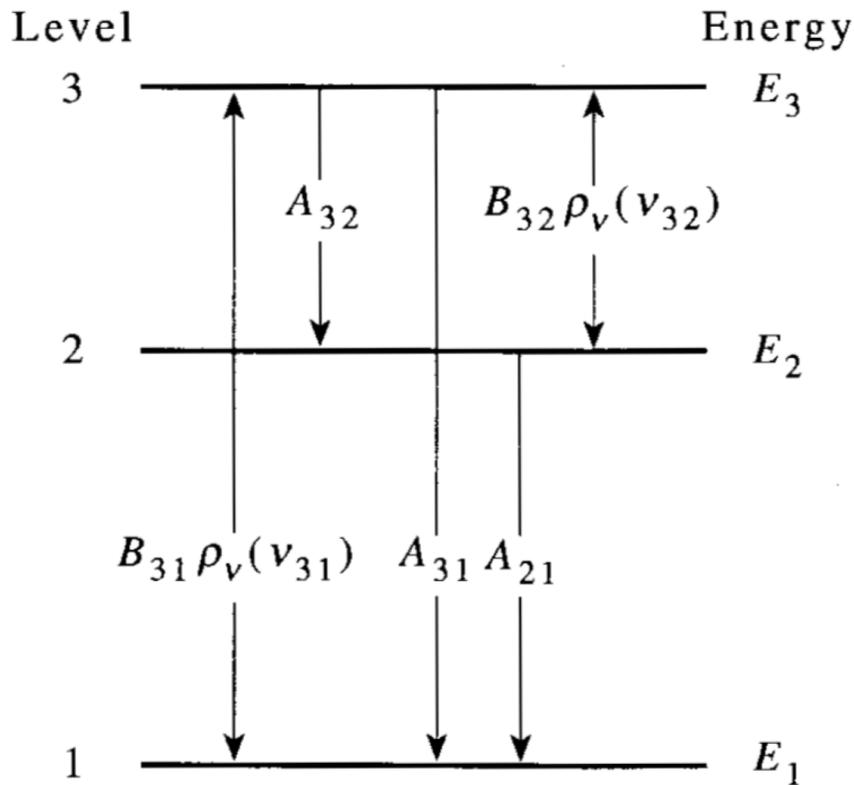


# Físico-Química IV

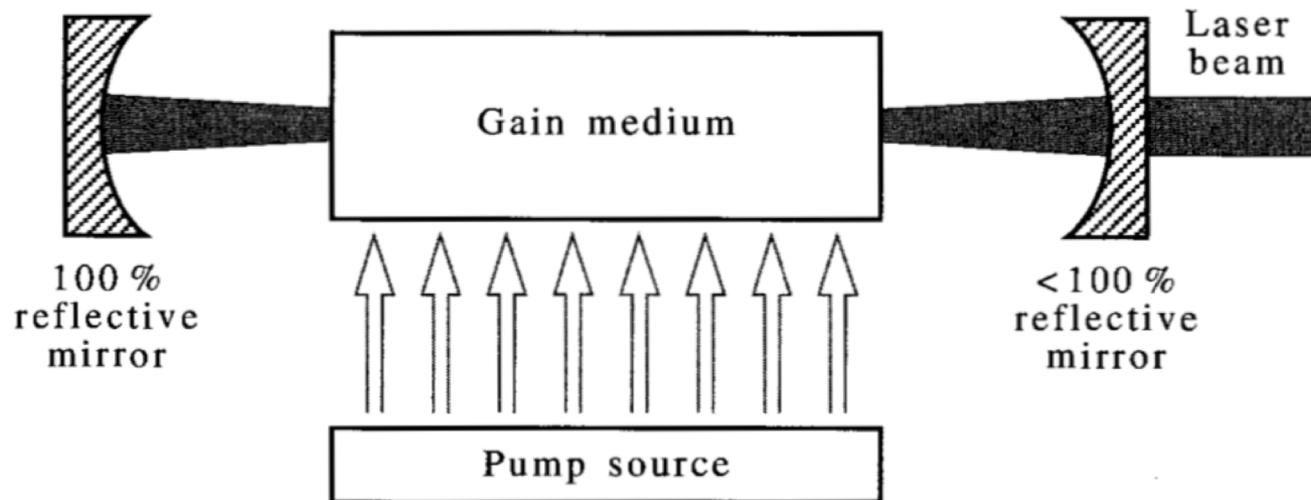
# Sistema de 3 níveis



