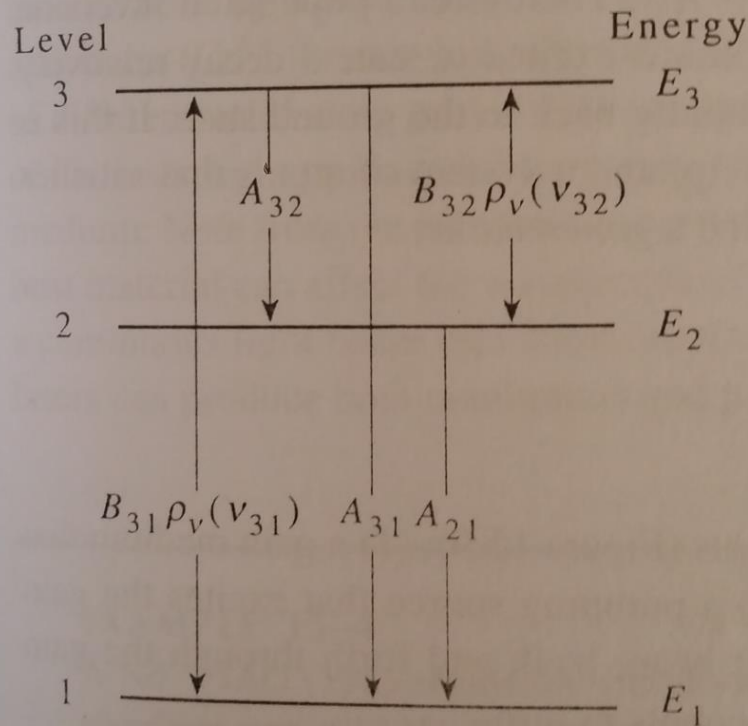


- Como podemos obter um sistema com inversão de população?

Para um sistema com 3 níveis energéticos:
sob determinadas condições $N_3 > N_2$

$$h\nu_{32} = E_3 - E_2$$



1. $N_1(0) = N_{\text{total}}$
2. Sistema exposto a radiação ρ_v com $h\nu_{31} = E_3 - E_1$ (fonte de bombeamento)
3. Decaimentos
4. Se tivermos luz com $h\nu_{32} = E_3 - E_2$; absorção e emissão estimulada pode ocorrer entre 3 e 2 (pode ser gerada por emissão espontânea entre estes 2 níveis)

$$N_{\text{total}} = N_1 + N_2 + N_3$$

- No equilíbrio, a população de cada nível se mantém constante

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = \frac{dN_3}{dt} = 0$$

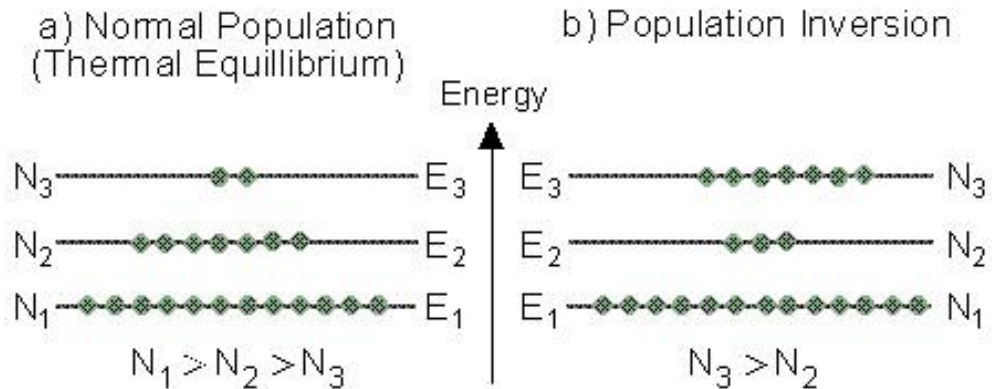
- A população do estado 2 (N_2) é um balanço entre emissão espontânea do estado 3 ao 2 ($A_{32}N_3$), emissão espontânea do estado 2 ao estado 1 ($A_{21}N_2$), emissão estimulada do estado 3 ao estado 2 ($\rho B_{32}N_3$) e absorção do estado 2 ao 3 ($\rho B_{32}N_2$)

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 = A_{32}N_3 - A_{21}N_2 + \rho_\nu B_{32}N_3 - \rho_\nu B_{32}N_2$$

