

# Introdução aos Lasers de $\text{CO}_2$ Em Ciências da Vida

**Denise Maria Zezell**

Laboratório de Biofotônica  
Centro de Lasers e Aplicações  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
IPEN/CNEN-SP

**L** *IGHT*  
**A** *MPLIFICATION BY*  
**S** *TIMULATED*  
**E** *MISSION OF*  
**R** *ADIATION*

(Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação)

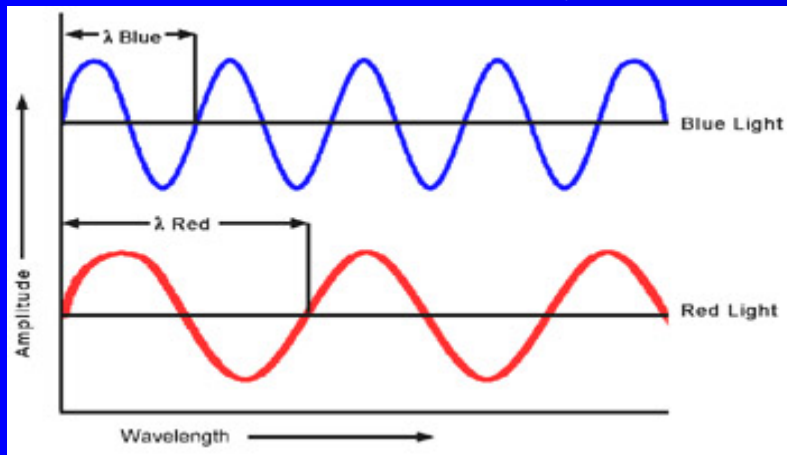
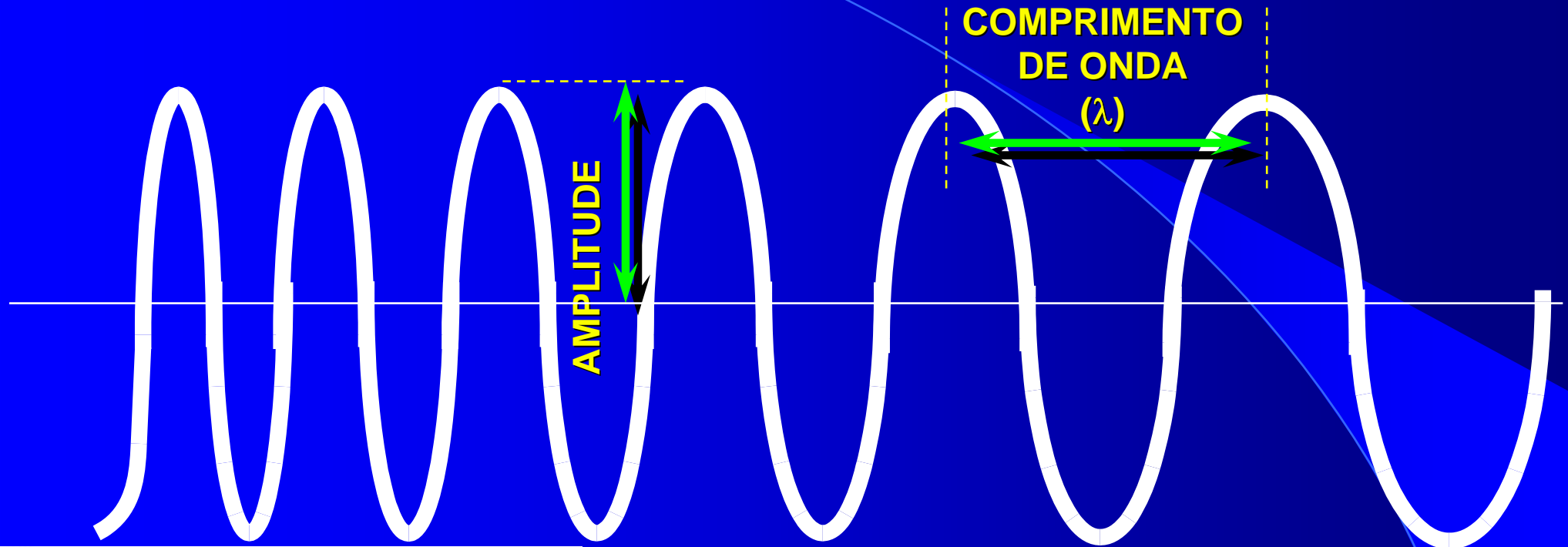
# Tipos de Radiação

- **Partículas de matéria** se movendo com velocidade muito alta, carregando energia devido ao seu movimento (energia cinética). Geradas por aceleradores lineares, betatrons, ciclotrons, etc.
- **Fótons** (Do grego φΩΤΟΣ = *luz*) ou **quanta**: pacotes de pequenas unidades de energia. Não contém matéria, não possui massa ou peso nem dimensão.



