Introduct° à la physique du LASER

2.1. » Energie d'un atome = somme des nrj de ses e^-

» Configurat° élec^{is} vue en chimie → état fondamental de l'atome.

↓

nb quantique n, l, m_l, m_s

atome H : énergie fixée par n ⇒ ∃ états quantiques de m̂ n (mais de l, m_l, m_s ≠ ^{ts})

<u>CIC°</u> : en g^{al}, un niveau d'nrj est donc dégénéré

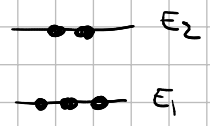
» Un atome → quels sont niveaux d'nrj ?

Un niveau d'nrj → combien d'atomes ?

↓

not° de populat° : N en nb atomes . m^{-3}.

<u>Dessin</u> :

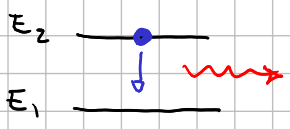


» 4^{is} statistique (admis) (Boltzmann) : $N_1 \propto e^{-\frac{E_1}{k_B T}}$

» durée de vie d'un état excité : seul l'état fondamental est stable

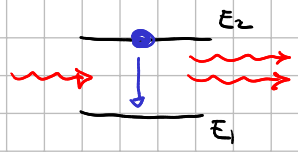
2.3.

→ <u>Emission spontanée</u> =



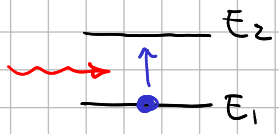
$\left(\begin{array}{l} a \leftrightarrow 2 \\ b \leftrightarrow 1 \end{array} \right)$

$$\left| \begin{array}{ll} dN_2 = -N_2 \, P_{sp} \, dt & < 0 \\ dN_1 = -dN_2 & > 0 \end{array} \right.$$

Emission stimulée = 

$\begin{pmatrix} a \leftrightarrow 2 \\ b \leftrightarrow 1 \end{pmatrix}$

$$\begin{cases} dN_2 = -N_2\, p_{st}\, dt & <0 \\ dN_1 = -dN_2 & >0 \end{cases}$$

Absorpt° = 

$\begin{pmatrix} a \leftrightarrow 1 \\ b \leftrightarrow 2 \end{pmatrix}$

$$\begin{cases} dN_1 = -N_1\, p_{ab}\, dt & <0 \\ dN_2 = -dN_1 & >0 \end{cases}$$

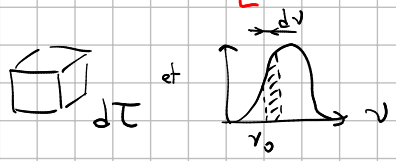
→ Unité = proba en s^{-1}.

→ Coeff. d'Einstein : " $p(A \cap B) = p(A/B) \times p(B)$ "

proba [un photon fqce ν_0 arrive sur l'atome ET interagit avec]

= proba [photon fqce ν_0 arrive sur atome] × proba [il y a interact° sachant qu'un photon ... arrive]

$u(\nu_0)$ — coeff. Einstein

Rq : 

$u(\nu_0)\, d\tau\, d\nu \equiv$ nb photons (J ou les plutôt) dans $d\tau$ et dans $[\nu_0, \nu_0 + d\nu[$.

→ Unités : A_{21} s^{-1}

B_{21} et B_{12} en $s^{-1}\, m^3\, J^{-1}\, Hz \equiv J^{-1} m^3 s^{-2}$

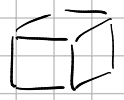
→ Si uniqt émiss° spontanée : $dN_2 = -N_2 A_{21}\, dt$

↳ Moung 1er ordre $\frac{dN_2}{dt}$ dt.

d'où $\boxed{\frac{dN_2}{dt} + A_{21} N_2 = 0}$

donc $\boxed{N_2(t) = N_{2_0}\, e^{-t/\tau_2}}$ avec $\tau_2 = \frac{1}{A_{21}}$

2.4.

