Photonique et optique quantique

2022-08-31

Références

- D. Steck : quantum optics note
- G. Milbur : Quantum optics
- Aspect Fabres : Introduction to Quantum Optics

Contenu du cours

- Interaction lumière-matière
- Les degrées de liberté internes
  - LASER
  - LDOS local density of optical states
  - Source de photon unique (cryptographie quantique)
- Propriété des émetteurs à deux niveaux
  - matière classique
- effet d'optique non-linéaire.
  - SPDC (source de pair de photons)
- Effet mecaniques
  - Refroidissement doppler
  - Pince optique
  - optomécanique

Table des Matière

Chapitre 1 : Physique des LASER

Chapitre 2 : émetteurs à 2 niveaux

Chapitre 3 : Source de photon unique

Chapitre 4 : Cryptographique quantique et clef quantique

Chapitre 5 : Modèle de Jaynes-Cummings et mesure dispersive

Chapitre 6 : Mesure quantique et non démolition (QND)

Chapitre 7 : Optomécanique

1 Physique des LASER

1.1 Histoire

L'emission des atomes est introduit en 1926 en s'inspirant de la radioactivité.

$$\frac{dN_k}{dt} = -A_k N_k$$

$$N_k(t) = N_k(u)e^{-A_k t}$$

On s'imagine le sytéme a deux niveau (atome) comme pouvant soit se désexiter ou pas avec 50% de chance après une temps Δt. Ce modèle mène directement à la décroissance exponentielle.

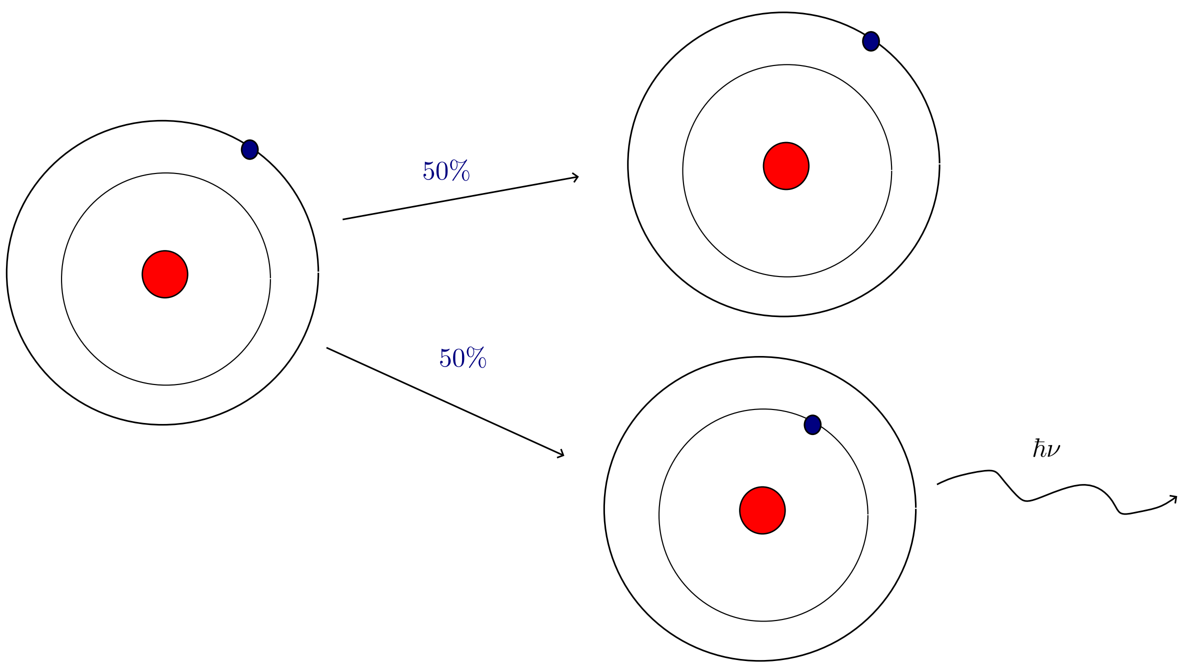

Figure 1 – probabilites

L'état 1 est l'état desecité et comprende n_1 atomes, similaire pour E_2

Processus d'absorption

$$\frac{\partial}{\partial n_2 t} = +I_j B_{12} n_1$$

B_{12} **Coefficient de Einstein**

$$I_v = \frac{1}{4\pi} \iint i_{V(k')} \mathrm{d}k' \qquad \underbrace{\psi(\nu)}_{\text{chevauchement frequence phot et at}} \qquad \mathrm{d}\nu$$

Taux d'absorption doit dépendre des photons incidents (densité, mode, fréquence)

$$\frac{\mathrm{d}n_2}{\mathrm{d}t} = -A_{21}n_2 + I_\nu B_{12} n_1$$
$$\frac{\mathrm{d}n_2}{\mathrm{d}t} = A_{21}n_2 - U\nu B_{12} n_1$$

A, B **sont des constantes**

Que ce passe-t-il à l'équilibre thermodynamique local.

