

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

### Objectifs expérimentaux

- Ajustage du spectromètre à réseau
- Mesure d'un spectre de raies
- Identification de la source lumineuse mesurée
- Détermination de la distance entre les deux raies D jaunes de sodium

### 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.

Un réseau de diffraction permet de séparer les raies spectrales. La lumière est diffractée par le réseau, les rayons lumineux d'une longueur d'onde se superposent et donnent des maxima d'intensité nets. La lumière de grande longueur d'onde est déviée plus fortement que celle de faible longueur d'onde.

Dans le spectromètre à réseau, la lumière traverse en divergent la fente S verticale, de largeur et hauteur variables pour ensuite incider 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 à la grille G sous forme de faisceau de rayons lumineux parallèles, c.-à-d. que tous les rayons incident sur le réseau avec le même angle. La lumière est diffractée par le

réseau, 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.

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 la diffraction est linéaire ( $\sin \alpha \sim \lambda$ , spectre normal). Pour que les longueurs d'onde d'une source lumineuse inconnue puissent être assignées aux déviations par le réseau, il ne faut pas calibrer l'appareil, contrairement à ce qu'il en est pour le spectromètre à prisme (spectre de dispersion). A l'appui des déviations de chacune des raies spectrales d'une source lumineuse inconnue, il est possible de calculer les longueurs d'onde correspondantes. C'est à partir de celles-ci que pourra être déterminée la source lumineuse, par comparaison avec un tableau donné.

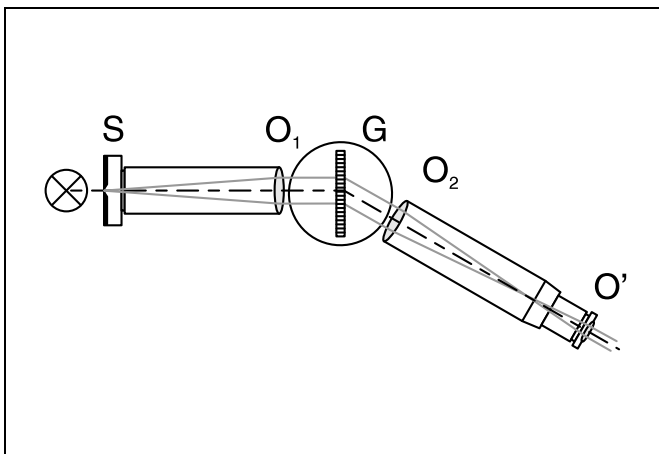


Fig. 1 Marche des rayons dans un spectromètre à réseau

**Matériel**

1 spectromètre et goniomètre . . . . .	467 23
1 copie d'un réseau de Rowland, env. 5700 traits/cm . . . . .	471 23
1 lampe spectrale He; culot à tige . . . . .	451 031
1 lampe spectrale Na; culot à tige . . . . .	451 111
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 Cd; culot à tige . . . . .	451 041
1 lampe spectrale Hg/Cd; culot à tige . . . . .	451 071
1 lampe spectrale Ti; culot à tige . . . . .	451 081

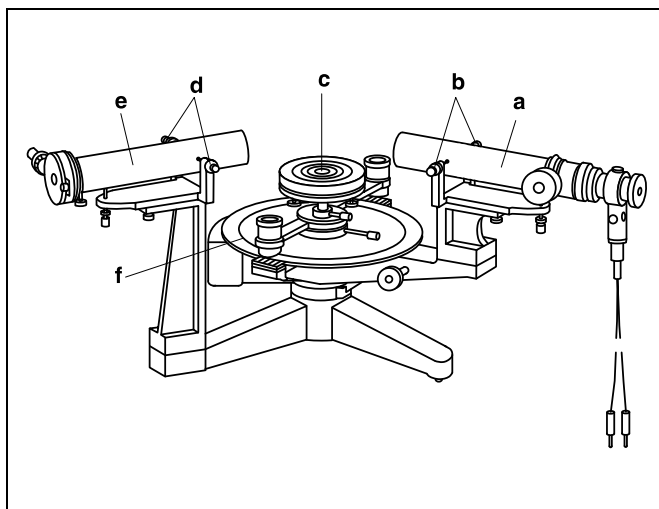


Fig. 2 Spectromètre

- 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 le réseau doivent être parallèles à l'axe de rotation de la lunette.*

*Pour l'ajustage et la mesure, il vaut mieux lors de certaines opérations que la salle soit légèrement obscurcie.*

**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'œil).*

- A vue d'œil, 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.