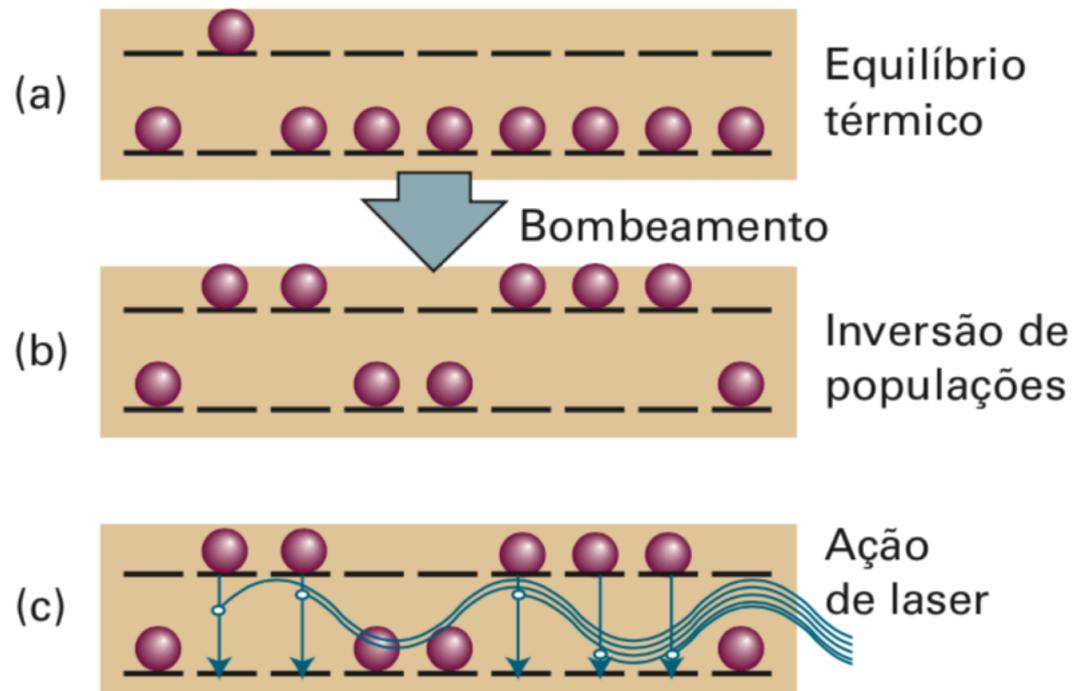
$$\frac{N_3}{N_2} = \frac{A_{21} + B_{32}\rho_\nu(\nu_{32})}{A_{32} + B_{32}\rho_\nu(\nu_{32})}$$

