

RABAN Valentin; PICARD Clément

* References

[1] - Lestant, Optique expérimentale

[2] - Duffaut, Expériences d'optique - Agrégation de Sciences physiques, 1994

* Table des matières

I) Absorption de la lumière

II) Emission discrète de la lumière

II.1) Emission spontanée

II.2) Emission stimulée

III) Emission continue de la lumière

* Introduction

La lumière est une onde électromagnétique, visible à l'œil nu, dont la longueur d'onde peut varier de 400 à 800 nm. Elle est omniprésente dans le quotidien et en sciences physiques, comme par exemple en astronomie, où l'étude de la lumière provenant d'une étoile de remonter à la composition de celle-ci, se par la connaissance des mécanismes d'émission de la lumière.

Ce sont justement ces mécanismes d'émission et d'absorption que nous allons essayer d'illustrer tout au long de ce montage.

I) Absorption de la lumière

L'absorption se constate au quotidien par la couleur des objets autour de nous. En effet, lorsqu'une lumière blanche, donc composée de toutes les couleurs, arrive sur un objet, celui-ci absorbe une partie des longueurs d'onde, et retransmet alors le reste, donnant ainsi la couleur de l'objet.

Nous allons alors procéder à l'expérience de Beer-Lambert pour déterminer le comportement d'une substance liquide colorée vis-à-vis de l'absorption.

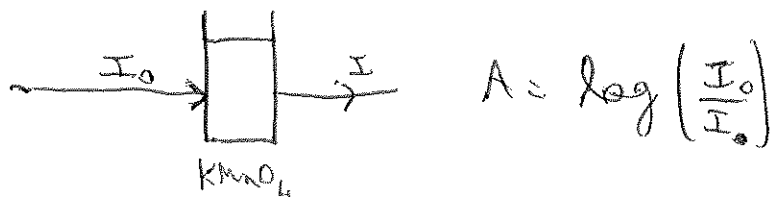
* Expérience n°1 : Spectre du KMnO_4

Dans le spectromètre Ulisse, on glisse une cuve de KMnO_4 (violet) et on observe le spectre sur l'écran.

On observe alors que la substance colorée n'absorbe que certaines plages de longueur d'onde, la plage complémentaire de sa couleur violette.

Voyons alors si la concentration de cette espèce peut avoir une influence sur l'absorbance A .

appel :



* Expérience n°2 : Vérification de la loi de Beer-Lambert

On se place à la longueur d'onde pour laquelle A est maximale sur le spectre précédent, et on mesure A pour différentes concentrations en KMnO_4 .

Loi de Beer-Lambert : $A = \epsilon l c$

l : longueur de la cuve (cm) ϵ : coefficient d'extinction molaire ($\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

On trace alors $A = f(c)$ pour obtenir une droite, dont le coefficient directeur est ϵl , connaissant l , on remonte à ϵ .

→ Incertitudes : Nous avons effectué les différentes solutions par dilution d'une solution mère m : $C_m V_m = C_f V_f$.

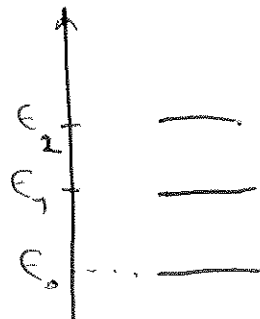
$$\Rightarrow \frac{\Delta c}{c} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_m}{C_m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_m}{V_m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_f}{V_f}\right)^2}$$

Régression nous donne alors $\epsilon = \frac{+}{-} \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
 En valeur théorique référencé dans [1], on a $\epsilon_{H\gamma} = 2,250 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

II) Emission de lumière discrète

1) Emission spontanée

La mécanique quantique a permis de montrer que les niveaux d'énergie accessibles à un atome gazeux sont quantifiés

