

MP10 – Spectrométrie optique

Novembre 2020

Antoine Chauchat & Valentin Dorel

Commentaires du jury

Bibliographie

Fruchart Physique Expérimentale

Expériences

- ☞ Comparaison qualitative entre le spectre de la QI et la lampe à vapeur de Sodium
- ☞ Mesure de la longueur d'onde du Sodium
- ☞ Résolution du doublet du Sodium par un interféromètre de Michelson
- ☞ Modes longitudinaux d'un laser par cavité Péroto-Fabry
- ☞ Spectre cannelé de biréfringence par spectromètre commercial

1 Montage

🔥 Comparaison du spectre de la QI et de la 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 la différence entre le spectre de (QI+filtre) qui est large et continu et le spectre de la sodium qui est constitué d'une seule raie. On montre aussi le spectre de la QI seule.

🔥 Mesure de la longueur d'onde du sodium

🔧 Sextant

⊗ Valeur mesurée 800(400) nm

Matériel : Michelson réglé en lame d'air, lampe à vapeur de sodium. On observe sur un écran placé au foyer d'une lentille. On règle l'interféromètre de Michelson en lame d'air, on observe des anneaux. On se place relativement loin du contact optique pour avoir pas mal d'anneaux à l'écran, pas trop pour qu'ils restent bien contrastés. On repère la position sur le vernier puis on fait défiler (rentre) N anneaux que l'on compte ($N = 100$ c'est pas trop long). On repère la nouvelle sur le vernier, la différence de positions est notée Δe . On a $\lambda = \frac{2\Delta e}{N}$. On observe que l'incertitude (une graduation du vernier) est du même ordre de grandeur que la mesure. Notre mesure est donc très imprécise. Ce n'est pas parce qu'on utilise un outil précis que la mesure l'est. On va maintenant utiliser le Michelson pour réaliser une mesure bien plus précise.

🔥 Résolution du doublet du Sodium par un interféromètre de Michelson

🔧 Fruchart

⊗

Matériel : même que pour l'expérience précédente. Cette fois on translate un miroir d'une annulation du contraste jusqu'à une autre. On compte le nombre N d'annulations correspondant à la translation Δe . On a $\Delta\lambda = \frac{N\lambda^2}{2\Delta e}$. On obtient $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \sim 10^{-3}$

🔥 Mesure de la différence de fréquences des deux modes d'un laser.

🔧 Fruchart

⊗

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 Le signal envoyé à la cavité est en voie 1 de l'oscille, le signal de sortie en voie 2. La cavité à un interval spectral libre (FSR) de 1.5 GHz. 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 : $\Delta\nu = \frac{FSR \times \Delta t}{\Delta T}$ L'incertitude sur la lecture des temps correspond à la largeur des pics vu sur l'oscilloscope. La mesure est très précise et $\frac{\Delta\nu}{\nu} \sim 10^{-6}$

🔥 Spectre cannelé de biréfringence par spectromètre commercial

🔧 Fruchart

⊗

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 $e = 1.53$ mm, une lentille de focale 250 mm. On cherche à mesurer On place un polariseur en sortie du filtre anticalorique. On place l'autre polariseur devant le détecteur, on le croise par rapport à l'autre polariseur. On intercale la lame qu'on essaie d'éclairer la lame avec une lumière plutôt parallèle. 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 $\Delta\sigma = 1/\lambda_1 - 1/\lambda_2$ On a : $\Delta n = \frac{N}{\Delta\sigma e}$. On a ainsi pu déterminer les propriétés d'un matériau à l'aide de son spectre.

