

# Montage #11: « Emission et absorption de lumière »

Présentation: Fanny Jospitre, le 14 décembre 2016

Correction: Yannick Petit

## Déroulement de la présentation

### Introduction

- présentation de l'échange d'énergie sous forme de quanta, introduits par Planck, avec des transitions électroniques entre niveaux d'énergie
- Evolution depuis un niveau haut vers un niveau bas = émission
- Evolution depuis un niveau bas vers un niveau haut = absorption
  - **remarque:** attention à ne pas restreindre les question d'absorption/émission aux seules transitions électroniques. Mieux articuler cela vis-à-vis du corps noir, c'est-à-dire du rayonnement d'équilibre avec une température d'équilibre au sens thermodynamique

### I. Absorption de lumière

I.1. Loi de Beer-Lambert

I.2. Détermination de la position du badgap de ZnSe

### II. Emission de lumière

II.1. Détermination de la constante de Rydberg

II.2. Vérification de la loi de Stefan

I.1. Loi de Beer-Lambert

- utilisation d'une diode laser rouge à travers une solution de  $\text{KMnO}_4$  avec différentes concentrations
- mesure de la transmission du faisceau laser mesurée sur une photodiode polarisée en inverse (à -2V) en amont d'un montage suiveur présentant une résistance variable
- Mesure en réalisant une bonne référence, avec une cuve remplie d'eau sans  $\text{KMnO}_4$ , avec en sortie la tension de 1V ajustée avec la résistance variable
- réalisation d'une courbe d'étalonnage en extinction molaire, puis détermination d'une solution de concentration inconnue:
  - la concertation inconnue était très diluée, et la valeur estimée (correcte par rapport à la dilution qui avait été effectuée) tombait quasiment sur la valeur de référence
  - **remarque 1:** pour faire pédagogique et plus illustratif, prendre une concentration inconnu moins diluée, de façon à être environ au milieu de la gamme de concertations utilisées pour réaliser la courbe d'étalonnage
  - **remarque 2:** pour les fortes concentrations, attention à ne pas dire que le détecteur « sature », alors qu'il ne reçoit quasiment plus de lumière. On est alors plutôt dans la problématique de limite de détection et de sensibilité du détecteur (mais pas du tout dans un régime de saturation!)

I.2. Détermination de la position du badgap de ZnSe

- mesure de transmission à partir d'une mesure de spectre d'obscurité puis d'une mesure de spectre de référence
- détermination de la position du bandage comme étant la position du point d'inflexion de la courbe de transmission vers la coupure UV du matériau
  - **remarque 1:** phrase prononcée « pour des photons d'énergie supérieure au bandgap, le matériau est opaque ». Attention à cette formulation, l'opacité est très subjective car elle dépend de la détection utilisée et de sa sensibilité. D'autre part, une « opacité » est variable selon l'épaisseur utilisée de matériau...
  - **remarque 2:** une telle détermination du bandage n'a rien de physique, et ceci est tout à fait arbitraire. De plus, la grandeur physique intrinsèque au matériau est le coefficient

d'absorption linéaire, et non la transmission. La transformation mathématique de la transmission en coefficient d'absorption linéaire n'est pas une fonction linéaire (utilisation du logarithme Népérien): en plus que ce ne soit pas une raison avec un fondement physique, le point d'inflexion sur la transmission n'est donc pas celui sur la courbe du coefficient d'absorption linéaire.

