Travaux pratiques – TP 4

Goniomètre à réseau : spectrométrie

Capacités exigibles

- ◇ Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.
- ◇ Mesurer une longueur d'onde optique à l'aide d'un goniomètre à réseau.

Objectifs

- ◇ Vérifier la formule des réseaux en incidence normale.
- ◇ Déterminer le pas d'un réseau.
- ◇ Utiliser un réseau pour déterminer les longueurs d'onde émises par une lampe spectrale après étalonnage du réseau.

I S'approprier

I/A Les réseaux de diffraction

I/A) 1 Qu'est-ce qu'un réseau ?

Un réseau de diffraction par transmission est constitué d'une plaque de verre sur laquelle ont été gravées des stries parallèles, laissant apparaître entre elles des bandes très fines, transparentes, parallèles et équidistantes, équivalentes à des fentes. La distance entre deux telles fentes successives est notée a et est appelée le **pas du réseau**. Son ordre de grandeur est le micromètre : un bon réseau comporte plusieurs dizaines de milliers de « fentes » (le réseau que vous allez utilisez comporte 600 traits par millimètre). Le fonctionnement sera détaillé plus tard dans l'année.

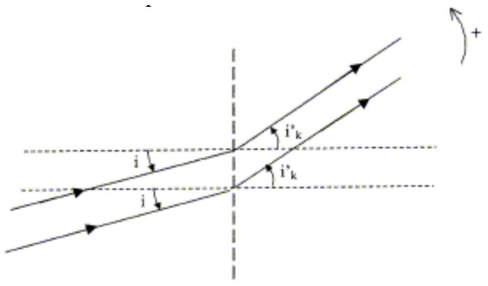
I/A) 2 Formule des réseaux par transmission

Propriété TP4.1 : Formule du réseau

Éclairé en lumière parallèle de longueur d'onde λ sous incidence i, on observe de la lumière dans les directions i'_k vérifiant :

$$\sin(i'_k) - \sin(i) = k\frac{\lambda}{a} \qquad \text{avec} \qquad k \in \mathbb{Z}$$

Avec k l'ordre d'interférence (constructive).



Ainsi, on ne voit de la lumière que dans quelques directions, dont la direction incidente (pas de déviation, $i = 0$). L'examen de la formule des réseaux montre que k est « petit » : il ne dépasse pas 2 ou 3 en général.

Implication TP4.1 :

Si la lumière incidente est polychromatique, pour un ordre k donné, l'angle i'_k dépend de λ : les différentes radiations sont donc angulairement séparées (sauf pour $k = 0$ où toutes les couleurs se superposent), et on obtient donc le spectre de la lumière incidente.

On note aussi que pour un ordre k donné, à l'inverse du prisme, le violet est moins dévié que le rouge. Ce constat n'est pas particulièrement surprenant puisque ce n'est pas du tout les mêmes phénomènes physiques qui sont mis en jeu. En effet, le prisme dévie la lumière de manière différenciée selon la fréquence car l'indice optique du matériau qui le compose dépend de ladite fréquence. Dans le cas du réseau, le phénomène est uniquement dû aux interférences entre un grand nombre de sources.

Attention TP4.1 :

Dans le TP, **le réseau sera utilisé en incidence normale**, c'est-à-dire pour $i = 0$. Par ailleurs, le spectre sera établi autour du premier ordre d'interférence $k = \pm 1$.

I/B Présentation du goniomètre

Un **goniomètre** est un appareil qui sert à **mesurer des angles** avec une précision d'une minute d'angle. C'est donc un appareil adapté pour évaluer les déviations de rayons lumineux par un réseau (ou un prisme).