Questions

- Pourquoi n'avez vous pas utilisé de filtre anticalorique en sortie de QI ?
C'est une erreur, pour le pvd ça va, pour les polariseurs c'est plus grave, les lentilles c'est sensible aussi.
- Ca veut dire quoi la QI émet beaucoup de chaleur ?
Si on la touche elle est brûlante et le spectre a une grande partie dans l'IR.
- Comment fonctionne un filtre anticalorique ?
Le filtre absorbe l'IR et chauffe à la place des instruments d'optique qui eux sont sensibles.
- Pourquoi avoir utilisé un interféromètre de Michelson pour mesurer la longueur d'onde du sodium plutôt qu'un réseau sur un goniomètre ?
Pédagogiquement on obtient une mesure pas bonne alors qu'on a un instrument très puissant. On en conclut que le Michelson doit être bien utilisé. C'est pratique car il est réutilisé dans la suite du montage.
- D'où viennent les incertitudes dans cette mesure ?
Du vernier, précis au centième de mm. Une autre méthode c'est d'utiliser un capteur CCD et de compter au cours du temps mais le moteur est capricieux. La mesure à la main est limitée par le temps que ça prend de faire avaler les anneaux.
- Pourquoi utiliser un moteur pour faire défiler les anneaux ?
À la main c'est difficile car je suis souvent tremblant et compter et faire tourner ça me prend la tête je préfère me concentrer sur une seule chose à la fois.
- Quel dispositif serait plus adapté pour cette mesure ?
Un spectromètre commercial calibré qui fonctionne avec un réseau (va pour l'ouvrir <3). Ici le spectromètre est calibré avec une lampe à vapeur de mercure. Ou bien tout simplement un goniomètre avec réseau.
- T'as parlé de construire un spectromètre avec un goniomètre et un réseau, en quoi il a besoin d'être calibré ?
La loi des réseaux donne $\sin\theta - \sin\theta_0 = p\lambda/a$ Si on connaît l'ordre on n'a pas besoin de calibrer le montage, c'était une erreur.
- Tu as dit que le Michelson était en coin d'air ?
C'était une erreur c'était en lame d'air
- Comment la lentille était elle placée en sortie du Michelson ?
L'écran est placé au foyer de la lentille pour observer à l'infini
- Qu'est ce qui fait que sur le montage les rayons qui interfèrent sont ceux qui sont parallèles ?
Chaque famille de rayon avec le même angle interfère à l'infini. Ce qui fait les interférences c'est l'orthogonalité de ces deux miroirs.
- Pour une source ponctuelle est-ce toujours vrai ?
La source a une cohérence temporelle donc on ne peut pas observer d'interférences de rayons avec une différence de marche trop grande. Si la source est étendue, l'image va brouiller si on se place pas à l'infini.
- Une source avec des problèmes de cohérence spatiale elle est forcément étendue ?
- Comment ça fonctionne un laser ?
C'est une cavité Pérot-Fabry dans lequel est placé un milieu amplificateur que l'on pompe. La cavité sélectionne des modes de grande cohérence temporelle.

- Un laser c'est une cavité donc y'a une extension spatiale ?
- Le laser est cohérent spatialement car il est diaphragmé ?
Non, c'est de l'émission stimulée, toute la cavité oscille en phase et la source est étendue et cohérente spatialement.
- Comment ça fonctionne une QI ?
C'est une lampe avec filament chauffé avec filament, ampoule en quartz et gaz d'iode.
- Pourquoi un filament qui chauffe fait de la lumière ?
C'est du rayonnement du corps noir, le corps humain c'est dans l'IR.
- T'as fait une première mesure ça marchait pas t'as modifié les valeurs, qu'est-ce que t'as fait ?
Je connais mon résultat et je me suis rendu compte que j'avais mal lu le vernier j'ai estimé la valeur que j'ai mal lue sur le vernier . Au tour de vernier près j'ai pu me tromper sur 0.5 mm.
- Comment tu mesure ton incertitude sur le repérage de position du brouillage ?
J'ai dit que c'était celle du vernier en vrai il faut prendre l'écart entre quand je vois brouillage et quand je vois pas.
- Y'a brouillage quand t'as jugé qu'il y avait le plus d'extinction. Pourquoi n'y a-t-il pas extinction parfaite, expérimentalement t'es pas tombé sur le 0 où c'est intrinsèque ?
Pour un Michelson parfaitement réglé ça devrait annuler. Il doit y avoir un soucis de parallélisme. Ou alors les raies ne sont pas infiniment fines
- Comment la largeur influence-t-elle le spectre ?
Des raies infiniment fines spectralement donnent un cosinus infini en temps. Donc on va avoir un brouillage permanent.
- Donc lié à l'extinction pour les brouillages ? Non.
- Y'a quoi d'autre dans un spectre ?
Intensité on peut le voir dans un spectre à hydrogène. Relier un spectre à la couleur qu'on voit.
- Source de non extinction totale ?
Les raies sont d'intensités différentes.
- Tracer l'interférogramme pour ta manip ?
- Pourquoi lambda en mètre dans la première partie et nano dans la seconde ?
- Question de nombre de chiffres significatifs
- Sans le cas du $\Delta\lambda$ du sodium t'as compté des extinctions, quel serait l'intérêt dans ce cadre là de tracer l'abscisse de l'extinction en fonction du nombre d'extinction que t'as trouvé sur regressi ?
Je voudrais la pente et je pourrais voir mon incertitude sans la mesurer et je serais plus précis, on est moins sensible à une mauvaise lecture.
- Quand t'as calculé les incertitudes, t'as dit "beaucoup de points donc les incertitudes sont plus faible", tu peux détailler ?
La précision est plus grande car on chariote plus en gardant les mêmes incertitude de lecture.
- T'as évalué un pouvoir de résolution pour cette mesure là en particulier. Comment peut on le définir pour l'interféromètre entier ?
On se demande quel est le $\Delta\lambda$ qu'on peut résoudre. On aurait alors le pouvoir de résolution comme $\frac{1}{P} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$
- Pourquoi le Pérot-Fabry est-il plus précis ?
N ondes vs 2 ondes.
- Quelle est la largeur des raies de ton laser ?
J'aurais pu les estimer ici, ce qui limite c'est la largeur de la cavité. C'est très fin.

