

MESURE DE L'INDICE DE REFRACTION D'UN MILIEU EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE

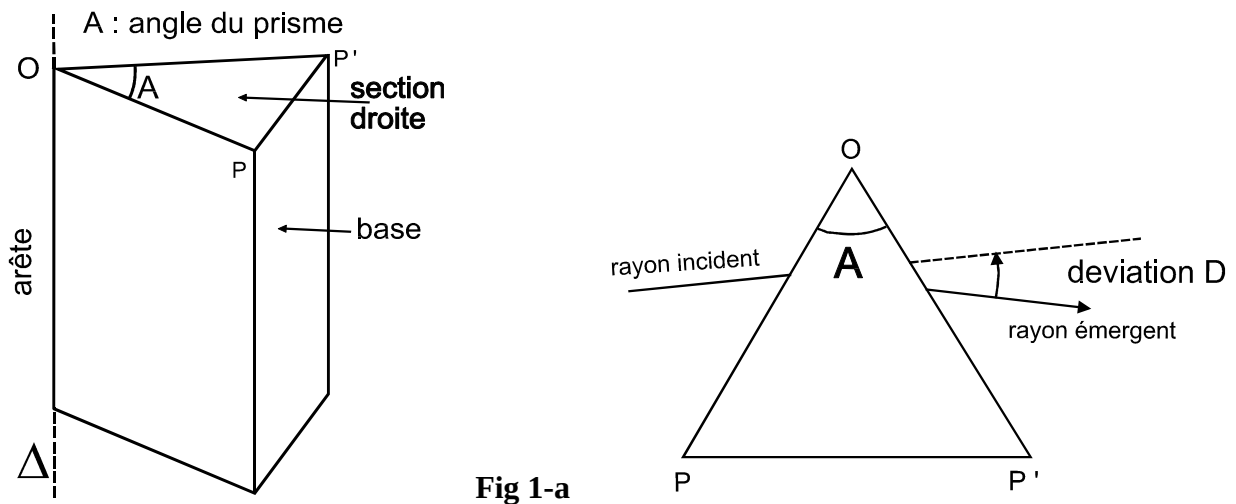
Licence de Physique 2000- 2001
Université F. Rabelais
UFR Sciences & Techniques

P. Drevet

A1 - GONIOMETRE DE BABINET

I. PRINCIPE DE LA MESURE PAR LA METHODE DU MINIMUM DE DEVIATION.

L'évaluation de la déviation D est essentielle dans ce TP et les figures 1-a et 1-b permettent de fixer les différents termes utilisés.



Remarque : Tous les rayons sont dans un plan de section droite du prisme et donc perpendiculaires à l'arête.

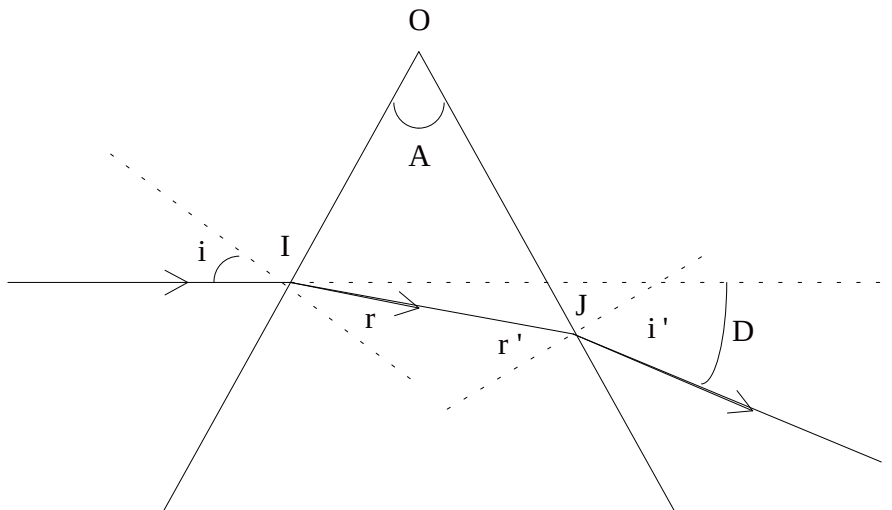


Fig 1-b

A partir des lois de Descartes et de considérations géométriques, il est possible de faire apparaître 4 relations (les 2 dernières sans orienter les angles) :