**Radiação Eletromagnética**

# ONDA ELETROMAGNÉTICA



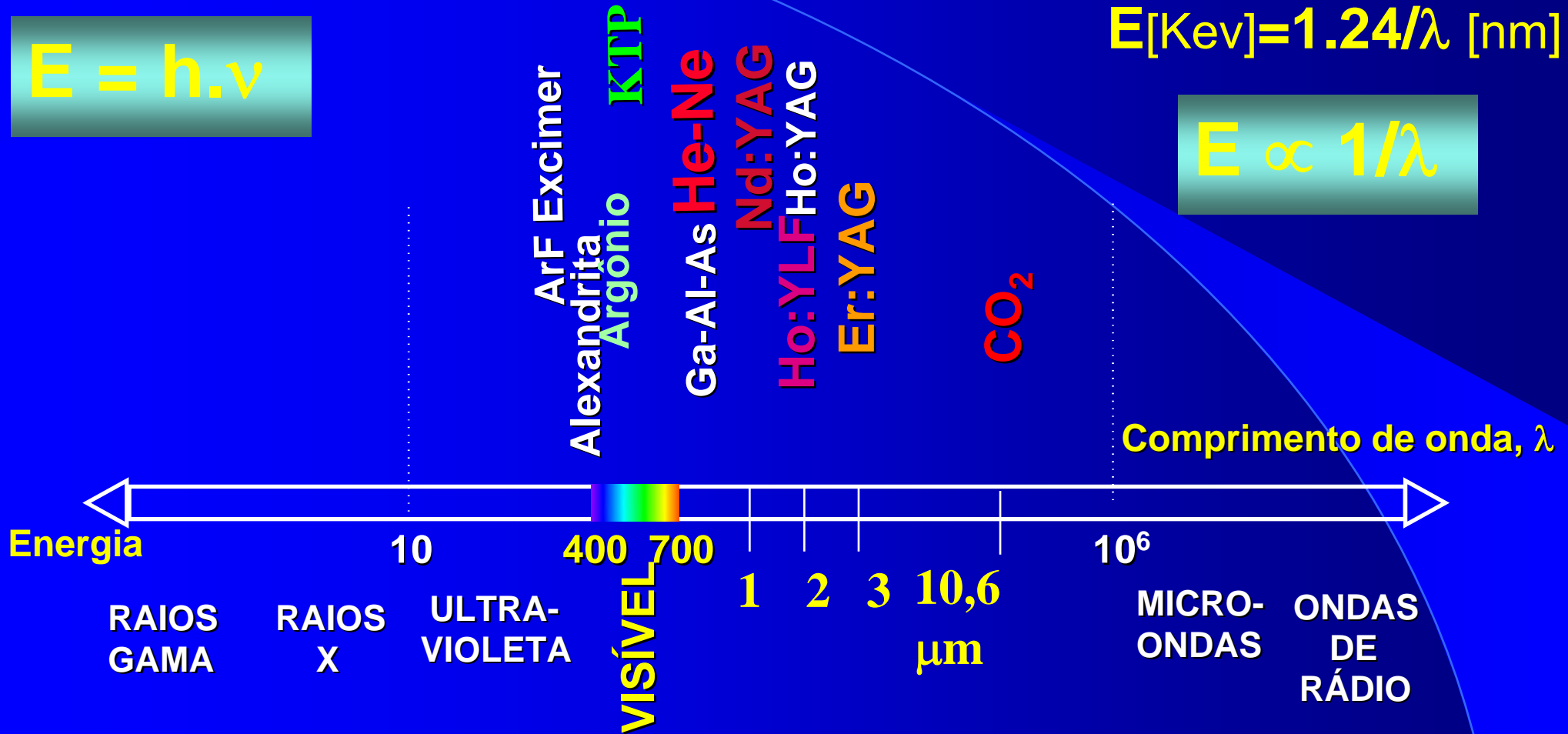
**FREQUÊNCIA (Hz)**  
**VELOCIDADE**

# Lasers em Ciências da Vida

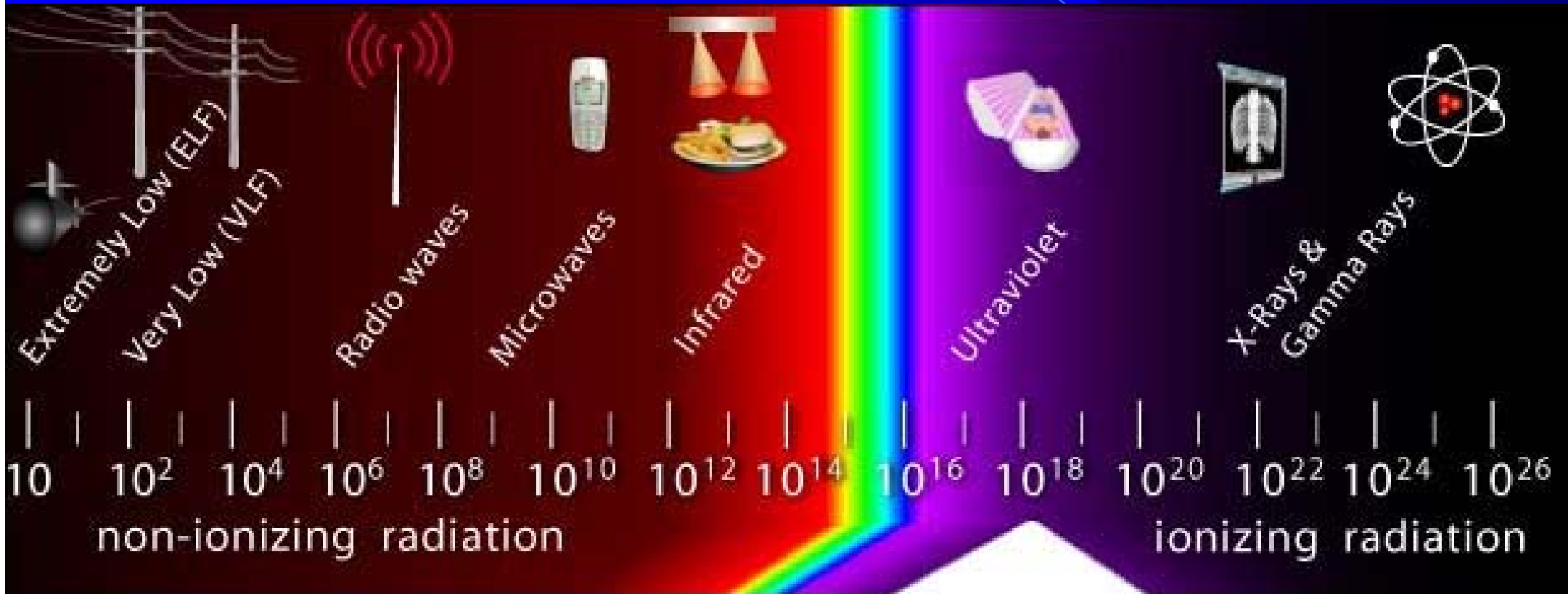
$$E = h \cdot \nu$$

$$E[\text{Kev}] = 1.24 / \lambda [\text{nm}]$$

$$E \propto 1/\lambda$$



# Espectro Eletromagnético



# Laser: radiação ionizante ou não?

- **RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE**

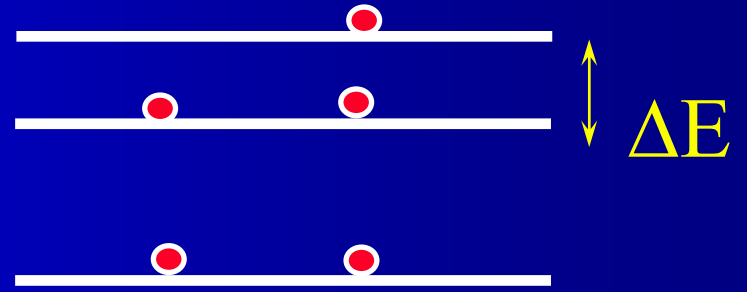
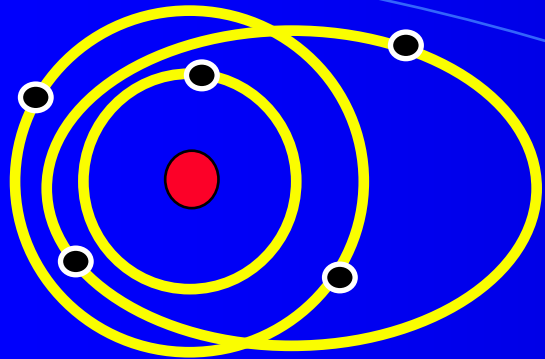
Não possui energia suficiente para remover elétrons e romper ligações químicas.

- **RADIAÇÃO IONIZANTE**

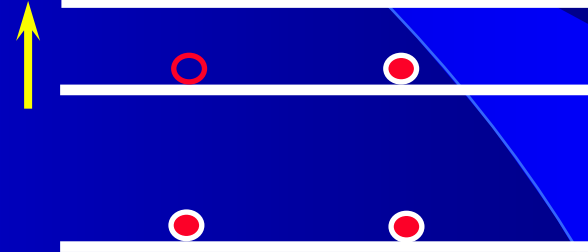
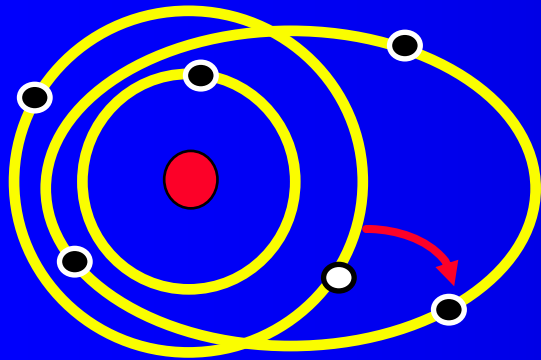
A energia de ionização para os elementos encontrados no tecido biológico encontram-se na faixa entre 3,5eV e 20eV.

# Valores de energia de fóton

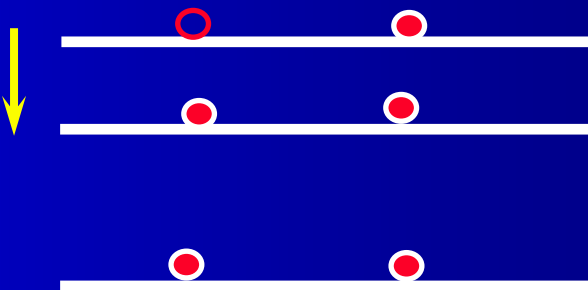
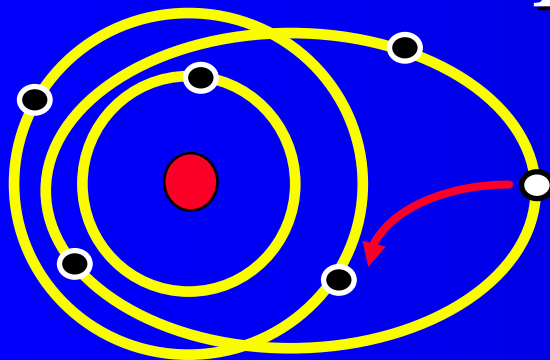
Tipo de laser	Comprimento de onda (nm)	Energia (eV)
ArF	193nm	6,42
Argônio	488nm	2,5
He-Ne	632nm	1,96
Ga-As-Al	790nm	1,57
Nd:YAG	1064nm	1,16
Ho:YLF	2065nm	0,6
Er:YAG	2940nm	0,422
CO <sub>2</sub>	10600nm	0,12