- Quand t'as décrit ce qui se passait on voit à l'oscillo c'est que quand le laser envoie c'est un mode propre de la cavité c'est vrai ?

La cavité s'agrandit au cours du temps, quand le laser envoie un mode propre il est amplifié donc visible à l'oscillo.

- C'est quoi les cloches en blanc ?

Le laser est composé d'un milieu amplificateur de gain A couplé à une cavité résonante de modes propres B . La cavité résonante a deux modes. $AB > 1$ est la condition de Barkhausen qui donne la forme à ces cloches visibles.

- Qu'est ce que t'as mesuré (en utilisant ce schéma) ?
- Quel est l'ordre de grandeur de la largeur de la cloche ?
dérive des pics avec le temps quand laser froid
- La finesse est liée au pouvoir de résolution connais-tu le lien ?
Non je ne connais pas l'expression mathématique.
- T'as utilisé 2 polars, lentilles pour lumière pour le spectro. C'est quoi le régime d'utilisation d'un polar et comment ça fonctionne ?
Il faut l'attaquer en faisceau parallèle.

- La calibration est elle linéaire ?
Normalement oui car la dispersion est en $\sin \theta$ et la position est en $\sin \theta$ donc le pixel est linéaire en λ .
- Quelle supposition sur la biréfringence du milieu ?
J'ai supposé que la différence d'indice ne dépend pas de la longueur d'onde c'est faux. Y'a un compromis entre choisir beaucoup de longueurs d'onde et des longueurs d'onde proches.
- La spectroscopie ça sert à quelque-chose ou c'est juste joli ?
Ça permet de remonter à des propriétés des matériaux c'est pratique. C'est Important de connaître le spectre . C'est très utile et pas du tout juste joli. Ça permet une mesure précise de Rydberg qui est une constante fondamentale.

Manip surprise

2 diapasons dont un qui est perturbé à l'aide d'une masselotte. On a un micro et un oscillo. Mesure la fréquence d'oscillation du diapason perturbé par la masselotte grâce aux battements entre les deux diapasons. On mesure la période des battements avec une acquisition run-stop. Elle correspond à la différence de fréquence et on connaît la fréquence du non perturbé on remonte au perturbé.

- Avec le signal des battements on peut trouver la fréquence du premier diapason sans refaire d'acquisition ?
oui on peut faire somme et différence. La porteuse est à $\omega_1 + \omega_2$ et l'enveloppe est à $\omega_1 - \omega_2$. Vérifions avec un seul diapason.
- Pourquoi on choisit cette forme pour le diapason ? On veut qu'il soit très monofréquence. Sa grande rigidité assure ça. Il a plusieurs mode propre. On veut que y'en ait un beaucoup plus excité que les autres.
- Quel est la condition sur le spectre ?
CL de plein de modes sur la corde de Melde.

Commentaires

Globalement, tu as fait beaucoup de manipulations qui n'étaient pas les plus simples, toutes ont marché donc bravo. Les questions tout n'est pas satisfaisant c'est normal les questions sont longues. T'as peut être fait trop de manipulations, tu peux en enlever une.

Le tableau n'est pas exploité comme il faut, tu mets des informations superflues et certaines qui sont primordiales n'y sont pas, par exemple pour le doublet du sodium, le schéma $I(\delta)$ est à faire. Tu n'as pas besoin d'écrire ton plan si tu

l'annonces. Tu peux préparer mieux le tableau pour être plus serein. Jaune pour encadrer pas le top. L'autre aime bien. Pas besoin de rappeler la théorie sur l'interféromètre de Michelson

On dit pas chariotage le jour de l'oral."mon" à éviter, certains détestent vraiment ça. Le français est apprécié par le jury

Le montage c'est la course, les manip quali peuvent être oubliées. La première manip ça se fait au gonio ça marche vraiment bien. Pouvoir de résolution il faut en parler. On peut étudier la largeur des raies au michelson avec l'extinction finale. Montrer la loi linéaire des extinction le montrer c'est top tracez des droites le jury aime ça.

Fais attention à la manière de noter les incertitudes en termes de nombres de chiffres significatif (adapter le nombre de chiffres significatifs à l'incertitude.

Se décaler de l'écran de l'ordi pour que le jury puisse le voir.

Attention au montage surprise, il faut prendre le temps de réfléchir avant de tout brancher.

Le pouvoir de résolution c'est finesse fois ordre d'interférence, la limite c'est la cohérence temporelle (michelson faut aller loin du contact optique). Pour une source élargie y'a brouillage si on observe pas à l'infini.