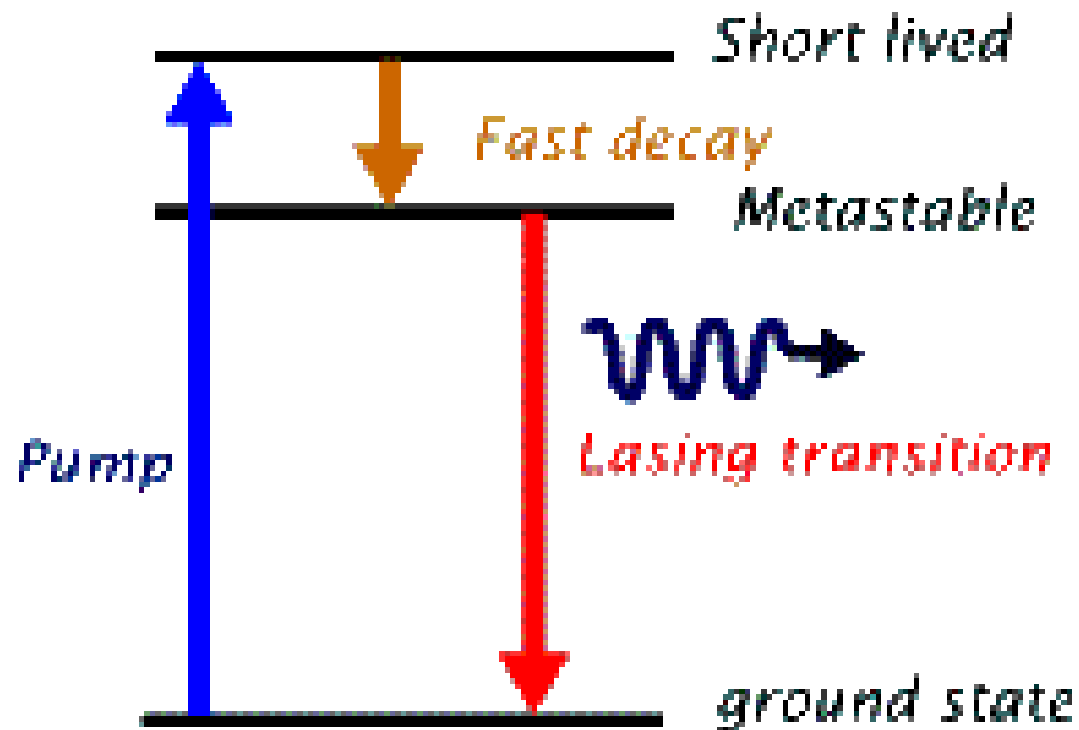
$$N_3 [A_{32} + \rho_\nu B_{32}] = N_2 [A_{21} + \rho_\nu B_{32}]$$

$$\frac{N_3}{N_2} = \frac{A_{21} + \rho_\nu B_{32}}{A_{32} + \rho_\nu B_{32}}$$

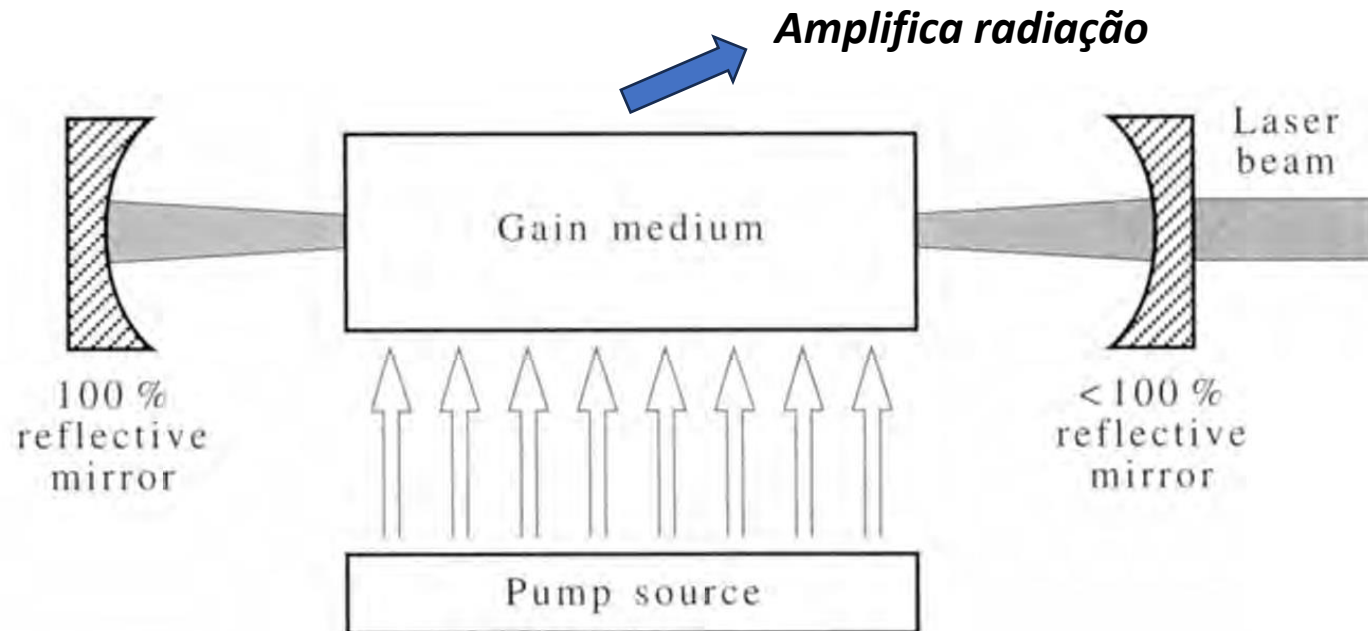
- N_3 pode ser maior do que N_2 se $A_{21} > A_{32} \rightarrow$ inversão de população atingida se os átomos excitados ao estado 3 decaem mais lentamente ao estado 2 e os átomos no estado 2 decaem rapidamente ao estado fundamental