# Laser

*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*



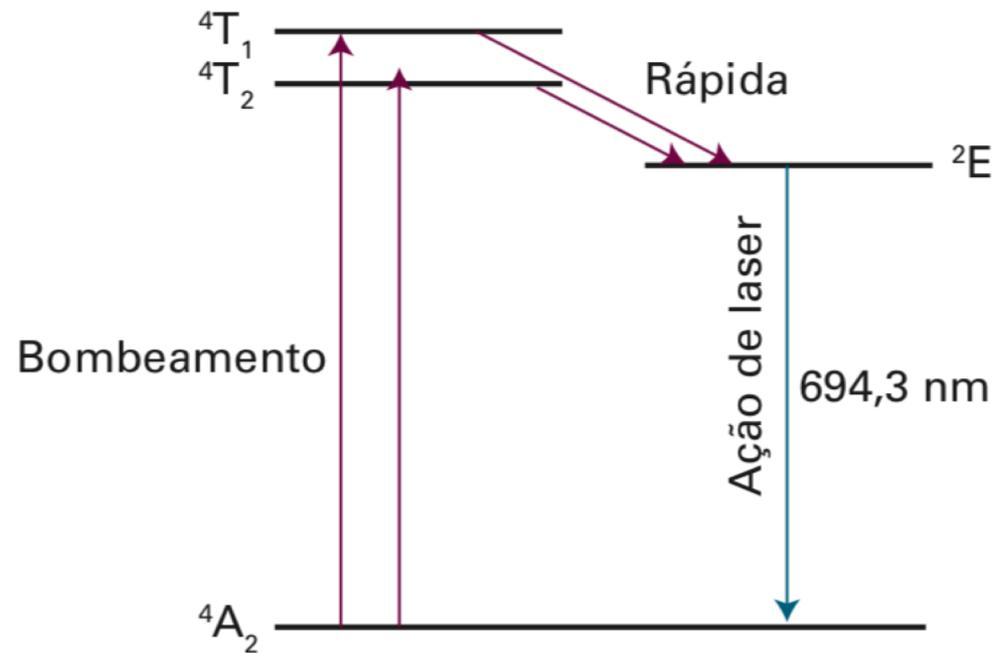
# Laser



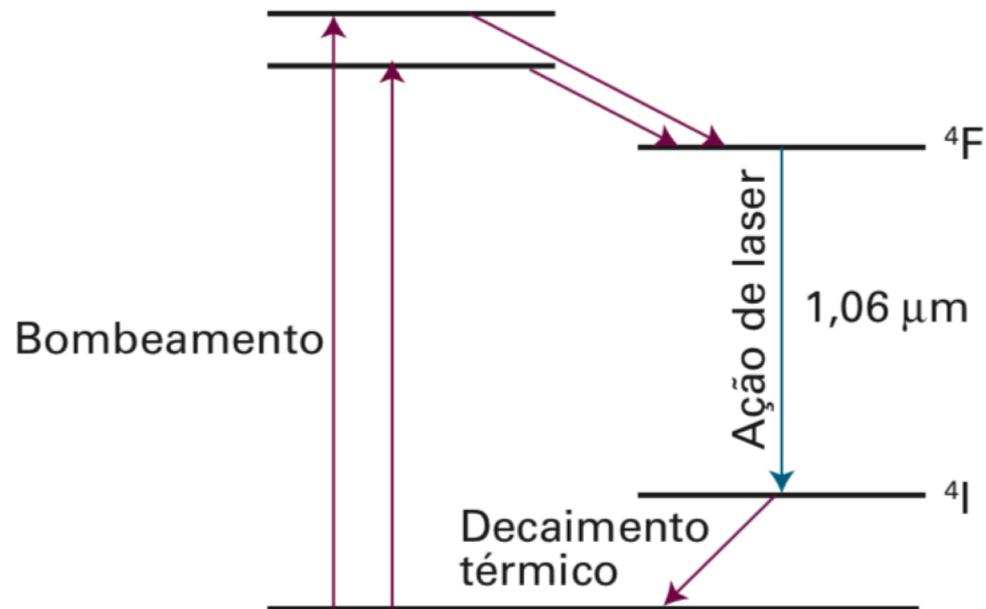
# Características e aplicações

<b>Característica</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Aplicações</b>
Potência elevada	Processos multifótons	Espectroscopia
	Ruído baixo no detector	Sensibilidade elevada
	Grande intensidade da radiação espalhada	Espectroscopia Raman
Monocromaticidade	Alta resolução	Espectroscopia
	Seleção dos estados	Estudos fotoquímicos
		Dinâmica de reação estado a estado
Feixe colimado	Percurso ópticos grandes	Sensibilidade amplificada
Coerência	Interferência entre feixes separados	Espectroscopia Raman anti-Stokes coerente
Pulsada	Controle preciso do tempo de excitação	Reações rápidas
		Relaxação
		Transferência de energia

# Laser de rubi ( $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$ )



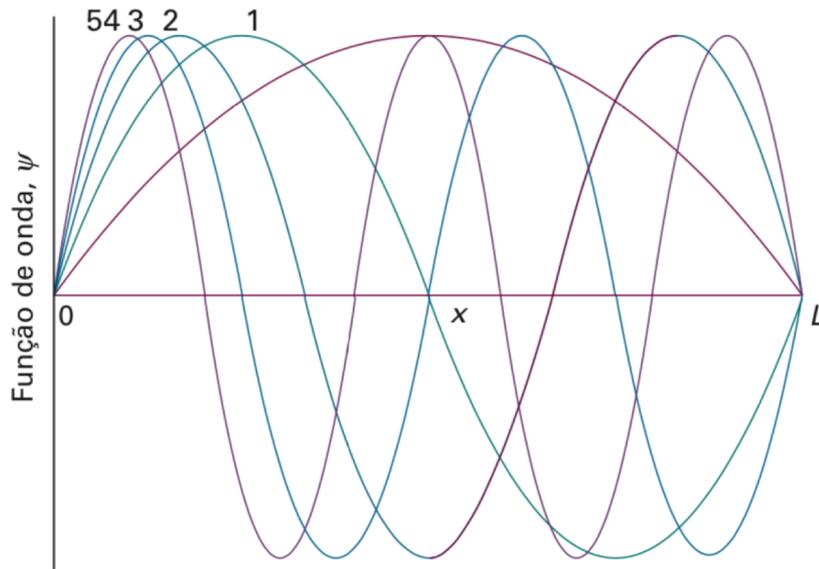
# Laser de neodímio (Nd:YAG)



# Características da cavidade e dos modos

## Modos ressonantes

Cavidade abriga apenas com  $\lambda$  apropriado.



$$n \times \frac{1}{2} \lambda = L$$

# Radiação coerente

- Coerência espacial  
Ondas estão em fase sobre uma seção reta do feixe
- Coerência temporal  
Ondas ficam em fase ao longo do feixe

