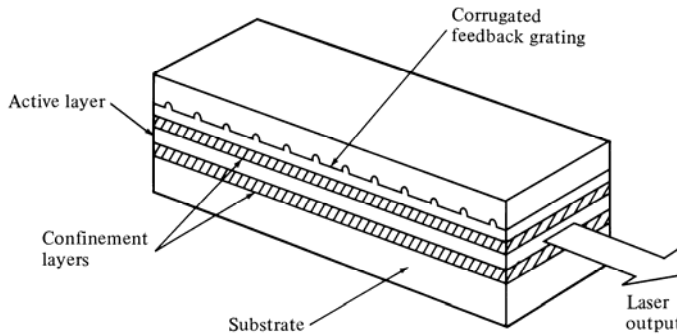
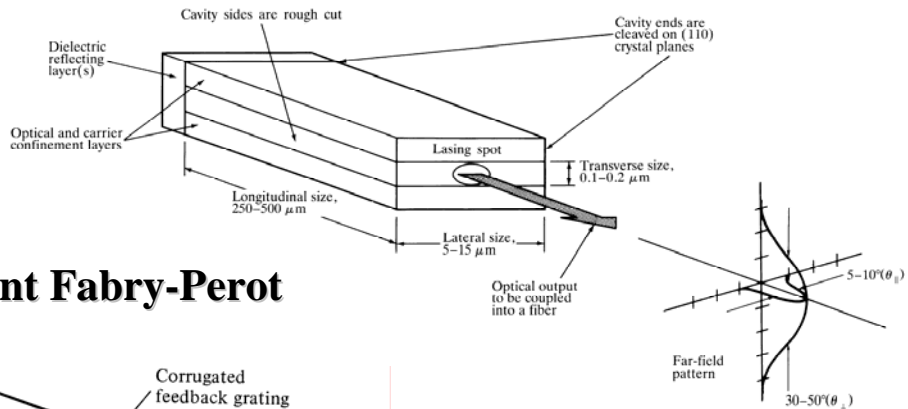


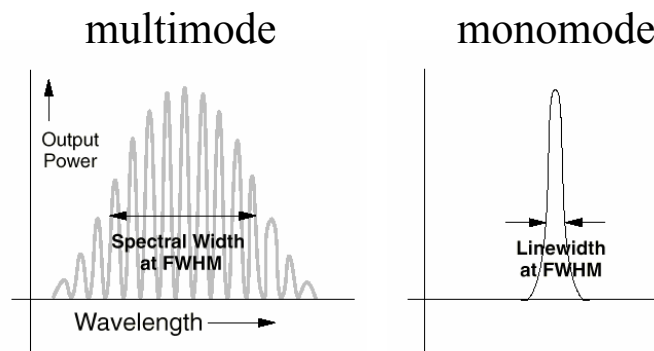
# LASER (Light Amplification by Estimated Emission of Radiation)