$$\sin i = n \cdot \sin r \quad (1)$$

$$A = r + r' \quad (3)$$

$$n \cdot \sin r' = \sin i' \quad (2)$$

$$D = i + i' - A \quad (4)$$

En dérivant (4) par rapport à i puis en remplaçant di'/di à partir d'un calcul différentiel sur les 3 premières équations, il est possible de montrer que $D(i)$ passe par un extremum (que nous admettrons être un minimum) pour $i = i' = i_m$ (et donc $r = r' = r_m$).

Pour cette valeur minimale de D , notée D_m , on aura donc d'après (3) et (4) :

$r_m = A / 2$ et $i_m = (A + D_m) / 2$, ce qui permet d'exprimer l'indice n à partir de l'équation (1) :

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

La détermination expérimentale de la déviation minimale D_m permettra donc de connaître l'indice de réfraction n

II – DESCRIPTION DU MATERIEL

1 – LAMPE A VAPEUR DE MERCURE

Celle-ci est en verre et émet les radiations principales suivantes dont les longueurs d'onde sont indiquées entre parenthèses : violet forte (404,6 nm) ; bleu intense (435,8 nm) ; vert foncé faible (491,6 nm) ; vert jaune intense (546,1 nm) ; doublet jaune intense (576,9-579,0 nm).

Cette source de lumière polychromatique permettra d'étudier la variation de l'indice de réfraction n avec la longueur d'onde.

N.B. : Ne pas éteindre la lampe spectrale au cours de la manipulation sinon il faut attendre une dizaine de minutes avant de pouvoir la rallumer.

2 - GONIOMETRE

a) Description

Le goniomètre utilisé (voisin de celui présenté en fig. 2) permet des mesures précises de directions et d'angles et se compose des éléments suivants :

- un disque horizontal D dont le périmètre (limbe) est gradué en demi-degrés,

- un collimateur C constitué par une fente F , de largeur réglable par l'étudiant, placée au foyer d'une lentille convergente et transformant le faisceau de lumière divergent issu de la lampe spectrale S en un faisceau parallèle,

- une platine horizontale P, mobile autour de l'axe vertical du disque gradué et sur laquelle est collé le prisme de verre de façon que son arête A soit à peu près au centre de P,

- une lunette de visée horizontale L mobile autour de l'axe central vertical et dont la position sur le cercle gradué est repérée à l'aide d'un vernier V au $1 / 30^{\text{ème}}$ (principe en Annexe) solidaire du support de la lunette. Pour avoir de très petits déplacements de la lunette, il est possible de l'entraîner au moyen d'une vis micrométrique, à condition d'avoir précédemment bloqué la lunette sur le cercle. A l'intérieur de la lunette, l'axe optique est matérialisé par le point de croisement de deux fils situés dans le plan focal de l'oculaire et constituant le réticule R.

b) Lecture des angles

Les directions angulaires de visée α et α' (fig. 2) n'interviennent que par leur différence dans la détermination des angles A et D_m . En conséquence, la position du zéro sur le cercle est secondaire .