Rappel TP4.1 : Conversion d'angles

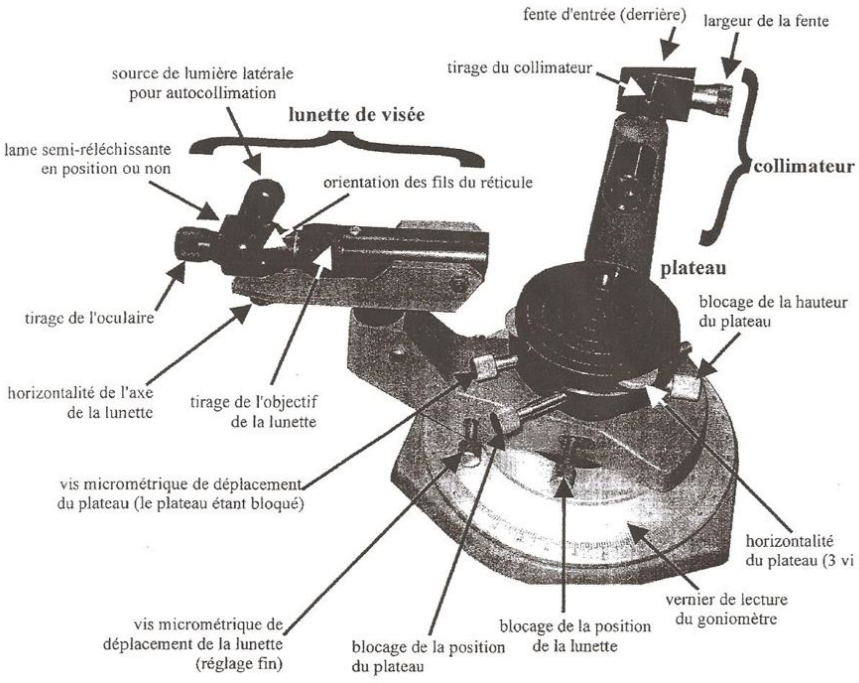
$60' = 1°$. Ainsi, on a donc : $1{,}2° = 1°12'$ (par exemple).

Définition TP4.1 : Goniomètre

Un exemple de goniomètre est proposé ci-dessous. Il comporte :

- ◇ Un **collimateur réglable**. Il créé un **objet à l'infini** à l'aide d'une fente éclairée avec une lampe spectrale et d'un objectif de distance focale 160 mm.

  En tirant sur l'objectif, on peut placer la fente au foyer objet de ce dernier afin d'avoir une image à l'infini.
- ◇ Une **lunette autocollimatrice** montée sur un support mobile en rotation autour d'un axe central. Cette lunette de visée est constituée d'un objectif de distance focale 130 mm et d'un oculaire autocollimateur et permet de repérer un rayon émergent du réseau. L'horizontalité de l'axe de la lunette est réglable.
- ◇ Un plateau central, lui aussi mobile en rotation autour de l'axe central, monté sur un socle métallique fixe, le tout pouvant être rendu horizontal à l'aide de trois vis de réglage.



Attention TP4.2 :

Puisqu'on cherche à effectuer des mesures précises, il est nécessaire de régler **parfaitement** l'appareil grâce à une démarche longue et pleine de précisions. Elle n'est pas au programme et vous n'avez pas à la faire, mais il faudra éviter de toucher un élément réglé.

I/C Réglage de la lunette autocollimatrice

Cette lunette doit être réglée de façon à donner d'un **objet à l'infini** une **image à l'infini** pour éviter toute fatigue de l'œil. Le système doit donc être afocal.

Expérience TP4.1 : Lunette autocollimatrice

Oculaire

1) Allumer la lampe latérale de la lunette qui éclaire le réticule.
2) Régler l'oculaire à votre vue : mettre au point le réticule en agissant sur l'œilleton de l'oculaire. Ce réglage est personnel et nécessaire avant toute manipulation ;
3) La lunette est réglée quand on voit les deux fils croisés nets.

Objectif

1) Placer la lame semi-réfléchissante interne de telle façon que la lumière sorte de l'objectif (loquet argenté). Pour cela, vérifier qu'un faisceau lumineux est visible en mettant votre main à la sortie de la lunette.
2) Placer sur l'objectif (immédiatement après la lunette) le petit miroir plan.
3) Observer l'image en retour du réticule : déplacer l'ensemble oculaire par rapport à l'objectif de façon à ce que cette image en retour soit aussi nette que l'objet, en agissant sur la bague moletée (2) de la lunette.

I/D Réglage du tirage du collimateur

Le collimateur doit donner de la fente une **image à l'infini**.

Expérience TP4.2 : Réglage du collimateur

1) Diriger la lunette vers le collimateur K. Ouvrir la fente de 0,5 mm environ et l'éclairer par la source qui sera utilisée dans la manipulation suivante (ici, par la lampe à vapeur de mercure pour commencer).
2) Observer alors l'image de la fente donnée par le collimateur à travers la lunette :
   a – Si le faisceau issu de K est un faisceau de rayons parallèles, l'image donnée par K est à l'infini (ce qui implique que la fente source soit dans le plan focal objet de K) et, dans la lunette, on observe une image nette de la fente dans le plan du réticule.
   b – Si ce n'est pas le cas, la fente est mal placée par rapport au collimateur, il faut déplacer la fente par tirage du collimateur jusqu'à ce que l'image dans la lunette soit nette (en particulier les bords de la fente).