→ Raisonnons en "nb de photons" : on se donne un volume $d\tau$ et une durée dt ( $d\tau$)

"la variat° du nb photons dans $d\tau$ pendant dt = nb photons émis (2 processus) − nb photons absorbés"

<u>Méthode</u> : $dN_{ph\,\text{dans } d\tau} = \delta N_{ph\,\text{émis sp dans } d\tau} + \delta N_{ph\,\text{émis st dans } d\tau} - \delta N_{ph\,\text{abs dans } d\tau}$

$\delta N_{ph\,\text{émis sp dans } d\tau} = (N_2\, d\tau) \times A_{21} \times dt$

$\delta N_{ph\,\text{émis st dans } d\tau} = (N_2\, d\tau) \times B_{21}\, u(\nu_0) \times dt$

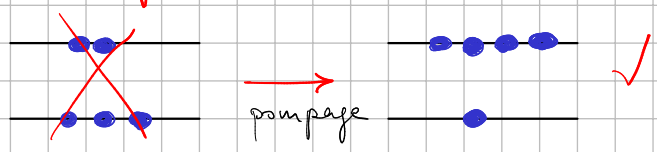
$\delta N_{ph\,\text{abs dans } d\tau} = (N_1\, d\tau) \times B_{12}\, u(\nu_0) \times dt$

($A_{21} \to$ "A" ; $B_{21} = B_{12} \to$ "B")

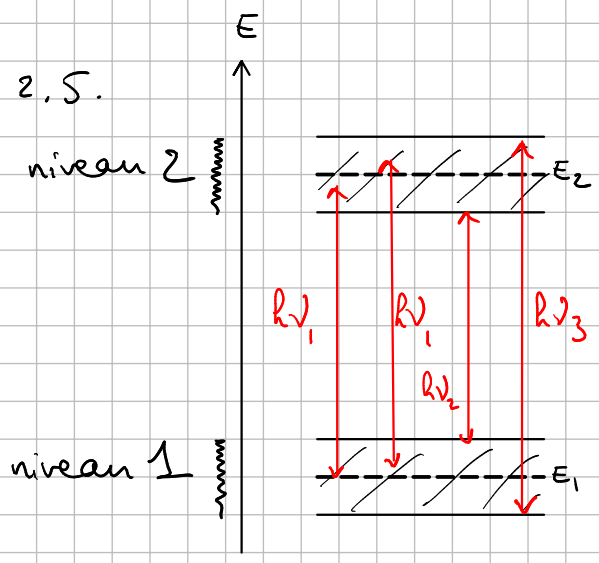
Par unité tps et de volume : $\boxed{\dfrac{dN_{ph}}{dt} = B\,u(\nu_0)\left[N_2 - N_1\right] + A N_2}$

Si $B\,u(\nu_0) \gg A$, alors $\boxed{\dfrac{dN_{ph}}{dt} = B\,u(\nu_0)\left[N_2 - N_1\right]}$

↳ > 0 pour ampli ⟺ $\boxed{N_2 > N_1}$



2.5.



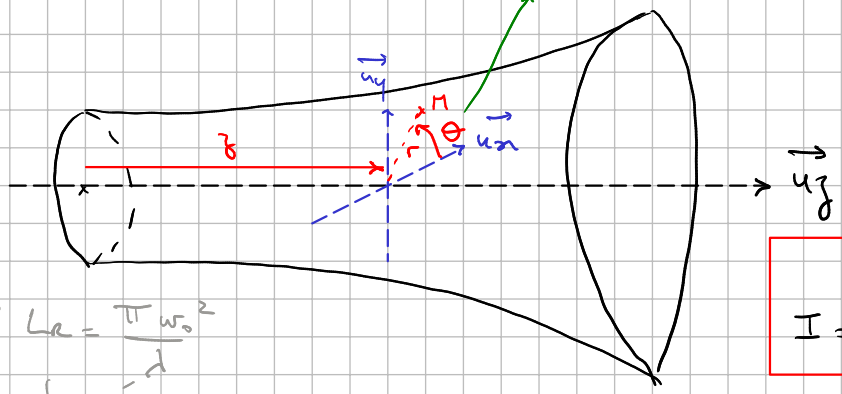
plusieurs valeurs possibles de ΔE pour la transit° donc de ν

<u>NB</u> : les + proches de "$E_2 - E_1 = h\nu_0$"

"$u(\nu_0) \longrightarrow \varphi(\nu)\,u(\nu)$"