## cavitat ressonant Fabry-Perot



## laser DFB

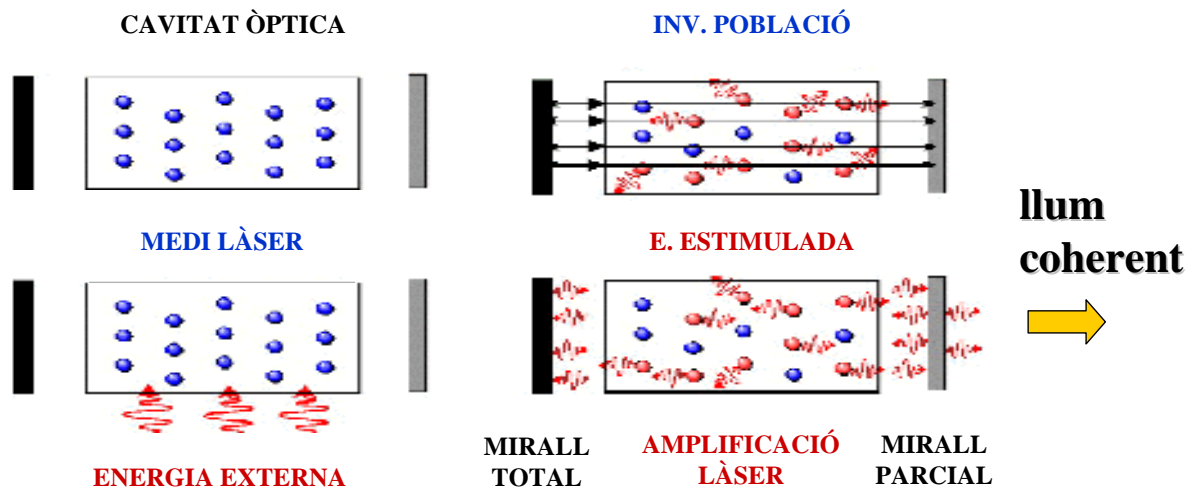
## Prestacions d'un LÀSER



- BW fins a 10 GHz →  $R_B$  fins a 10 Gb/s
- $\Delta\lambda$  molt estret → 10 MHz (0.08 pm)
- $P_{OUT}$  elevada → 3 dBm

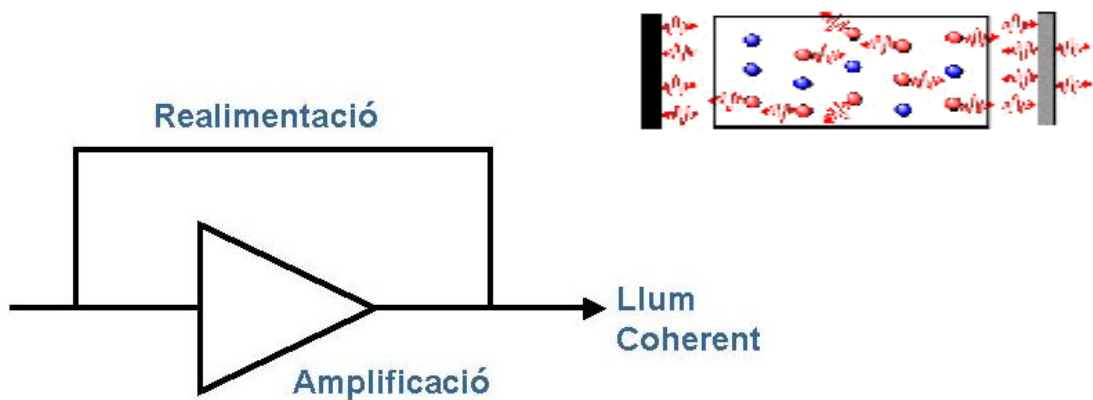
## PRINCIPI DE FUNCIONAMENT

“La font LÀSER és una cavitat òptica ressonant que es basa en el procés d’**emissió estimulada** per tal de generar llum coherent”



## MODEL EQUIVALENT

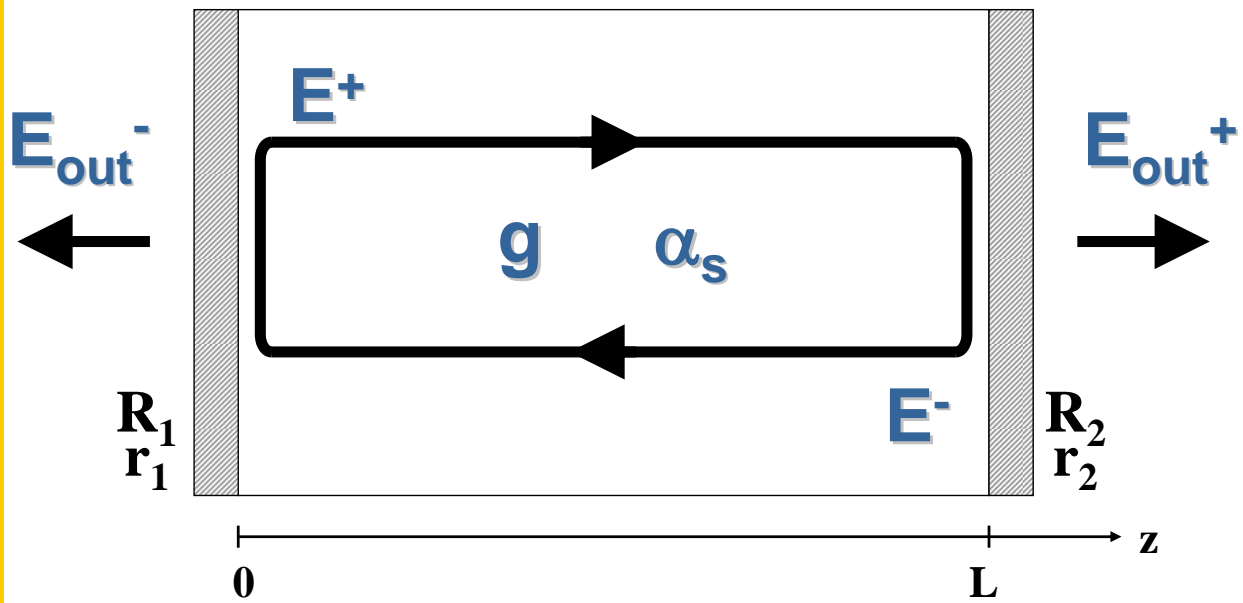
“La font LÀSER es pot modelar com un sistema amplificador realimentat”



