

Leçon 21 : Absorption et émission de la lumière

Niveau :

- Licence 3

Pré-requis :

- Rayonnement du corps noir
- notion de photon
- optique géométrique
- modèle scalaire des ondes lumineuses

Références :

- Dunod de PC 2014
- Cagnac Physique atomique
- Taillet Optique physique

Introduction

On peut distinguer deux types de sources : sources thermiques et sources spectrales. Le spectre du corps noir a déjà été étudié. On a vu qu'il s'agit d'un spectre continu où le λ_{\max} dépend de la température. Son énergie est répartie de manière continue en fonction de la fréquence des ondes EM. Dans cette leçon on montre que les échanges d'énergie entre matière et rayonnement sont quantifiés.

1. Spectre d'une lumière émise

1.1. Loi de Planck

On fait des rappels sur la loi de Planck (p173 Dunod PC) **On peut montrer le spectre obtenu en lumière blanche par déviation d'un prisme.** On a un spectre continu. Faire le rapport avec la courbe de la densité spectrale d'émission'.

1.2. Émission par une lampe à Mercure BP

Manipulation : On montre que cette fois le spectre obtenu est discontinu. On a juste des raies! Montrer plusieurs spectres d'atomes différents. Utilité : on

a un spectre d'émission bien précis suivant les atomes utilisées. Application à la composition de l'atmosphère : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/atmospheres-systeme-solaire.xml#analyse>.

2. Interaction lumière matière (Dunod chap 30 Oscillateur optique)

2.1. Hypothèse de Planck et approche d'Einstein Dunod p1116

On introduit historiquement les différentes approches. Introduction du modèle de l'électron élastiquement lié. Interaction classique de l'électron avec le champ électromagnétique de l'onde lumineuse. Problèmes majeurs : structure discontinue du spectre, rayonnement thermique. On introduit le modèle de Planck $E = h\nu$ le quantum d'énergie. Modèle d'Einstein et notion de Photon.

2.2. Retour sur le spectre de la lampe de Mercure

On donne l'expression de ΔE en fonction de la longueur d'onde. **idée de manipulation :** On calcule l'énergie de transition pour les raies observées pour la lampe d'hydrogène <http://e.m.c.2.free.fr/niveaux-energie-hydrogene-emission-absorption.htm> https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectre_de_l%27atome_d%27hydrog%C3%A8ne. Pour retrouver les transitions observées.

2.3. Probabilité d'absorption et d'émission.

On suit le Dunod, on présente les probabilités de transition pour l'absorption et l'émission spontanée. On définit les coefficients d'Einstein.

2.4. Largeur de la raie spectrale

Toujours le Dunod. On donne les causes de l'élargissement spectral. Inégalité d'Heisenberg. $E = \hbar\omega \leftrightarrow \Delta t \Delta E \approx \hbar$. Effet Doppler, élargissement par chocs (raison pour laquelle on utilise une basse pression). On peut faire une analogie avec les phénomènes ondulatoire accompagné d'un petit graphe en transparent pour illustrer les propos.

En effet les phénomènes ondulatoires concernent tout aussi bien un rayonnement que des corpuscules matériels selon L. de Broglie. Or, une onde représentant un rayonnement et utilisée dans sa version idéale d'onde plane, possède une extension infinie aussi bien spatiale que temporelle. Pour une telle onde, la transformée de Fourier qui donne le spectre en vecteurs d'onde ou pulsation consiste en une distribution de Dirac. Ceci

correspond à une absence de dispersion sur la valeur de la pulsation $\Delta\omega = 0$. Si on utilise une onde tronquée dont la durée temporelle est finie, le spectre en pulsation présente une dispersion de largeur finie. Ainsi, la durée temporelle de l'onde et la dispersion de sa pulsation varient en sens inverse et le traitement mathématique de la transformée de Fourier établit une relation du type : $\Delta t \Delta\omega \approx 1$.

Manipulation Au lieu de tracer au tableau un graphique on peut montrer avec un spectro fibrer la largeur spectrale d'une des raies de la lampe à l'aide du spectro fibré.

3. Émission induite

3.1. Émission stimulée et bilan de population

On reprend le Dunod sur les coefficients d'Einstein. Bilan de population et relation entre les coefficients.

3.2. Équilibre avec le rayonnement

Condition d'amplification

4. Le Laser

4.1. Fonctionnement

Comparaison avec une lampe spectrale : le Laser est monochromatique, directif, cohérent. Expliquer le principe en dégageant le rôle de la cavité. Nécessité d'une inversion de la population et du pompage. On peut l'illustrer via l'animation <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/lasers/latest/lasers.html?simulation=lasers&locale=fr>.

4.2. Amplification de l'onde lumineuse

On reprend le bilan de puissance dans le Dunod PC.

4.3. Pompage

Population à l'équilibre thermique, nécessité d'une inversion de population. Système à 3 niveaux. Mener le calcul dans le Cagnac p 116.

4.4. Cavité résonante : Fabry Péro

Fabry Péro, fréquences propres de la cavité, affinement des raies, aller-retours plus nombreux donc plus grande amplification.

Cette partie devra être réalisée succinctement en pratique car temps limité. On peut peut être mettre les calculs sur transparents pour aller plus vite.

Conclusion

Recap de la leçon, fonctionnement du Laser, ouvrir sur les applications du LASER. Ouverture manipulation de l'absorption d'une onde : 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.