
SPECTROMÉTRIE OPTIQUE

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 : Comme 2016, sans la partie sur les mesures d'angle.
- 2014, 2015, 2016 : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. Dans le cas où un candidat souhaite utiliser un spectromètre qu'il a réalisé lui-même, il est rappelé que la mesure des angles au goniomètre est bien plus précise que le simple pointé avec une règle sur un écran ; en outre, s'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

Bibliographie

—

Table des matières

1	Largeur d'une raie : spectrométrie par transformée de Fourier	1
2	Séparation de raie avec une cavité Fabry Pérot	2
3	Etude d'un spectre cannelé : Mesure de biréfringence	4

Introduction

Dans ce montage on s'intéresse à caractériser le spectre de sources lumineuses. En effet, caractériser une source peut nous informer sur son mode d'émission, mais également permettre de faire des mesures physiques en étudiant le spectre d'une lumière ayant traversé un matériau.

Pour commencer observons deux types de spectres différents :

Expérience introductive : Comparaison du spectre d'une QI et d'une lampe à vapeur de sodium
 Matériel : une QI, un filtre anticalorique, une lampe à vapeur de sodium, un filtre jaune (pas interférentiel), une fente, un pvd, une lentille de projection ($f' = 250$ mm), un écran.
 On montre que le spectre de la QI est continu alors que celui de la lampe à vapeur de sodium est constitué de raies. Si on utilise un réseau, on peut dire que c'est exactement le principe d'un spectromètre commercial que l'on utilisera à la fin du montage

On observe que l'un des spectre est continu alors que l'autre est constitué de raies discrètes. On va essayer d'un peu plus caractériser ce dernier.

1 Largeur d'une raie : spectrométrie par transformée de Fourier

J'ai envie d'essayer à nouveau mais en prenant les points à la main !

Mesure de la largeur spectrale d'une raie (fasciule de TP page 36)

- On isole une raie (soit une raie du mercure seul, soit le doublet du sodium) avec un filtre interférentiel
- On règle l'interféromètre de Michelson en lame d'air et on projette sur une caméra CCD. (L'idée est d'avoir 2 ou trois annulations)
- On se déplace en chariotant (e) et pour plusieurs valeurs de e on mesure le contraste :

$$\Gamma(e) = \frac{E_{brillant} - E_{sombre}}{E_{brillant} + E_{sombre}}$$

- On fait cela en préparation et on montre juste une mesure de contraste devant le jury
- On trace Γ en fonction de $\tau = \frac{\delta}{c} = \frac{2e}{c}$.
- On a alors une courbe qui ressemble à une gaussienne : c'est la transformée de Fourier de la réponse spectrale de la source. On ajuste avec une gaussienne, et on a ainsi une valeur de la largeur spectrale d'une source
- On a trouvé en faisant rapidement, que l'ordre de grandeur de la largeur de la gaussienne est de : 13×10^{-12} . La largeur de la gaussienne correspond à $2\sigma_t$. Or comme

$$TF(\exp(-at^2))(\nu) = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \exp\left(-\frac{\nu^2}{4a}\right)$$

On a $\sigma_\nu = \frac{1}{\sigma_t}$. On peut alors déduire $\Delta\nu = \sigma_\nu = 1.53 \times 10^{11}$ Hz. Pour que ce soit plus parlant, on peut le mettre en longueur d'onde : $\Delta\lambda = \frac{\Delta\nu \lambda^2}{c} \simeq 1.5 \times 10^{-10}$ m

Il y a pas mal de chose à discuter. On peut discuter de comment améliorer le montage, c'est à dire en prenant plus de points par exemple, ou en utilisant un moteur (mais on peut souligner qu'avec cela il faut aussi prendre garde à la taille du capteur). Il est à noter qu'on parle de transformé de Fourier mais que nous n'avons en aucun cas accès à la phase.

2 Séparation de raie avec une cavité Fabry Péro

L'idée est ici de montrer que les mesure interférométrique permettent de remonter de manière très fine au spectre d'une source. On utilise une cavité Fabry Péro.

Un rayon lumineux quelconque se superpose à lui même après réflexion sur les deux miroirs, il a alors parcouru $4d$. La condition de résonance de la cavité est alors :

$$4d = k\lambda$$

Ici un cristal piezo fait varier la distance d . Si la condition de résonance est vérifiée par $d = d_0 + \delta d_1$ à la longueur d'onde λ_1 : $4(d_0 + \delta d_1) = k\lambda_1$, donc il faut un décalage de δd en plus pour passer à l'ordre suivant : $4(d_0 + \delta d_1 + \delta d) = (k+1)\lambda_1$ on a donc :

$$\delta d = \frac{\lambda_1}{4}$$

On a donc une première relation liant deux pics correspondant à une même longueur d'onde mais à des ordres différents.