$$\text{Guany} > \text{Pèrdues}$$

### Condió d'Oscil·lació

#### CAVITAT FABRY-PEROT



$R_i$ : Coef. Reflx. Potència  
 $r_i$ : Coef. Reflx. Camp

$g$ : Coef. Guany Potència [ $m^{-1}$ ]  
 $\alpha_s$ : Coef. Pèrdua Scattering [ $m^{-1}$ ]

### Equacions de Propagació

$$E^+(z) = E_0^+ e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)z} e^{-j\beta z} e^{-j\omega t}$$

$$E^-(z) = E_L^- e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)(L-z)} e^{-j\beta(L-z)} e^{-j\omega t}$$

### Condicions de Contorn

$$E^+(0) = r_1 E^-(0)$$

$$E^-(L) = r_2 E^+(L)$$

$$E^+(0) = E_0^+ e^{-j\omega t} = r_1 E^-(0) = r_1 \left( E_L^- e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)L} e^{-j\beta L} e^{-j\omega t} \right) \rightarrow E_0^+ = r_1 E_L^- e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)L} e^{-j\beta L}$$

$$E^-(0) = E_L^- e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)L} e^{-j\beta L} e^{-j\omega t}$$

$$E^-(L) = E_L^- e^{-j\omega t} = r_2 E^+(L) = r_2 \left( E_0^+ e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)L} e^{-j\beta L} e^{-j\omega t} \right) \rightarrow E_L^- = r_2 E_0^+ e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)L} e^{-j\beta L}$$

$$E^+(L) = E_0^+ e^{\frac{1}{2}(g-\alpha_s)L} e^{-j\beta L} e^{-j\omega t}$$

$$E_0^+ = r_1 r_2 E_0^+ e^{(g-\alpha_s)L} e^{-j2\beta L} \rightarrow r_1 r_2 e^{(g-\alpha_s)L} e^{-j2\beta L} = 1$$

### Condió d'Oscil·lació de mòdul

$$1 = r_1 r_2 e^{(g_{th} - \alpha_s)L}$$

$$\frac{1}{r_1 r_2} = e^{(g_{th} - \alpha_s)L} \rightarrow \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right) = (g_{th} - \alpha_s)L$$

$$g_{th} = \alpha_s + \frac{1}{L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right) = \alpha_s + \underbrace{\frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)}_{\alpha_c} \equiv \alpha_t$$

$$R_i = |r_i|^2$$

Guany lliandar

$$g \geq g_{th} = \alpha_s + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

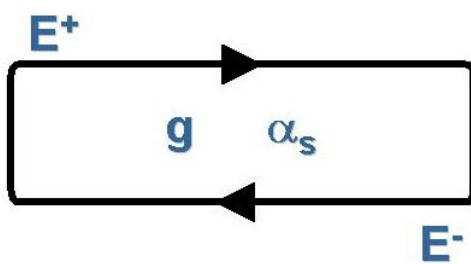
$g_{th}$ : guany lliandar

$\alpha_c$ : pèrdues degudes a la cavitat

$\alpha_t$ : pèrdues totals

[m<sup>-1</sup>]