**Absorção  
Ressonante**



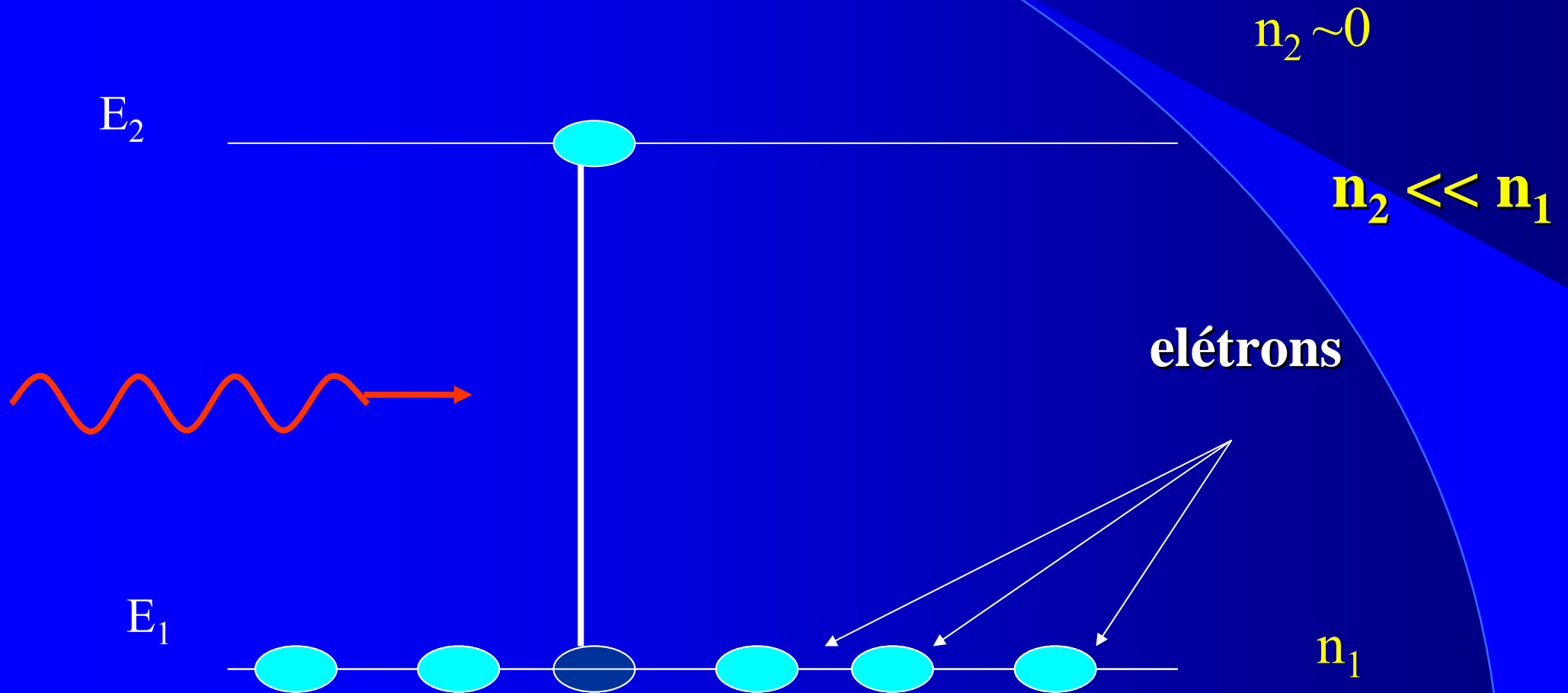
**Emissão  
espontânea**



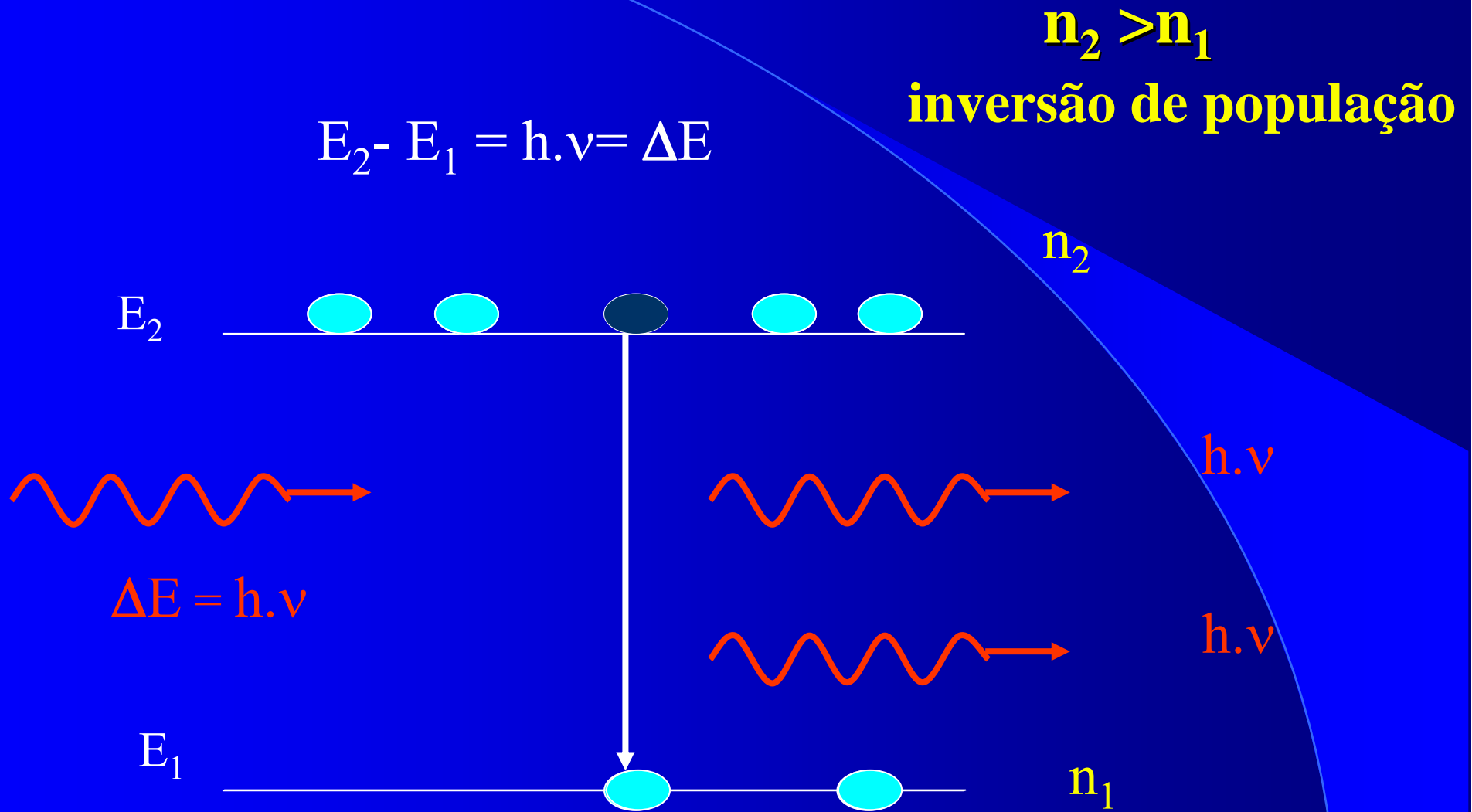
  
**Fóton**  
 $\lambda \propto \Delta E$

# ABSORÇÃO

$$E_2 - E_1 = h \cdot \nu = \Delta E$$

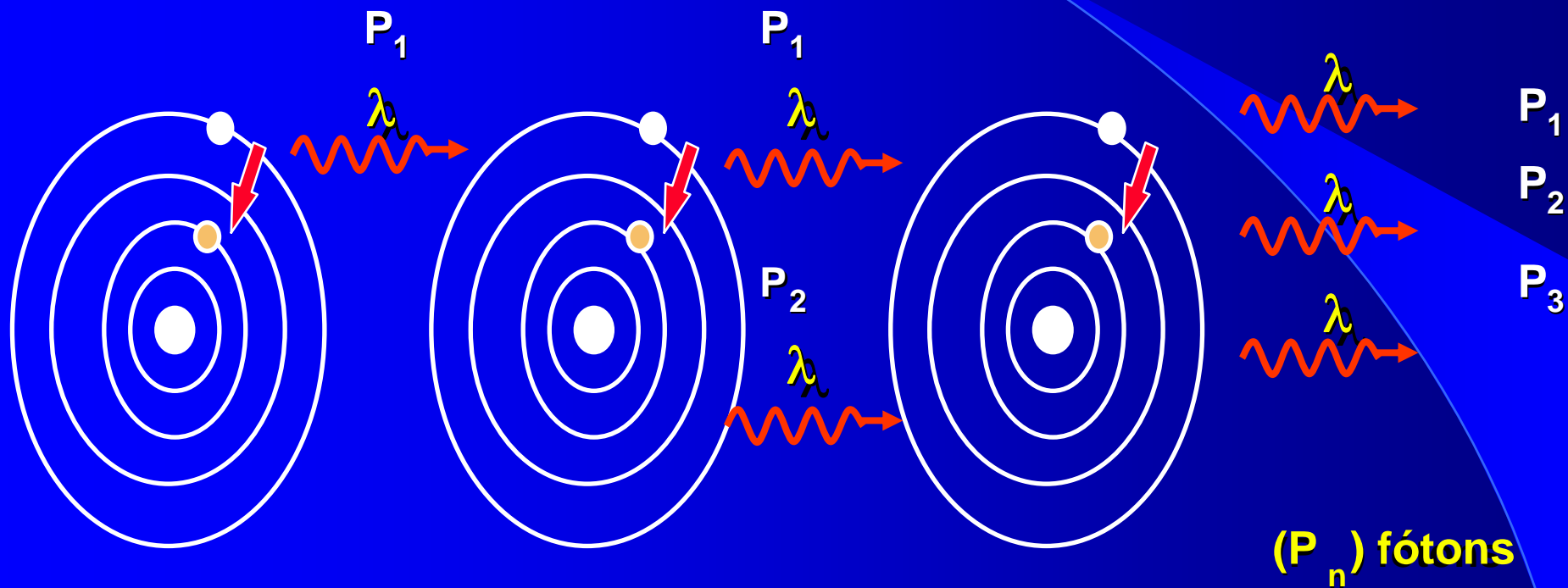


# EMISSÃO ESTIMULADA



Einstein em 1917 de emissão estimulada pela radiação

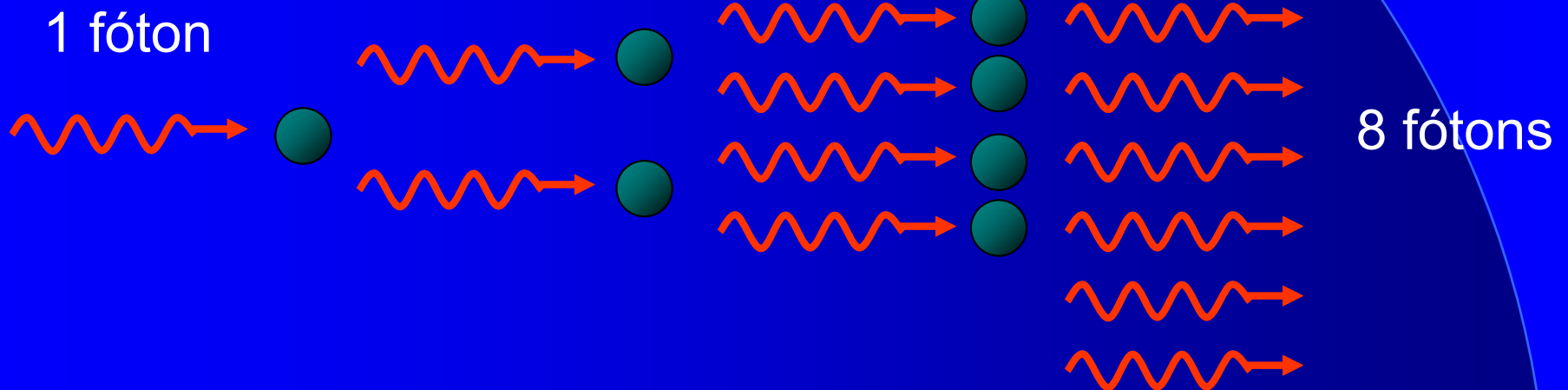
# EMISSÃO ESTIMULADA



# EMISSÃO ESTIMULADA

$I_{\text{trans.}} > I_{\text{inc}}$   