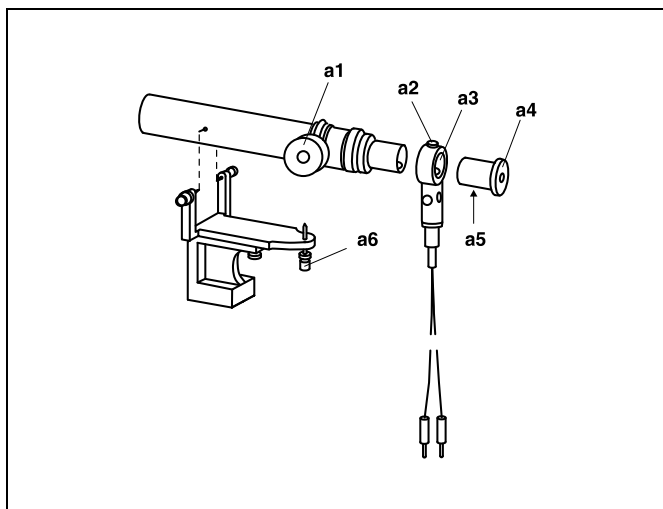
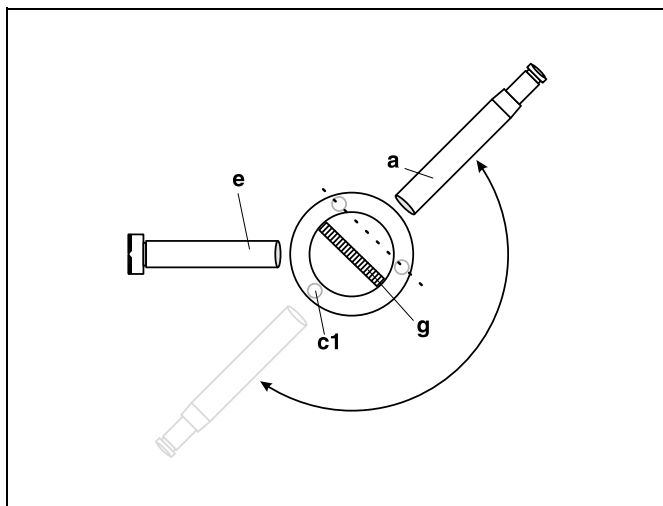


Fig. 3 Lunette avec dispositif d'éclairage  
**a1** vis de réglage de la netteté  
**a2** vis de fixation pour le dispositif d'éclairage  
**a3** dispositif d'éclairage  
**a4** oculaire  
**a5** orifice pour le dispositif d'éclairage (caché)  
**a6** vis de réglage en hauteur pour la lunette

#### Réglage de l'axe optique de la lunette perpendiculairement à l'axe du spectromètre et celui du réseau parallèlement à l'axe du spectromètre:

- Fixer le réseau sur support pour plaque de verre (**g**) et le placer au milieu du plateau pour prisme dans un angle de  $45^\circ$  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 du réseau (voir fig. 4).
- Orienter la lunette (**a**) perpendiculairement à une face latérale du réseau 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**).

Fig. 4 Spectromètre à réseau  
**a** lunette  
**c1** vis de niveau pour le plateau pour prisme  
**e** collimateur  
**g** réseau sur support



- Recommencer les deux opérations suivantes jusqu'à ce que le fil vertical et son image réfléchi coïncident des deux côtés du réseau:

1) Faire pivoter la lunette de  $180^\circ$  conformément à la fig. 4 de telle sorte que le réticule se réfléchisse sur l'autre face latérale du réseau.

