

# 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 degrés 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 mécaniques
  - 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 : Cryptographie 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'émission 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 système à deux niveaux (atome) comme pouvant soit se désexciter ou pas avec 50% de chance après un temps  $\Delta t$ . Ce modèle mène directement à la décroissance exponentielle.

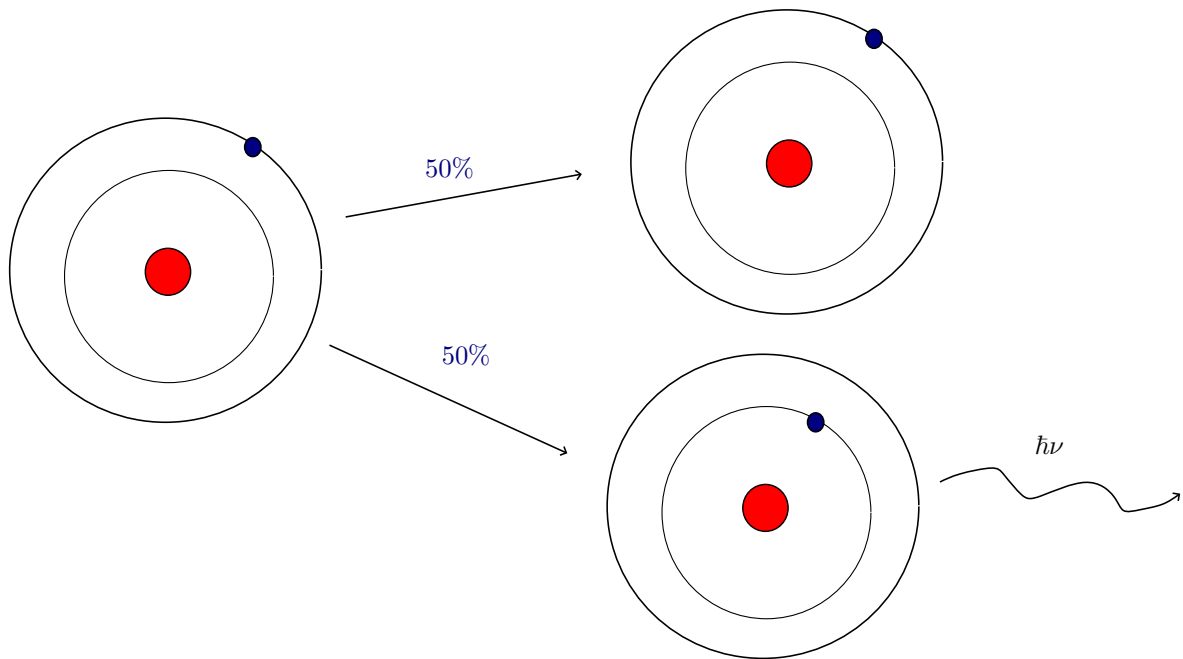


FIGURE 1 – probabilités

L'état 1 est l'état désexcité et comprend  $n_1$  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

$$I_\nu = \frac{1}{4\pi} \iint i_{V(k')} dk' \underbrace{\psi(\nu)}_{\text{chevauchement fréquence phot et at}} d\nu$$

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

$$\begin{aligned} \frac{dn_2}{dt} &= -A_{21}n_2 + I_\nu B_{12}n_1 \\ \frac{dn_2}{dt} &= A_{21}n_2 - U\nu B_{12}n_1 \end{aligned}$$

$A, B$  sont des constantes

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

État stationnaire

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

Équilibre thermodynamique :

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

Rayonnement du corps noir

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

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

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

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

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

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

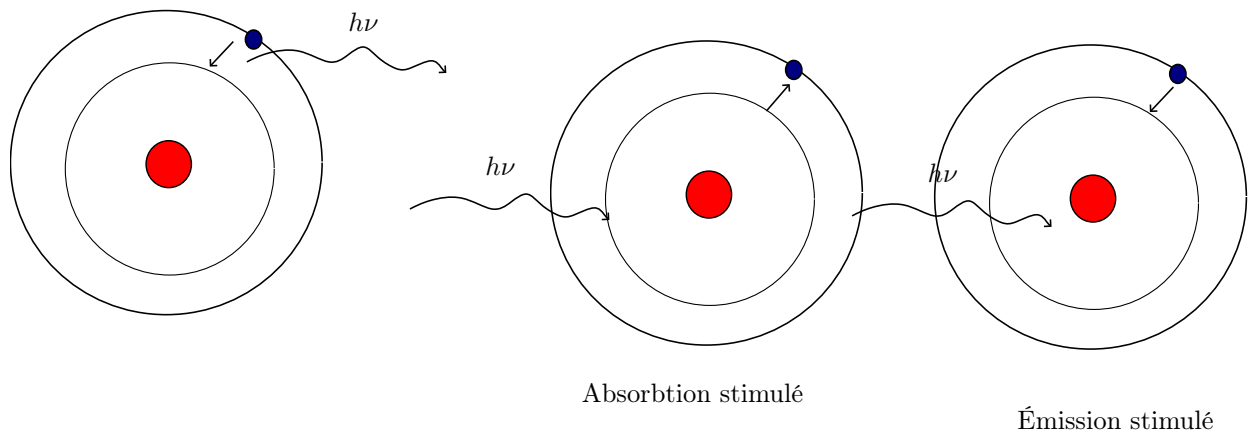


FIGURE 2 – emission stimulée

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

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

$$g_2 B_{21} = g_1 B_{12}$$

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   a une inversion des population.

## 1.5   quation de taux et inversion de population

On prende

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

$$p d n_2 t = A_{21} n_2 - I_\mu B \Delta n$$

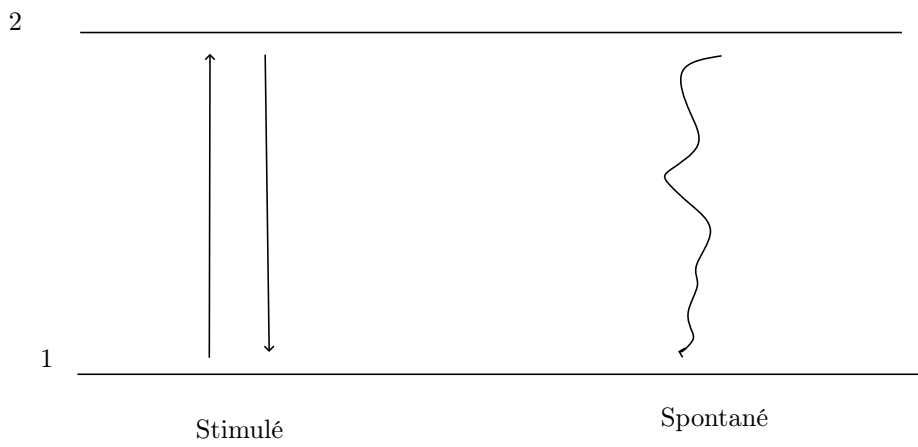


FIGURE 3 – bop

Inversion de population :  $n_2 > n_1$  ( $\Delta n > 0$ )

On s'intéresse au nombre de photons stimulés