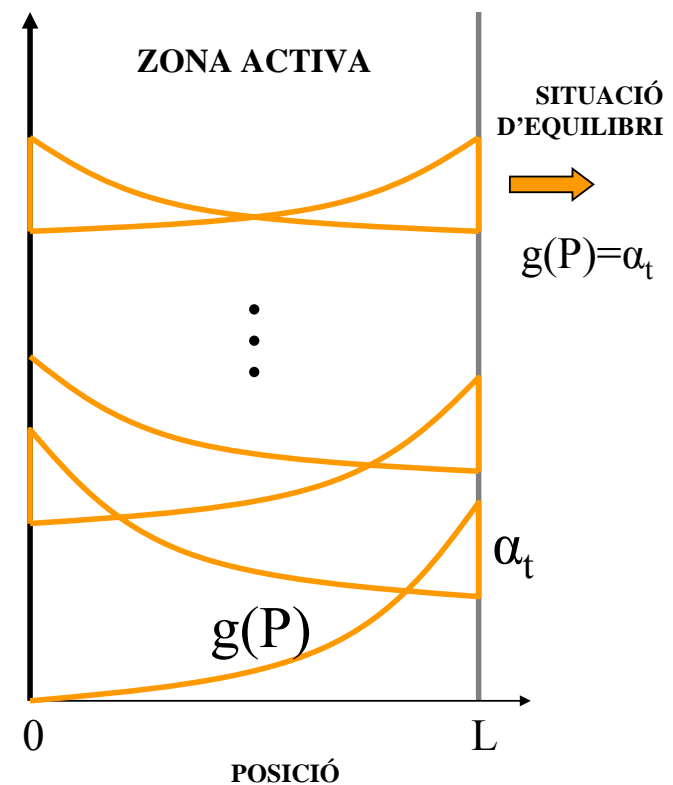
### Saturació del Guany



$$g \propto r_c \propto \rho$$

- $g < \alpha_t \rightarrow$  Situació Inestable (No Oscil·lació)
- $g = \alpha_t \rightarrow$  Situació Estable (Oscil·lació)
- $g > \alpha_t \rightarrow$  Situació Inestable (Saturació)

POTÈNCIA ÒPTICA



### Condió d'Oscil·lació de fase

$$1 = e^{-j2\beta L}$$

$$2\beta L = m \cdot 2\pi$$

$$2 \frac{2\pi}{\lambda} nL = m \cdot 2\pi \rightarrow L = m \frac{\lambda_m}{2n} = m \frac{c}{2nf_m}$$

$$f_m = m \frac{c}{2nL}$$

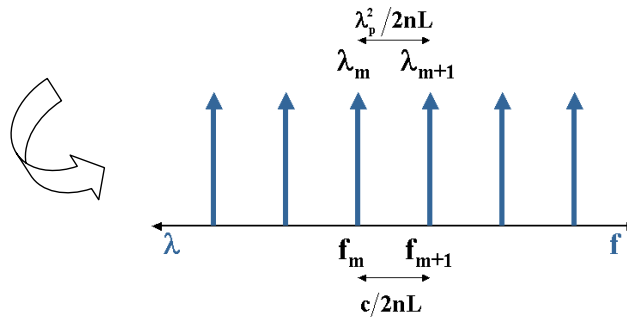
Freq. Ressonància Cavitat

Modes d'oscil·lació longitudinals

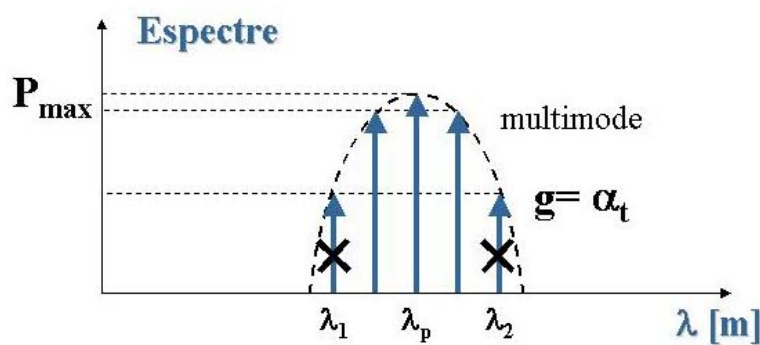
$$\Delta f = \frac{c}{2nL}$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_p} \approx \frac{\Delta f}{f_p}$$

