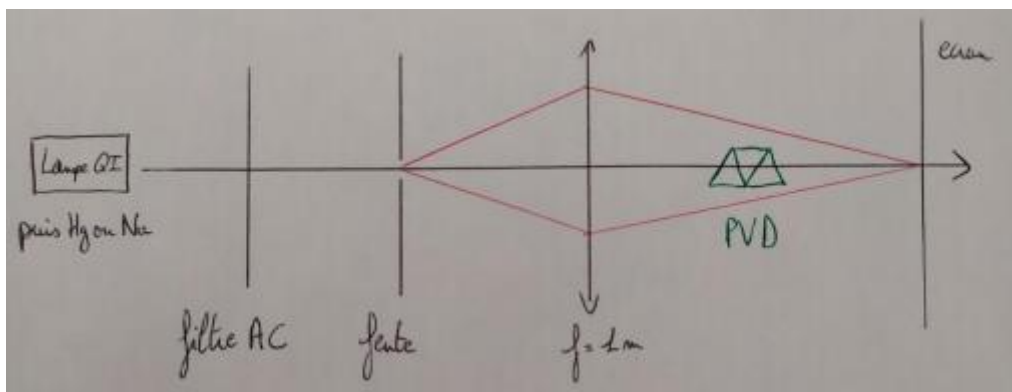


MP10 : Spectrométrie optique

Introduction

La spectrométrie optique est l'étude des spectres optiques, c'est-à-dire, l'étude de la répartition énergétique du rayonnement lumineux en fonction de la longueur d'onde. On va étudier dans ce montage deux types de spectromètre (par réseau, par interférométrie) et on va comparer leur résolution. Rappel historique : C'est Newton en 1666 qui a découvert que la lumière blanche était en réalité un « mélange » de toutes les couleurs grâce à un spectromètre très simple : prisme. On va réaliser cette petite expérience tout de suite afin d'observer un premier spectre : le spectre de la lumière blanche qui est un spectre de bande.



L'indice optique du verre dépend de la longueur d'onde (loi de Cauchy : $n(\lambda) = A + B/\lambda^2$) donc avec Snell-Descartes, on obtient des angles de diffraction différents pour les différentes longueurs d'onde. On peut vérifier que le rouge (longueur d'onde la plus élevée) est moins dévié que le bleu (le PVD est centré sur le doublet du sodium). On peut maintenant observer un autre type de spectre : spectre de raies avec la lampe à vapeur de mercure. On observe 4 raies : jaune, verte, bleu et violette (la dernière est peu visible par rapport aux autres) qui correspondent à des transitions atomiques des niveaux d'énergie discrets du mercure. Enfin, on peut aussi observer le spectre du sodium mais on ne voit qu'une seule raie car la résolution de notre spectromètre n'est pas assez bonne pour séparer les deux raies de sodium. Ce qui limite la résolution dans cette manip, c'est la largeur de la fente.

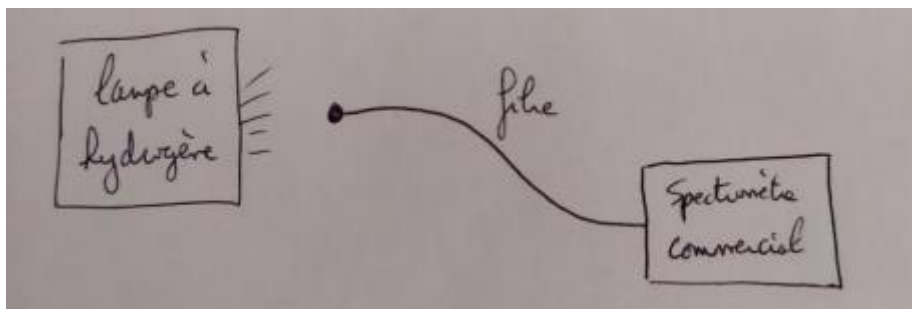
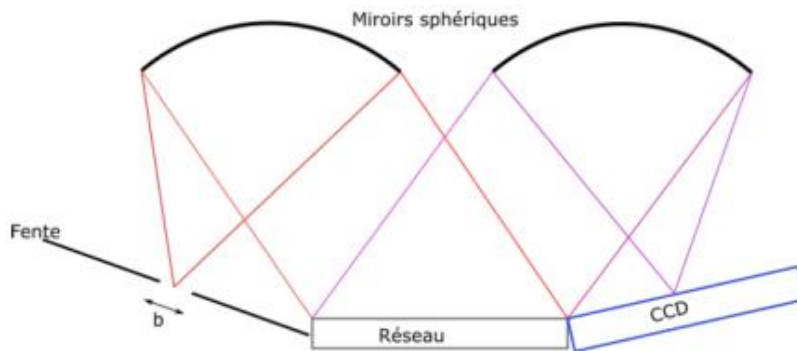
I Détermination de la constante de Rydberg

On va maintenant utiliser un spectromètre commercial pour caractériser le spectre d'une lampe à hydrogène et remonter à la constante de Rydberg.

