



Lycée Charles Coëffin — Sciences physique

Fiche de travaux pratiques — CPGE TSI2

TP 7 : Superposition de N ondes lumineuses

Durée : 2 h

Objectifs

- Mettre en oeuvre un spectroscopie à réseau.

Pré-requis : ondes et signaux : signaux, ondes progressives, célérité, retard temporel, ondes progressives sinusoïdales, double périodicité spatiale et temporelle, déphasage ; sources lumineuses, modèle de la source ponctuelle monochromatique, indice d'un milieu transparent ; modèle de l'optique géométrique et modèle du rayon lumineux ; superposition à deux ondes lumineuses.

Matériel

Équipement	Spécifications / Remarques	Quantité
Source laser	Voir éléments de sécurité.	1
Goniomètre		1
Réseau		1
Lampe à vapeur		
Diaphragme		1
Disque optique		1
Banc optique et lot de cavaliers		1

Sécurité

- Toujours orienter la source laser vers le côté de la salle où il n'y a pas de camarade.
- Toujours orienter la source laser dans un plan horizontal.
- Toujours se tenir au dessus du plan de la source laser.

Introduction

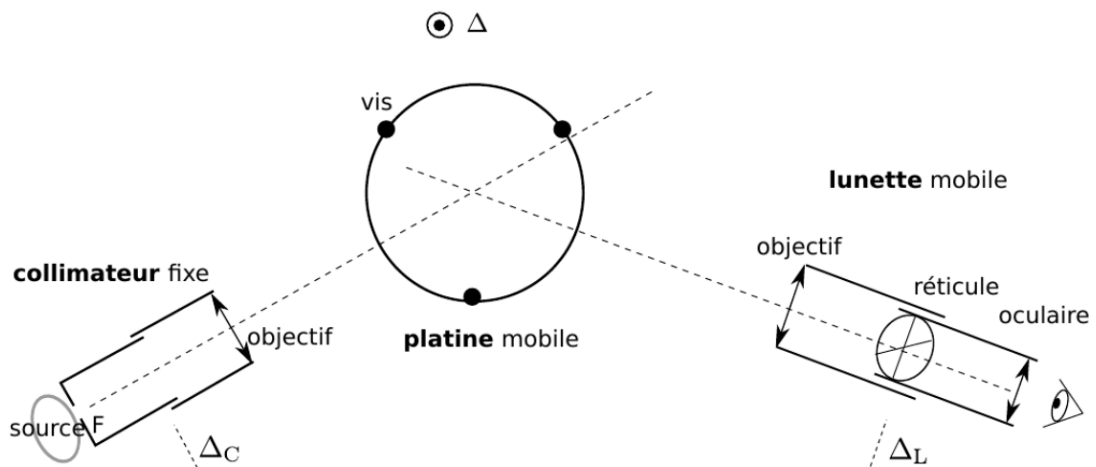
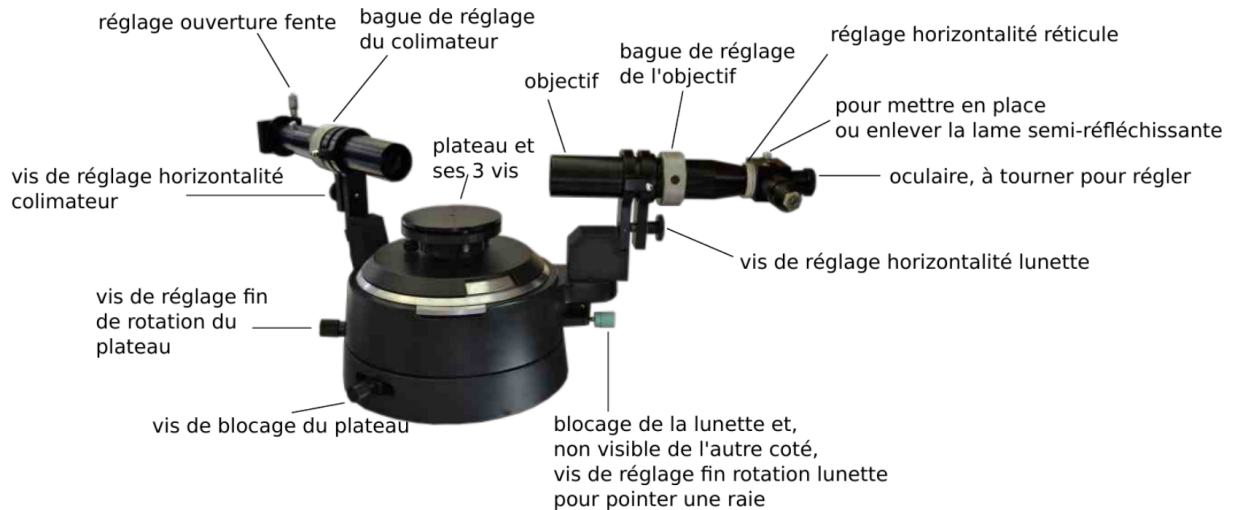
La spectroscopie (ou spectrométrie) optique est l'étude du spectre d'un rayonnement lumineux. C'est une méthode largement utilisée en analyse chimique afin d'identifier les différents constituants d'un mélange, qu'il s'agisse de toxicologie, de contrôle de qualité ou encore de détection de polluants.