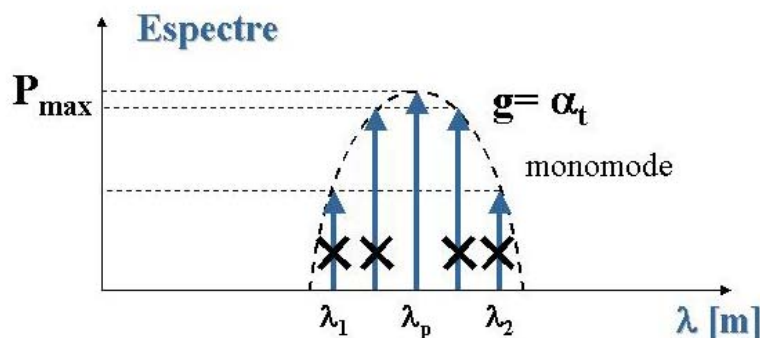
$$\Delta \lambda \approx \Delta f \cdot \frac{\lambda_p^2}{c} = \frac{\lambda_p^2}{2nL}$$



### Efecte combinat



$$g(\lambda) \geq g_{th} \rightarrow \Delta \lambda$$



$$g'(\lambda) \geq g_{th} \rightarrow \Delta \lambda'$$

## EXPRESSIÓ DEL GUANY

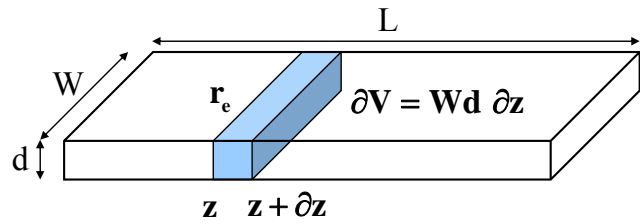
Ritme E. Espontània:  $[m^{-3}s^{-1}]$

$$r_{sp} \equiv A N_2 = N_2 / \tau_r$$

Ritme E. Estimulada Neta:

$$r_e \equiv r_{st} - r_a = (N_2 - N_1) \rho \cdot B = (N_2 - N_1) \rho \frac{\lambda^3}{\tau_r 8\pi h n^3}$$

$$B = A \frac{\lambda^3}{8\pi h n^3} = \frac{\lambda^3}{\tau_r 8\pi h n^3}$$



Potència Òptica:  $[W]$

$$\partial P = r_e \cdot hf \cdot \partial V = r_e \frac{hc}{\lambda} Wd \cdot \partial z$$

$$P = \rho \frac{c}{n} Wd \rightarrow \rho \cdot c \cdot Wd = nP$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = r_e \frac{hc}{\lambda} Wd = (N_2 - N_1) \rho \frac{\lambda^3}{\tau_r 8\pi h n^3} \frac{hc}{\lambda} Wd = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{\tau_r 8\pi n^3} \underbrace{c \cdot \rho \cdot Wd}_{nP}$$

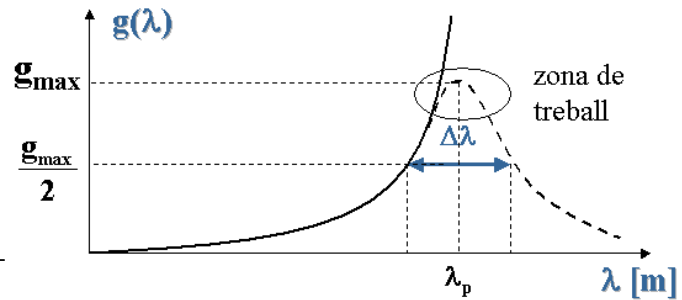
$$\frac{\partial P}{\partial z} = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{\tau_r 8\pi n^3} nP = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{\tau_r 8\pi n^2} P = gP \rightarrow \boxed{P(z) = P_0 e^{gz}}$$