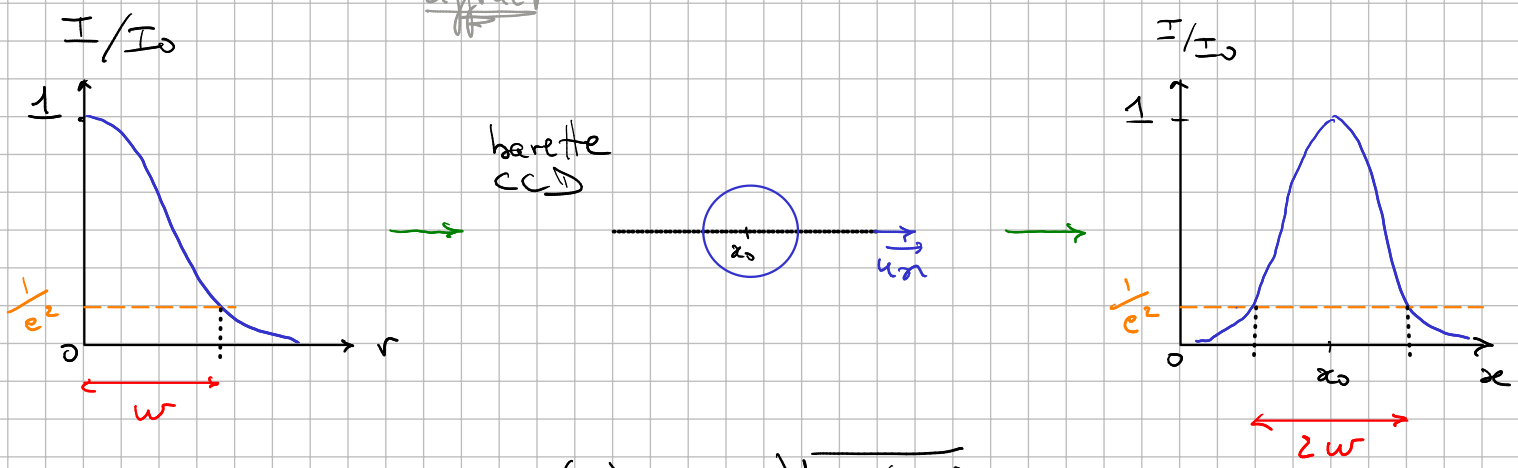
3.1.

λ
w_0
θ
L_R



$$\boxed{I = I_0\, e^{-\frac{2r^2}{w^2(z)}}}$$

Rq : relat° $L_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ sera retrouvée avec diffract°

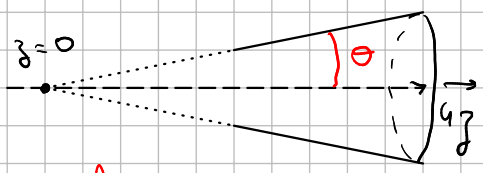


$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{L_R}\right)^2}$$

→ $z \ll L_R \Rightarrow \boxed{w(z) \sim w_0}$

faisceau cylindrique

→ $z \gg L_R \Rightarrow \boxed{w(z) \sim w_0 \frac{z}{L_R}}$



pente = $\tan\theta$ $\quad \theta \ll 1 \Rightarrow \boxed{\theta \sim \frac{w_0}{L_R}}$

faisceau conique

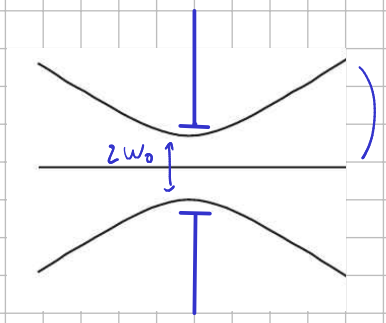
→ Interect° en $z =$ "z_0" $\Leftrightarrow w_{\text{asymptote cyl}}(z_0) = w_{\text{asympt. conique}}(z_0)$

$\Leftrightarrow w_0 = w_0 \frac{z_0}{L_R} \Leftrightarrow \boxed{z_0 = L_R}$

$$w(z = L_R) = w_0 \sqrt{1 + 1^2} = \sqrt{2}\, w_0$$

→ <u>AN</u> : en prenant les valeurs constructeur, $2\theta \sim 1{,}4$ mrad
$w_0 = 0{,}3$ mm. D'où $L_R = \frac{3\,10^{-4}}{0{,}7\,10^{-3}} \sim 40$ cm.

3.2.