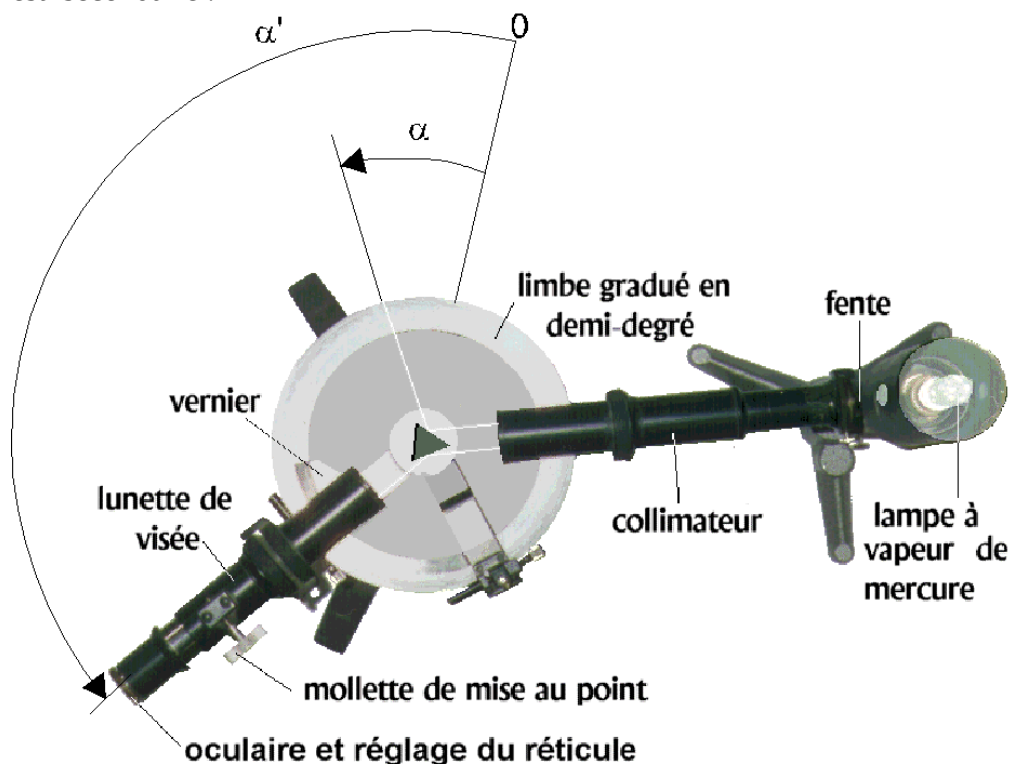


Fig . 2 Positionnement du prisme pour la mesure de l'angle A

III - MANIPULATIONS

1 – REGLAGE DE LA LUNETTE AUTOCOLLIMATRICE

La lunette est décrite ci-après (fig. 3) et contient en plus d'une lunette de visée classique une lame semi-réfléchissante G qui peut être éclairée par une ampoule "a" alimentée sous 6 V. Une vis et une petite lame L métallique noire au dessus de l'oculaire permet de glisser ou de retirer la lame G.

Mise au point de l'oculaire sur le réticule :

Après avoir fait glisser la lame L, le réticule apparaît éclairé. Ajuster l'oculaire C pour que les fils soient nets. L'observation se fait alors naturellement à l'infini. Retirer la lame L et ne plus toucher ensuite à l'oculaire.

Mise au point de la lunette sur l'infini :

Vérifier d'abord l'horizontalité de la lunette en éclairant le collimateur par la lampe spectrale, en prenant soin de ne pas trop ouvrir la fente du collimateur pour ne pas être ébloui. Observer l'image de la fente et la positionner de façon centrée à l'aide de la molette H de réglage.

