

## LP21: Absorption et émission de la lumière

Niveau: Licence

Prérequis: EM, corps noir, quantification des niveaux  
(Loi de Planck)

domique, distrib de Maxwell-Boltzmann.

Aujourd'hui on va étudier l'interaction lumière  
matière. On va voir que la matière peut  
absorber et émettre de la lumière.

# I - Phénomène d'absorption et d'émission

Le point de départ ~~interaction~~ pour comprendre cette interaction est de comprendre qu'une lumière est riche spectralement.

- Newton XVII<sup>e</sup> lumière blanche  $\rightarrow$  prisme  
 $\hookrightarrow$  exp.

Une lumière est composée d'un continuum de  $\lambda, f$ .

- Maintenant si on chauffe un gaz on a chaud  
 $\hookrightarrow$  spectre discret émission exp.

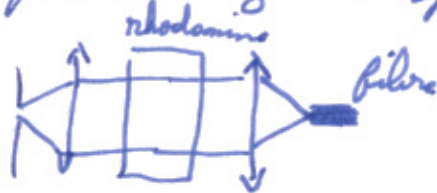
- Que se passe-t-il si on fait passer de la lumière dans un gaz froid.

$\hookrightarrow$  même raie mais absorber.  $\rightarrow$  spectre complémentaire en slides.

Pour molécule plus compliquées

exp: rhodamine  $\rightarrow$  vert desent du spectre.

exp: fibre large + spectre



Spectroscopie

noir  $\rightarrow$  sans source  
blanc  $\rightarrow$  avec ethanol

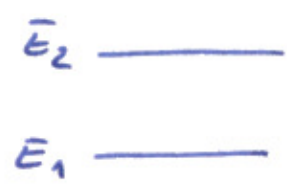
$T$ : transmittance

$A$ : absorbance.

On va essayer de comprendre ces processus à l'aide d'un modèle micro d'un atome à 2 niveaux

## II - Modèle d'Einstein

### 2.1. Hypothèses.



- N atomes à 2 niveaux. ,  $N \gg 1$ .

$$E_2 - E_1 = h \nu_0.$$

- Lumière (champ EM) incident caractérisé par densité spectrale d'énergie  $u(\nu)$

- Les niveaux ont une largeur spectrale

$$g(\nu) \quad \text{tq} \quad \int_0^\infty g(\nu) d\nu = 1.$$

#### Hypothèses large bande

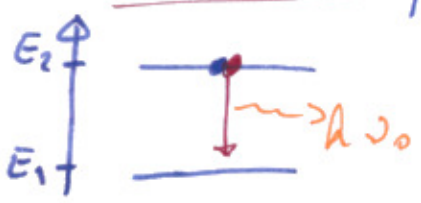
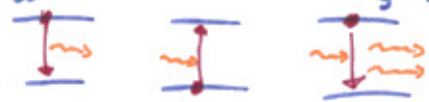
- $u(\nu)$  plus large que  $g(\nu)$ .
- lumière incidente incohérente (sinon oscillation de Rabi)

$$\int_{\nu_0} g(\nu) u(\nu) d\nu = u(\nu_0).$$

### 2.2. Coefficients d'Einstein

Présenté comme ça.

- Emission spontanée.



"atome excité se désexcite"

nb dans  $N_2$

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right) = -A_{21} \times N_2$$

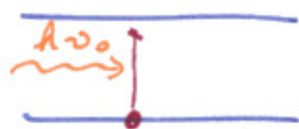
diminution

plus il y a d'atomes à l'état 2  $\Rightarrow$  plus il y a de sp



Photon emis dans dir, polar et phase spectre (4)

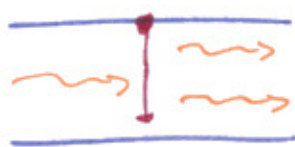
## • absorption



$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{ab} = + B_{12} N_1 u(\nu_0)$$

↑  
depend de densité  
de l'énergie incidente

## • émission stimulée



$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{st} = - B_{21} N_2 u(\nu_0)$$

↳  $B_{21}$ : non intuitif, a été introduit  
pour rendre corps noir.