Coefficient de Guany  $[m^{-1}]$

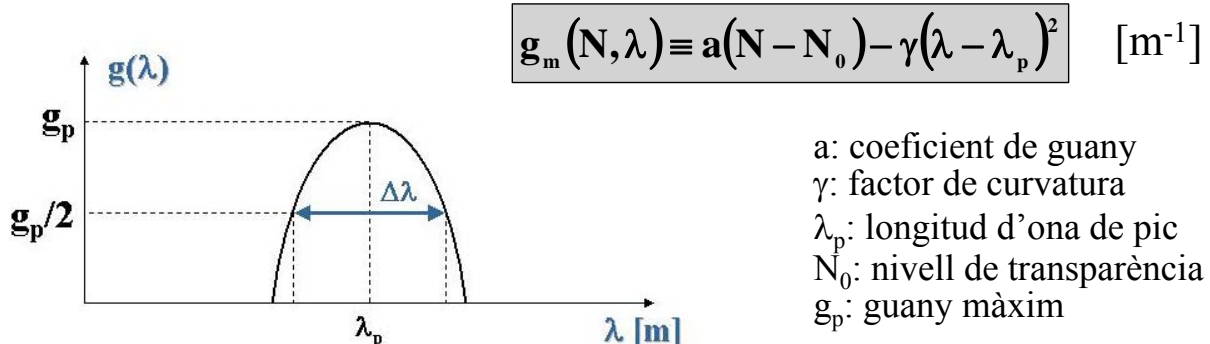
$$g \equiv (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{\tau_r 8\pi n^2}$$

$$g \propto r_e \propto \rho \quad g \propto \lambda^2$$

saturació  $g(z) = \frac{g_0}{1 + P(z)/P_{sat}}$



Guany del material per unitat de longitud model matemàtic

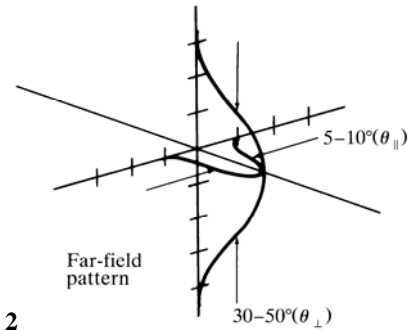


### Factor de Confinament

“Percentatge d’energia que cau dins la zona activa”

$$\Gamma \equiv \frac{E|_{ZA}}{E|_{Total}} \leq 1$$

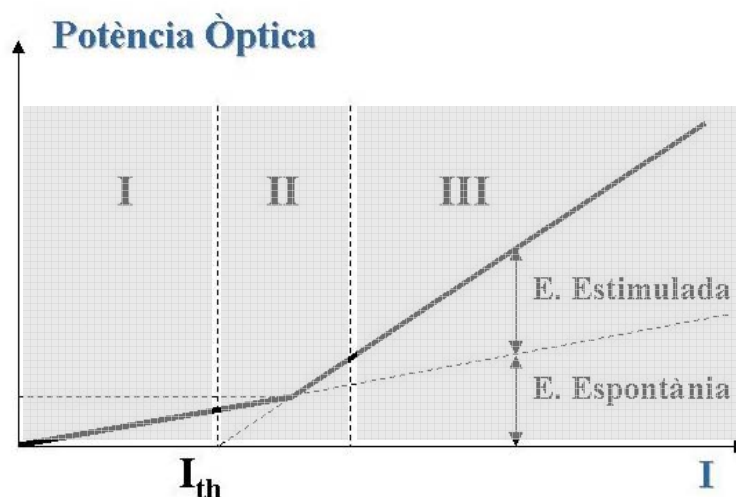
$$g(\lambda) \equiv \Gamma g_m(\lambda) = \Gamma a(N - N_0) - \Gamma \gamma(\lambda - \lambda_p)^2$$