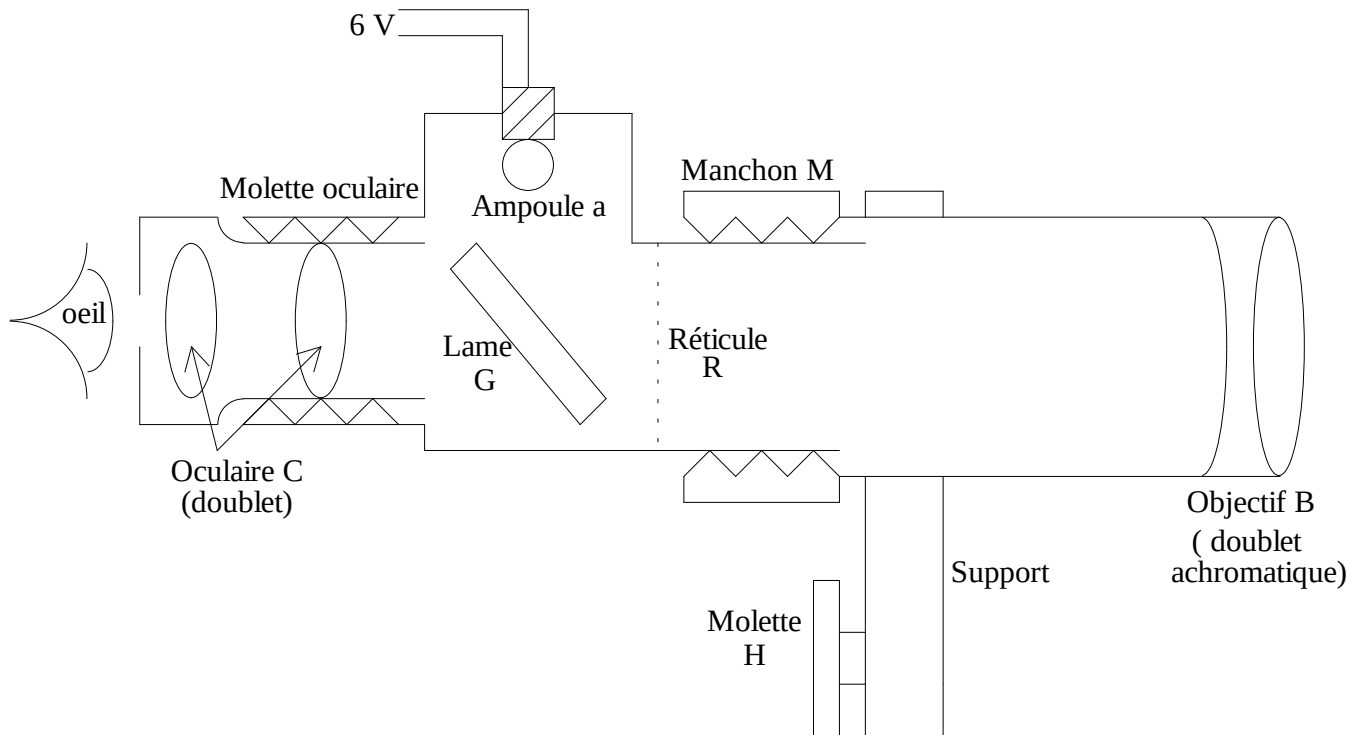


Fig.3

Disposer ensuite un miroir contre l'objectif de la lunette en utilisant toujours l'éclairage du réticule. Régler la distance RB (réticule – objectif) à l'aide du manchon M noir afin que l'image R' de R se superpose à R (on inclinera légèrement le miroir pour différencier R' de R). On a alors, comme le montre la figure 4, R qui coïncide avec le foyer objet F de l'objectif. Tout objet à l'infini, observé à la lunette, donnera donc une image dans le plan focal de l'objectif où se trouve le réticule qui sera vu sans accommodation par l'œil à travers l'oculaire.