e a radiação é amplificada.

Light  
Amplification by  
Stimulated  
Emission of  
Radiation



## **Charles Townes (1954)**

- **MASER**

## **Schawlow & Townes (1958)**

- **MASER nas regiões do visível e infravermelho**

## **Theodore Maiman (1960)**

- **Cristal de Rubi**
- **Lâmpada de flash**

## **Kumar Patel – Bell Labs (1964)**

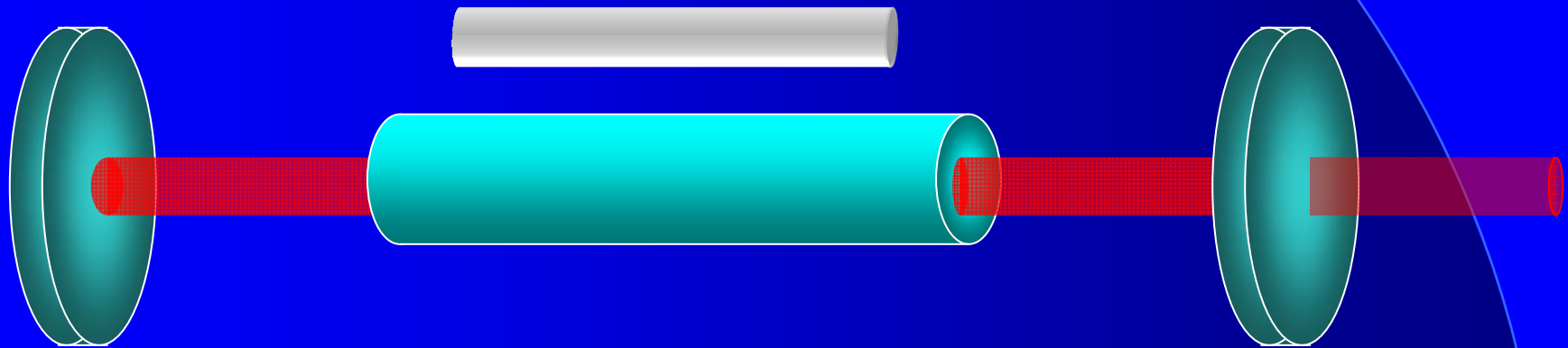
- **Laser de dióxido de carbônio (CO<sub>2</sub>)**