### Guany Net de la llum en el medi

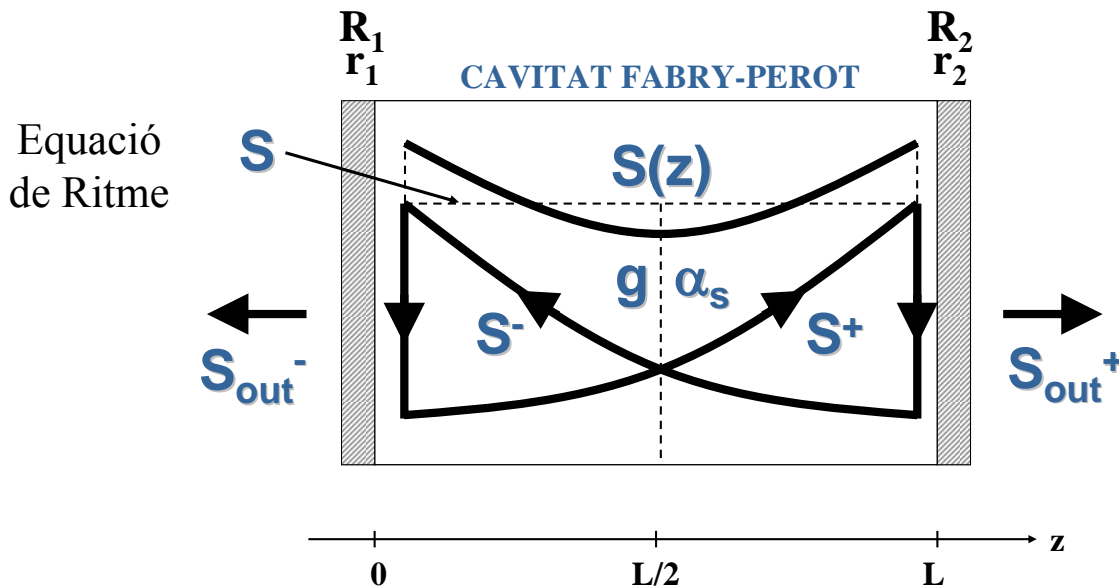
$$g_n(\lambda) \equiv \Gamma g_m(\lambda) - \alpha_s = \Gamma a(N - N_0) - \Gamma \gamma(\lambda - \lambda_p)^2 - \alpha_s$$

### CARACTERÍSTICA LLUM-CORRENT



- I → Llum com la d’un LED, E. Espontània
- II → Llum com la d’un LED amplificada
- III → Efecte Làser , Llum Coherent, E. Estimulada

### Potència Òptica



Equació de Ritme

$$R_1 = R_2 = R \quad g = \Gamma g_m \quad 1 = r_1 r_2 e^{(g-\alpha_s)L} = R e^{(g-\alpha_s)L}$$

$$S^+(L/2) = S^-(L/2)$$

S: densitat de fotons en la ZA [m<sup>-3</sup>]

$$S(z) = S^+(z) + S^-(z) = S^+(0)e^{(g-\alpha_s)z} + S^-(L)e^{(g-\alpha_s)(L-z)}$$

$$S_{out} = (1-R)S^+(L) = (1-R)S^+(0)e^{(g-\alpha_s)L} = (1-R)S^+(L/2)e^{(g-\alpha_s)L/2}$$

$$S(L/2) = S^+(L/2) + S^-(L/2) = 2 \cdot S^+(L/2)$$

$$S_{out} = \left( \frac{(1-R)}{\sqrt{R}} \right) S^+(L/2) = \left( \frac{(1-R)}{2\sqrt{R}} \right) S(L/2)$$

$$1 = R e^{(g-\alpha_s)L} \rightarrow e^{(g-\alpha_s)L/2} = \frac{1}{\sqrt{R}}$$

$$S^+(L/2) = S^-(L/2)$$

$\mathbf{P} \equiv \mathbf{S} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{d} \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{f}$

$$P_{out} = \left( \frac{(1-R)}{2\sqrt{R}} \right) S(L/2) \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{d} \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{f}$$

$$S(L/2) \approx S$$

$$P_m = \left( \frac{(1-R)}{2\sqrt{R}} \right) S_m \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{d} \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{f}_m$$

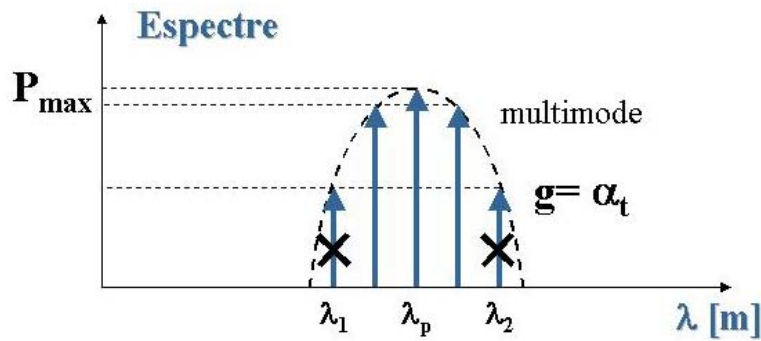
$$f_m \approx f_p$$

$$P_{out} = \sum_m P_m \Rightarrow P_{out} \approx \sum_m \left( \frac{(1-R)}{2\sqrt{R}} \right) \cdot S_m \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{d} \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{f}_p$$

