

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Absorbtion et émission de la lumière</b>	<b>2</b>
I	Absorption et émission spontanée . . . . .	3
I.1	Spectre d'émission d'un atome . . . . .	3
I.2	Mesure spectroscopique du spectre d'émission du mercure Hg .	4
I.3	Mise en évidence expérimentale de l'absorption . . . . .	4
II	Modèle d'Einstein . . . . .	5
II.1	Probabilités de transition . . . . .	5
II.2	Relations entre les coefficients d'Einstein . . . . .	5
II.3	Processus de transfert d'énergie . . . . .	6
III	Application au laser . . . . .	6
III.1	Principe . . . . .	6
III.2	Modèle à 4 niveaux d'énergie : le laser de TP He-Ne . . . . .	6

# Leçon 1

## Absorption et émission de la lumière

### Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Optique Physique	R. Taillet	de Boeck	
Physique Statistique	Landau et Lifshitz	Ellipses	
Poly laser	A. Maitre		
Sextant		Hermann	
Tout-en-un PC/PC*	M.-N. Sanz	Dunod (2019-2022)	
Physique en PC/PC*	Pascal Olive	Ellipses	
Laser	CAGNAC		
Optique	S. Houard	de boeck (2011)	

### Commentaires des années précédentes :

- **2017** : Cette leçon ne peut se résumer à une présentation des relations d'Einstein,
- **2015** : Cette leçon peut être traitée de façons très variées, mais il est bon que les candidats aient réfléchi aux propriétés des diverses formes de rayonnements émis, aux dispositifs exploitant ces propriétés et au cadre théorique permettant de les comprendre,
- **2014-2011** : Trop souvent, il y a confusion entre les processus élémentaires pour un atome et un ensemble d'atomes. De même le candidat doit préciser au cours de sa leçon le caractère monochromatique ou non du champ de rayonnement qu'il considère et plus généralement les caractéristiques du

rayonnement stimulé.

## Plan détaillé

**Niveau choisi pour la leçon :** Licence 3

**Prérequis :**

- diffraction par un réseau,
- modèle du corps noir, loi de Planck,
- physique statistique : loi de Boltzmann

**Déroulé détaillé de la leçon :**

Spectre émission discret (lumière spectrale) vs spectre d'émission continu (lumière corps noir).

L'approche classique : modèle de Drude-Lorentz qui prédisait relativement bien des fréquences d'absorption lumineuse dans les isolants. Mais il restait deux problèmes :

- structure discontinue des spectres atomiques,
- divergence de la répartition spectrale du rayonnement thermique dans le domaine ultraviolet ("catastrophe ultraviolette")

Il faut attendre que Planck et Einstein propose la quantification des niveaux d'énergie des atomes/ions/molécules.

On va dans un premier temps faire une étude phénoménologique de l'absorption et de l'émission spontanée.

# I Absorption et émission spontanée

Etudions d'abord ce qu'il se passe pour une collection d'atomes.

## I.1 Spectre d'émission d'un atome

Faire un dessin. Einstein : quantification des niveaux d'énergie des atomes (raies de l'hydrogène mais aussi d'autres espèces) en utilisant les relations de Planck-Einstein. Présenter spectre d'émission et d'absorption d'éléments chimiques.

Utilité : composition de l'atmosphère d'une planète par exemple <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/atmospheres-systeme-solaire.xml#analyse>

## I.2 Mesure spectroscopique du spectre d'émission du mercure Hg

**Expérience quantitative :** On se propose ici de mesurer quelques raies d'émission du spectre de la lampe à vapeur de mercure. Pour cela on a besoin de :

- un réseau (prendre celui où on peut changer le pas du réseau ENSP 3637), choisir le 3000 traits/mm mais on peut montrer ce que ça change en changeant le pas,
- lampe à vapeur de mercure + condenseur de 8cm,
- une lentille convergente de 15-20cm de focale,
- une fente réglable,
- un écran blanc avec une feuille blanche et du scotch.