   Attention, vous ne devez plus toucher aux réglages de la lunette !

3) Refermer ensuite légèrement la fente, l'œil restant derrière l'oculaire de la lunette, de manière à observer un trait lumineux de faible largeur.

Attention TP4.3 :

Ne plus toucher par la suite aux vis de réglages du collimateur !

4) Viser la position angulaire de la fente en superposant l'axe vertical de votre réticule sur la fente. Lire l'angle associé que l'on notera α_0. C'est votre angle de référence pour toute la suite.

I/E Se placer en incidence normale

Tout d'abord, nous allons positionner le réseau afin de se placer en indidence normale sur le réseau. Pour ce faire :

Expérience TP4.3 : Incidence normale

1) Positionner la lunette d'observation précisément à l'angle α_0.
2) Allumer de nouveau la lampe auxiliaire de la lunette, le réseau étant toujours positionné sur le plateau. La lunette étant toujours à la position α_0, faire tourner le plateau afin que l'image du réticule se superpose parfaitement à lui-même dans la lunette. Eteindre la lampe auxiliaire. Le réseau est alors orthogonal au faisceau incident. Verrouiller le plateau, il ne devra absolument plus être touché.

3) Observer le spectre d'ordre 1 ($k = 1$) en tournant la lunette. Relever les angles α correspondants aux raies visibles de différentes couleurs. Vous ouvrirez la fente afin de voir les raies les moins lumineuses puis la refermerez pour augmenter votre précision de pointé de chacune des raies.

II Réaliser : utiliser le goniomètre comme un spectromètre

II/A Relevé des valeurs de déviation

La première étape consiste à étalonner le goniomètre en déterminant la position angulaire des raies spectrales de la lampe à vapeur de mercure. Le Tableau TP4.1 suivant précise la longueur d'onde et l'intensité (en unités arbitraires) des différentes raies visibles de la lampe à vapeur de mercure. Il est possible que vous ne parveniez pas à toutes les observer.

Tableau TP4.1 – Intensité des raies.

Couleur	Doublet violet		Indigo	Vert-bleu	Vert	Doublet jaune		Rouge vermillon	Rouge carmin
λ (nm)	404,7	407,8	435,8	491,6	546,1	577,0	579,1	623,4	690,7
Intensité	1800	200	4400	100	1100	250	300	160	250

1 Effectuer les expériences 1 et 2 pour régler la lunette autocollimatrice et le collimateur. Expliquer par un schéma le fonctionnement de l'autocollimation de la lunette (cf. TP03).

2 Réaliser l'expérience 3 pour régler le réseau en incidence normale. Effectuer ensuite les mesures des angles de déviation des différentes raies du spectre. À partir de vos mesures, recopiez sur votre copie puis complétez le tableau suivant.

Tableau TP4.2 – Données à relever

Couleur	λ (nm)	α ($x°y'$)	α ($z°$)	i_1[†]($x°$)	$\sin(i_1)$
Violet	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Notes. [†]On rappelle que $i_1 = |\alpha - \alpha_0|$.

II/B Tracé de la courbe d'étalonnage

3 À l'aide de l'activité `Capytale` : https://capytale2.ac-paris.fr/web/c/5d1d-1973717, répresenter $\sin(i_1)$ en fonction de λ puis montrer que la courbe est modélisable par une droite linéaire dont vous déterminerez le coefficient directeur et le coefficient de corrélation.

III Valider : Résolution du doublet jaune du sodium

Expérience TP4.4 : Doublet jaune

Changer de lampe et prendre dorénavant la lampe à vapeur de sodium.

4 Pour chacune des deux raies du doublet jaune du sodium, déterminer l'angle de déviation correspondant à l'ordre 1.

5 En déduire alors les longueurs d'onde correspondantes à partir de la régression de la courbe d'étalonnage précédemment établie (vous donnerez vos résultats avec 4 chiffres significatifs).

Les valeurs tabulées pour le doublet du sodium sont $\lambda_1 = 589{,}00\,\text{nm}$ et $\lambda_2 = 589{,}59\,\text{nm}$.

6 Calculer les écarts normalisés avec les valeurs trouvées expérimentalement.

7 Que pensez-vous de la précision de cet appareil ? Le prix d'achat est-il justifié ?