Comprimento da coerência

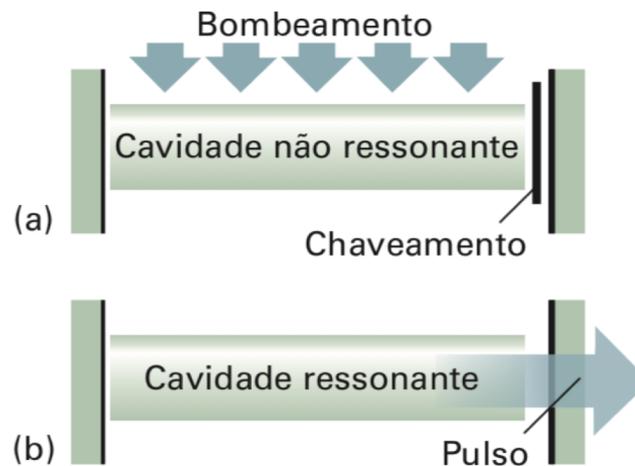
$$l_C = \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda}$$

$\Delta\lambda$ : intervalo de comprimentos de onda

# Lasers pulsados

Chaveamento Q – alteração das características de ressonância da cavidade do laser

- Alteração de propriedades ópticas com campo elétrico aplicado, por exemplo
- Bombeamento da ausência de condição de ressonância da cavidade



# Lasers pulsados

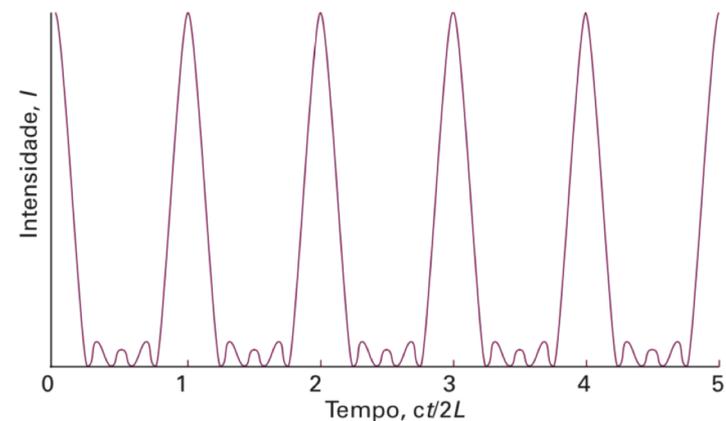
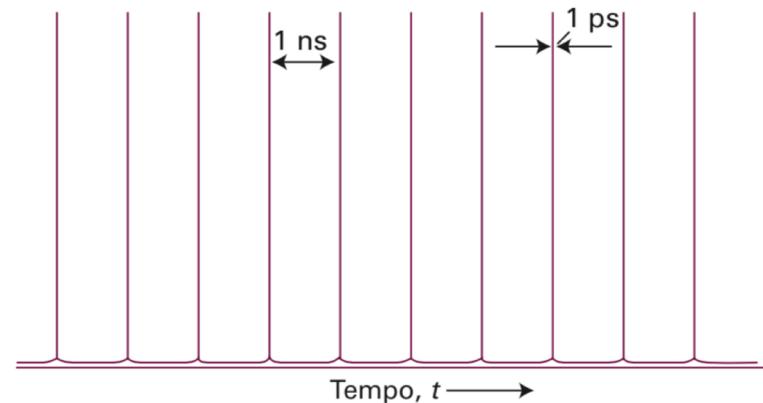
Modulação dos modos – interferência entre diferentes frequências gera pulsos

