

LP21: Absorption et émission de lumière

Alexandre Fafin

29/04/18

Références

- [1] B. Cagnac, L. Thang-Brillet, and J.-C. Pebay-Peyroula. *Physique atomique. Tome 1 : atomes et rayonnement*. Dunod, 2007.
- [2] B. Cagnac, L. Thang-Brillet, and J.-C. Pebay-Peyroula. *Physique atomique. Tome 2 : l'atome : un édifice quantique*. Dunod, 2007.
- [3] B. Diu. *Physique statistique*. Hermann, 2001.
- [4] D. Hennequin, V. Zehnlé, and D. Dangoisse. *Les lasers. Cours et exercices corrigés*. Dunod, 2013.
- [5] M.-N. Sanz. *Physique tout-en-un, PC, PC**. Dunod, 2014.

Niveau

L3

Prè-requis

- Optique ondulatoire
- Spectre du corps noir

Objectifs

- Coefficients d'Einstein
- Laser

Table des matières

1	Modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène	2
1.1	Constatation expérimentale	2
1.2	Modèle de Bohr	2
2	Interaction lumière-matière	2
2.1	Différentes approches	2
2.2	Processus de transition	2
2.3	Les coefficients d'Einstein[3, 5]	2
2.3.1	Emission induite	3
2.4	Relations entre les coefficients d'Einstein	3
3	Application : Le laser	3
3.1	Principe	3
3.2	Inversion de population	3
3.3	Rôle de la cavité résonante	3

Introduction

Nous pouvons distinguer deux types de sources de lumière : les sources thermiques et les sources spectrales. Nous avons déjà étudié le spectre du corps noir où nous avons démontré que la longueur d'onde maximale émise par un corps noir dépendait de la température de ce corps. Ce rayonnement forme un spectre continu, c'est-à-dire que son énergie est répartie de façon continue en fonction de la fréquence des ondes électromagnétiques.

Nous allons dans cette leçon montrer que les échanges d'énergies entre la matière et le rayonnement sont quantifiés.

1 Modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène

Cas particulièrement simple car un électron avec un noyau. Si cette partie est présentée (dans le but d'introduire la quantification des niveaux d'énergie d'un atome), la faire assez rapidement.

1.1 Constatation expérimentale

Manip Prendre une lampe à vapeur d'Hydrogène avec un condenseur, lentille et prisme. Projeter le spectre de raie

1.2 Modèle de Bohr

Présentation du modèle classique de Bohr. Importance historique. Modèle d'un électron ayant une trajectoire circulaire autour d'un noyau (modèle planétaire).

Hypothèse de la quantification du moment cinétique orbitale de l'électron.

Problème de cette théorie : l'électron sur son orbite ne rayonne pas d'énergie électromagnétique malgré son accélération

Manip Détermination de la constante de Rydberg avec un goniomètre et réseau. Etalonnage avec une lampe de mercure.

2 Interaction lumière-matière

2.1 Différentes approches

1. Approche classique : pas de quantification. Modèle de l'électron élastiquement lié. Ce modèle ne permet pas d'expliquer la structure discontinue des spectres de raies + catastrophe UV.
2. Hypothèse de Planck : les échanges entre la matière et un rayonnement électromagnétique ne peuvent se faire que par quantum d'énergie $h\nu$.
3. Approche d'Einstein. L'énergie électromagnétique est quantifiée et pas seulement ses échanges. Notion de photon

2.2 Processus de transition

Processus non radiatifs :

- Absorption
- Desexcitation

Processus radiatifs :

- Absorption
- Emission spontanée
- Emission stimulée

2.3 Les coefficients d'Einstein[3, 5]

On s'intéresse dans cette partie à un atome ou molécule et on étudie les transition entre deux de ses niveaux d'énergie E_1 et E_2 .

On peut présenter ici les hypothèses introduites par Einstein [4]. Mais peut-être un peu trop catalogue

Emission spontanée

$$dN_2 = -A_{12}N_2dt \quad (1)$$

Le coefficient A_{12} est indépendant du temps, c'est une caractéristique de l'atome considéré.

Après intégration on retrouve une loi exponentielle ayant une durée de vie τ :

$$N_2(t) = N_2(t=0) \exp(-t/\tau) \quad (2)$$

Absorption

On suppose que l'atome est soumis à un rayonnement électromagnétique dont la densité d'énergie par unité de volume (notion introduite avec l'étude du corps noir) dans la bande de pulsation $\omega, \omega + d\omega$ est $u(\omega)d\omega$. $u(\omega)$ est donc la densité spectrale en longueur d'onde d'énergie volumique.

$$dN_{1,abs} = -u(\omega_{21})B_{12}N_1dt \quad (3)$$

2.3.1 Emission induite

Concept introduit par Einstein. Processus symétrique de l'absorption.

$$dN_2 = -u(\omega_{12})B_{21}N_2dt \quad (4)$$

2.4 Relations entre les coefficients d'Einstein

Suivre Diu mais pour un système non dégénéré $g_1 = g_2 = 1$. On arrive à

$$B_{12} = B_{21} \quad (5)$$

$$\frac{A_{12}}{B_{21}} = \frac{\hbar\omega_{21}^3}{\pi^2c^3} \quad (6)$$

3 Application : Le laser

3.1 Principe

Laser : light amplification by stimulated emission of radiation.

Un laser est constitué de trois éléments :

— Milieu amplificateur

— Pompage (optique, électrique,...)

— Cavity résonante (Fabry-Pérot)

3.2 Inversion de population

Position du problème et hypothèses simplificatrices. Résolution : possibilité d'inversion de population, effet de seuil. Applications.

Système à 4 niveaux : avantages et applications

3.3 Rôle de la cavité résonante

Affine les raies (qui sinon sont larges, thermiquement par exemple), sélectionne un seul mode transverse (en coupant transversalement les autres), permet des aller-retours dans le milieu amplificateur et donc une grande amplification.

Conclusion

Ouvrir sur la fluorescence et de phosphorescence. La fluorescence est la désexcitation par transition entre deux états de même multiplicité, rapide. La phosphorescence est la descexcitation entre deux états de multiplicité différentes. Desexcitation lente. Montrer un schéma.