Un spectromètre (ou spectroscopie) est toujours constitué d'une fente source, d'un élément « dispersif » (ici, un réseau), et d'un moyen d'observation et de mesure (vernier d'un goniomètre, capteur CCD, etc.).

Au cours de ce TP nous manipulerons deux types de spectromètres afin de mesurer la ou les longueurs d'ondes des radiations de sources lumineuses. Un premier assez rudimentaire, constitué d'un disque optique, d'un diaphragme et d'un écran. Et un deuxième correspondant à l'association d'un goniomètre et d'un réseau de diffraction en transmission.

1 Spectrogoniomètre

1.1 Réglage du goniomètre



- Réglage de l'oculaire

— **Ajuster** la bague de réglage de l'oculaire afin de voir nettement la croix du réticule sans avoir besoin d'accomoder. Ce réglage dépend de la vue de l'observateur (les porteurs de lunettes doivent les garder).

- Réglage de l'objectif

Il faut ensuite ajuster la bague de réglage de l'objectif pour que la lunette donne une image nette d'un objet à l'infini. Compte tenu du réglage précédent, cela signifie que l'image intermédiaire (image de l'objet par l'objectif) se trouve dans le plan du réticule. Une méthode approximative est de pointer un objet éloigné dans la salle, mais il est possible d'être plus précis en travaillant par autocollimation.

- **Allumer** la petite lampe de la lunette, et mettre en place la lame semi-réfléchissante. Placer un objet réfléchissant (au moins partiellement) sur la plate-forme (un réseau convient) et viser une de ses faces.
- **Tourner** la lunette autour de (Δ) jusqu'à voir une tâche circulaire lumineuse, due aux rayons réfléchis sur le réseau qui reviennent dans la lunette. La centrer grossièrement en jouant sur la vis d'horizontalité de la lunette.
- **Ajuster** la bague de réglage de l'objectif jusqu'à voir sur cette tâche le réticule et son image nets tous les deux : la lunette est alors réglée sur l'infini.
- Réglage du collimateur
 - **Éclairer** la fente du collimateur à l'aide d'une lampe spectrale. Observer à travers la lunette l'image de la fente produite par le collimateur. **Agir** sur la molette du collimateur jusqu'à ce que cette image soit nette, en particulier les bords.

Le collimateur produit alors une image à l'infini de la fente, autrement dit celle-ci se trouve dans le plan focal objet du collimateur. Ainsi, tout point éclairé de la fente produit en sortie un faisceau de rayons parallèles.

1.2 Formule des réseaux

Un réseau est un élément dispersif permettant de séparer spatialement les différentes raies d'une lampe spectrale. L'angle d'émergence θ_p des raies est relié à l'angle d'incidence et à leur longueur d'onde par la formule des réseaux

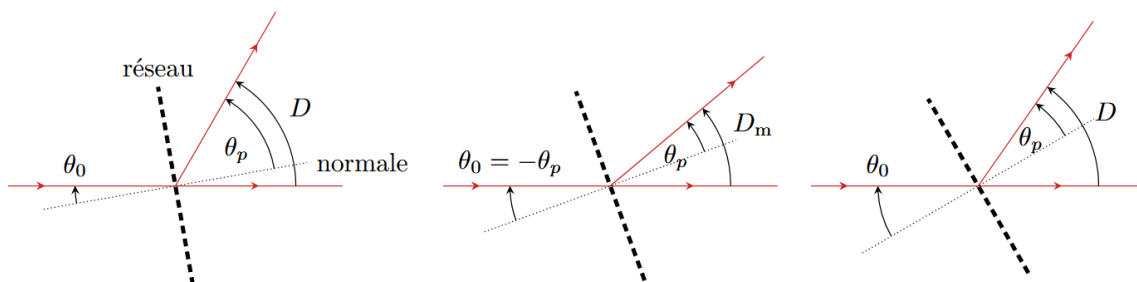
$$\sin \theta_p - \sin \theta_0 = p \frac{\lambda}{a}$$