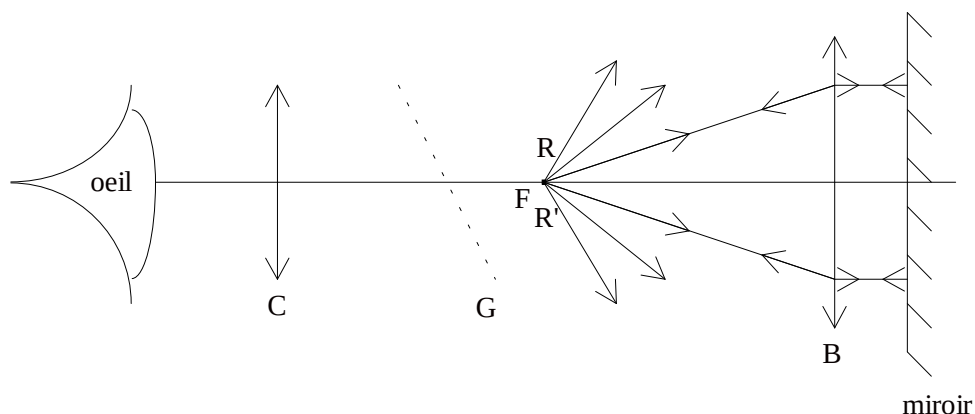


Fig. 4

Ne plus rien modifier au niveau de la lunette de visée par la suite.

Supprimer l'éclairage du réticule et observer la fente éclairée du collimateur. Si jamais l'image n'était pas nette, modifiez le tirage du collimateur (par déplacement longitudinal de la fente).

Le dernier réglage envisageable serait l'horizontalité du support du prisme mais ceci ne sera pas réalisé ici.

2 - MESURE DE L'ANGLE A DU PRISME

Disposer la platine mobile du goniomètre de façon que l'arête A du prisme partage, approximativement, le faisceau lumineux parallèle issu du collimateur en deux parties réfléchies sur chacune des faces du prisme (ce dont on s'assurera en cherchant à l'œil nu ces rayons réfléchis avant de repérer leurs directions de façon précise à l'aide de la lunette).

La vis moletée bloquant la platine ayant été serrée pour éviter de déplacer le prisme, amener la lunette à viser successivement l'image de la fente suivant les deux directions PR et QS correspondant aux rayons réfléchis (fig. 5). Déterminer à l'aide du vernier les positions angulaires α (SQ) et α' (RT) de la lunette sur le cercle gradué .