$$I(t) \propto E_0^2 \frac{\text{sen}^2(N\pi ct/2L)}{\text{sen}^2(\pi ct/2L)}$$

$N$ : número de modos modulados

$L$ : comprimento da cavidade

$t = 2Lc$ : separação entre picos



# Exemplos de lasers práticos

## Estado sólido

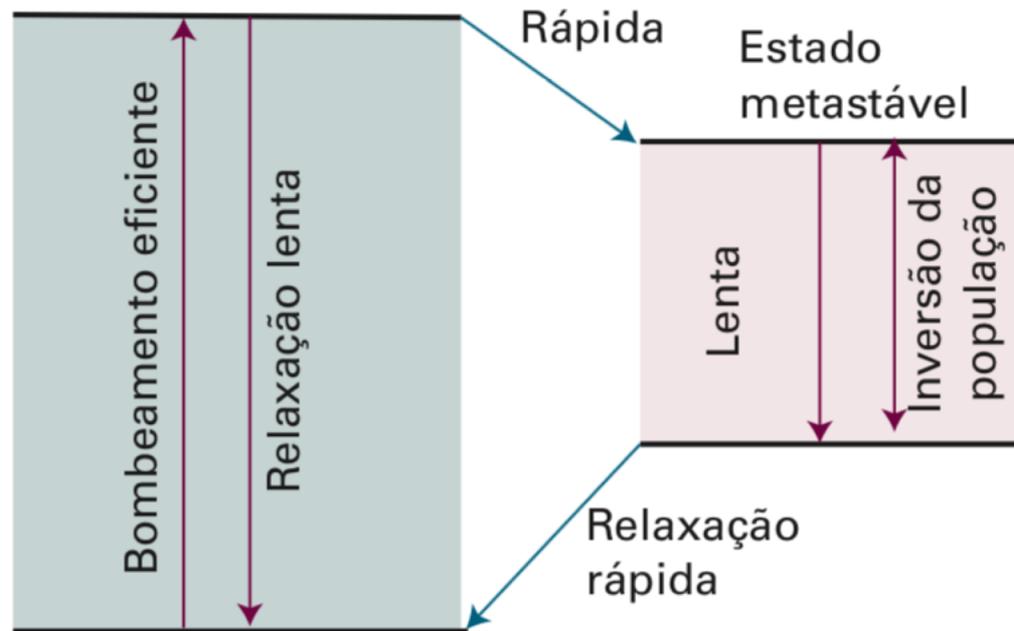
Íon ativo	Matriz	$\lambda/\text{nm}$	Saída	Duração
Cr <sup>3+</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	694,3	Pulsado	10 ps
Nd <sup>3+</sup>	Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>15</sub> (YAG)	1064,1	Ambos	10–150 ps
Nd <sup>3+</sup>	Y <sub>3</sub> Li <sub>x</sub> F <sub>y</sub> (YLF)	1054,3	Ambos	10–100 ps
Nd <sup>3+</sup>	Vidro	1059	Pulsado	1 ps
Ti <sup>3+</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (safira)	780	Ambos	10 fs – 5 ps

# Exemplos de lasers práticos

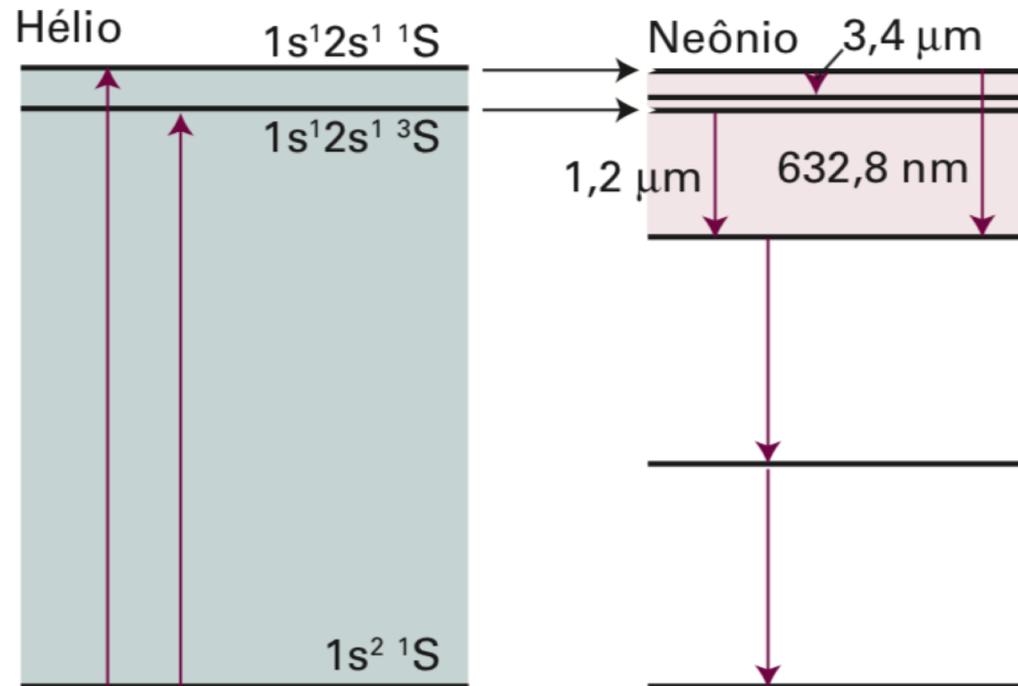
## Estado gasoso

Meio de ganho	$\lambda$ /nm	Saída	Duração do pulso
He(g), Ne(g)	3391; 1152; 632; 544;	Contínuo	Contínuo
N <sub>2</sub> (g)	337	Pulsado	1 ns
Ar <sup>+</sup> (g)	488; 515	Contínuo	Contínuo
K <sup>+</sup> (g)	647	Contínuo	Contínuo
CO <sub>2</sub> (g), He(g), N <sub>2</sub> (g)	Linhas sintonizáveis ~10 000	Pulsado	≥ 100 ns
Cu(g)	510	Pulsado	30 ns
He(g), Cd(g)	441; 325	Contínuo	Contínuo