Three-level Laser



Componentes do Laser



1° laser- 1960- Cristal de Rubi

1. Laser medium (gain medium ou meio ativo): sólido, líquido ou gasoso

Rubi sintético \rightarrow Al_2O_3 (substituição dos cátions por (0,05%) Cr^{3+}) \rightarrow causa inversão de população

Rubi natural \rightarrow distorções na rede impedem seu uso como laser.

TABLE 15.2

The gain medium (active ion and host) and laser wavelength of various solid-state lasers.

Active ion	Host	Wavelength/nm	Output ^a	Duration
Cr^{3+}	Al_2O_3	694.3	Pulsed	10 ps
Nd^{3+}	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{15}$ (YAG)	1064.1	Both	10–150 ps
Nd^{3+}	$\text{Y}_3\text{Li}_x\text{F}_y$ (YLF)	1054.3	Both	10–100 ps
Nd^{3+}	Glass	1059	Pulsed	1 ps
Ti^{3+}	Al_2O_3 (sapphire)	780	Both	10 fs–5 ps

^a The term “both” refers to both continuous and pulsed outputs.

TABLE 15.3

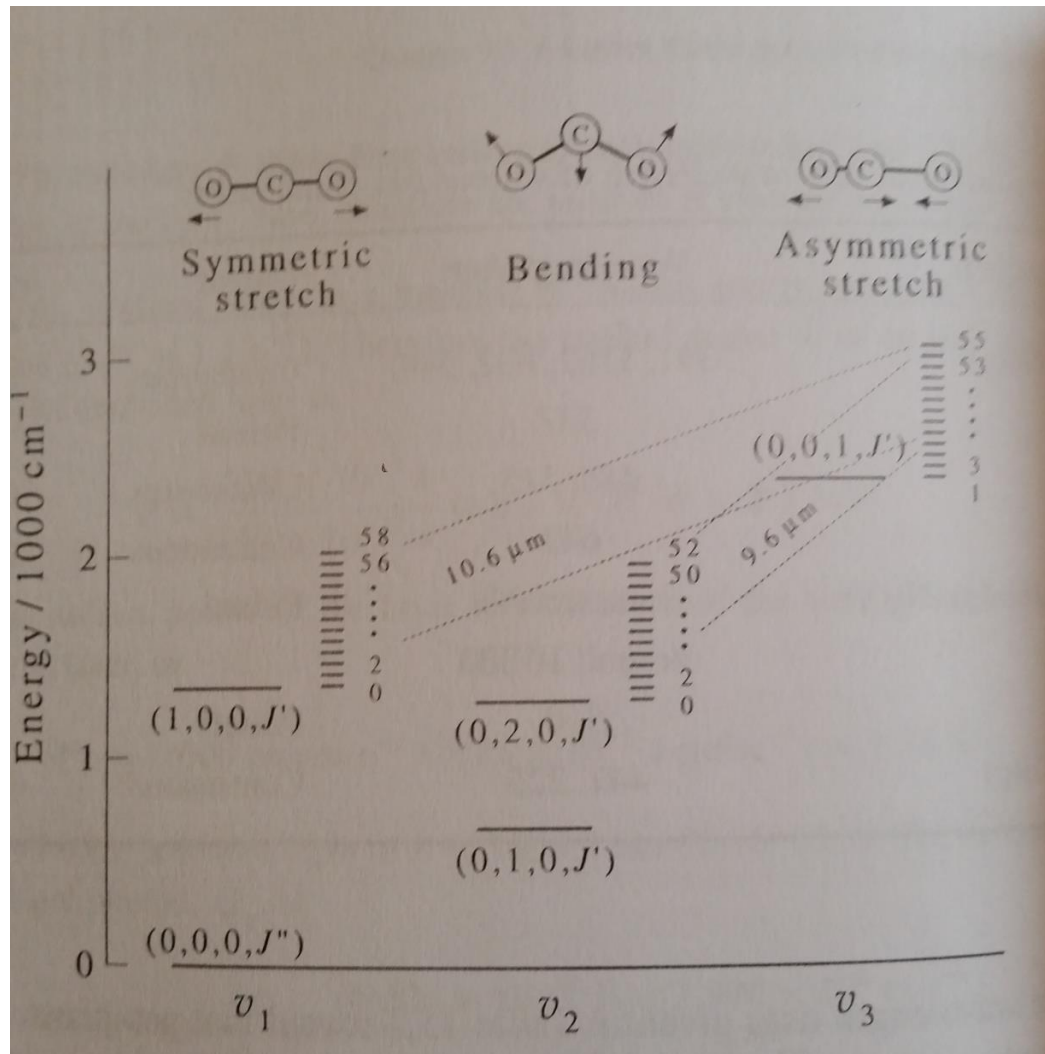
The gain medium and laser wavelength of various gas-phase lasers.

Gain medium	Wavelength/nm	Output	Pulse duration
He(g), Ne(g)	3391, 1152, 632, 544	Continuous	Continuous
N ₂ (g)	337	Pulsed	1 ns
Ar ⁺ (g)	488, 515	Continuous	Continuous
K ⁺ (g)	647	Continuous	Continuous
CO ₂ (g), He(g), N ₂ (g)	Line tunable around 10 000	Pulsed	≥ 100 ns
Cu(g)	510	Pulsed	30 ns
He(g), Cd(g)	441, 325	Continuous	Continuous

Lasers em todas as regiões de interesse do espectro eletromagnético

Níveis de energia roto-vibracional do CO₂ utilizados para emissão laser

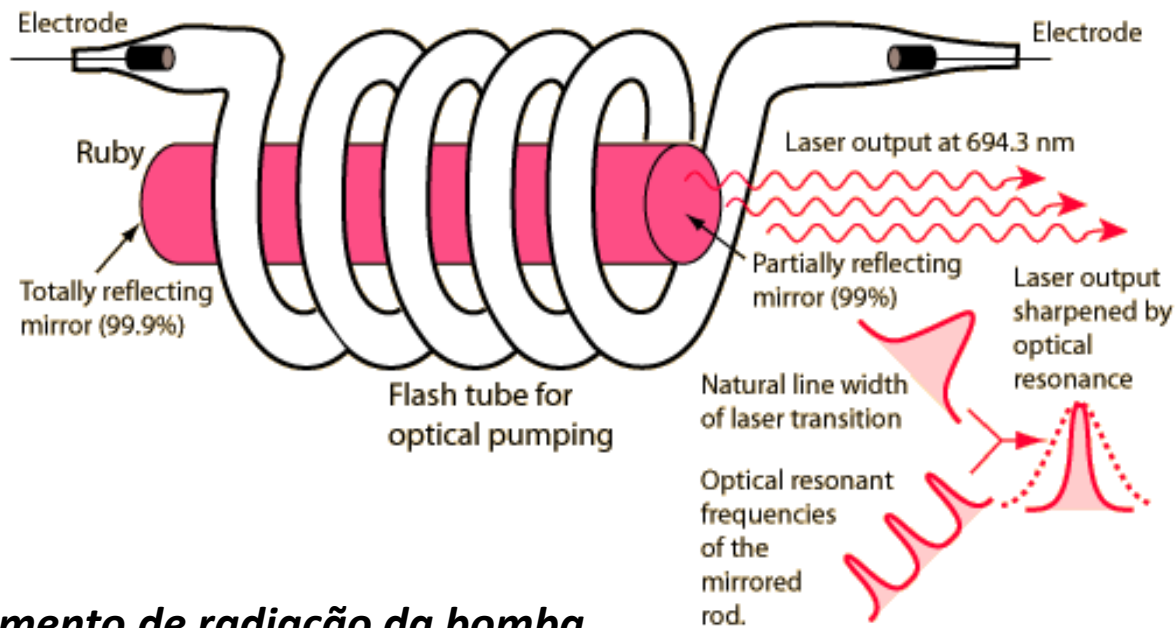
- Transições roto-vibracionais do estado eletrônico fundamental