# LASER

Meio Ativo

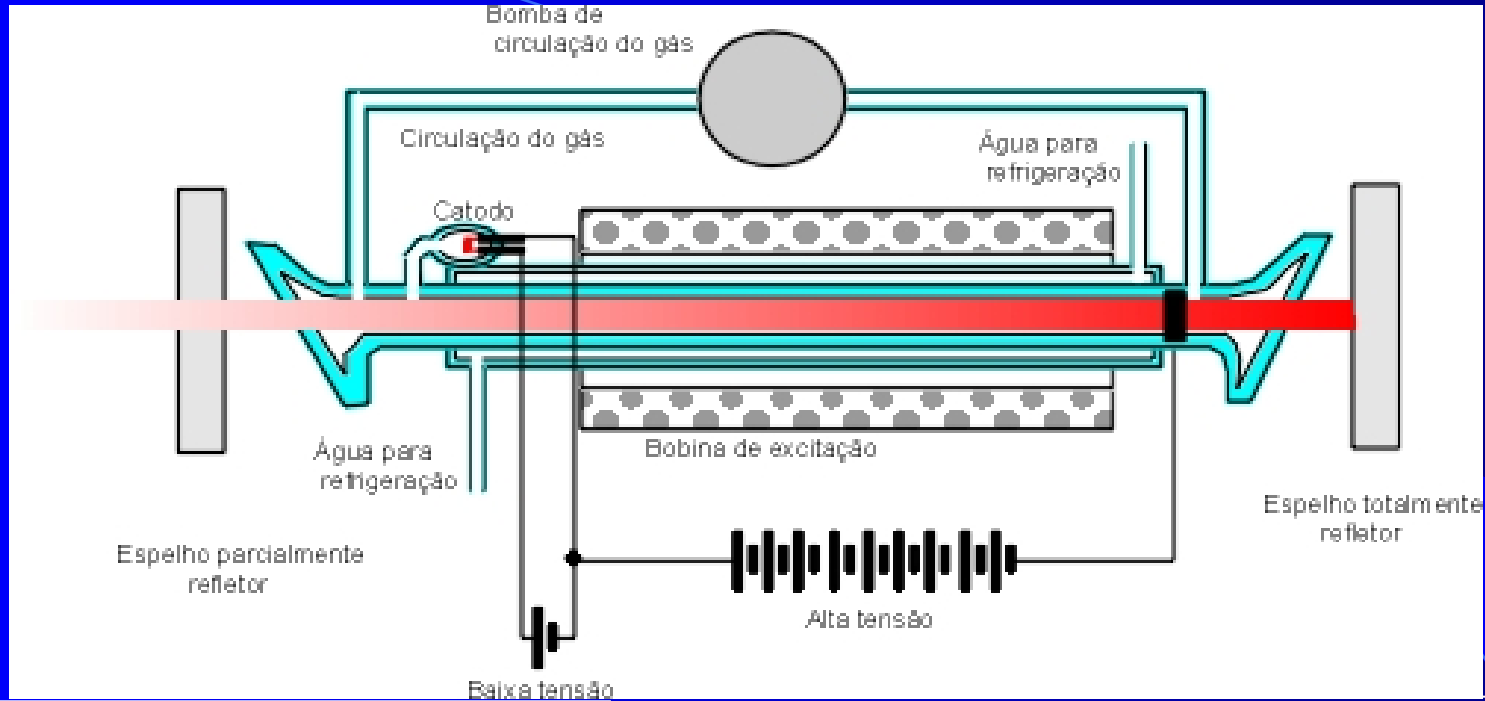
Sistema de Bombeio

Cavidade Ressonante

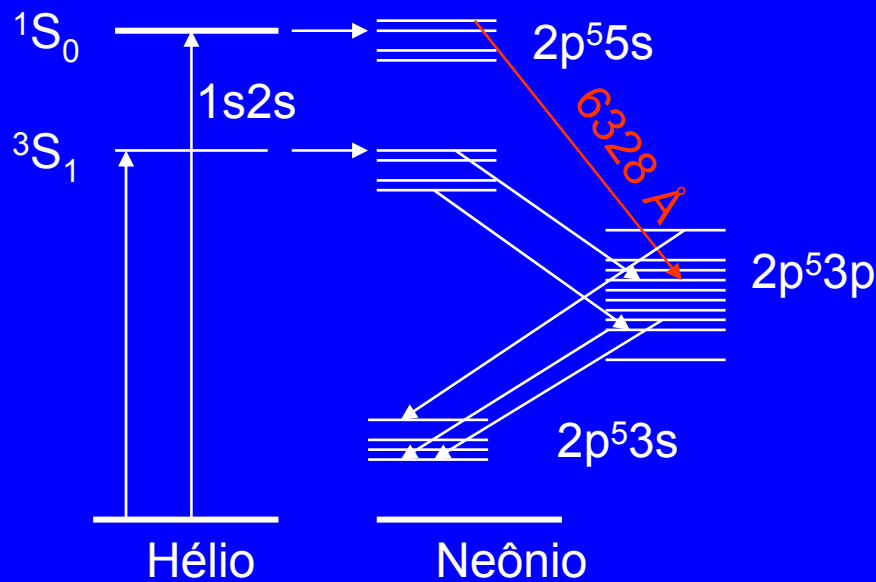


Radiação laser

# Gasoso

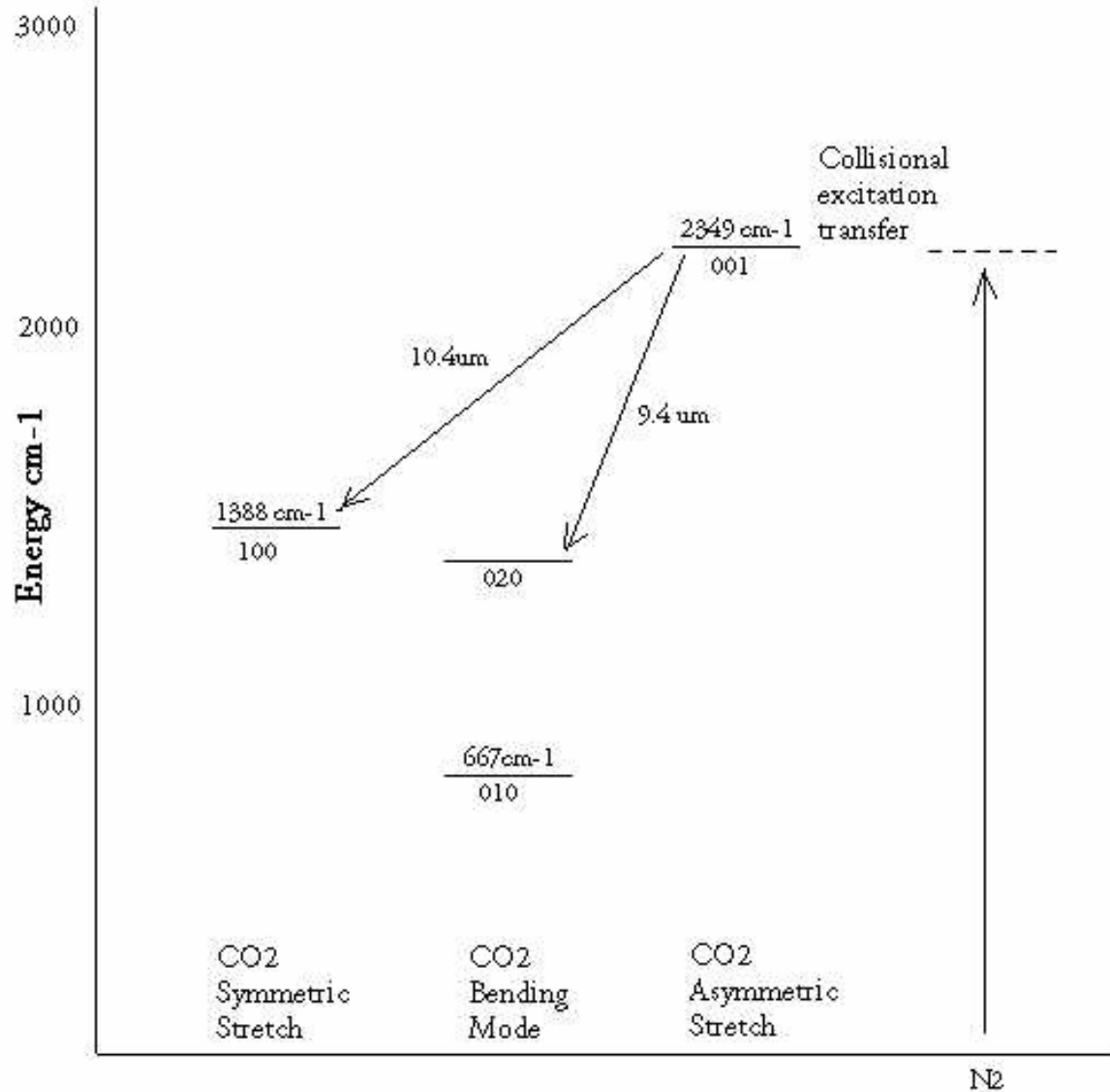


Gasoso

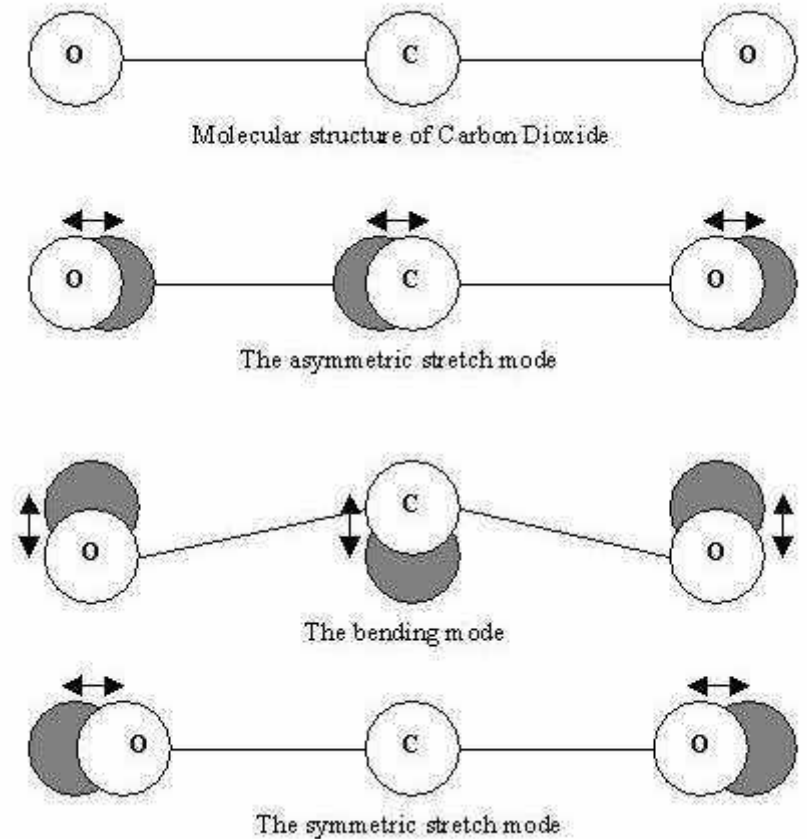


Região Espectral	Tipo	Comprimento de onda (nm)	
Ultravioleta	He-Cd	325,0	
	N <sub>2</sub>	337,1	
	Kr	350,7	356,4
	Ar	351,1	363,8
Visível	Ar	441,6	
	Kr	676,4	
	He-Ne	632,8	
Infravermelho	CO <sub>2</sub>	10,6	
	H <sub>2</sub> O	118,0	

# Níveis de energia do CO<sub>2</sub>



## modos vibracionais CO<sub>2</sub>



# Características da luz Laser

- Monocromático
- Coerência espacial
- Coerência temporal



Toda a radiação produzida pelo laser consiste de um único comprimento de onda

# Características da luz Laser

- Monocromático
- Coerência espacial
- Coerência temporal

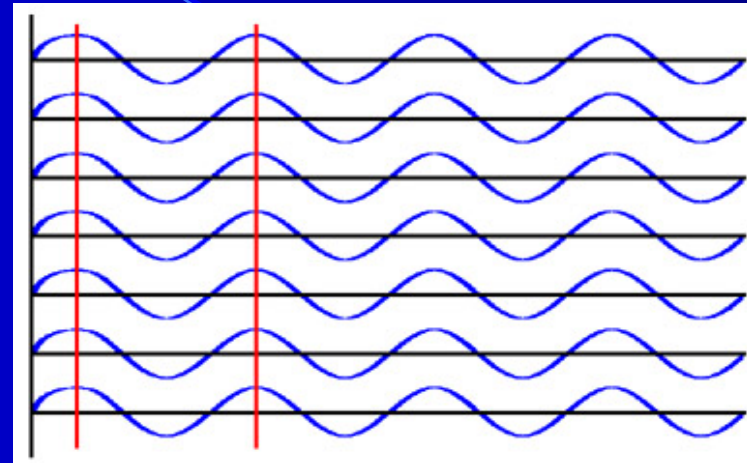


Um feixe produzido por um a laser tem uma divergência muito pequena. Assim pode manter uma alta intensidade do feixe mesmo após longas distâncias.