- détermination de la résolution spectrale du spectromètre à partir d'un doublet du mercure non résolu, distant de 2.1 nm
  - remarque 3: à partir d'un étalonnage avec une lampe à vapeur de mercure, le spectromètre ne résout pas un doublet séparé de 2.1 nm. Attention, c'est une erreur de dire que cette non résolution du doublet espacé de 2.1 nm correspondrait alors à la valeur de la précision de l'instrument et de la mesure !!
- Manipulation de la fibre au cours des mesures de transmission
  - remarque 4: il est interdit de bouger la géométrie du montage, une fois le spectre de référence enregistré, ie on ne peut plus déplacer la fibre !! Sinon, la mesure de référence n'en est plus une, et la mesure de transmission n'a plus de sens !! [*forte sanction assurée à l'oral !*]
  - remarque 5: il est interdit de présenter une mesure de spectre de référence saturé (spectre écrêté, avec un plateau sur une plage spectrale), car le détecteur est clairement hors de sa plage de linéarité et car cela n'a alors aucun sens de faire une mesure de transmission avec des valeurs saturées !! [*forte sanction assurée à l'oral !*]
- Manipulation de la fibre pour l'étalonnage spectral pour l'axe des abscisses avec une lampe Hg
  - remarque 6: beaucoup trop de manipulation de la fibre. Tout ce qui porte à l'étalonnage en longueur d'onde est fait en préparation. Cela limite du mouvement...
- détermination de la position du bandage comme étant la position du point d'inflexion de la courbe de transmission
  - remarque 7: valeur estimée à 2.4 V avec cette méthode, au lieu des 2.6 eV (valeur constructeur). Cette méthode non physique sous-estime la vraie valeur car le spectromètre arrive rapidement en limite de sensibilité. Lors du passage de la transmission qui tend vers un zéro instrumental (et non physique) vers le coefficient d'absorption linéaire, la bande d'absorption liée au band-gap est alors écrêtée: ceci tend à sous-estimer la valeur en énergie du band-gap...

## II.1. Détermination de la constante de Rydberg

- détermination de la constante de Rydberg avec la série de Balmer dans le visible, avec une valeur mesurée à 1% de la valeur tabulée:
  - remarque 1: très bien pour la valeur estimée. Par contre, beaucoup beaucoup trop de temps perdu sur l'étalonnage spectral en longueur d'onde du spectromètre. Ceci est à traiter en préparation, et à dire en 1 phrase si besoin s'il y a un décalage spectral de l'instrument. Tout le temps perdu a empêché de traiter le point 2.2.

## II.2. Vérification de la loi de Stefan

- Utilisation d'un four, avec 2 thermocouples pour la mesure de température (l'un d'eux est relié à l'ordinateur, l'autre permet visuellement de vérifier/valider la température), et avec une thermopile en sortie de four (avec une fenêtre refroidie à l'eau). La thermopile entre dans un montage amplificateur en tension (gain x100), et la tension amplifiée est enregistrée à l'ordinateur.
- en connaissant le coefficient de conversion de la thermopile, on remonte à la loi d'émission de Stefan avec une bonne dépendance en  $T^4$  (test chi(2) de 0.6) et une constante Sigma environ 25 fois plus faible que ce qui est attendu
  - remarque 1: très bien pour la dpdce en  $T^4$
  - remarque 2: pour l'estimation de la constante sigma, attention de ne pas oublier de corriger le gain x100 introduit dans l'expérience
  - remarque 3: pour l'estimation de la constante sigma, justifier le fait que la valeur trouvée est environ 25 fois plus faible que celle attendue: où est le problème ?
    - est-ce que le four est un corps « gris » ??
    - l'angle solide de collecte du rayonnement thermique n'a pas été pris en compte !!

- on collecte typiquement sur un diamètre de 1 cm à la distance de 5 cm
- à voir comment prendre cela en compte dans le traitement des mesures...
- est-ce que le coefficient d'étalonnage de la thermopile est fiable ??

[VOIR « SEXTANT - optique expérimentale, p103-104]

## Questions

Q1 - Partie 1.1: Pourquoi avoir choisi -2V pour la polarisation en inverse de la photodiode?

Q2 - Partie 1.1: Quelles sont les limitations de la loi de Beer-Lambert? (Effet de très fortes concentrations (évolution non linéaire éventuelle avec une extinction molaire qui deviendrait une fonction de la concentration, effet de « changement de phase » avec l'agrégation de molécules et l'apparition de nouvelles espèces), effet de très fort flux optique avec la problématique de saturation de la transition sollicitée)

Q2bis - Partie 1.1: Quelle longueur d'onde choisir pour faire une mesure de Beer-Lambert? Quand privilégie-t-on une longueur d'onde associée à une absorption maximale, à une absorption minimale?

Q3 - Partie 1.1: Comment se comporte spectralement un coefficient d'extinction molaire?

Q4 - Partie 1.1: Comment est lié le coefficient d'extinction molaire avec le coefficient d'absorption linéaire? Pourquoi parle-t-on de coefficient d'absorption linéaire, alors qu'on a une loi de Beer-Lambert avec une atténuation exponentielle?

Q5 - Partie 1.2: Le ZnSe est-il un semi-conducteur à transition directe ou indirecte? Ceci influe sur la façon de traiter des spectres de transmission pour déterminer la valeur de l'énergie du bandgap...

