

OS – TP 3

Dispersion par un prisme

NE JAMAIS ÉTEINDRE LES LAMPES SPECTRALES PENDANT LA SÉANCE !

Principe de l'étude du prisme

L'indice de réfraction d'un matériau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui le traverse, c'est le phénomène de dispersion. Une propriété d'un prisme en verre est donc de dévier différemment la lumière pour chaque longueur d'onde de la source. Si on étudie le prisme avec une source de lumière blanche naturelle, nous observons une décomposition continue de la lumière (spectre continu). Il existe un autre type de sources lumineuses qui n'émettent que des radiations dans des raies centrées autour de longueurs d'onde facilement distinguables (on parle alors de spectre discret). Au cours de la manipulation, nous allons utiliser une lampe spectrale à vapeur de Mercure (Hg) qui émet des radiations dont quatre nous intéressent :

- doublet jaune ;
- vert pomme ;
- bleu turquoise (faible) ;
- indigo.

La suite du TP consiste à mesurer ces longueurs d'onde et à étudier l'évolution d'une caractéristique du prisme, son indice de réfraction, lorsqu'il est soumis à chacune de ces longueurs d'onde.

I - Préparation à rédiger sur feuille avant le TP

Toutes les interprétations de mesure sont basées sur les propriétés optiques du prisme.

1. Donner les relations entre les différents angles d'incidence, de réfraction, du prisme et de déviation, que l'on fera apparaître sur un schéma clair. On définira tous les angles positifs et orientés dans le sens trigonométrique.
2. Donner les deux conditions d'émergence (angle d'incidence limite i_0 et condition sur l'angle A du prisme).
3. À partir des résultats du TD sur les lois de Descartes, *établir* l'expression de l'indice n en fonction de A et i_0 .
4. Donner la relation entre la déviation minimum D_m , l'indice n du matériau constituant le prisme n et l'angle au sommet du prisme.
5. Rappeler les formules de Cauchy en longueurs d'onde et en fréquence (cf. poly « Cours Optique »).
6. Relire l'énoncé de TP sur les mesures d'angles au goniomètre, et les notes de cahier de laboratoire, pour se rappeler les méthodes de mesure de la déviation et de l'angle d'incidence. On rappelle que :

$$D = |\gamma_D - \gamma_0| \quad \text{et} \quad 2i = 180^\circ - |\gamma_i - \gamma_0|$$

Dans tout le TP on considérera que l'angle du prisme est celui déterminé lors du TP Goniomètre.

II - Réglage du goniomètre

Se munir de l'énoncé OS-TP2 sur les mesures d'angles au goniomètre et procéder aux réglages du goniomètre (lunette autocollimatrice, collimateur, etc.).

Ces réglages seront notés : vous disposez d'une dizaine de minutes. Merci d'appeler le professeur lorsque vous estimez que vos réglages sont prêts.

III - Mesures

Position de la fente source

1. Une fois la lunette et le collimateur réglés, placer le collimateur approximativement sur l'angle 0. Repérer, grâce au vernier, la position de la lunette lorsqu'elle pointe la lumière issue de la fente source. Il s'agit de la direction de référence de la lumière incidente pour toute la suite du TP. On notera γ_0 cette position de la lunette et on en notera soigneusement la mesure dans le compte-rendu.

Mesure d'un angle limite d'émergence et estimation de l'indice

2. Mesurer l'angle limite i_0 tel que si $i < i_0$ il n'y a pas de rayon émergent. Pour cela, positionner le prisme de façon à ce que l'angle d'incidence soit élevé. Repérer avec la lunette la raie verte. En tournant la platine du prisme, diminuer progressivement l'angle d'incidence tout en suivant le déplacement de la raie avec la lunette. Pour la dernière position pour laquelle la raie est visible, bloquer la plateforme du prisme et mesurer la valeur de γ_{i_0} comme expliqué dans le TP sur les mesures d'angles au goniomètre. En déduire la valeur de i_0 . Connaissant la relation entre i_0 , A et n , en déduire une première valeur approchée de n_{vert} (indice du prisme pour la raie verte).
3. À l'aide de cette première estimation de n , déterminer la valeur approximative que l'angle au sommet du prisme A ne doit pas dépasser et vérifier que cette condition est bien respectée.

Mesures des déviations minimales

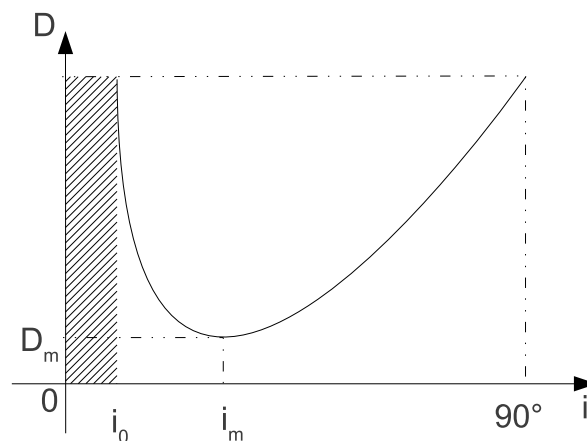


FIGURE 1.1 – Courbe de la déviation D en fonction de l'angle d'incidence i , faisant apparaître le minimum de déviation $D_m = D(i_m)$ et l'angle d'incidence limite i_0 .