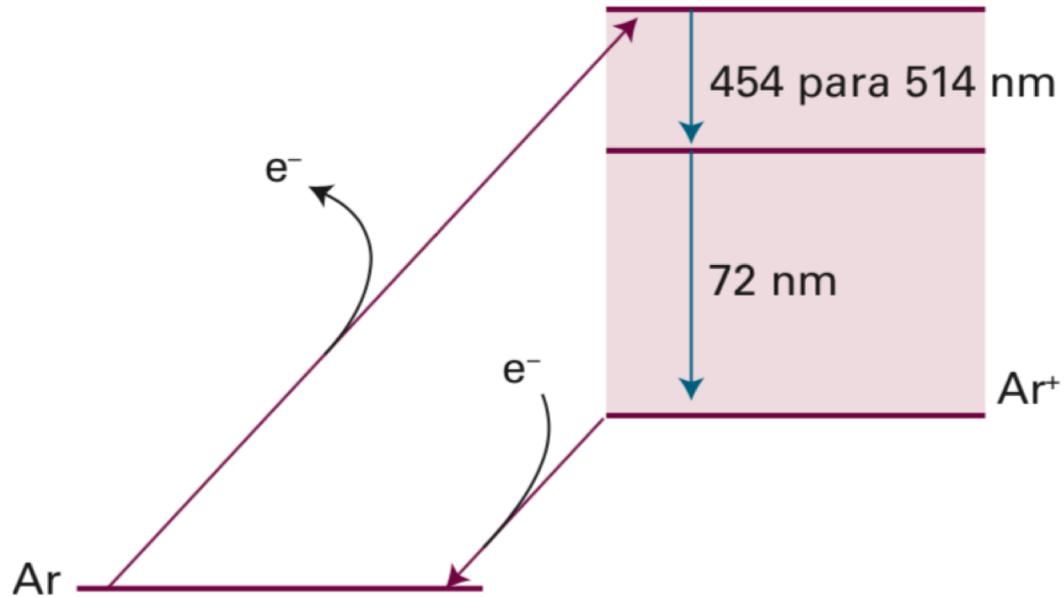
# Resumo do funcionamento de lasers



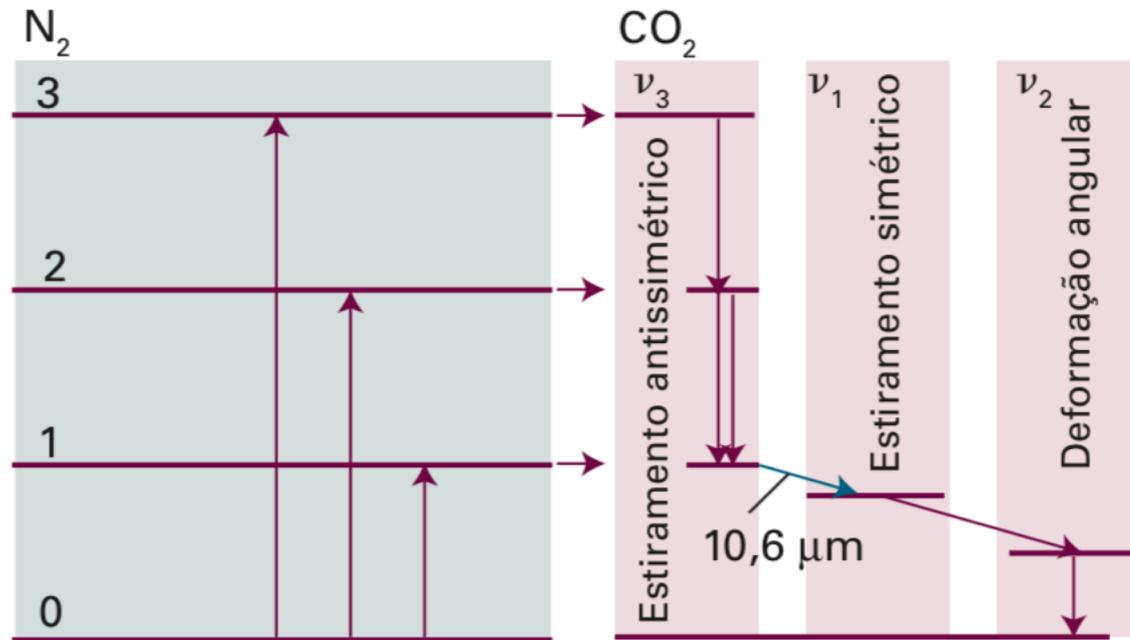
# Laser de hélio–neônio



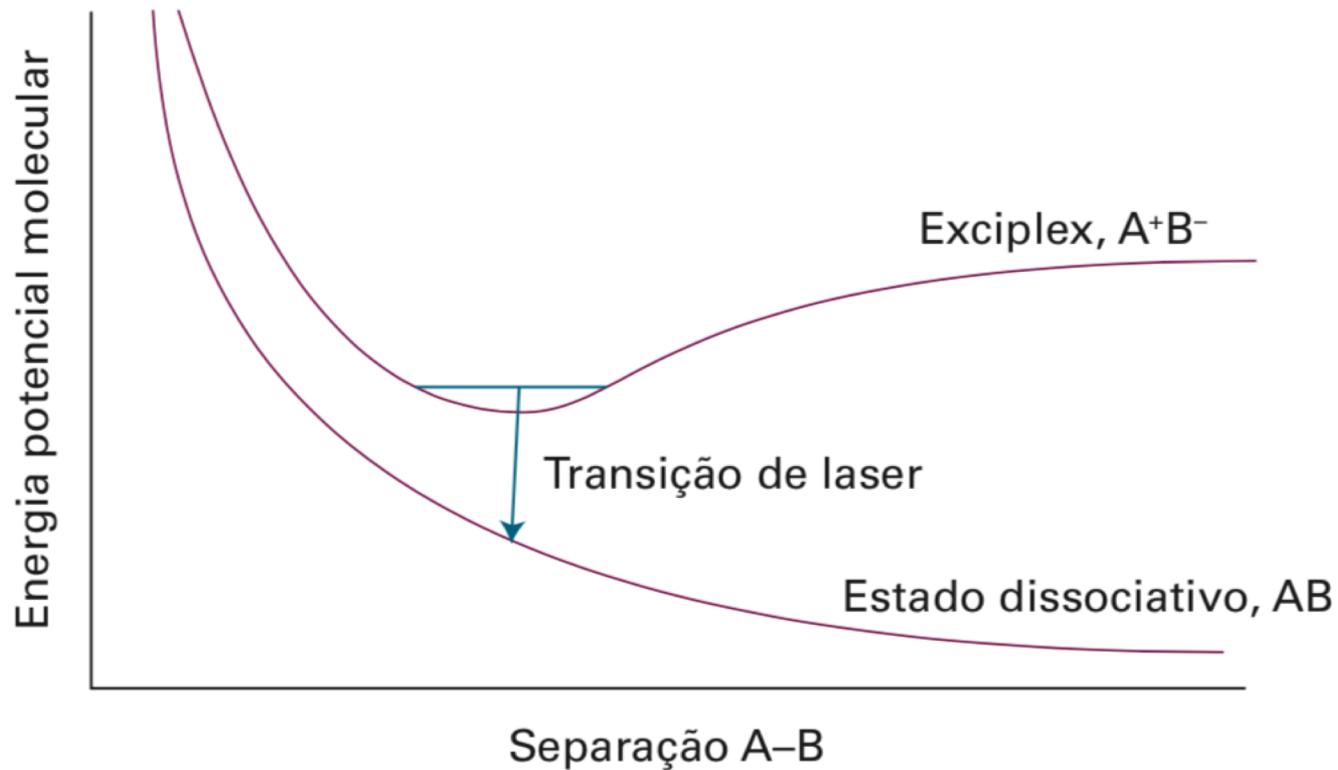