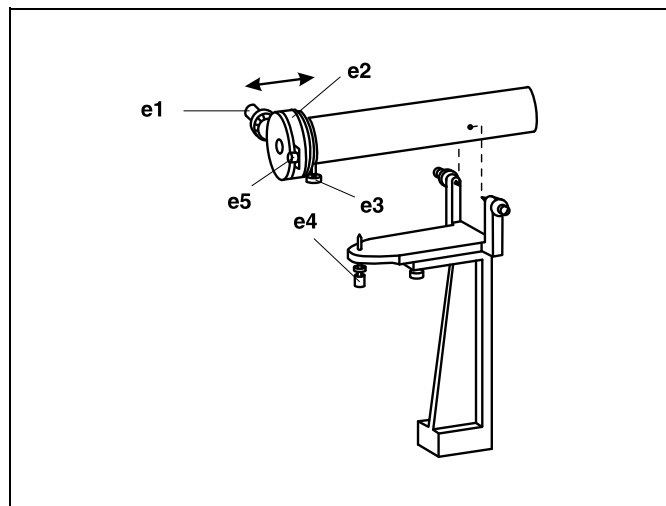
2) Vérifier si le fil et l'image réfléchi coïncident. Si tel n'est pas le cas, comme précédemment, régler la moitié de la différence avec la vis de réglage en hauteur de la lunette (**a6**) (voir fig. 6) et l'autre moitié avec la vis de niveau du plateau pour prisme (**c1**).

- Bloquer la vis de réglage en hauteur de la lunette (**a6**) à l'aide d'un contre-écrou.
- Enlever le réseau avec support du plateau pour prisme, prendre note de l'orientation du réseau par rapport aux vis de niveau du plateau pour prisme parce qu'il n'y a que dans cette position qu'il est parallèle à l'axe de rotation de la lunette et qu'il faut le remettre sur le plateau pour prisme pour la réalisation de l'expérience.
- 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 une des lampes spectrales.
- Orienter la lunette sur 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.
- 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**).

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



**Montage**

- Fixer la lampe spectrale He dans le carter, monter l'ensemble dans le pied ainsi que représenté à la fig. 7, 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 réseau 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.
- Pour réaliser plus tard des mesures précises, placer le réseau sur l'axe de rotation de la lunette et perpendiculairement à l'axe optique du collimateur sur le plateau pour prisme (centre du plateau pour prisme).

Le pouvoir de résolution augmente au fur et à mesure que la largeur de la fente diminue, l'intensité lumineuse du spectre étant toutefois plus faible :

Régler une largeur appropriée de la fente avec la vis micrométrique pour l'élargissement de la fente (**e1**).

**Réalisation**

*Remarque: Le spectromètre est équipé de deux verniers opposés. Afin de réduire les erreurs de lecture et de compenser une éventuelle excentricité de la graduation du limbe par rapport à l'axe de rotation, faire la moyenne des deux relevés et l'ajouter à la valeur sur le limbe gradué.*

**a) Mesure du spectre de raies He :**

- Serrer la vis de fixation pour la lunette (**f4**) et régler le fil vertical du réticule avec le réglage de précision pour la rotation de la lunette (**f3**) successivement sur chacune des raies spectrales de même ordre de diffraction des deux côtés du maximum principal. Relever et noter les positions correspondantes de la lunette sur le limbe gradué à l'aide des loupes de lecture (**f6**) et des deux verniers (**f5**).