2. Fontes de Bombeamento (Pump Source)

2.1 Excitação óptica: luz de alta intensidade ou elétrica

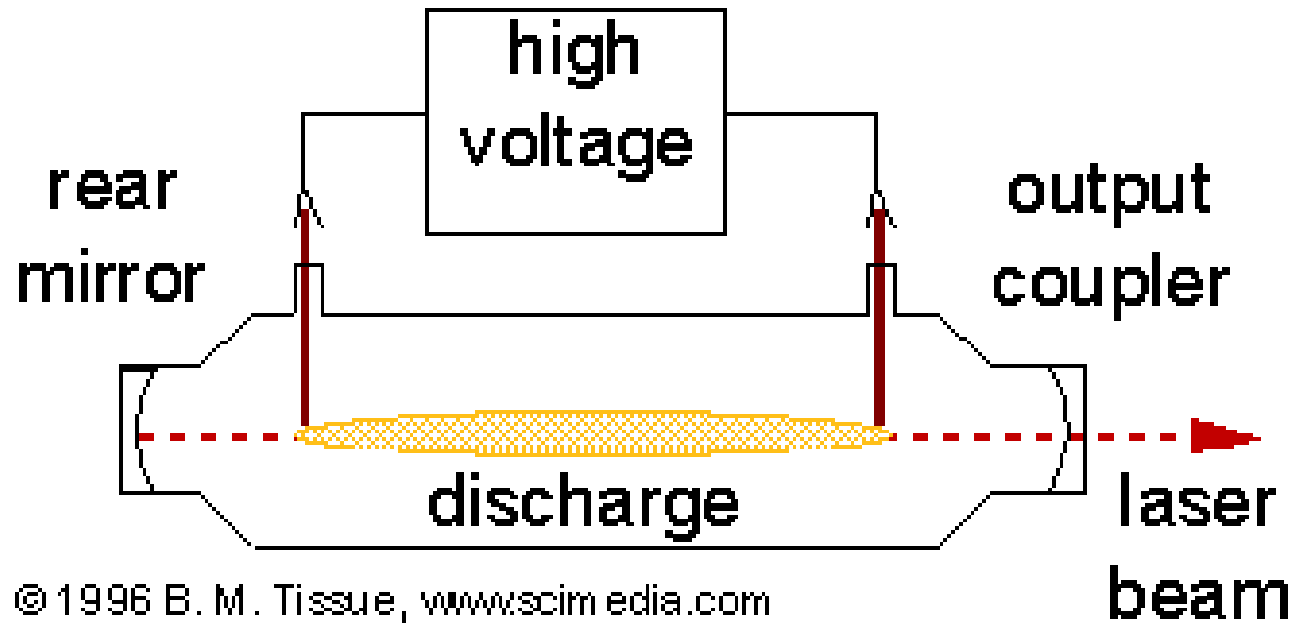
- lampadas, flash-lâmpadas, lasers



O aproveitamento de radiação da bomba é baixo nos lasers, sólidos são mais eficientes do que gases.