$\theta \sim \frac{\lambda}{2w_0}$ formule diffract°

AN is He-Ne : $\theta \sim \frac{633\,10^{-9}}{2\times 3\,10^{-4}} \sim 1$ mrad

Rayon du spot sur Lune :

$R \sim L\theta$

$\sim 4\,10^8 \times 10^{-3}$

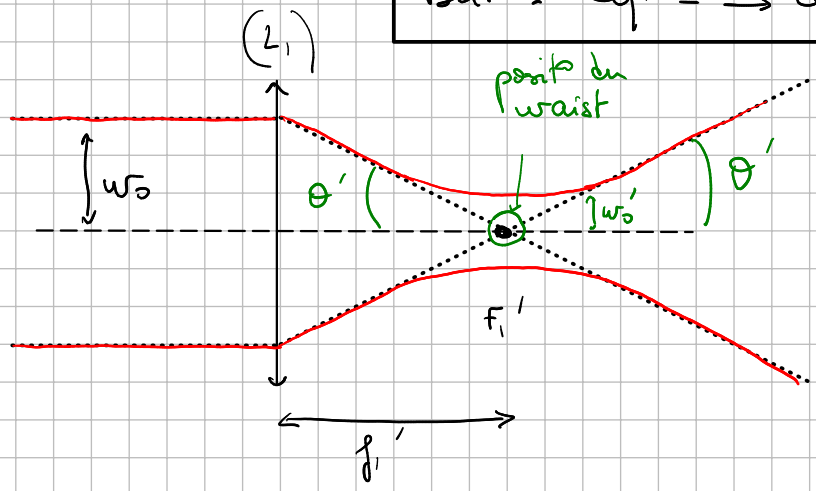
$R \sim 400$ km.

NB : $\theta \sim \frac{\lambda}{2w_0}$ obtenue avec diffract°

"remplace" exp° $L_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ (associée à $\theta \sim \frac{w_0}{L_R}$)

3.3.

$\boxed{\text{But : cylis} \to \text{conique}}$ et $f_1' \ll L_R$



Relat° faisceau gaussien :

$\theta' = \frac{w_0'}{L_R'}$ as. conique

$\theta' = \frac{\lambda}{\pi w_0'}$ diffract°

$\left(L_R' = \frac{\pi w_0'^2}{\lambda} \right)$

→ Posit° waist en F_1'

→ (tan) $\theta' = \frac{w_0}{f_1'}$. Or $w_0' = \frac{\lambda}{\pi\theta'}$ donc $\boxed{w_0' = \frac{\lambda f_1'}{\pi w_0}}$

Or $w_0 = \frac{\lambda}{\pi\theta}$ donc $\boxed{\theta' = \frac{\lambda}{f_1'\,\pi\theta}}$