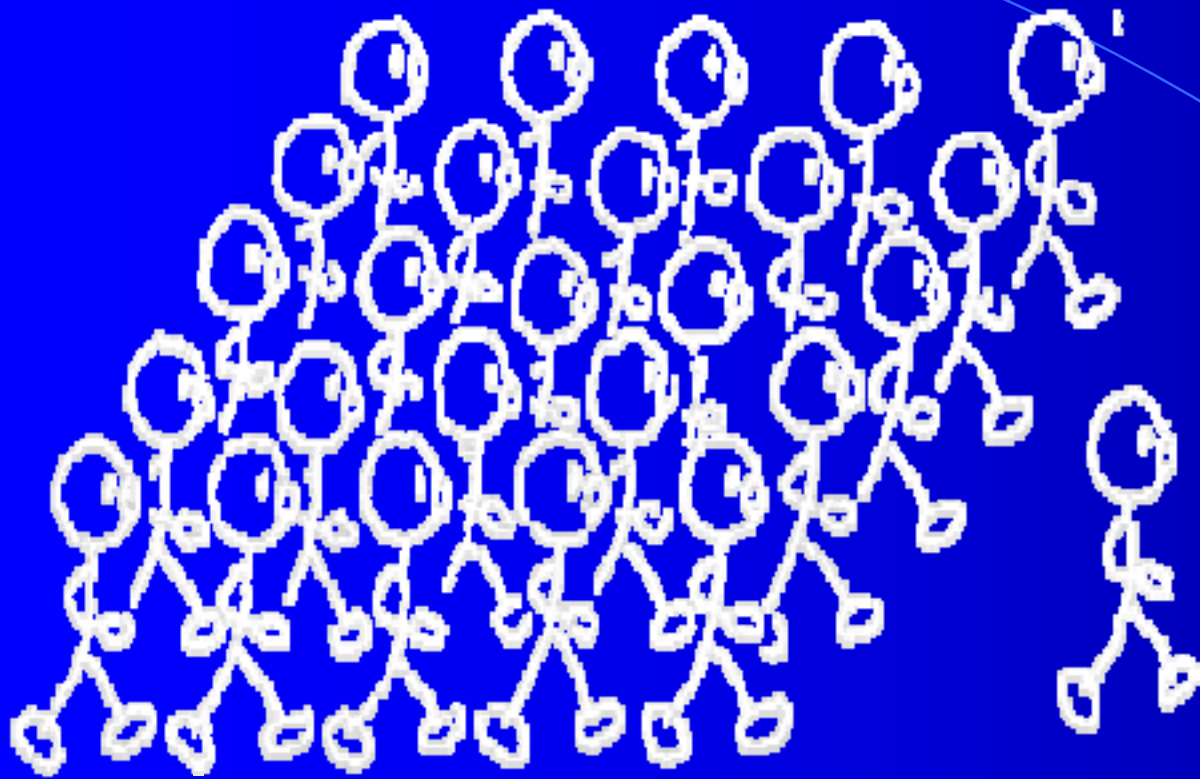
Permite boa focalização.

# Características da luz Laser

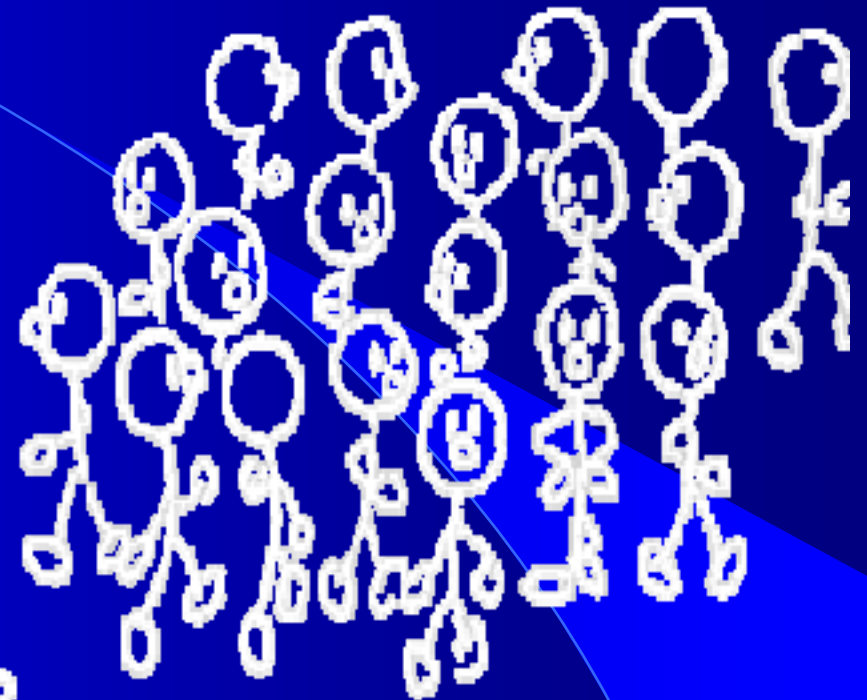
- Monocromático
- Coerência espacial
- Coerência temporal



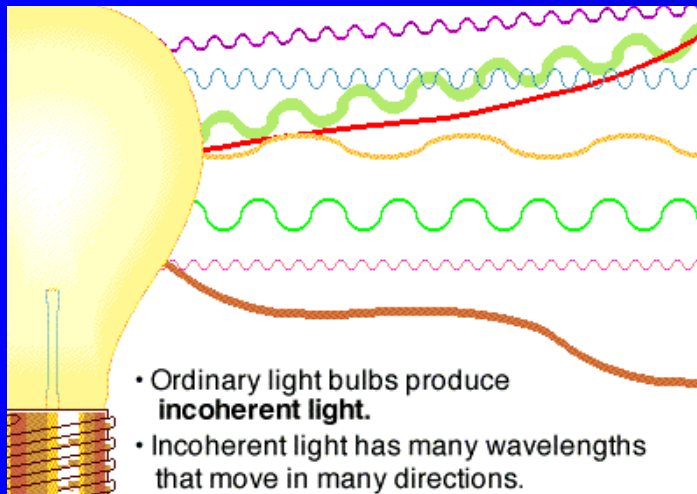
As ondas da radiação laser estão todas em fase entre si



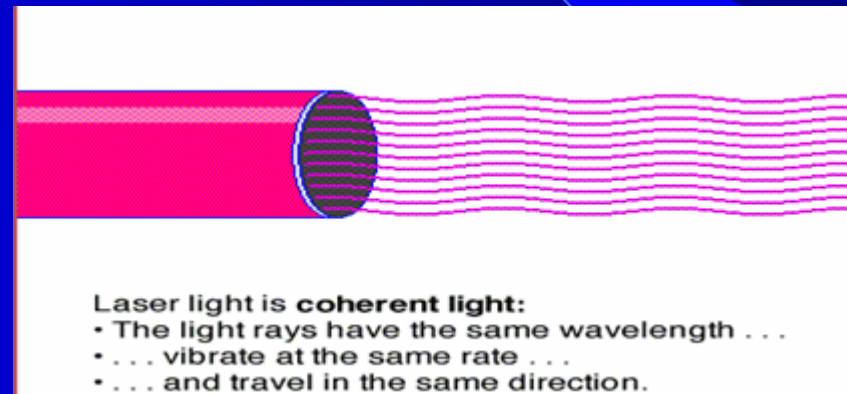
COERÊNCIA



INCOERÊNCIA

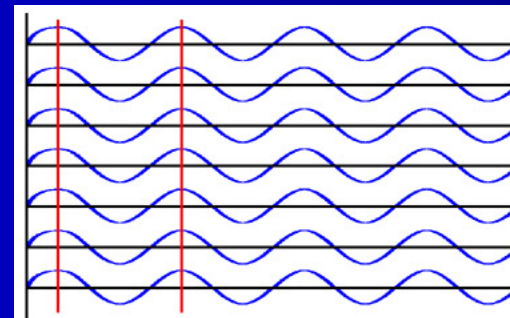


**Luz comum: vários comprimentos de onda, sem coincidência de fase, não direcional**



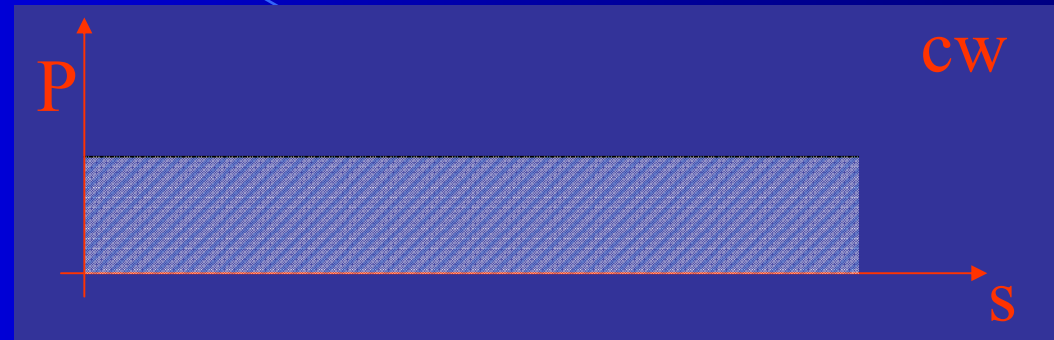
**Luz laser** →

**monocromática, direcional, fótons em fase**



# Regimes de Operação

## •Emissão Contínua



largura de pulso típica [s]