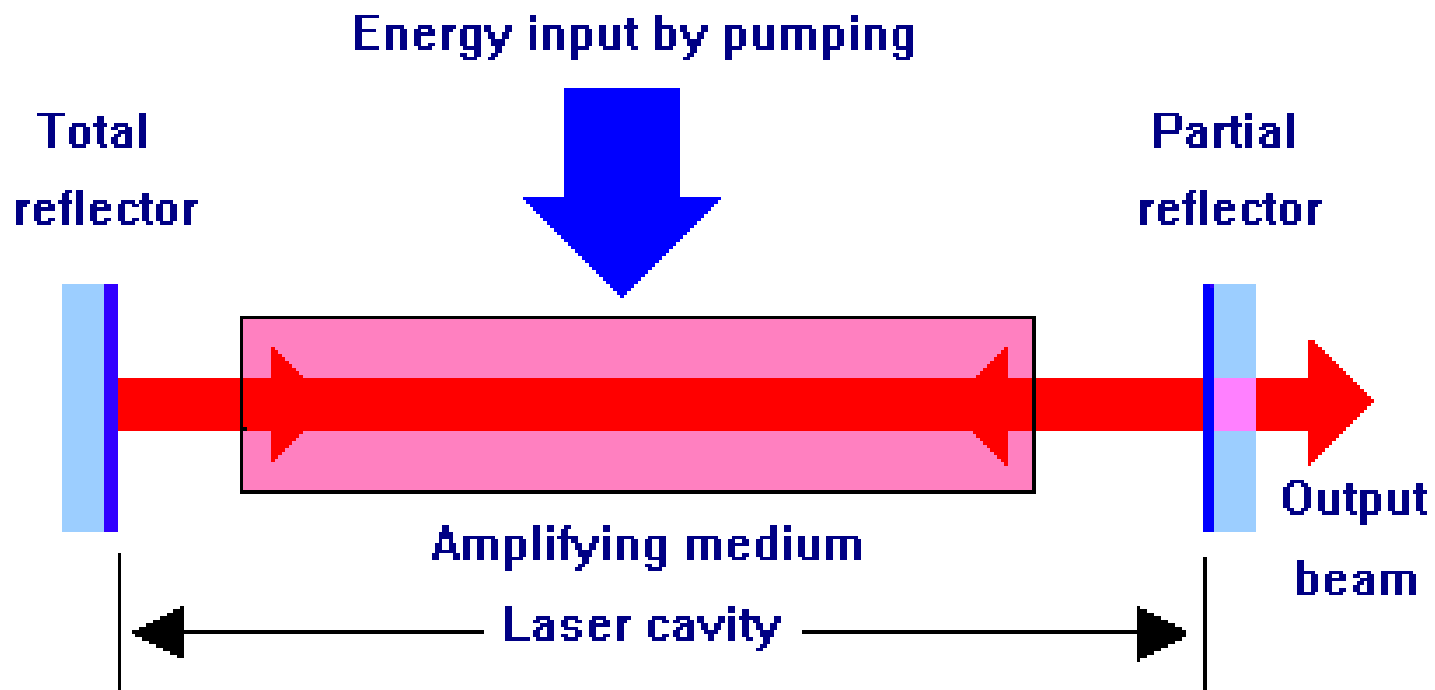
<https://www.youtube.com/watch?v=KzI3valb0aI>

2.2 Excitação elétrica: geralmente em Lasers gasosos



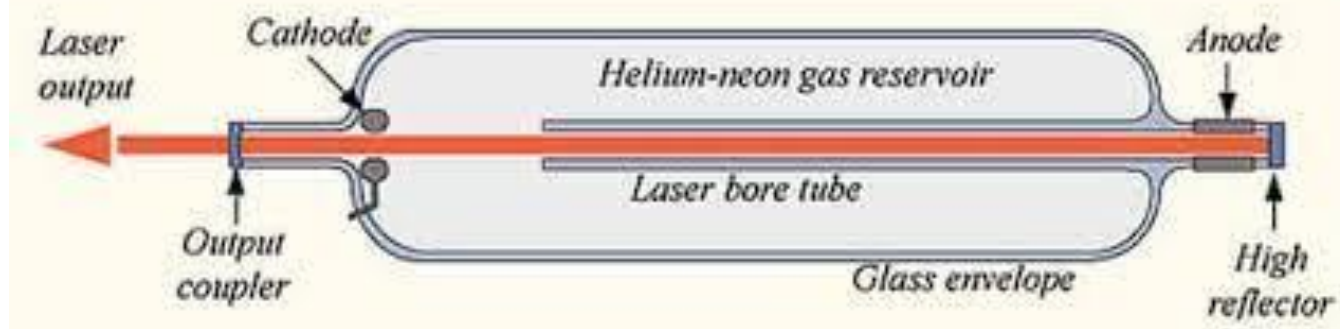
2. Cavidade ressonante

espelhos



HeNe laser

Pressão 1 torr He e 0,1 torr Ne



- Colisões com elétrons do catodo ao anodo geram gas no estado excitado
- probabilidade maior de colisão com He

Estados excitado de He com maior tempo de vida (~10⁻⁶s)