Si on considère maintenant une deuxième longueur d'onde qui vérifie la résonance de la cavité pour un certain δd_2 :

$$\delta d_1 - \delta d_2 = \frac{k}{4}(\lambda_1 - \lambda_2)$$

On ne connaît pas k mais il est de l'ordre de $k = 4D/\lambda_1$ On peut alors écrire :

$$\frac{\delta d_1 - \delta d_2}{\delta d} = \frac{\nu_2 - \nu_1}{\frac{c}{4D}}$$

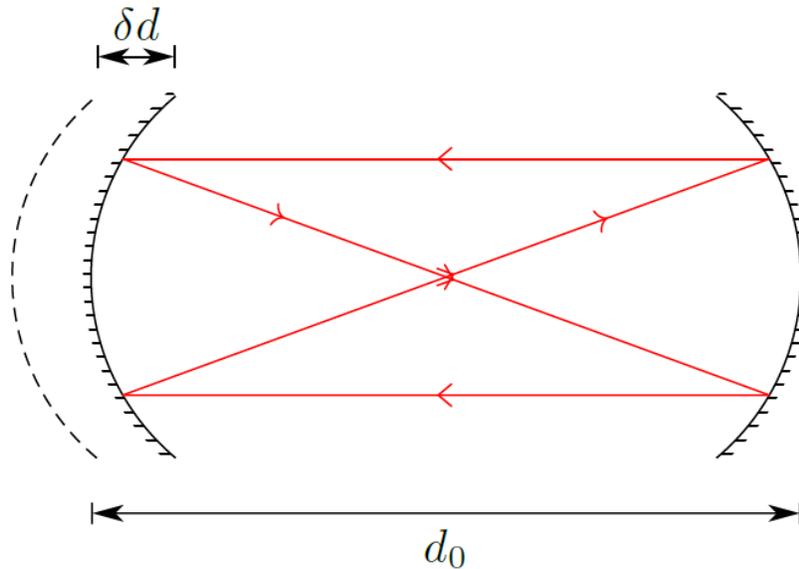


FIGURE 1 – Cavité fabry p rot (source TP)

$c/4D = FSR$ est la free spectral range (  regarder sur la notice), c'est une grandeur caractéristique de la cavité.

Mesure de la différence de fréquence de deux modes d'un laser :

Matériel : un laser He-Ne Melles-Griot vert dont la documentation est présente et donne la longueur d'onde moyenne et l'écart en fréquence des modes, une cavité d'analyse de Pérot-Fabry Melles, Griot P.17/20 (pas la 17/11 elle marche très mal!), un oscilloscope, il y a un boitier P17.20.

La cavité à un intervalle spectral libre (FSR) de 1.5 GHz.

- Le signal envoyé à la cavité est en voie 1 de l'oscillo, le signal de sortie en voie 2. On observe un signal en dents de scie et un autre qui forme 2 pics. Si le LASER vient d'être allumé, les pics fluctuent.
- On aligne le laser et la cavité (repérer la réflexion du laser sur la face du laser et faire "entrer" la tâche dans l'objectif du laser).
- On doit alors observer un signal de sortie en voie 2 étant la répétition de deux pics d'intensité différentes, "glissant" sous des courbes en cloche.
- La différence de temps Δt entre les deux pics est reliée à la différence de longueur de la cavité FP pour les modes du laser
- La différence de temps ΔT entre deux grands pics est reliée à deux longueurs de résonance pour le même mode.

On a :

$$\Delta\nu = FSR \times \Delta t / \Delta T$$

L'incertitude sur la lecture des temps correspond à la largeur des pics vu sur l'oscilloscope. La mesure est très précise et $\Delta\nu \simeq 435$ MHz. Cela correspond à $\Delta\lambda = 5.8 \times 10^{-13}$ m

Transition :

On a fait des mesures interférométriques pour remonter à des largeurs spectrales, souvent pour observer un spectre on utilise un spectromètre, nous allons le mettre en oeuvre pour montrer comment l'étude d'un spectre peut nous permettre de remonter aux propriétés de la matière (ici la biréfringence).

3 Etude d'un spectre cannelé : Mesure de biréfringence

Étalonner le spectromètre (SPID HR) en préparation : lame à vapeur de mercure, montrer la courbe d'étalonnage.

Mesure de la différence d'indice optique d'une lame de quartz grâce à une étude spectrale :

Matériel : un spectromètre préalablement étalonné à l'aide d'une lampe à vapeur de mercure , une lampe Q.I. avec son filtre anticalorique, deux polariseurs, une lame de Quartz taillée parallèle d'épaisseur connue (par exemple $e = 1.53\text{mm}$), une lentille (focale de 250 mm).

- On place polariseur et analyseur croisé
- On intercale la lame que l'on éclaire de manière la plus parallèle possible (avec le condenseur de la QI ou avec une lentille : il faut de la place entre les divers objets du montage!)
- On fait l'image de la lame sur le détecteur à l'aide de la lentille.
- On observe alors le spectre cannelé sur l'ordinateur.
- On relève les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 de deux cannelures, on compte le nombre N de cannelures entre ces deux longueurs d'onde

On note $\Delta\sigma = \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}$. On a

$$\Delta n = N \Delta\sigma e$$

On a ainsi pu déterminer les propriétés d'un matériau à l'aide de son spectre.

Conclusion

Nous avons étudié dans ce montage la notion de spectrométrie, en observant et en caractérisant deux types de spectres : les spectre continus et de raies. Nous avons dans ce montage étudié le spectre de différentes sources par des méthodes interférométriques. Nous avons également souligné l'importance de la caractérisation d'un spectre pour la mesure d'autre grandeurs physique, comme la biréfringence du quartz.