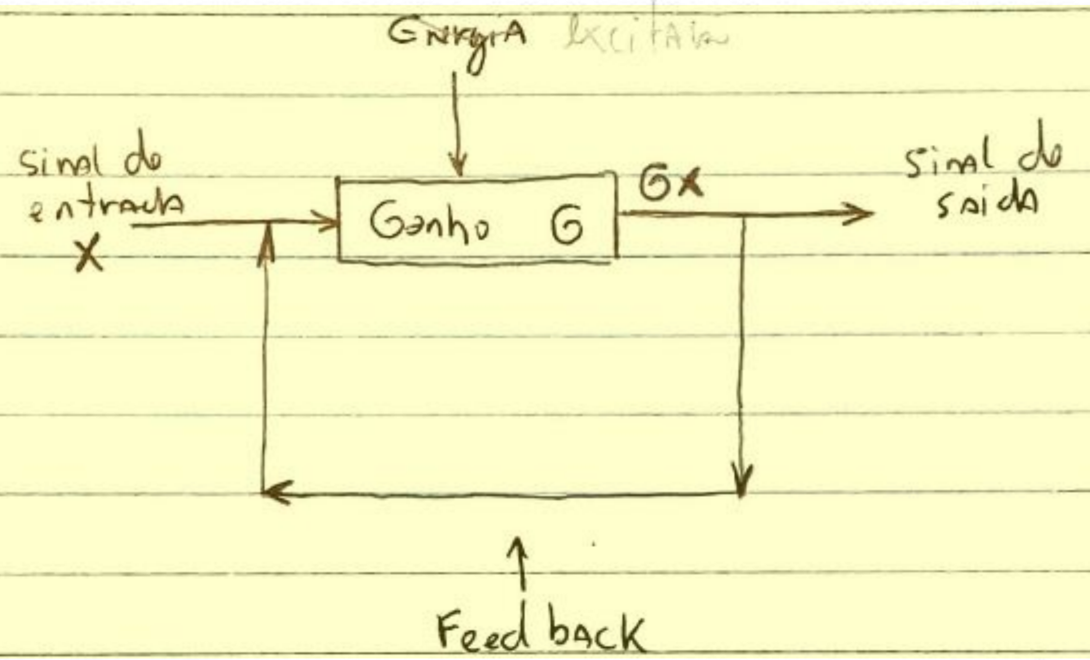
Ação Laser

1.7 - Ação Laser

→ inversão de população apenas não resolve o problema para construir um sistema de amplificação. $(G > 1)$

* descrição básica



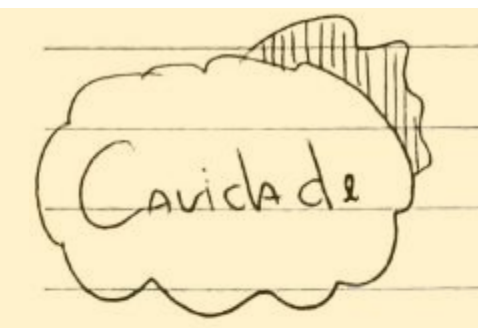
(sinal na saída é retroalimentado na entrada)

$\Downarrow$

crescimento do sinal exponencial

no caso do laser:

- meio ativo: amplificador
- lampadas como fonte de energia.
  se energia insuficiente ñ haverá ganho
- Feedback: conseguida por reflexões de ida/volta numa cavidade



- não precisa sinal de entrada: o ganho é tão gde (fotons emitidos na direção certa serão amplificados)
  - no injection seeded.
  - injection seeded

Perdas em Cavidades ópticas

- cavidade confina a radiação ⇒ Amplificação
- Contudo há perdas (ñ deixam E crescer indefinidamente)

• Reflexões: um pouco tem que sair ($R<100\%$) e o outro que deveria ser $R=100\%$ não é ideal

• Absorção e espalhamento no meio ativo:
  - transições para níveis excitados mais altos durante bombeamento é um tipo de perda
  - espalhamento por impurezas e imperfeições em geral p/ meios do estado sólido

• **Perdas por difração:**

- para modos que se afastam do eixo, a dimensão finita dos espelhos faz c/ que parte da energia seja perdida. Isso evita, por exemplo, que modos de ordem alta (transversais) oscilem numa cavidade.

Condição de Limiar

Para que haja laser, o feixe deve aumentar sua intensidade durante uma volta ou seja

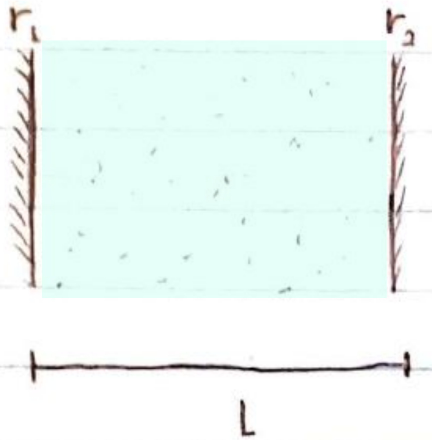
Ganho > Perdas

voltamos ao primeiro tópico do curso

Ao dar uma volta na cavidade o feixe deve

- se reproduzir
  - geometricamente (estabilidade da cavidade),
  - em fase
  - em amplitude

meio preenche a cavidade toda (gás)



$$E(z) = E_0\, e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n z}\; e^{-\alpha z}\; e^{+\gamma z}$$