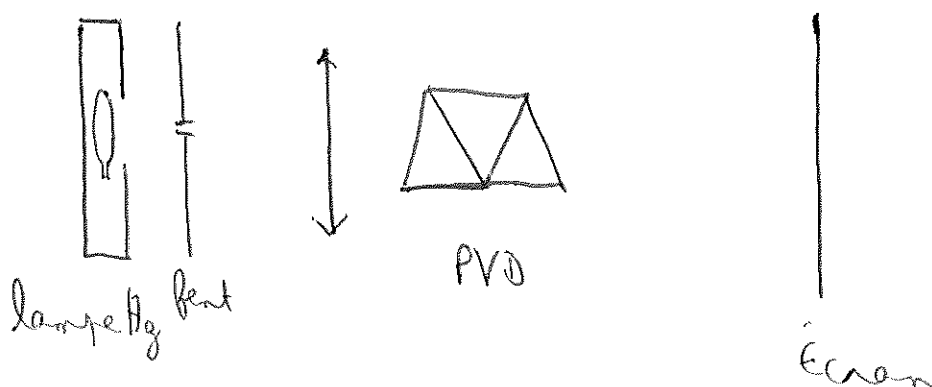


E_0 : Energie de l'état fondamental

$E_1, E_2, \dots$ Energie d'un état excité.

D'après la loi de Planck, la désexcitation d'un atome gazeux excité entraîne l'émission d'un photon de fréquence ν tel que $\Delta E = h\nu$
 h : constante de Planck

Expérience n°3 : Spectre du mercure



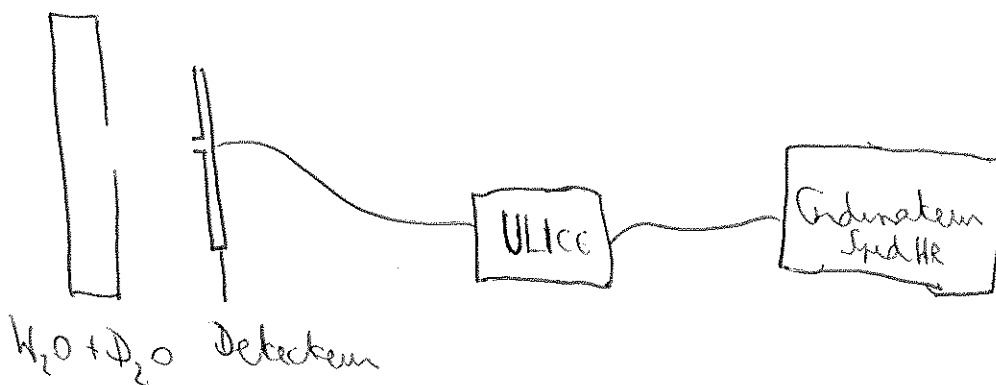
On observe alors un spectre dit de raies, ce mécanisme est appelé émission spontanée.

Il existe un atome pour lequel la longueur d'onde des raies du spectre suivent une loi mathématique: l'hydrogène.

$$\frac{1}{\lambda_m} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad R_H: \text{Constante de Rydberg}$$

$$R_H = \frac{1}{1 + \frac{m_e}{m_p}} \left[\frac{e^4 m_e}{64 \pi^3 \hbar^3 \epsilon_0^2 c} \right]$$

* Expérience n° 4 : Mesure de la constante de Rydberg [1]



On observe sur Spid HR le spectre de raies de l'hydrogène et on trace alors $\frac{1}{\lambda} = f\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right)$ pour remonter à R_H

→ Incertitudes

On mesure avec Ulice la longueur d'onde des 3 raies visibles sur Ulice et on a :

$$\lambda = \pm \text{ nm}$$

$$\lambda = \pm \text{ nm}$$

$$\lambda = \pm \text{ nm}$$

Avec Regressi : $R_H =$

En théorie

$$R_{H\text{th}} = 1,096\,775\,8 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Remarque : Présence de deutérium, plus lourd qui diffuse moins vite à travers les parois de la lampe. En décalé mais d'un rapport $\frac{1}{4000}$ et $\frac{1}{4000} \approx 0,25 \text{ nm} < 1,5 \text{ nm}$: Résolution d'Ulice

2) Emission stimulée

Nous avons vu précédemment que l'émission spontanée conduit à une lumière possédant plusieurs longueurs d'onde.

Cependant, il est indispensable en physique d'obtenir des lumières le plus monochromatique et le plus intense possible, par exemple pour des expériences interférométriques.

Le principe a été introduit par Einstein afin de comprendre les calculs de Planck pour le rayonnement du corps noir (cf III).

