

MP 10 - Spectroscopie Optique

Sylvain Fayard - Yann Gouttenoire

Messages à faire passer dans la leçon :

- ° 2 types de spectromètres (parmi d'autres) : les spectromètres à fentes (milieu dispersif, prisme ou réseau, séparé par 2 fentes) et les spectromètres interférentiels
- ° Spectromètres à fentes : compromis résolution-intensité.
- ° Spectromètres interférentiels : pas besoin de fente d'entrée donc étendu de faisceau (luminosité) plus grande
- ° La spectroscopie permet de remonter à des informations sur la source et le milieu traversé. Elle a son importance en métrologie.

Plan choisi :

Intro : La spectroscopie optique est l'analyse spectrale de la lumière. Moyen d'investigation utilisé pour connaître composition chimique des émetteurs ou du milieu traversé. Spectre des lampes spectrales présente raies caractéristiques → importance en métrologie. 2 type de spectromètres.

I- Spectromètres à fentes.

A) Spectromètre commercial. Spectre de l'hydrogène (Sextant).

But : mesurer la constante de Rydberg.

Partie visible du spectre de H → première raie série de Balmer, relation empirique (1885).

Spectro à fibre → mesure des 2 premières longueur d'onde de la série.

On en déduit R_y .

Incertitude par la formule de propag des erreurs.

Importance de R_y en métrologie.

Q : qu'y a-t-il à l'intérieur du spectro à fibre ?

B) Spectromètre à réseau.

Caractérisé par un réseau entre 2 fentes, fonctionne sur le principe conversion fréquence → déviation angulaire.

Montage de Czerny-Turner : montage en M avec les 2 miroirs les plus proches possibles pour limiter aberrations sphériques.

But : résoudre le doublet de Na.

Etalonnage distance sur CCD en long d'onde partir du doublet jaune de Hg.

Incertitude : prendre un pixel de la CCD (15 microns)

Discussion théorique sur la résolution pratique attendu dans le cas d'une fente large puis mise en évidence compromis résolution-intensité.

II- Spectromètre interférentiel.

Avantage : permet de palier à ce problème de fente → étendu du faisceau plus grande.

A) Michelson en lame d'air (Sextant).

But : séparer doublet Na.

Les intensités associés au 2 longueurs d'onde se superposent → battements. Lorsque les 2 interférogrammes sont décalés d'une demi frange, les franges brillantes de l'un sont au dessus des franges sombres de l'autre. On satisfait alors une condition d'anti-coïncidence et on réduit fortement le contraste.

On mesure distance entre le plus de minima de contraste possibles. On doit trouver une distance de 0.291 mm pour une période de battement. Rem : minima non nulle → intensité relative des 2 raies non nulle. Largeur finie des raies diminution notable du contraste après 13/14 battements → longueur de cohérence λ_c : 3/4 mm.

B) Cavité Fabry-Pérot

But : mesurer ISL de la cavité d'un laser (distance entre 2 modes spectraux).

Laser He-Ne éclaire cavité confocale (cavité d'analyse) constitué de 2 miroirs sphériques dont la distance est modulé par dents de scie avec cales piezo. On récolte l'intensité lumineuse transmise par la cavité d'analyse via photodiode.

Définition de l'ISL : décalage en fréquence entre 2 modes successifs (attention pour la condition de résonance : un rayon se reboucle avec lui-même après un aller-retour).

Présentation intensité attendu en lumière monochromatique lorsque on varie d .

Mise en évidence de l'intensité observé : motif qui se répète → laser multimode.

Parfois bimode, parfois trimode. Le montrer en traçant la fonction d'Airy de la cavité laser avec ses courbes de gain et de pertes. Un mode ne s tablit que si le gain associé est supérieur aux pertes. Du fait de la dilatation thermique le peigne de Dirac associé à la fonction d'Airy se décale lentement par rapport à la courbe de gain.

Mesure de la distance entre 2 modes successifs de la cavité laser puis entre 2 modes successifs de la cavité d'analyse. Le rapport de ces grandeurs est le rapport des ISL. On en déduit ISL cavité laser, à comparer avec ce qui est écrit.

Formule de propag des incertitudes.

Remarque importante : il est impossible de savoir juste en observant la figure d'intensité si il y a du recouvrement ou pas, or évidemment la mesure de la distance entre 2 modes successifs de la cavité laser en dépend ! Donc il faut faire une hypothèse de départ et vérifier l'accord avec la valeur écrite sur le laser (la réponse est qu'il n'y pas de recouvrement). Mais même avec l'hypothèse de non-recouvrement, il n'y a encore une ambiguïté si on est en fonctionnement bimode.

Heureusement, cette dernière est levée en fonctionnement trimode : on reconnaît le plus grand des pics comme le mode central et on identifie facilement les 2 modes extrêmes car on a postulé l'absence de recouvrements.

Expériences présentées :

- Mesure de la constante de Rydberg :
 - lampe spectrale à H
 - spectromètre à fibre, avasoft
- Réseau en kit :
 - lampe spectrale à Hg
 - lampe spectrale à Na
 - fente
 - 2 miroirs sphérique, $f=300\text{mm}$

- miroir plan pour réglage par collimation, feuille de papier pour suivre faisceau
- réseau 1200 traits/mm
- caméra CALIENS, ordi portable (attendre 1 min après avoir branché et allumé la caméra avant de lancer le logiciel caliens)
- Michelson en coin d'air :
 - Michelson
 - lampe spectrale à Na
 - diffuseur et laser pour réglage parallélisme
 - condenseur
 - doublet de 600 ou 1000
 - écran d'observation
- Fabry-pérot :
 - cavité confocale avec son alimentation
 - laser He-Ne paralépipède
 - oscilloscope

Remarques et questions du jury:

◦ Définition de la seconde :
 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins $F=3$ et $F=4$ de l'état fondamental $6S_{1/2}$ de l'atome de césium 133. La fréquence d'un laser est asservie sur la fréquence de la transition atomique par la méthode des franges de Ramsey dans les fontaines à atomes. C'est en quelque sorte un interféromètre de Mach-Zehnder où la position des photons dans l'espace est remplacé par la position d'un vecteur sur la sphère de Bloch dans l'espace de Hilbert des 2 états atomiques.
 La définition de la seconde permet de définir le mètre avec c .

◦ Quand on regarde à travers l'ensemble séparatrice/compensatrice, pourquoi voit-on des anneaux?

◦ Quel autre type d'objet pour séparer des longueurs d'onde? (prismes, filtres colorés ou interférentiels).

◦ Rôle du condenseur avant le Michelson : créer de l'angle d'incidence.

◦ Autres manips possibles: utilisation du Fabry-Perot en spectromètre (doublet du sodium, effet Zeeman avec une lampe au Cadmium).

Bibliographie et remarques bibliographiques :

Pour la série de Balmer et l'expérience avec le Michelson :

Sextant

Pour les franges de Ramsey :

Laser, Bernard Cagnac, Jean-Pierre Faroux (chap 6)

Les atomes froids, Erwan Jahier

Mécaniques Quantiques, Michel Le Bellac (chap 5)