitation}}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{littérature}}}{\text{nm}}$
2,30°	468,7	467,8
2,08°	480,4	480,0
1,63°	507,7	508,6
0,43°	631,8	632,5
0,35°	644,1	643,8

Informations supplémentaires:

Le spectromètre et goniomètre peut aussi s'utiliser comme spectromètre à réseau (voir description d'expérience P5.7.1.2). Il n'est pas nécessaire d'avoir une courbe de calibration pour la détermination des longueurs d'onde des raies spectrales.

L'intensité des spectres est néanmoins plus faible si bien que des raies faibles sont pratiquement impossibles à identifier. En outre, il se manifeste plusieurs ordres de diffraction susceptibles de se superposer suivant le réseau de diffraction utilisé, ce qui complique l'assignation.

En cas d'utilisation d'un réseau de diffraction, le pouvoir de résolution du spectromètre à réseau est la plupart du temps meilleur qu'avec le spectromètre à prisme. C'est ainsi qu'un spectromètre à prisme réussit tout juste à séparer les deux raies D du sodium pour une largeur de fente minimale alors que le spectromètre à réseau utilisé avec un réseau de Rowland permet sans problème de les mesurer avec une grande netteté et bien séparées.