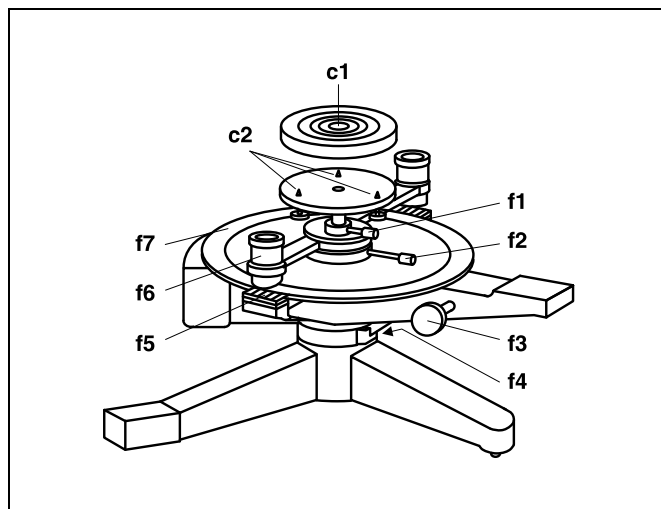


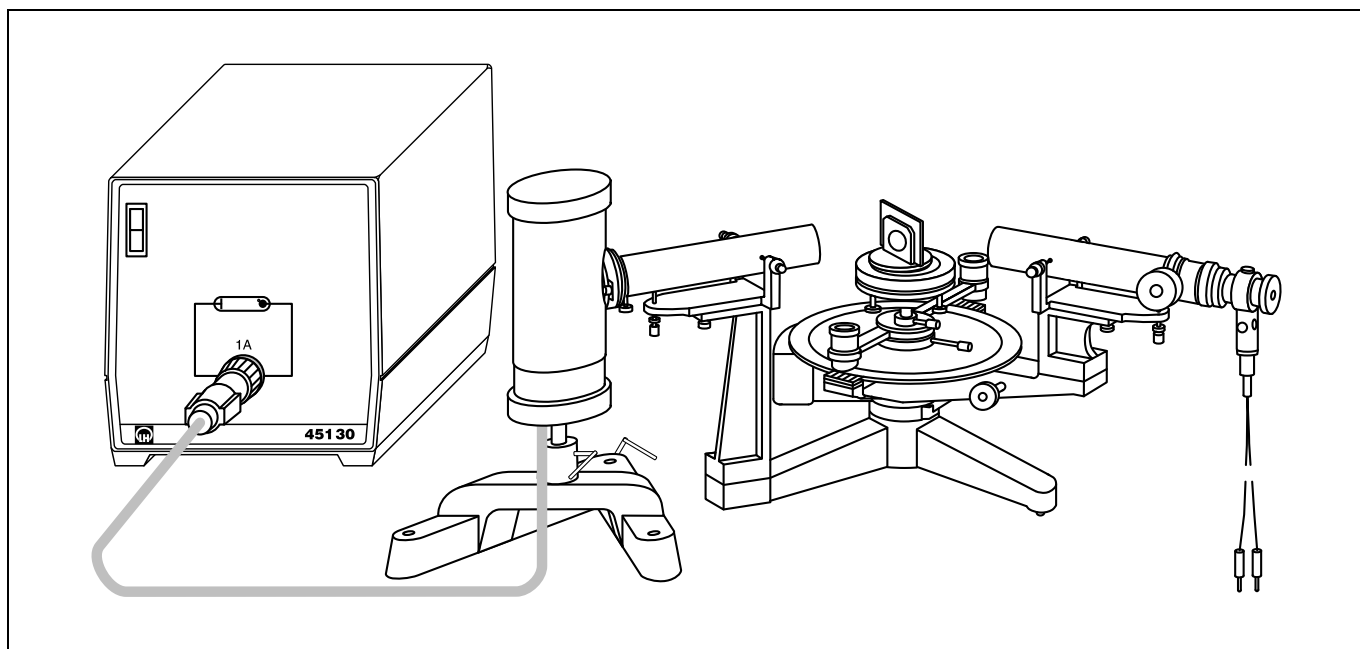
Fig. 6 Appareil de base du spectromètre et plateau pour prisme

- 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

**b) Détermination de la distance entre les deux raies D de sodium**

- Remplacer la lampe spectrale He par la lampe spectrale Na; au moment d'éclairer la fente, veiller ici aussi à ce que la lampe soit bien dans l'axe optique du collimateur.
- Chercher le premier ordre de diffraction des deux raies D jaunes de sodium des deux côtés du maximum principal.
- Régler le fil vertical du réticule sur chacune des raies spectrales puis relever et noter les positions.
- Recommencer la mesure pour le deuxième ordre de diffraction.

Fig. 7 Montage expérimental complet après l'ajustage



## Exemple de mesure et exploitation

## a) Mesure du spectre de raies de l'hélium

Remarque: Le spectromètre à réseau 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.

On a:

$$\lambda = \frac{\sin \frac{\Delta\alpha}{2}}{n \cdot N} \quad (I)$$

n: ordre de diffraction

$\Delta\alpha$ : écart angulaire entre la raie spectrale de droite et celle de gauche du n<sup>ème</sup> ordre (voir fig. 8),

N: nombre de traits,  $\lambda$ : longueur d'onde

Avec le nombre de traits donné  $N = 5700 \text{ cm}^{-1}$ , on a pour les raies spectrales observées les longueurs d'onde indiquées dans le tableau 1 à partir des angles  $\Delta\alpha$  mesurés. Elles correspondent aux valeurs littéraires données pour l'hélium mais sont en moyenne d'env. 1,0 ‰ supérieures à ces valeurs. Si on calcule les longueurs d'onde avec un plus grand nombre de traits ( $N = 5706 \text{ cm}^{-1}$ ), on obtient alors une remarquable concordance avec les valeurs littéraires (voir tab. 1).