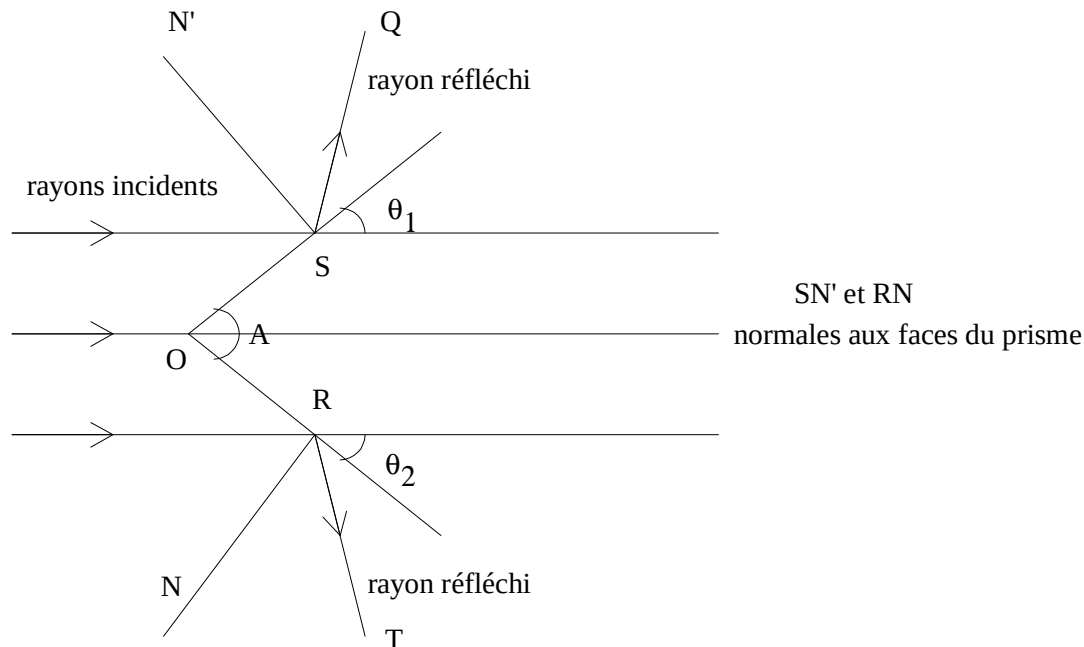


Fig. 5

En déduire l'angle formé par ces 2 rayons réfléchis puis la valeur de l'angle A (pour obtenir l'expression de A en fonction de α et α' , on utilisera la loi de la réflexion et des propriétés géométriques et on indiquera sur la fig. 5 où se retrouvent aussi les angles θ_1 et θ_2 tels que $\theta_1 + \theta_2 = A$).

3 - METHODE D'OBTENTION DU MINIMUM DE DEVIATION D_m

Disposer le prisme et la lunette comme indiqué sur la Fig. 6.

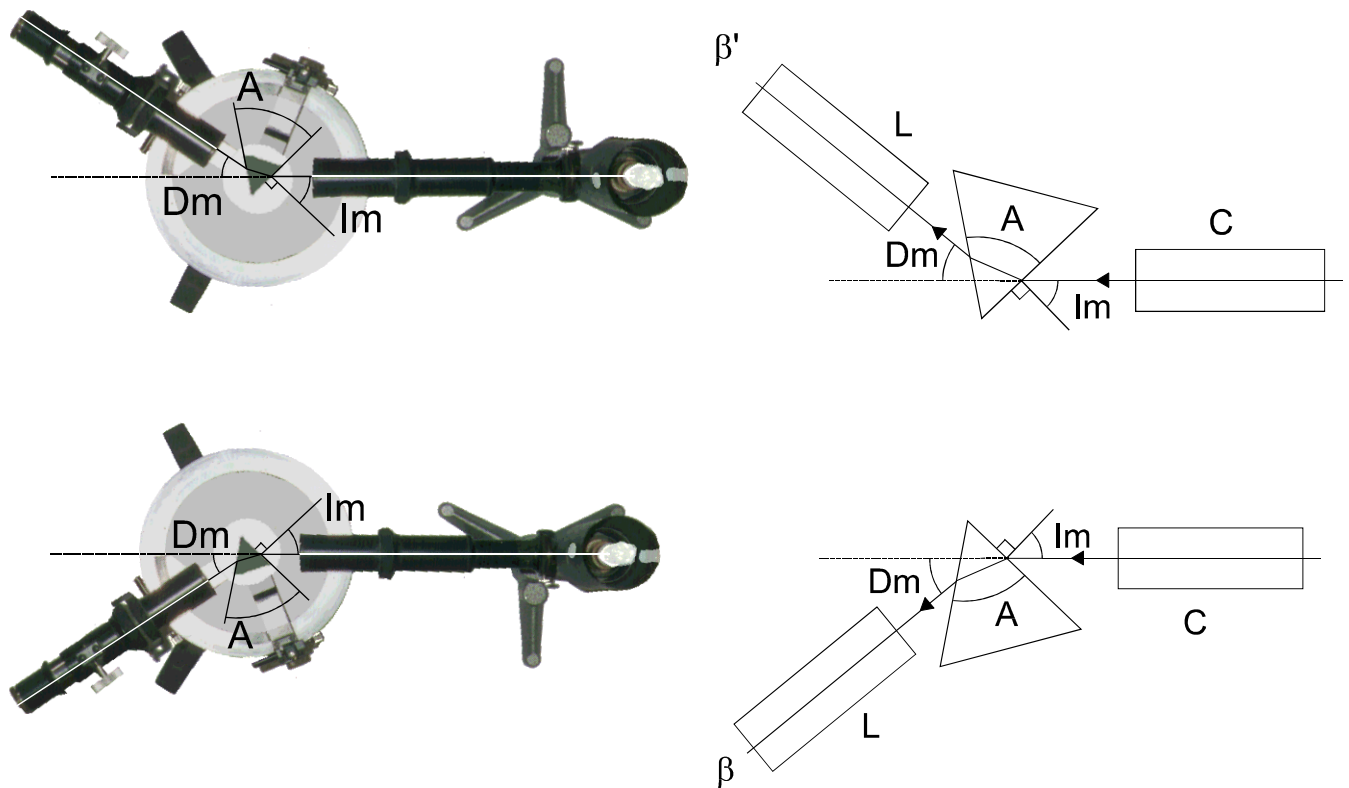
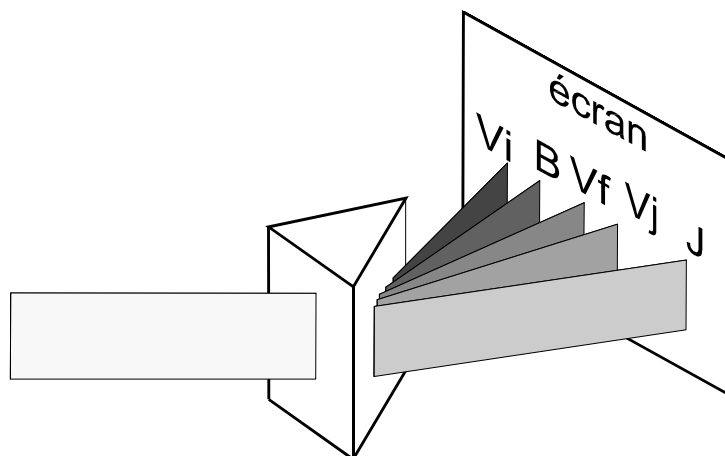