# Laser de íon de argônio



# Laser de dióxido de carbono

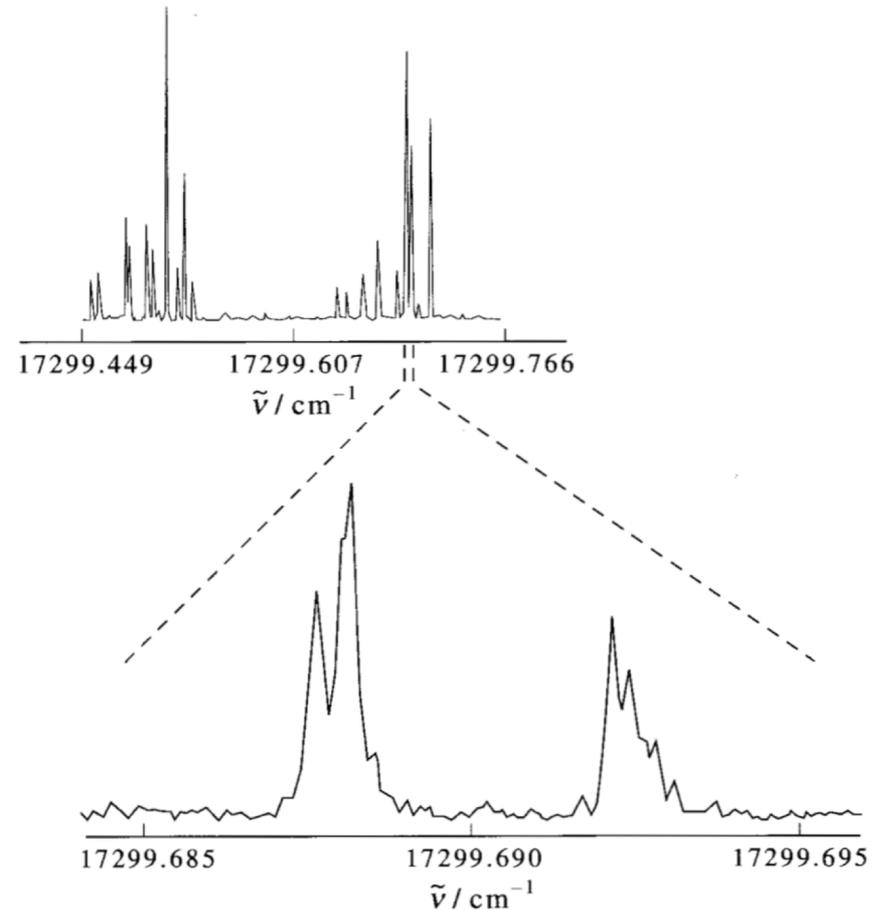
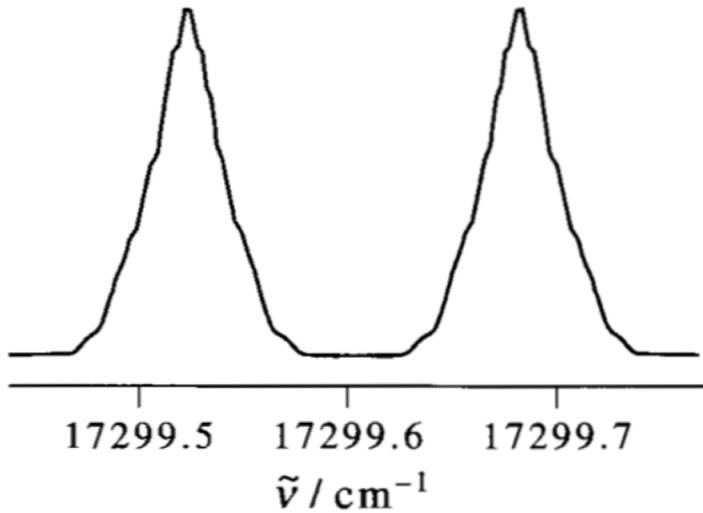