On fait l'image de la fente sur l'écran à une distance assez éloignée. On intercale le réseau juste après la lentille. On mesure la distance  $L \pm u(L)$  entre le réseau et l'écran. On cherche le minimum de déviation en tournant le réseau. Au minimum de déviation,  $\tan D_{pm} = \frac{d_{ecran}}{L}$ . On mesure la distance à l'écran entre l'ordre 0 et l'ordre 1 (ou 2 si on peut). On en déduit  $\lambda_p$  :

$$\lambda_p = \frac{2a}{p} \sin \left( \frac{\arctan \frac{d_{ecran}}{L}}{2} \right) \quad (1.1)$$

Comparer aux longueurs d'onde attendues pour le spectre du mercure (voir slide et [https://fr.wikipedia.org/wiki/Raie\\_spectrale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Raie_spectrale)).

On a bien une quantification des niveaux d'énergie !

## I.3 Mise en évidence expérimentale de l'absorption

Faire le spectre d'absorption/transmission de la rhodamine. On prend une lampe quartz-iode, et on éclaire la rhodamine avec un condenseur. On regarde avec une fibre optique connectée à spectra-suite sur l'ordi. On fait le blanc et le noir. On regarde le spectre d'absorption. Youhou.

**Transition :** On va maintenant donner l'approche d'Einstein pour modéliser l'émission et l'absorption.

## II Modèle d'Einstein

En plus de l'absorption et l'émission qu'on a mis en évidence dans la partie précédente, Einstein a l'idée de rajouter un terme d'émission stimulée pour rendre compte des propriétés microscopiques du rayonnement thermique.

### II.1 Probabilités de transition

Voir Pascal Olive p786 ou Dunod p1118.

Soit un système à deux niveaux d'énergie  $E_1$  et  $E_2$  associée aux états propres  $|1\rangle$  et  $|2\rangle$ . On note  $N_1$  et  $N_2$  la population de ces niveaux telles que  $N_1 + N_2 = N = cste$ .

La lumière que reçoit ce système est caractérisée par une densité spectrale  $u(\nu) = \frac{du_{em}}{d\nu}$  (en J.s.m<sup>-3</sup>) avec la densité volumique d'énergie EM contenue dans l'intervalle  $[\nu - \frac{\Delta\nu}{2}, \nu + \frac{\Delta\nu}{2}]$   $du_{em} = d\left(\frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}\right) = u_\nu d\nu$ .

Comme N se conserve :  $\frac{dn_1}{dt} = -\frac{dn_2}{dt}$  et donc :

$$\frac{dn_2}{dt} = \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{em.st} + \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{em.sp} + \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{abs} \quad (1.2)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = -B_{21}N_2u(\nu_{12}) - A_{21}N_2 + B_{12}N_1u(\nu_{12}) \quad (1.3)$$

### II.2 Relations entre les coefficients d'Einstein

Voir P. Olive p786. Dire deux choses :

- on se place en régime stationnaire,
- le système {N atomes} est placé dans un milieu thermostaté à T quelconque baignant dans le rayonnement d'équilibre à cette température.

La proba d'occupation des deux niveaux à l'équilibre est donnée par la loi de Boltzmann  $n_i = \frac{N_i}{N} = e^{\frac{E_i}{k_B T}}$ . Le rapport  $\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{k_B T}} = e^{\frac{h\nu_{12}}{k_B T}}$ .

En prenant un rayonnement électromagnétique de type corps noir :  $u(\nu_{12}) = \frac{8\pi h \nu_{12}^3}{c^3}$

## II.3 Processus de transfert d'énergie

La puissance transférée de l'atome vers le champ  $P_{at \rightarrow ch} = -h\nu_0 \frac{dn_2}{dt} = h\nu_0 B(n_2 - n_1)u(\nu_0)$ . On distingue alors deux régimes :

- Si  $n_1 > n_2$ ,  $P_{at \rightarrow ch} < 0 \rightarrow$  Absorption
- Si  $n_1 < n_2$ ,  $P_{at \rightarrow ch} > 0 \rightarrow$  Inversion de population

Initialement  $n_1 = 1, n_2 = 0$  :

- $n_1(\infty) = \frac{A + Bu(\nu_0)}{A + 2Bu(\nu_0)}$
- $n_2(\infty) = \frac{Bu(\nu_0)}{A + 2Bu(\nu_0)}$

## III Application au laser

### III.1 Principe

Parler de

### III.2 Modèle à 4 niveaux d'énergie : le laser de TP He-Ne

## Conclusion

Modèle de l'électron élastiquement lié qui prédit l'absorption électromagnétique de la matière et le rayonnement dipolaire ?