## •Emissão Pulsada

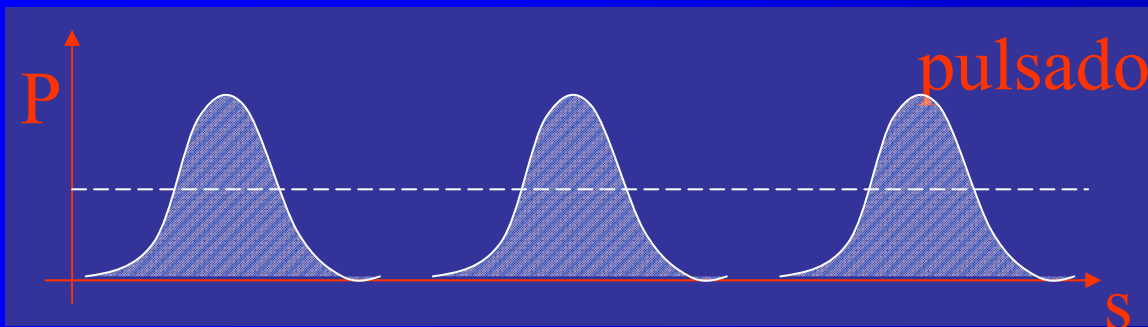
Q-Switched

Mode-Locked

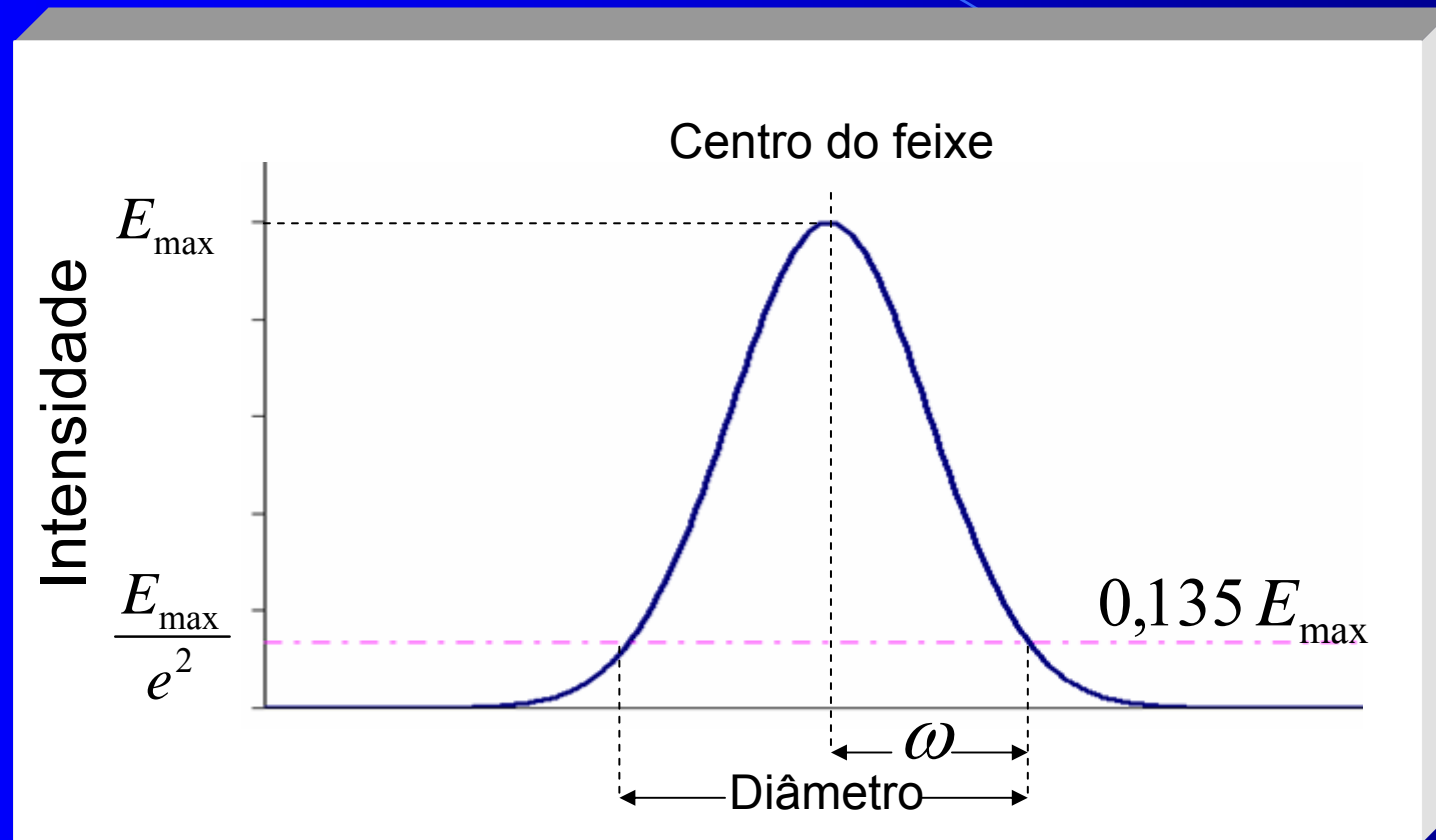
ms –  $\mu$ s (CO<sub>2</sub> – diodo ~ 10)

$\mu$ s – ns (Nd:YAG)

ps – fs (Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

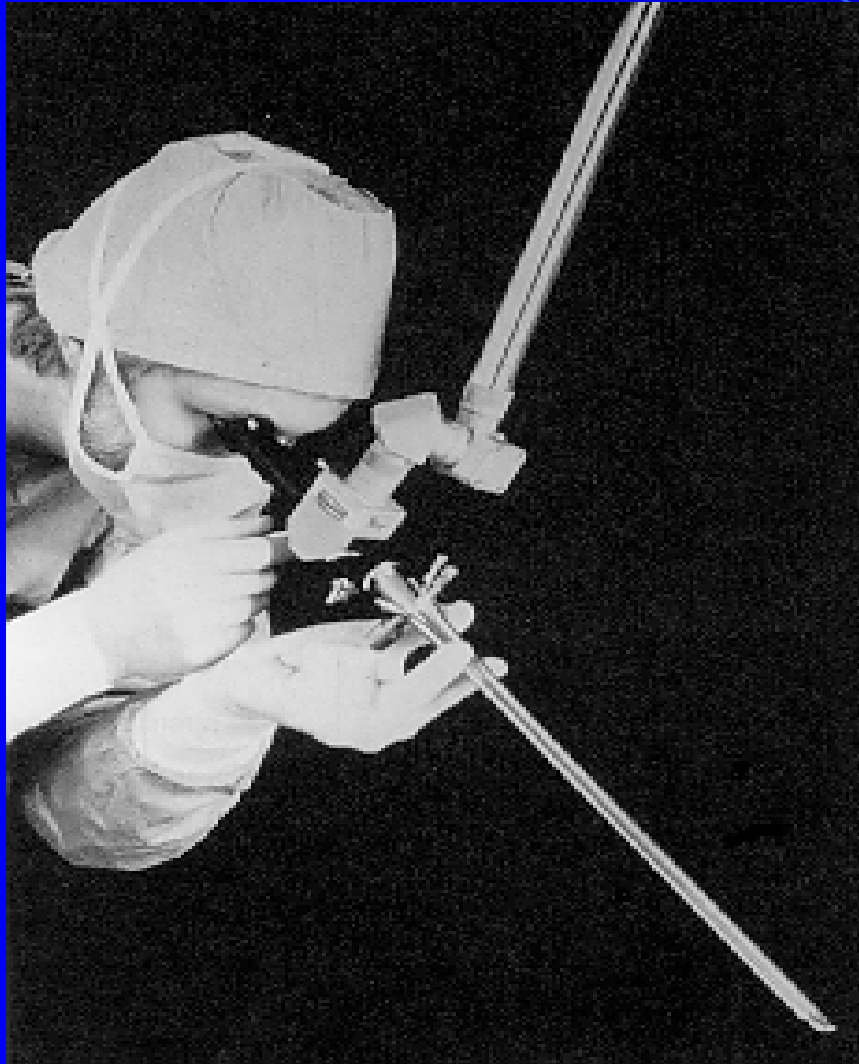


# Perfil gaussiano de um feixe laser



# Sistemas de entrega de feixe

- **Fibras Ópticas (Sílica-Quartzo, Safira)**
  - com contacto,
  - fibroscópios com sistema de visualização
- **Guia de Onda Oco**
  - tubos flexíveis com superfície interna refletora
- **Braço Articulado**
- **Endoscópio**