La mécanique quantique nous donne une formule qui permet de relier la longueur d'onde à la constante de Rydberg : $\frac{1}{\lambda_{n,m}} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$, où $m > n$, n et m sont les numéros des niveaux d'énergie.

De plus, on sait que le spectre visible de la lampe à hydrogène correspond à la série de Balmer : $n=2$ (il existe d'autres séries : $n=1$ Lyman ; $n=3$ Paschen). On va donc essayer de retrouver cette loi et d'en déduire une valeur de la constante de Rydberg.

Le spectromètre commercial est composé d'une fente, d'un miroir sphérique à une distance $R/2=f$, un réseau en réflexion, un deuxième miroir sphérique qui focalise les rayons sur une barrette CCD. Un étalonnage du spectromètre permet de relier un pixel de la barrette CCD à une longueur d'onde.



On sait grâce à la théorie que les 4 premiers pics sont aux longueurs d'ondes suivantes :

m	3	4	5	6
λ en nm	656,1	486,0	433,9	410,1

On repère les pics d'intensité proches de ces longueurs d'onde et on trace l'inverse de la longueur d'onde en fonction de l'inverse de m^2 et on obtient une droite de coefficient directeur $-R_H$.

II Réseau optique : détermination de la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium

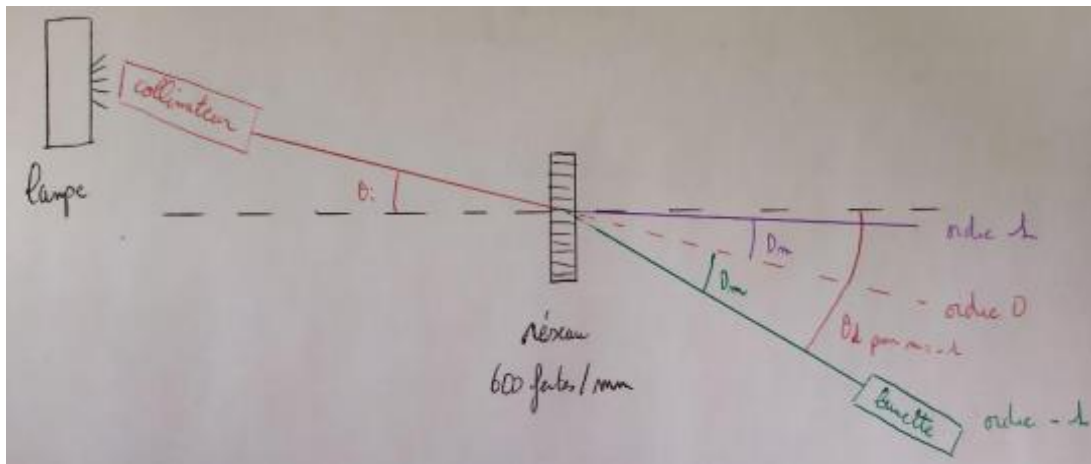
On va maintenant s'intéresser à la détermination du spectre de la lampe à vapeur de sodium. Pour cela, on va utiliser un goniomètre afin de déterminer la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium. Un goniomètre permet de mesurer la déviation d'un rayon lumineux par un dispositif optique (ici un réseau).

Réglage du goniomètre :

- régler l'oculaire (pour que l'œil n'accomode pas)
- auto-collimation (allumer la lampe, tirer la lame) -> on observe deux réticules
- régler le collimateur (enlever la lame, éteindre la lame)

Lampe Hg : on mesure un angle de déviation minimale, une déviation correspond à une inversion du sens de « parcours » des raies, on utilise un réseau ayant beaucoup de fentes/mm (pour cela on fait tourner le réseau tout en suivant la raie avec la lunette).

On observe 5 raies : violette (404,7 nm) bleue (435,8 nm), verte (546,1 nm), jaune (577,0 nm), jaune (579,1 nm)



D'après la formule des réseaux : $2 \sin\left(\frac{D_m}{2}\right) = m \frac{\lambda}{a}$, $m=1$ (ordre) ($D_m = \theta_d - \theta_i$)

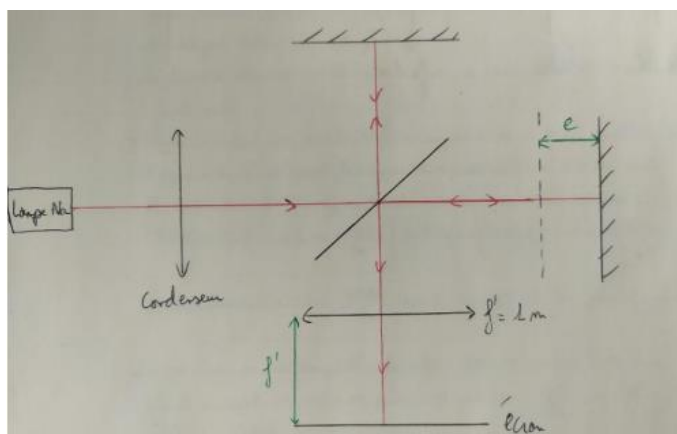
On trace λ en fonction de $\sin\left(\frac{D_m}{2}\right)$, la pente est $2a$

Lampe Na : on mesure la moyenne de longueur d'onde du doublet en mesurant l'angle de déviation minimale et en utilisant la formule des réseaux.

