

Emission et absorption de la lumière

Notes de montage

15 mai 2021

On pourrait illustrer les phénomènes d'émission et d'absorption de la lumière dans plusieurs situations : lampes spectrales (spectres de raies), corps noir (loi de Stefan, bandes d'émission), fluorescence, et photorécepteurs.

1 Emission de raies : mesure de la constante de Rydberg

Une expérience on-ne-peut-plus-simple quand elle est effectuée au moyen d'un spectromètre électronique branché à un ordinateur et une lampe spectrale à dihydrogène. On mesure les raies de Balmer, dont la longueur d'onde est donnée par :

$$\frac{1}{\lambda} = R_y \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

avec $n = 2$. C'est la série de raies qui se trouve dans le domaine visible. Etant donné que certaines raies ne sont pas forcément bien visibles si la lampe est vieille ou s'il y a un peu de bruit dans le signal, on utilisera le cas échéant les indices déjà tabulés pour retrouver la constante, plutôt que d'y aller par tâtonnements.

Indice	$\lambda(\text{nm})$	Couleur visible
3	656	rouge
4	486	cyan
5	434	bleu
6	410	violet

De très légers décalages entre le spectre observé et un spectre tabulé pour le dihydrogène sont dûs à la présence de deutérium dans la lampe, qui, plus lourd, diffuse moins à travers les parois de la lampe, et est donc préféré pour augmenter la durée de vie de celle-ci. De plus les longueurs d'onde dans l'air sont assez subtilement différentes de celles dans le vide.

2 Fluorescence

Le phénomène de fluorescence consiste en la non-symétrie des spectres d'émission et d'absorption : après avoir absorbé un rayonnement, le corps ne réémet pas de lumière à la même longueur d'onde mais à une longueur d'onde plus basse. La cause de ce phénomène est la possibilité pour le corps de passer par des processus de désexcitation non-radiatives (collisions, etc.). L'étude de la fluorescence de la rhodamine permet de faire d'une pierre trois ou quatre coups.

Prendre une cuve adaptée (rectangulaire à faces parallèles, propre, en verre ou en quartz...) et y dissoudre, dans de l'éthanol, une petite quantité de rhodamine (attention : plusieurs types de rhodamine existent, et leurs spectres diffèrent. Lors de la comparaison avec des valeurs tabulées il faudra s'assurer du type de rhodamine dont on dispose). Garder une deuxième cuve pour servir de témoin.

Disposer derrière la cuve une lampe quartz-iode (lumière blanche) munie d'un filtre anti-calorique, et devant la cuve un spectromètre.

Réaliser dans un premier temps un spectre témoin (avec une cuve remplie d'éthanol, sans rhodamine). Réaliser ensuite le spectre de la lumière passant à travers la rhodamine. Le spectre de transmission est obtenu en soustrayant le spectre témoin.

Pour la fluorescence : employer un laser vert et lui faire traverser la cuve de rhodamine. On constate qu'à son passage dans la solution sa couleur change.

On réalise le spectre de la lumière émise par fluorescence dans une direction perpendiculaire au laser (le capteur vise le flanc de la cuve). On constate que la longueur d'onde mesurée est bien différente de la longueur d'onde d'excitation, ce qui est caractéristique du phénomène de fluorescence.

Il est envisageable de réaliser plusieurs spectres de fluorescence pour plusieurs concentrations de rhodamine (4×10^{-4} , -5 , -6 , -7 , -8 , -9 et de caractériser la variation de longueur d'onde du pic de fluorescence (décalage aux grandes longueurs d'onde lors de l'augmentation de la concentration).

Pour la rhodamine 610, on pourra utiliser cette table de valeurs :

<https://www.photonicsolutions.co.uk/upfiles/Rhodamine%20610%20Perchlorate.pdf>

3 Expérience alternative

Réaliser un spectromètre de fortune : on emploie un réseau et une lampe quartz-iode. Ajouter un filtre anti-calorique devant la lampe si nécessaire. Ajouter une fente réglable après la lampe. Condenser au moyen d'un condenseur ou d'une lentille de courte focale, la lumière de la lampe sur la fente. Au moyen d'une seconde lentille placée plus loin, projeter une image la plus nette possible de la fente sur un écran. Ajouter, juste après cette seconde lentille, le spectroscopie utilisé (réseau, prisme, etc... En prenant un réseau assez peu dispersif, on pourra employer une relation linéaire entre le déplacement sur l'écran et la longueur d'onde du rayonnement.

On étalonnera ce spectromètre de fortune avec des filtres colorés.

En disposant sur le trajet optique entre la fente et la seconde lentille, une cuve contenant une solution colorée, on constate l'absorption de certaines bandes de longueurs d'onde (par exemple le vert/jaune pour du permanganate de potassium). On pourra les caractériser en évaluant leurs étendues.

4 Le corps noir

Le modèle du corps noir est un modèle idéal mais qui se révèle être une bonne approximation pour étudier le comportement de certaines sources, notamment le rayonnement thermique. On peut chercher à vérifier la loi de Stefan au moyen d'un corps noir approché (four aux parois assombries munies d'une petite ouverture) et d'une thermopile.

La loi de Stefan indique que le flux rayonné par un corps noir à la température T vaut $\Phi = \sigma T^4$ avec σ la constante de Stefan-Boltzmann qui est évaluée à $\approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

La tension aux bornes de la thermopile vérifie la relation :

$$V = \Sigma_{four} R \sigma (T^4 - T_0^4) \frac{\Omega}{\pi}$$

avec Ω l'angle solide de la pile vue depuis l'orifice du corps noir (si la thermopile est à bonne distance, on dira que $\Omega \approx \frac{S}{d^2}$ avec S la surface du capteur

de la thermopile de d la distance four-thermopile) : Σ_{four} est la surface de l'orifice du four, R la sensibilité de la thermopile (normalement indiquée dans la notice) et T_0 la température ambiante (la salle d'expérimentation génère un flux thermique elle aussi que l'on approche par le modèle du corps noir).

Il faut idéalement réaliser une dizaine de mesures minimum, de préférence dans une salle assez sombre, en montant à 700K au moins. Cette détermination est assez approximative mais on devrait arriver au bon ordre de grandeur pour σ .

5 Photodiodes

Les photodiodes sont des dispositifs électroniques, constitués de semi-conducteurs, qui peuvent produire un courant en absorbant de la lumière. On s'attache ici à mesurer la linéarité d'une photodiode lorsqu'elle est montée en polarisation inverse.

Monter une photodiode en polarisation inverse et l'éclairer. Au moyen de deux polariseurs, on peut contrôler l'intensité qu'elle reçoit en mettant à profit la loi de Malus.

On peut ensuite réaliser une expérience illustrant la manière dont est produite la lumière qui nous éclaire au quotidien : en visant un néon avec une photodiode, on se rend compte que l'éclairement présente une oscillation à environ 100Hz, trace de l'alimentation en courant alternatif à 50Hz. Ceci est imperceptible en raison de la persistance rétinienne.

Conclusion

On espère avoir ici présenté plusieurs phénomènes liés à l'émission et l'absorption de la lumière. Ces phénomènes ont plusieurs origines : structure électronique d'un gaz, rayonnement thermique, présence d'une énergie de gap, etc.

Bibliographie

- Sextant (1997). *Optique expérimentale*. Hermann.
Bellier, J.-P. et Guéant, D. (2020). *Expériences de Physique : optique, mécanique, ondes, fluides : CAPES, CAPLP, agrégation*. Dunod.

Fruchart, M. *et al.* (2016). *Physique expérimentale : Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique*. De Boeck Supérieur.