Fig. 6

Dans un premier temps, écarter la lunette et chercher à l'œil nu les faisceaux émergents dans la direction indiquée sur la fig. 6.

On observe des "raies" lumineuses (images de la fente) de différentes couleurs. Cela vient de ce que le faisceau lumineux incident n'est pas monochromatique ; il émet des radiations de différentes longueurs d'onde. Comme l'indice n dépend de la longueur d'onde, la déviation en dépend également.



Faisceaux réfractés parallèles et
monochromatiques (spectre de raies)

Dispersion volontairement exagérée

Fig. 7

Faire pivoter le prisme à l'aide du bras solidaire de la platine (on modifie ainsi l'angle d'incidence i) On constate que la direction des différents faisceaux lumineux varie quand le prisme tourne.

Remarque : On montre que l'angle d'incidence i doit être supérieur à un angle i_0 pour avoir émergence du faisceau. En effet, l'indice du verre étant supérieur à 1, on peut avoir réflexion totale au niveau du dioptré de sortie verre-air.

Le minimum de déviation est atteint quand on voit le faisceau sélectionné rebrousser chemin lorsqu'on augmente l'angle d'incidence i .

L'angle formé par le faisceau émergent et le faisceau incident (qui a la direction de l'axe optique du collimateur C) est alors le plus petit possible ... déviation minimale !

Cette position du prisme étant trouvée, y amener la lunette de visée et peaufiner le réglage de la position du prisme qui donne le minimum de déviation. Pointer avec le réticule et lire à l'aide du vernier la position correspondant à β (fig. 6-a).

Remarque importante : L'angle d'incidence i_m pour lequel la déviation est minimale et le minimum de déviation D_m lui-même dépendent de n : à chaque longueur d'onde correspond une position différente du prisme pour laquelle il y a déviation minimum. Il faut donc, pour chaque raie du spectre, trouver la position du prisme donnant cette déviation minimum, viser les rayons émergents avec la lunette, relever la direction β correspondant.

Retourner le prisme, comme indiqué sur la fig. 6-b, et la lunette symétriquement par rapport à l'axe du collimateur et mesurer la direction β' correspondant pour chaque raie. De l'angle défini par les deux position de la lunette, déduire la valeur de D_m en indiquant l'approximation faite.