avec p un entier relatif et a le pas du réseau. Mesurer les angles θ_p et θ_0 connaissant a permet d'en déduire λ . En pratique, ce n'est pas le pas a qui est indiqué par les fabricants mais le nombre de traits par millimètre du réseau, noté $N = 1/a$ exprimé en mm^{-1} : attention à la cohérence des unités dans vos calculs numériques ! La formule des réseaux s'écrit alors

$$\sin \theta_p - \sin \theta_0 = pN\lambda.$$

1.3 Méthode du minimum de déviation

Pour une raie observée en sortie du réseau, on appelle déviation l'angle $D = \theta_p - \theta_0$, représentée ci-dessous avec un angle $\theta_0 < 0$. Attention à ne pas confondre l'angle D , mesuré par rapport au rayon incident, et l'angle θ_p , mesuré par rapport à la normale au réseau.



Rappel : soit une équation dépendant de plusieurs variable x , y et z

$$f(x, y, z) = u(x) + v(y) + w(z)$$

sa différentielle est définie telle que

$$df = \frac{du}{dx}dx + \frac{dv}{dy}dy + \frac{dw}{dz}dz.$$

Procédure

1. **Exprimer** la dérivée de la déviation par rapport à l'angle θ_0 $dD/d\theta_0$. **Montrer** que la déviation D passe par un minimum lorsque $d\theta_p = d\theta_0$.
2. **Exprimer** la différentielle de la formule des réseaux de variables θ_p et θ . **En déduire** une relation entre $\cos \theta_p$ et $\cos \theta_0$.
3. À partir des deux questions précédentes, **montrer** que le minimum de la déviation D est atteint si $\theta_p = \pm \theta_0$.

Seule la solution négative précédente correspond à une déviation non nulle, il vient que

$$D = \theta_p - (-\theta_p) = 2\theta_p \quad \text{soit} \quad \sin\left(\frac{D}{2}\right) - \sin\left(-\frac{D}{2}\right) = pN\lambda$$

$$2 \sin\left(\frac{D}{2}\right) = pN\lambda.$$

1.4 Détermination d'une lampe à vapeur atomique

On donne les longueurs d'onde qui composent les radiations visibles de plusieurs lampes à vapeur atomique.

Sodium	λ (nm)	568,8	589,0	589,6	615,4
---------------	----------------	-------	-------	-------	-------

Mercure	λ (nm)	404,7	435,8	491,6	546,1	577,0	579,1
----------------	----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Cadmium	λ (nm)	441,4	467,8	480,0	508,5	509,9	611,1	632,5	643,8
----------------	----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Procédure

4. **Proposer** un protocole permettant de mesurer les longueurs d'ondes des radiations observées avec le spectrogoniomètre.
5. À partir d'observations, **déterminer** quels ordres sont observables. **Comparer** leur luminosité. **Déterminer** si il y a recouvrement d'ordre : des raies de couleurs d'un ordre p plus déviées que les raies d'autres couleurs d'un ordre $p + 1$ provoquant un "mélange" d'ordres.
6. **Mesurer** les longueurs des radiations et estimer l'incertitude associé à partir de la formule de propagation de l'incertitude donnée ci-dessous. **Identifier** la source utilisée.

Soit x la grandeur mesurée telle que $x = \sin(a\theta)$

$$\text{l'incertitude } u(x) \text{ due à } \theta \text{ est } u(x) = \left| \frac{dx}{d\theta} \right| u(\theta)$$

avec $u(\theta)$ l'incertitude associée à θ .

2 Spectromètre rudimentaire

On dispose d'un disque optique assimilable à un réseau à diffraction en réflexion d'un pas $a = 740 \text{ nm}$.

Procédure

7. **Proposer** un protocole permettant de mesurer la longueur d'onde d'une source laser à l'aide du disque optique. **Schématiser** l'expérience.
8. **Mesurer** la valeur de la longueur d'onde et **donner** l'incertitude associée. **Estimer la compatibilité** de cette valeur avec celle fournie par le constructeur de la source laser.

Grille d'évaluation

Critères	Points
Présentation (propreté, orthographe, schéma)	4
Rigueur (résultats calculatoires, utilisations de lois et de théorèmes, ...)	6
Interprétation et validation	4
Implication (nombres de questions traitées)	6