CICO = plus f_1' petite, plus w_0' ptit et θ' gd

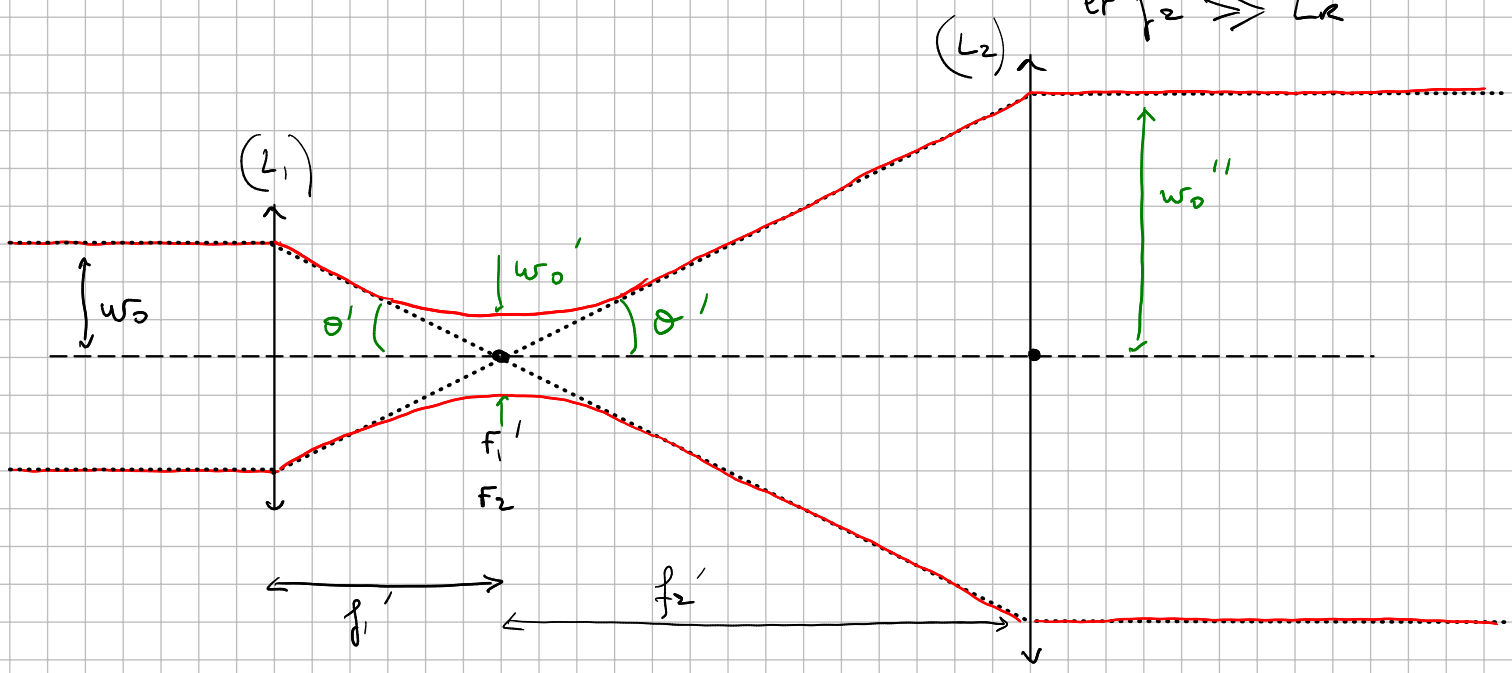
→ D'ap. dessin, il suffit de comparer L_R' à f_1' (but : $L_R' \ll f_1'$). Or $L_R' = \frac{w_0'}{\theta'} \Rightarrow L_R' = f_1'^2 \frac{\theta}{w_0}$ (θ → $\frac{1}{L_R}$)

d'où $\boxed{\frac{L_R'}{f_1'} = \frac{1}{L_R/f_1'}}$ $\Big\} \gg 1$ $\Rightarrow L_R' \ll f_1'$ CQFD.

→ <u>But</u> : générer un faisceau émergent avec w_0' le ⊕ptit possible. Au mieux, $f_1' \sim w_0$, donc $w_0' \sim \frac{\lambda}{\pi}$: ⊕ptit !

Alors $\tan\theta' \sim 1 \Rightarrow \theta' \sim 45°$! et $L_R' \sim w_0' \sim \frac{\lambda}{\pi}$

$\boxed{\text{But : conique} \rightarrow \text{cylis}}$ par doublet afocal et $f_2' \gg L_R'$



→ <u>Ppe retour inverse</u> : relat° $\left| \begin{array}{l} w_0 \\ \theta \\ L_R \end{array} \right. \longleftrightarrow \left| \begin{array}{l} w_0' \\ \theta' \\ L_R' \end{array} \right.$ se transpose

cylis — conique

à $\left| \begin{array}{l} w_0'' \\ \theta'' \\ L_R'' \end{array} \right. \longleftrightarrow \left| \begin{array}{l} w_0' \\ \theta' \\ L_R' \end{array} \right.$

cylis — conique

d'où $\left| \begin{array}{l} w_0'' = \dfrac{\lambda f_2'}{\pi w_0'} \\ \theta'' = \dfrac{\lambda}{\pi f_2' \theta'} \\ \dfrac{L_R''}{f_2'} = \dfrac{1}{\dfrac{L_R'}{f_2'}} \end{array} \right.$ donc $\left| \begin{array}{l} w_0'' = \dfrac{f_2'}{f_1'} w_0 \\ \theta'' = \dfrac{\theta}{f_2'/f_1'} \\ L_R'' = \left(\dfrac{f_2'}{f_1'}\right)^2 L_R \end{array} \right.$

<u>CIC°</u> : $\frac{f_2'}{f_1'} \gg 1$ permet de réduire la divergence angul. tout en élargissant le spot.