# Lasers a exciplex



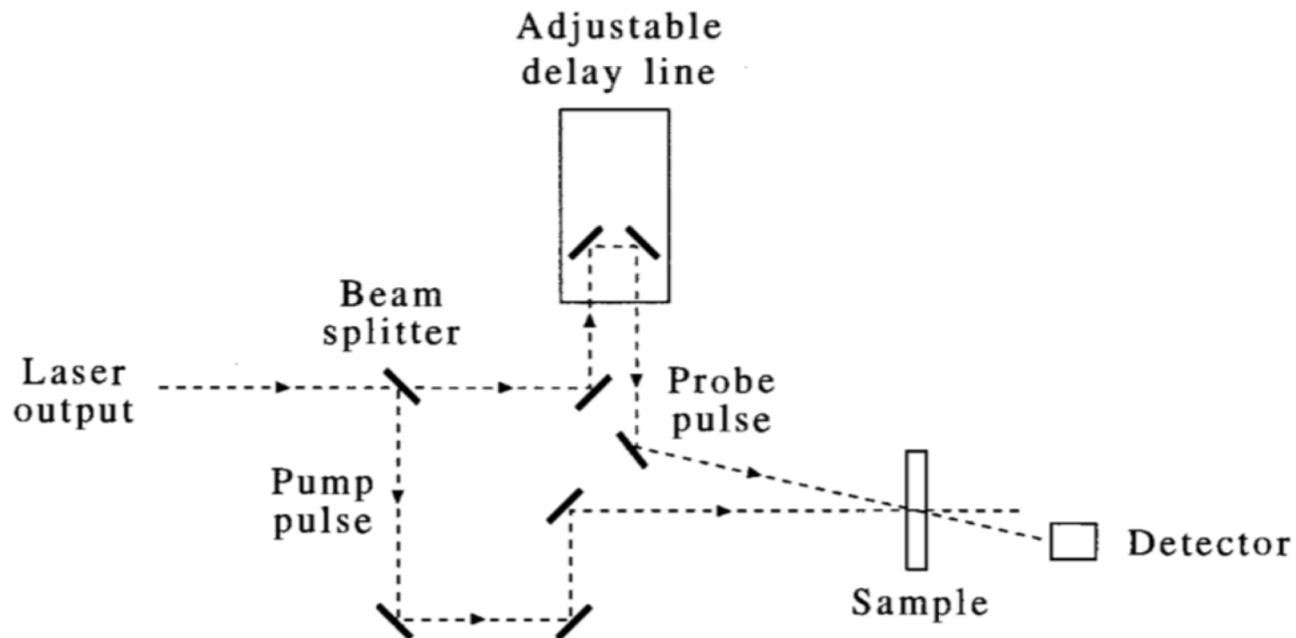
# Aplicações

## Espectroscopia de alta resolução



# Aplicações

## Dinâmica de processos fotoquímicos



# Aplicações

## Dinâmica de processos fotoquímicos