- em $z=0 \Rightarrow E(z=0) = E_0$

- após uma volta na cavidade

$$E(z=2L) = E_0\, e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n\, 2L}\; r_1 r_2\, e^{(\gamma-\alpha)2L}$$

Se após uma volta o feixe se recompõe
temos

$$E_0 = E_0 \, e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n 2L} \, r_1 r_2 \, e^{(\gamma-\alpha)2L}$$

$$\underbrace{e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n 2L}}_{1} \quad \underbrace{r_1 r_2 \, e^{(\gamma-\alpha)2L}}_{1} = 1$$

(1) $e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n 2L} = 1$

$$\frac{\cancel{2}\cancel{\pi}}{\lambda} n \cancel{2} L = \cancel{2} m \cancel{\pi} \Rightarrow L = \frac{m}{2}\left(\frac{\lambda}{n}\right)$$

L múltiplo de meio comprimento de onda

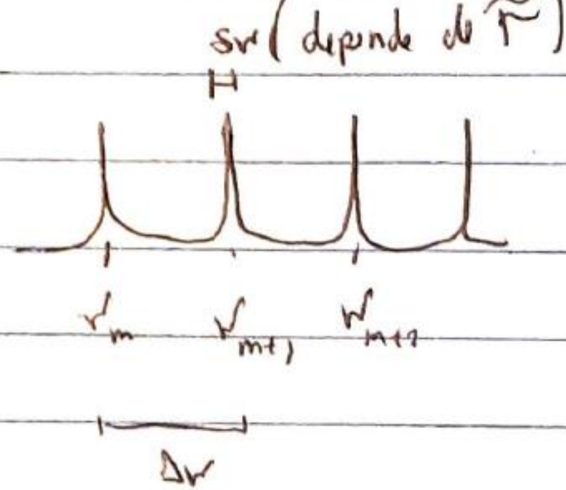
A cavidade só sustenta feq. que corresponde a um deslocamento de fase numa volta múltiplo de 2π

em freq.

$$\frac{2\pi}{\lambda} n \, 2L = 2m\pi \qquad \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$$

$$\cancel{2\pi}\frac{\nu}{c} n \, 2L = \cancel{2}m\cancel{\pi} \Rightarrow \nu = \left(\frac{c}{n\,2L}\right) m \Rightarrow \nu_m = \boxed{\frac{(c/n)}{2L}}\, m$$

freq. dos modos longitudinais



$$\Delta\nu = \boxed{\frac{(c/n)}{2L}}$$

isso tem que saber de cabeça (Free spectral range)

②

$$r_1 r_2 \, e^{(\gamma-\alpha)2L} = 1$$

$$e^{(\gamma-\alpha)2L} = \frac{1}{r_1 r_2}$$

$$\gamma - \alpha = \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right)$$

$$\gamma = \underbrace{\alpha + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right)}_{\text{perdas totais}}$$

$r_1 = \sqrt{R_1}$

$r_2 = \sqrt{R_2}$

perdas totais
(espalhamento, reflexão)

Nesta situação o ganho compensa as perdas.
A partir dai temos $G > \text{Perda}$

$$\gamma = \alpha + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right)$$

Condição de Limiar

Assim, a inversão de população que permite atingir o limiar pode ser encontrada fazendo

Como

$$\gamma = \Delta N \frac{\lambda^2}{8\pi n^2 \tau_{esp}} g$$

$$\Delta N = \frac{8\pi n^2 \tau_{esp}}{\lambda^2} \frac{\gamma}{g} \Rightarrow \Delta N = \frac{8\pi n^2 \tau_{esp}}{g \lambda^2} \left[\alpha + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right) \right]$$

- supondo que a freq. do campo está no centro da Linha

$$g(\nu_0) = \frac{\cancel{\Delta\nu}}{2\pi} \frac{1}{\left[\frac{\Delta\nu^2}{4}\right]} \Rightarrow g(\nu_0) \simeq \frac{1}{\Delta\nu}$$

$$g(\nu) = \left(\frac{\Delta\nu}{2\pi}\right) \frac{1}{\left[(\nu-\nu_0)^2 + \left(\frac{\Delta\nu}{2}\right)^2\right]}$$

então a equação fica

$$\Delta N = \frac{8\pi n^2 \tau_{esp}}{\lambda^2} \Delta\nu \left[\alpha + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right)\right]$$

tilibra

Tendo atingido o Limiar ΔN fica travado neste valor pois

- Se ΔN é menor o ganho “perde” e o campo dentro da cavidade se extingue

- Se ΔN é maior o campo aumenta e, devido a emissão estimulado, a população no estado excitado diminui

Fim