**Potència Òptica Total**

[W]

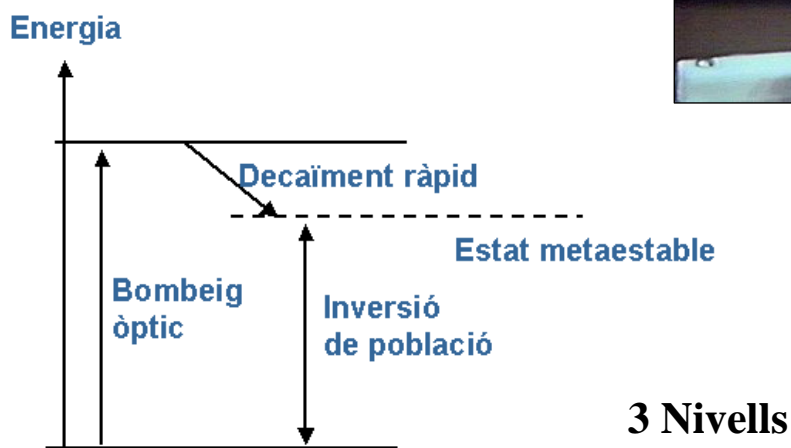
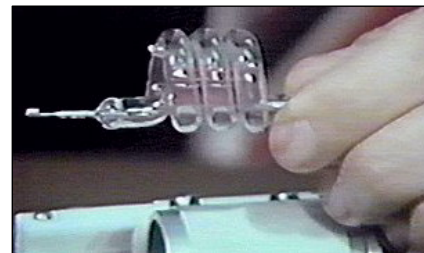
## ESPECTRE DE POTÈNCIA



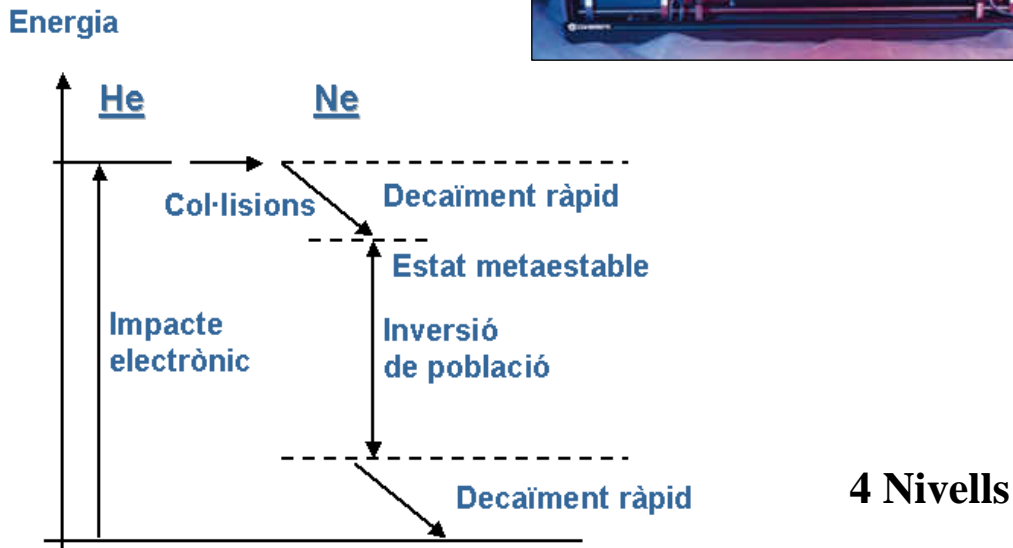
1.  $\Delta f = \frac{c}{2nL}$      $\Delta \lambda \approx \frac{\lambda_p^2}{2nL}$     freqüències de ressonància
2.  $g \geq g_{th} = \alpha_s + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$     condició de guany

## TIPUS DE LÀSERS

### Làser d'Estat Sòlid: Ruby



### Làser de Gas: He-Ne



### Làser semiconductor: GaAs