IV - EXPLOITATION DES MESURES

1 – INDICE DE REFRACTION DU VERRE DU PRISME

Calculer la valeur de l'indice n pour toutes les radiations observées à partir de la relation :

$$\sin((A + D_m)/2) = n \cdot \sin(A/2)$$

Déterminer l'incertitude Δn (on montre que l'incertitude relative sur la valeur de n calculée est donnée par la formule : $\frac{\Delta n}{n} = \frac{\varepsilon}{2} \cdot \cotg\left(\frac{A}{2}\right)$ où $\varepsilon = \Delta A = \Delta D_m$ (en radians) est l'incertitude sur la mesure des angles qui sera évaluée lors du TP).

2 – COURBE DE DISPERSION

Représenter sur un graphe les couples de points (λ, n_λ) .

Comparer à la formule de dispersion dite de Cauchy : $n(\lambda) = A + B / \lambda^2$

VII - ANNEXE : PRINCIPE D'UNE LECTURE AVEC VERNIER

Un vernier est constitué d'une réglette mobile, r, qui se déplace le long d'une règle fixe, R.

Un vernier est dit au $n^{\text{ième}}$ si n graduations de r correspondent à $n-1$ graduations de R.

Soit l'exemple du vernier au 1/10 représenté ci-dessous Fig. 8-a, 10 graduations de r correspondent à 9 graduations de R et donc 1 graduation de r représente $\frac{9}{10}$ division de R.

Mesure d'une longueur x : (Fig 8 -b)

On voit ici que la graduation 8 de R coïncide avec la graduation 3 de r donc :

$$8 = x + 3 \cdot \frac{9}{10} \quad \text{soit} \quad 8 = x + 2,7 \quad \text{d'où} \quad x = 5,3 \text{ div. de R}$$

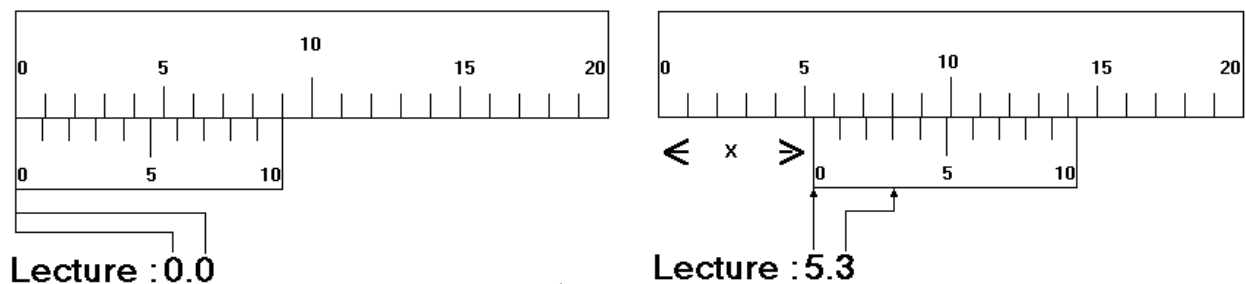


Fig. 8

On constate que la lecture de x peut se faire **directement, sans calculs**, en repérant d'abord le 0 de r par rapport à R (ici entre les divisions 5 et 6 et plus près de 5 $\rightarrow x = 5, \dots$ div) puis en utilisant le vernier (ici au dixième) c'est à dire en repérant la graduation coïncidente de la règle r par rapport à R (ici la division 3 $\rightarrow$ soit $3 \times 1/10 = 0.3 \rightarrow x = 5,3$ div de R).

Dans le cas d'une lecture d'angle repérer d'abord à quoi correspond une division de R : degré, demi-degré, minute, radian, puis le nombre de divisions du vernier r, ce qui permet de faire correspondre une division de r avec une unité d'angle. Ensuite repérer le zéro du vernier pour la lecture grossière de l'angle et affiner avec la précision fournie par le vernier.