→ photon emise: m dir, phase, polar que photon incident

$$\Rightarrow \frac{dN_2}{dt} = -A_{21} N_2 + B_{12} N_1 u(\nu_0) - B_{21} N_2 u(\nu_0)$$

## 2.3. Cas du corps noir

"Voyons si ce modèle permet de retrouver la loi de Planck du corps noir, qui est un corps à l'équilibre thermique avec un rayonnement"

Boltzmann:  $N_i \propto e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$

(5)

$$\text{D'où } \frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{k_B T}}$$

$$\downarrow \quad \quad \quad = e^{\frac{h\nu_0}{k_B T}}$$

De plus RP  
en équilibre  $\frac{dN_2}{dt} = 0$ .

$$A_{21} N_2 = (\beta_{12} N_1 - \beta_{21} N_2) u(\nu_0).$$

$$u(\nu_0) = \frac{A_{21} N_2}{\beta_{12} N_1 - \beta_{21} N_2}$$

$$u(\nu_0) = \frac{A_{21}}{\beta_{21}} \frac{1}{\frac{\beta_{12}}{\beta_{21}} \frac{N_1}{N_2} - 1}$$

$\hookrightarrow$   
 $e^{\frac{h\nu_0}{k_B T}}$

On reconnaît la loi de Planck "grâce au -1 de l'émission stimulée"

$$u(\nu) = \frac{8\pi \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu_0}{k_B T}} - 1}$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta_{12} = \beta_{21}}$$

la proba de montée  
= proba de descente

$$\boxed{\frac{A_{21}}{\beta_{21}} = \frac{8\pi \nu^3}{c^3}}$$

L'existence de l'émission stimulée est nécessaire à retrouver Corps noir. (6)

On va utiliser ce formalisme pour expliquer le fonctionnement du laser.

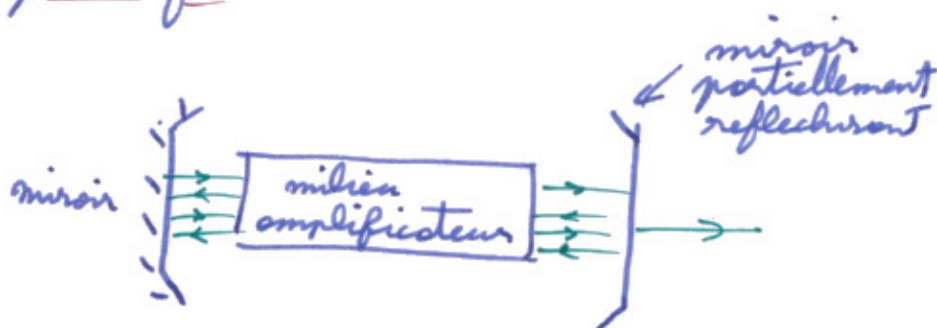
### III - Le laser

→ produit une lumière intense, directionnel et cohérente → émission stimulée va avoir un rôle clef.

→ 1 photon → 2 phot → 4 phot cascade.

On veut donc favoriser l'émission stimulée

#### 3.1. Dispositif



#### 3.2. Inversion de population

On veut favoriser l'émission stimulée, pour que nombre de photon croisse (amplification).

On néglige émission spontanée (car pas cohérente).

$n$  nbre de photon :

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{dN_2}{dt} = (N_2 - N_1) \rho(\nu)$$



Il faut donc que  $N_2 > N_1$ .

$$\text{On } \frac{N_1}{N_2} = e^{+\frac{h\nu_0}{k_B T}} \gg 1$$

à l'équilibre

l'absorption domine à l'équi.

Il faut donc se placer hors équilibre pour avoir inversion de population et avoir  $N_2 > N_1$ .  
↳ avec pompage optique.

### 3.3. Pompage optique ↑ 348 Leonard.

Le principe est d'obtenir des atomes excités par des processus non radiatif → via. décharge électrique sous 1000V →  $e^-$  accéléré → collision.  
↳ fait avec ≥ 2 mwauss (!)

HeNe: He excité

↳ excite Neon via collision.

↳ désexcitation sous IR et rouge.

↳ puis désexcitation rapide

↳ puis par collision paroi

### 3.4. Rôle de la cavité

• aller retour  $g \rightarrow$

• sélectionne la  $\nu$  par Fabry Perrot

$$\underline{Rq}: \mathcal{F} = \frac{\pi R^2}{1-R} \propto N \text{ ondes}$$

$R \rightarrow 1$  finesse  $\rightarrow$