Tab. 1: Raies spectrales de la lampe He qui sert d'exemple; ces raies ont été mesurées pour l'ordre de diffraction  $n = 1$  (les indications données dans la littérature se réfèrent aux longueurs d'onde dans l'air, dans des conditions normales et dans le vide, pour la définition de  $\Delta\alpha$ , voir fig. 8)

$\Delta\alpha$	$\frac{\lambda_{5700} / \text{cm}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{5706} / \text{cm}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{air}}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{vide}}}{\text{nm}}$
29,56°	447,6	447,1	447,0	447,1
31,18°	471,5	471,0	471,2	471,3
32,62°	492,7	492,2	492,1	492,2
33,24°	501,8	501,3	501,5	501,6
39,17°	588,1	587,5	587,4	587,6
44,79°	668,4	667,7	667,6	667,8
47,55°	707,3	706,5	706,3	706,5

## b) Détermination de la distance entre les deux raies D jaunes du sodium:

Tab. 2: Raies D du sodium, mesurées pour les ordres de diffraction  $n = 1$  et  $n = 2$

Raie	n	$\Delta\alpha$	$\frac{\lambda_{5706} / \text{cm}}{\text{nm}}$
D <sub>1</sub>	1	39,300°	589,33
	2	84,542°	589,41
D <sub>2</sub>	1	39,250°	588,61
	2	84,425°	588,74

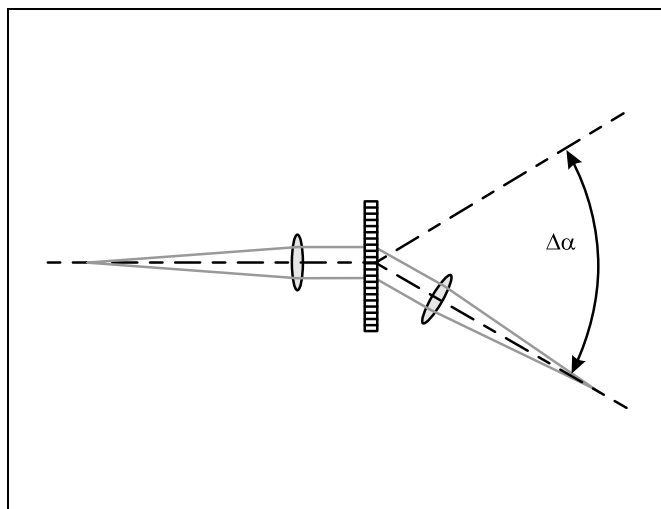


Fig. 8 Schéma pour la définition de l'angle  $\Delta\alpha$

Le tableau 2 donne les valeurs  $\Delta\lambda = 0,72 \text{ nm}$  (mesuré pour  $n = 1$ ) et  $\Delta\lambda = 0,67 \text{ nm}$  (mesuré pour  $n = 2$ ) pour la distance entre les deux raies D jaunes du sodium I

La moyenne s'élève à  $\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 0,70 \text{ nm}$ .

Valeur littéraire pour les longueurs d'onde dans l'air dans des conditions normales:

$$\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 589,418 \text{ nm} - 588,821 = 0,597 \text{ nm}$$

## Informations supplémentaires:

Le spectromètre et goniomètre peut aussi s'utiliser comme spectromètre à prisme (voir description d'expérience P 5.7.1.2). Comme la déviation ne dépend pas linéairement de la longueur d'onde, il faut alors une courbe d'étalonnage établie avec une lampe spectrale de spectre connu pour pouvoir déterminer les longueurs d'onde des raies spectrales. Du reste, le pouvoir de résolution n'est pas aussi élevé que celui d'un bon spectromètre à réseau.

Les spectres prismatiques ont une meilleure intensité car dans le cas du spectromètre à réseau, il y a une grande part du rayonnement qui se perd dans l'ordre zéro non diffracté et le reste se répartit sur plusieurs ordres de diffraction de part et d'autre de l'ordre zéro. A cause de cela, il est à peine possible, voire même impossible, d'observer des raies spectrales de faible intensité avec le spectromètre à réseau.