* Expérience n°5 : Laser transparent

La lumière qui sort sur le côté du laser est celle de l'émission spontanée, vu précédemment, et. est alors envoyé dans une cavité Fabry-Pérot, cavité qui permet de sélectionner une unique longueur d'onde amplifiée, de par la taille de la cavité.

On observe l'émission spontanée avec l'œil, puis l'émission stimulée pour constater que la lumière de l'émission stimulée qu'une seule raie, amplifiée par rapport à l'émission spontanée.

⇒ 3 avantages de l'émission stimulée par rapport à l'émission spontanée

→ Monochromaticité

→ Amplification

→ Directionnalité

III Emission continue de lumière

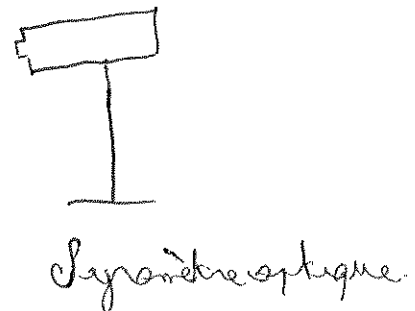
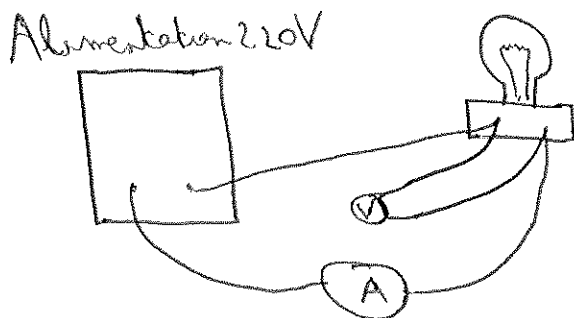
Mais alors ça nous intéresse à un tout autre type d'émission, le rayonnement du corps noir

Lorsqu'un corps est chauffé, par interaction avec la matière, un rayonnement électromagnétique de spectre continu est émis par le corps chauffé.

Regardons alors le spectre d'une ampoule à filament de tungstène, par la même technique utilisée lors de l'expérience n° 3.

* Expérience n° 6 : Spectre d'une ampoule

* Expérience n° 7 : Vérification de la Loi de Stefan



On fait l'hypothèse que la puissance lumineuse émise par le filament de l'ampoule P est égale à la puissance électrique reçue par l'ampoule, on néglige toutes pertes.

On fait alors varier le voltage de l'alimentation, donc la puissance lumineuse, et on mesure au pyromètre la valeur de la température T du filament

$$\text{Loi de Stefan : } P = \sigma T^4$$

On trace alors $\ln(P) = f(\ln(T))$, et on en ressort le coefficient directeur qui devrait être égal à 4.

→ Résultats : La valeur trouvée n'est pas 4, on a pensé expliquer cela par le fait que toute la puissance électrique n'était pas convertie en puissance lumineuse.

→ Incertitudes :

Le pyromètre voit sa valeur varier pas mal autour de l'unité, les variations vont parfois à 5 K. Il y a donc une incertitude de 5 K quant à la mesure de T.

La valeur de l'intensité reste stable tout au long de la mesure, le dernier chiffre significatif sera pris comme incertitude soit $\Delta I = 0,01 \text{ A}$.

Pour la valeur de la tension, celle-ci varie un peu plus lors d'une mesure, mais reste relativement stable : $\Delta V = 0,1 \text{ V}$.

Remarque : On ne peut pas ressortir la valeur de la constante de Stefan lors de cette expérience, car :

$$\sigma = \frac{2\pi^5}{15} \frac{k_B^4}{15 c^2} \approx 5,670 \, 373 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

La puissance mesurée avec l'ampèremètre et le voltmètre est en W, ce n'est pas une puissance surfacique. Pour remonter à cette constante, il faudrait connaître la surface effective du capteur dans le pyromètre optique.

* Conclusion

Nous avons alors vu lors de ce montage un mécanisme d'absorption, et plusieurs mécanisme d'émission pour lesquelles les éléments chimiques considérés sont déterminés par leur spectre d'émission.

Ainsi l'analyse de la lumière peut nous apporter des précisions sur la manière dont elle a été émise (corps noir et des excitation), et quel espèce chimique en est à l'origine.