4. Faire une mesure du minimum de déviation D_m pour chacune des radiations et relever à chaque fois l'angle d'incidence i_m correspondant. On complètera la table 1.2. Le minimum de déviation se repère grâce à la propriété suivante : quand l'angle d'incidence diminue à partir d'une valeur élevée, la déviation commence par décroître, puis est minimum et enfin augmente (voir la figure 1.1 et la lire de droite à gauche). Quand on suit une raie particulière à la lunette, le passage autour du minimum se traduit par un changement de sens de déplacement de la raie. Méthode : se placer en incidence élevée, tourner la platine du prisme pour diminuer l'incidence tout en suivant une raie particulière à la lunette. Positionner le réticule de la lunette à l'endroit précis où le sens de déplacement de la raie s'inverse. Mesurer D_m .

Mesure du spectre de la lampe

À l'aide du spectromètre à fibre optique et de son logiciel de traitement, obtenir le spectre de la lampe à vapeur de mercure. Pour faciliter le repérage des raies, on pourra s'aider de la table 1.4.

5. Relever les longueurs d'onde des quatre¹ raies précédentes. Dans le compte-rendu, on donnera ces valeurs sous forme de tableau (voir table 1.1) ainsi qu'une impression papier du spectre. Pour les doublets, on retiendra comme valeur la moyenne des longueurs d'onde des deux raies.
6. Pour chaque raie, on pointe au spectromètre et on relève la valeur du maximum en ordonnée, noté y_{max} , puis on pointe et relève les longueurs d'onde extrêmes de la raie pour $\frac{y_{max}}{2}$, notées $\lambda_{min}(\frac{y_{max}}{2})$ et $\lambda_{max}(\frac{y_{max}}{2})$.

Exploitations des mesures

7. Le meilleur estimateur de la longueur d'onde d'une raie est alors $\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max} + \lambda_{min}}{2}$ et l'étendue de la mesure est $\lambda_{max} - \lambda_{min}$. Étant donnée la méthode d'obtention de cette étendue, on parle alors de « largeur à mi-hauteur » de la raie.

En modélisant chaque raie par une raie rectangulaire de hauteur égale y_{max} et de largeur égale à la largeur à mi-hauteur, on peut établir pour chaque longueur d'onde une évaluation de l'incertitude-type sur l'estimateur λ : $u(\bar{\lambda}) = \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2\sqrt{3}}$.

Remplir la table 1.1.

8. En utilisant les valeurs des déviations minimales, déterminer grâce à la méthode de Monte Carlo les valeurs simulées et les incertitudes-types simulées sur chacune des valeurs de l'indice de réfraction.

Remplir la table 1.3.

9. À l'aide des tables 1.1 et 1.3, tracer sur **papier millimétré** la courbe de dispersion du prisme $n = f(\frac{1}{\lambda^2})$. Afin d'utiliser au maximum la surface de papier, on pourra tronquer l'axes des ordonnées². En déduire *graphiquement à la main* les valeurs des constantes de la loi de Cauchy (c'est-à-dire la pente et l'ordonnée à l'origine de la courbe tracée), avec leurs unités.
10. Grâce à un tableur et à la fonction DROITEREG, effectuer une régression affine à partir des valeurs utilisées à la question précédente et déduire de cette régression affine de nouvelles valeurs des constantes de la loi de Cauchy³. À l'aide de résidus normalisés déterminer la compatibilité du modèle obtenu avec les données expérimentales.

raie	longueur d'onde	largeur à mi-hauteur	$u(\lambda)$	écriture du mesurage
indigo				
bleu turquoise				
vert pomme				
doublet jaune				

TABLE 1.1 – Longueurs d'onde d'émission de quelques raies de la lampe à vapeur de mercure.

Couleur	Indigo	Bleu turquoise	Vert pomme	Doublet jaune
$\gamma_0 =$				
γ_{D_m}				
D_m				

TABLE 1.2 – Déviation minimum pour différentes longueurs d'onde et valeur de l'indice.

1. La raie turquoise est parfois difficile à obtenir au spectromètre. Si c'est le cas, on admettra que la longueur d'onde est celle de la table 1.4 et on n'effectuera pas d'évaluation de l'incertitude pour cette longueur d'onde.

2. Attention dans ce cas à ne pas tronquer la partie de l'axe contenant l'ordonnée à l'origine...

3. Des indications sur l'utilisation de cette fonction sont données dans le fascicule de Compétences transverses ainsi que dans la feuille de calcul accessible via le site <http://physique.ptsj-dorian.net> à la rubrique « Documents de cours »

raie	n	$u(n)$	écriture du mesurage
indigo			
bleu turquoise			
vert pomme			
doublet jaune			

TABLE 1.3 – Indice de réfraction du verre du prisme pour quelques raies de la lampe à vapeur de mercure.

Raies d'émission de quelques lampes spectrales

Lampe	couleur	λ en nm	Intensité
Na	Rouge	615,7	Intense
	Jaune	589,6-589,0	Doublet très intense
	Vert-jaune	568,8-568,3	Doublet intense
	Vert	515,2	Intense
	Bleu-vert	498,1	Intense
	Bleu-violet	475,0	Très, très pâle
	Violet	466,7	Intense
Hg	Rouge	690,7	Pâle
	Rouge	623,4	Pâle
	Rouge	612,3	Très pâle
	Rouge	607,2	Très pâle
	Jaune	579,1-577,0	Doublet intense
	Vert pomme	546,1	Très intense
	Vert	496,0	Très pâle
	Bleu turquoise	491,6	Pâle
	Indigo	435,8	Intense
	Violet	407,8	Très pâle
	Violet	404,7	Intense
Cd	Rouge	643,8	Très intense
	Vert	508,6	Pâle
	Bleu	480,0	Pâle
	Bleu-violet	467,8	Pâle

TABLE 1.4 – Données spectrales de quelques lampes à vapeurs.