Ce qui limite la résolution de ce spectromètre est le pas du réseau car il faut qu'il soit assez faible pour que les angles de déviation minimale soient les plus grands possibles. La largeur de la fente est aussi un élément limitant, il faut donc la réduire au maximum tout en gardant une luminosité suffisante pour voir les raies. Ce spectromètre ne nous a pas permis de séparer les deux raies du sodium donc on va utiliser un spectromètre avec une meilleure résolution : interféromètre de Michelson.

III Michelson

On va donc utiliser l'interféromètre de Michelson réglé en lame d'air pour mesurer l'écart entre les deux raies du sodium.

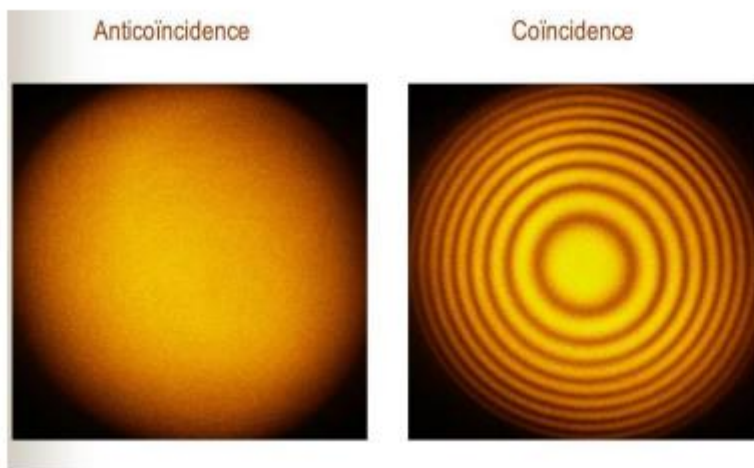


La longueur d'onde moyenne du doublet est $\lambda_0 = 589,294 \text{ nm}$.

On considère que l'on a deux ondes monochromatiques de longueur d'onde λ_1 et λ_2 incohérentes entre elles. L'expression de l'éclairement est donc la suivante :

$$E(M) = 2E_0 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi e \Delta \lambda}{\lambda_0^2}\right) \cos\left(\frac{4\pi e}{\lambda_0}\right) \right)$$

On va donc observer un enchainement de coïncidences (terme de contraste vaut 1 donc on observe très bien les figures d'interférence) et d'anti-coïncidences (terme de contraste vaut 0 donc l'image est uniforme).



On choisit d'observer les anti-coïncidences car elles sont plus simples à repérer que les coïncidences.

Il y a anti-coïncidence quand $C(e) = 0$, c'est-à-dire $x_p = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta\lambda} p + cste$, x_p est la position du miroir mobile à l'ordre d'interférence p .

Pour régler le Michelson :

- Éclairer l'interféromètre avec un laser en incidence normale sur la séparatrice et placer l'écran parallèlement à la compensatrice : on observe de multiples taches, il faut les faire se recouvrir du mieux possible à l'aide des deux vis de la séparatrice/compensatrice

- Placer le laser en entrée de l'interféromètre (incidence normale sur le miroir M2), placer l'écran en sortie de l'interféromètre (à environ 1m) : on observe de multiples taches, il faut les faire se recouvrir au mieux à l'aide des vis grossières (miroir M2).

- Pour faciliter la suite du réglage, placer un objectif de microscope sur le laser : faire rentrer les anneaux jusqu'à n'en voir plus qu'un ou deux, retirer le laser et éclairer avec une lampe QI, placer un condenseur devant la lampe pour avoir le maximum d'anneaux (angle d'incidence assez grand).

Ensuite on se place au contact optique (anti-coïncidence) et on s'en éloigne petit à petit en repérant les anti-coïncidences successives (positions x_p), ainsi on peut remonter à $\Delta\lambda$.

La résolution de l'interféromètre est limitée par le déplacement du miroir mobile car au bout d'un moment, on ne peut plus distinguer précisément où sont les anti-coïncidences.

Conclusion

Ce montage a permis de montrer l'utilisation de différents spectromètres (les deux premiers à réseau et le dernier par interférence) avec des résolutions très différentes. Il est donc important de retenir qu'il faut adapter le choix du spectromètre à ce que l'on souhaite observer (exemple : pour observer le doublet du sodium, il faut une très bonne résolution).

Bibliographie

-Physique expérimentale, De Boeck

-Optique expérimentale, Sextant

Questions

- Principe du capteur CCD ?
 - ➔ C'est un semi-conducteur qui va libérer des électrons avec l'apport d'énergie lumineuse et qui vont être ensuite convertis en courant (capteur quantique).
- Pourquoi on envoie une image à l'infini dans le goniomètre ?
 - ➔ Pour se placer en régime de diffraction de Fraunhofer exacte et car l'œil accommode mieux.
- Pourquoi on ne peut pas résoudre le doublet du sodium avec le prisme ?
 - ➔ Car les angles de dispersion des deux longueurs d'onde sont quasiment identiques et la largeur de la fente est trop grande.