Q6 - Partie 2.1: Quelle correction est à prendre en compte dans la constante de Rydberg, en lien avec la masse réduite de l'hydrogène? Ordre de grandeur de cette correction?

Q7 - Partie 2.1: Pour quels autres atomes peuvent appliquer la relation liant les longueurs d'onde émises par l'hydrogène avec la constante de Rydberg? Comment faut-il alors adapter cette relation?

## Remarques générales

- durée: 40 minutes exactement, mais le point 2.2 n'a pas été traité et il n'y a pas eu de conclusion
- Attention aux manipulations de spectromètres:
  - travailler en conditions fixes en terme de position de fibre et limiter les déplacements
  - gérer l'étalonnage en préparation (et dire que cela a été fait) pour ne pas perdre de temps
- mieux positionner le contexte global du montage:
  - émission: parler de rayonnement d'équilibre du corps noir (large spectre de type continuum), de rayonnement de retour à l'équilibre dans le cas de vapeurs atomiques ou de fluorescence (spectre de raies plutôt étroites à très étroites), de rayonnement produit par la circulation de courant électrique dans des jonction p-n de semi-conducteurs (cas des LED avec spectres de bandes relativement larges) voire de spectre issu de l'émission stimulée lorsqu'un effet laser intervient (émission sur une bande étroite général unique)
  - absorption: parler des phénomènes réciproques à l'émission pour les détecteurs thermoélectriques (mesure par échauffement), pour les valeurs atomiques (transitions sur des niveaux électroniques), pour les détecteurs photoélectriques (mesure par création d'un courant électrique)
- mieux positionner l'intérêt de chacun des thématiques abordées avec les 4 axes traités:

- donner à chaque axe une application
  - Loi de Stefan: loi du corps noir très fondamentale, fondements théoriques confirmés par expérience, mesure de rayonnement diffus cosmologique à 3K, diagnostique thermique de rayonnement d'habitations, température de radiation de planètes et lien avec les effets de serre...
  - Constante de Rydberg: intérêt pour valider des aspects fondamentaux + accès simple expérimental à une constante qui contient des constantes fondamentales de la physique.
  - Loi de Beer-Lambert: chimimétrie et contre le quantitatif lorsque la nature de solution est connue, détermination de sections efficaces d'absorption dans le cas de transitions laser...
  - Photodétecteur: création d'instruments de mesure
- choix de présentation : faire d'abord l'émission, puis l'absorption
- il faut faire au moins une phrase de conclusion

## Suggestion de plan

### Introduction

- présentation de l'échange d'énergie sous forme de quanta, introduits par Planck, avec des transitions électroniques entre niveaux d'énergie
- présentation des différents types d'émissions (sans être pour autant dans un montage « spectroscopie »)
  - émission: parler de rayonnement d'équilibre du corps noir (large spectre de type continuum ==> le montrer au spectro), de rayonnement de retour à l'équilibre dans le cas de vapeurs atomiques ou de fluorescence (spectre de raies plutôt étroites à très étroites ==> le montrer au spectro), de rayonnement produit par la circulation de courant électrique dans des jonction p-n de semi-conducteurs (cas des LED avec spectres de bandes relativement larges) voire de spectre issu de l'émission stimulée lorsqu'un effet laser intervient (émission sur une bande étroite général unique ==> le montrer au spectro)
  - absorption: parler des phénomènes réciproques à l'émission pour les détecteurs thermoélectriques (mesure par échauffement), pour les valeurs atomiques (transitions sur des niveaux électroniques), pour les détecteurs photoélectriques (mesure par création d'un courant électrique) ==> montrer au spectro l'absorption partielle d'un des rayonnements ci-dessus par un milieu

### I. Emission de lumière

- I.1. Vérification de la loi de Stefan
- I.2. Détermination de la constante de Rydberg

### II. Absorption de lumière

- II.1. Loi de Beer-Lambert
- II.2. Proposition: Fonctionnement d'un photodétecteur (choix de la photodiode)

### Conclusion

- présentation d'émission et d'absorption liées à ces processus différents
- possibilité ensuite d'élargir :
  - aux notions de cohérences spatiale/temporelle des rayonnements émis
  - à la nature vectorielle de la lumière avec les effets de polarisation à l'émission et à l'absorption