État stationnaire

$$\frac{dn_2}{dt} = -\frac{dn_2}{dt} = 0$$

Éqilibre thermodynamique :

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}$$

Rayonnement du corps noir

$$I_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\mu/kT} - 1}$$

$$A_{21}n_2 + I_\nu B_{12} n_1 = 0 \iff \frac{n_2}{n_1} \frac{A_{21}}{B_{12}} = I_\nu$$

$$\implies \frac{g_1}{g_2} e^{\Delta E/kT} \frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{2\hbar\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\hbar\nu/kT} - 1}$$

Ce résultat n'a aucun sens. Le problème est qu'il manque l'émission stimulée.

Nouvelle équation

$$-A_{21}n_2 + I_\nu B_{12} n_1 - I_\nu B_{21} n_2$$

Équilibre thermodynamique local

$$A_{21}n_2 = I_\nu B_{12} n_1 - I + \nu B_{21} N_2 \iff I_\nu = \frac{A_{21}n_2}{B_1 2n_1 - B_{21}n_2} = \frac{A_{21}}{B_{12}} \frac{1}{\frac{n_1}{n_2} - \frac{B_{12}}{B_{21}}}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\Delta E/kT}$$

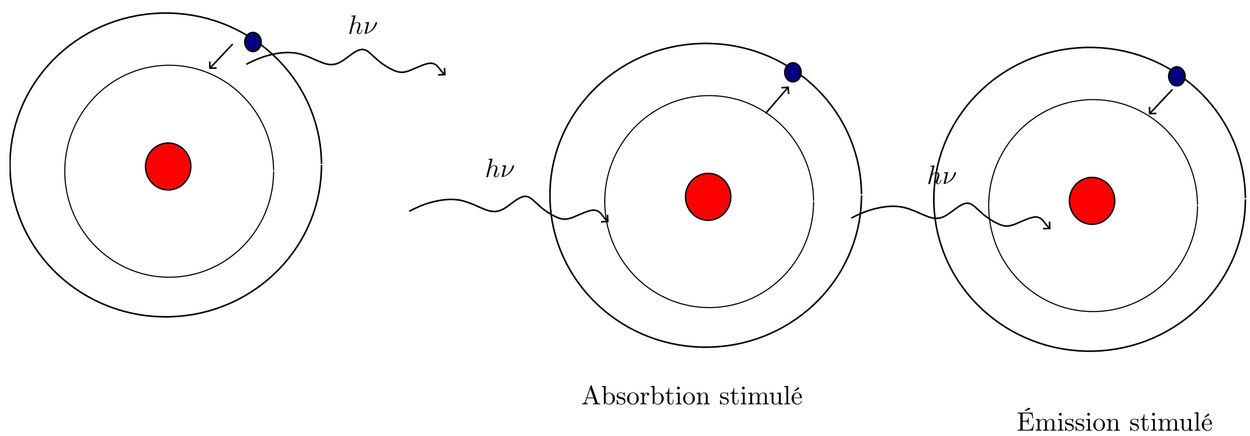

FIGURE 2 – emission stimulée

$$\frac{A_{21}}{B_{12}}\frac{1}{\frac{g_1}{g_2}e^{-\Delta/kt}-\frac{B_{21}}{b_12}}=\frac{2(\Delta E)^3}{h^2c^2}\frac{1}{e^{\Delta E/kt}-1}$$

Puisque c'est vrai pour toute température, on doit avoir que

$$g_2B_{21}=g_1B_{12}$$

On peut écrire

$$\frac{\partial}{\partial n_2 t}=-A_{21}n_2+I_\nu B_{21}\Delta n$$

Si $\Delta n>0$ on a pas que des perte et on peut avoir un laser. On appelle ça une inversion des population.

1.5 Équation de taux et inversion de population

On prende

$$g_1=g_2 \implies B_{21}=B_{12}=B$$

$$pdvn_2t=A_{21}n_2-I_\mu B\Delta n$$

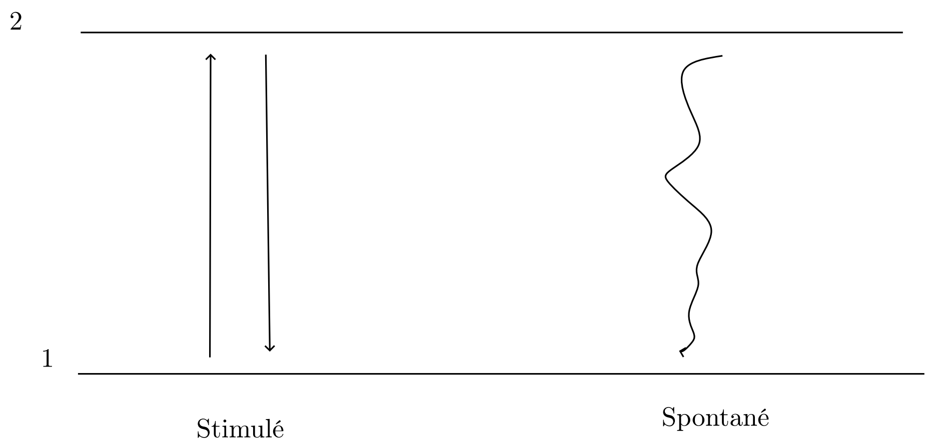

Figure 3 – bop

<u>**Inversion de population :**</u> $n_2 > n_1 \quad (\Delta n > 0)$

On s'intéresse au nombre de photons stimulés