**Endoscópio rígido  
acoplado a microscópio**

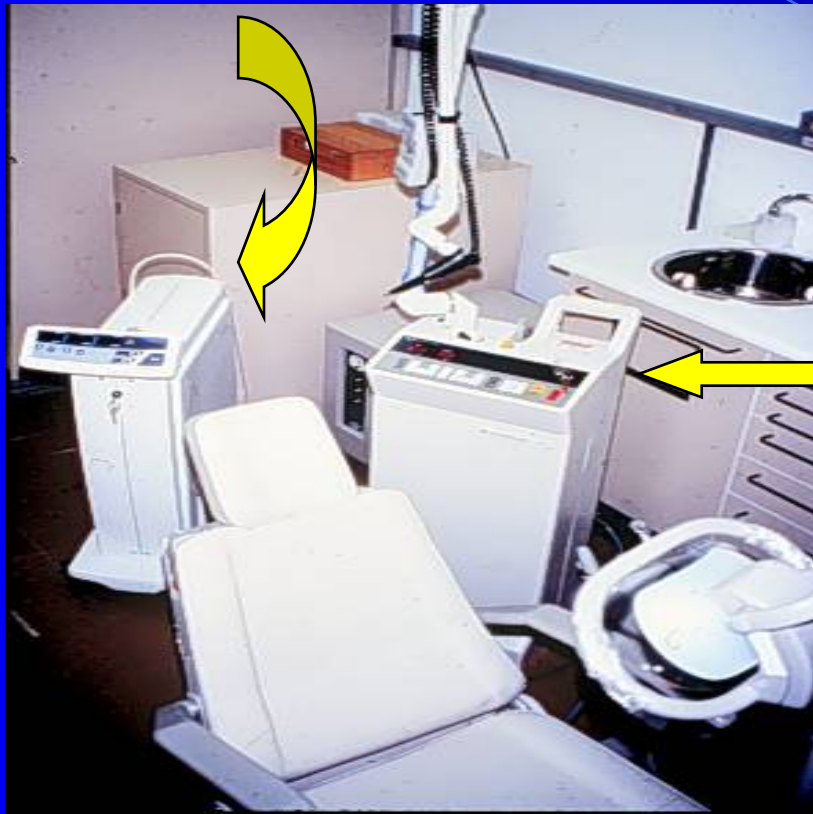
Sharplan

CO<sub>2</sub>

laser



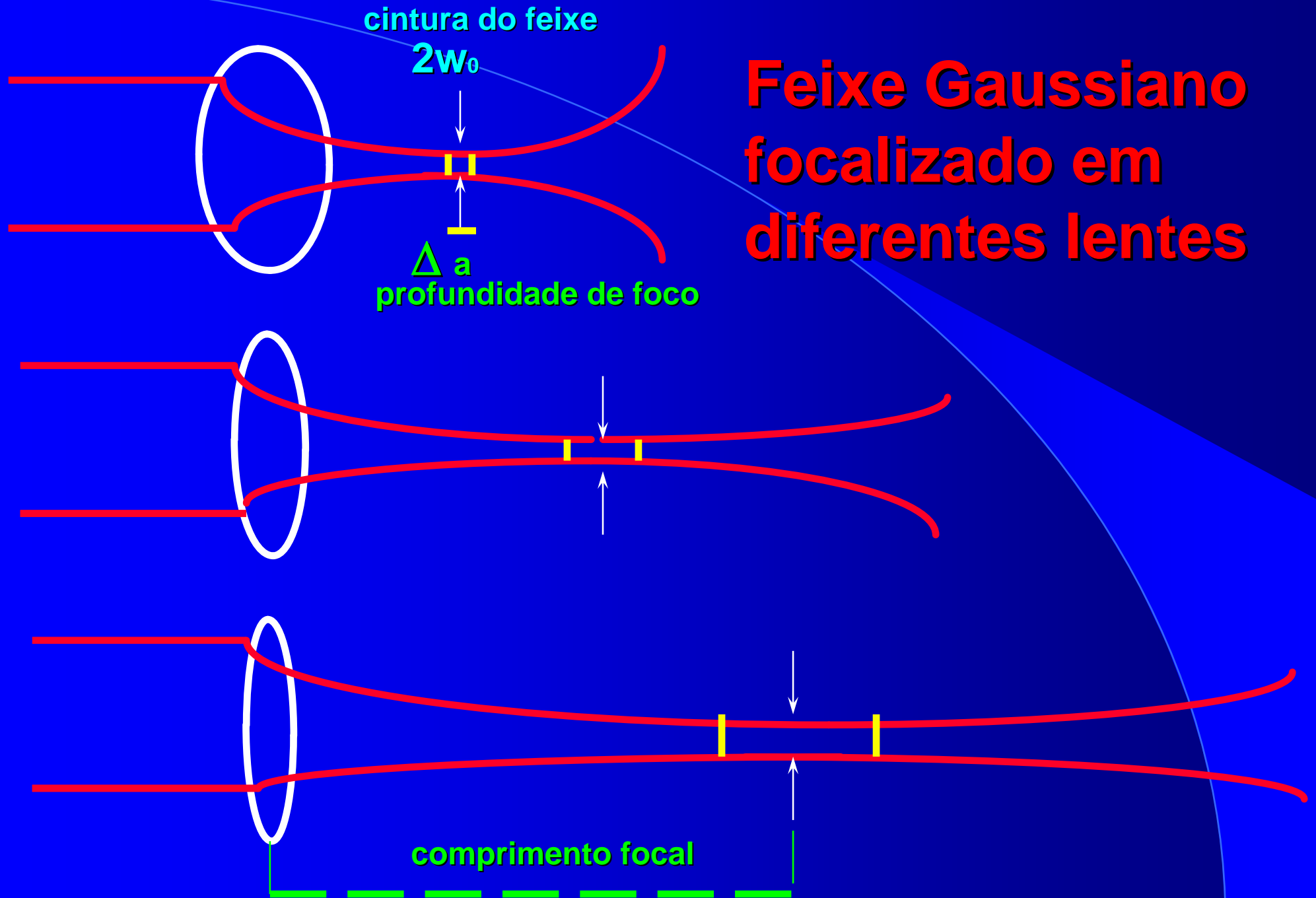
# Laser de Neodímio



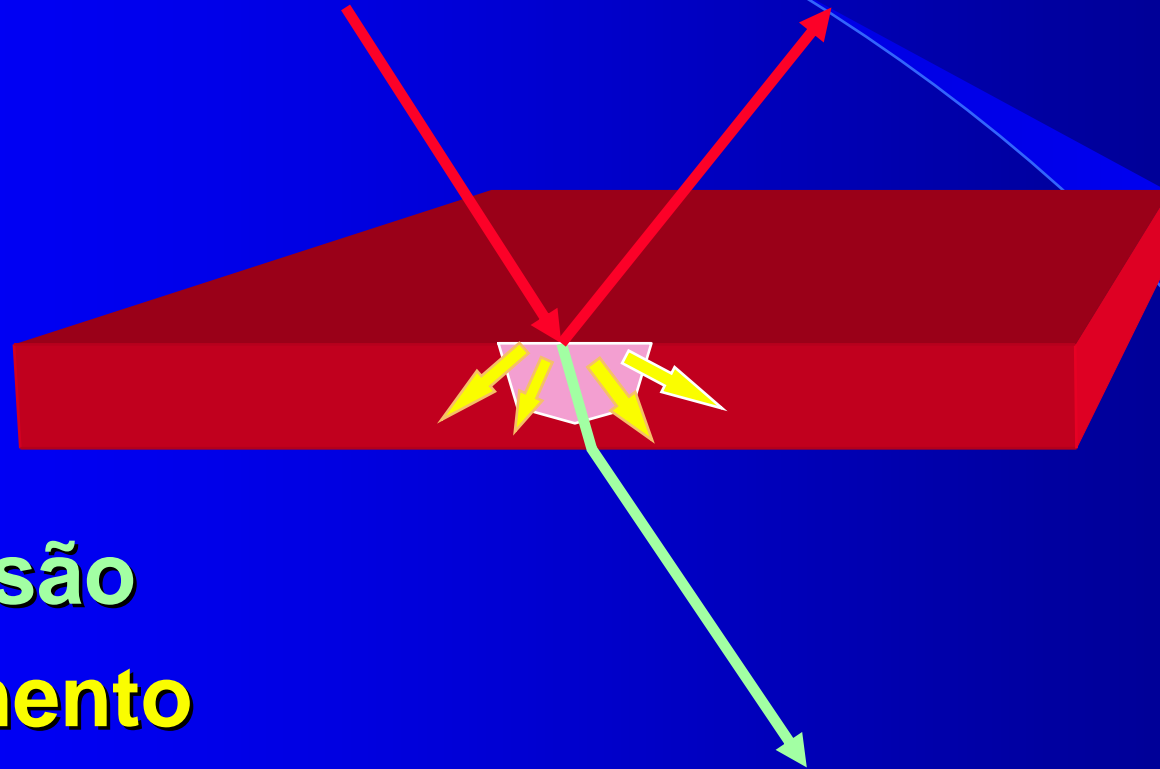
Lasers  
de  
CO<sub>2</sub>



# Feixe Gaussiano focalizado em diferentes lentes

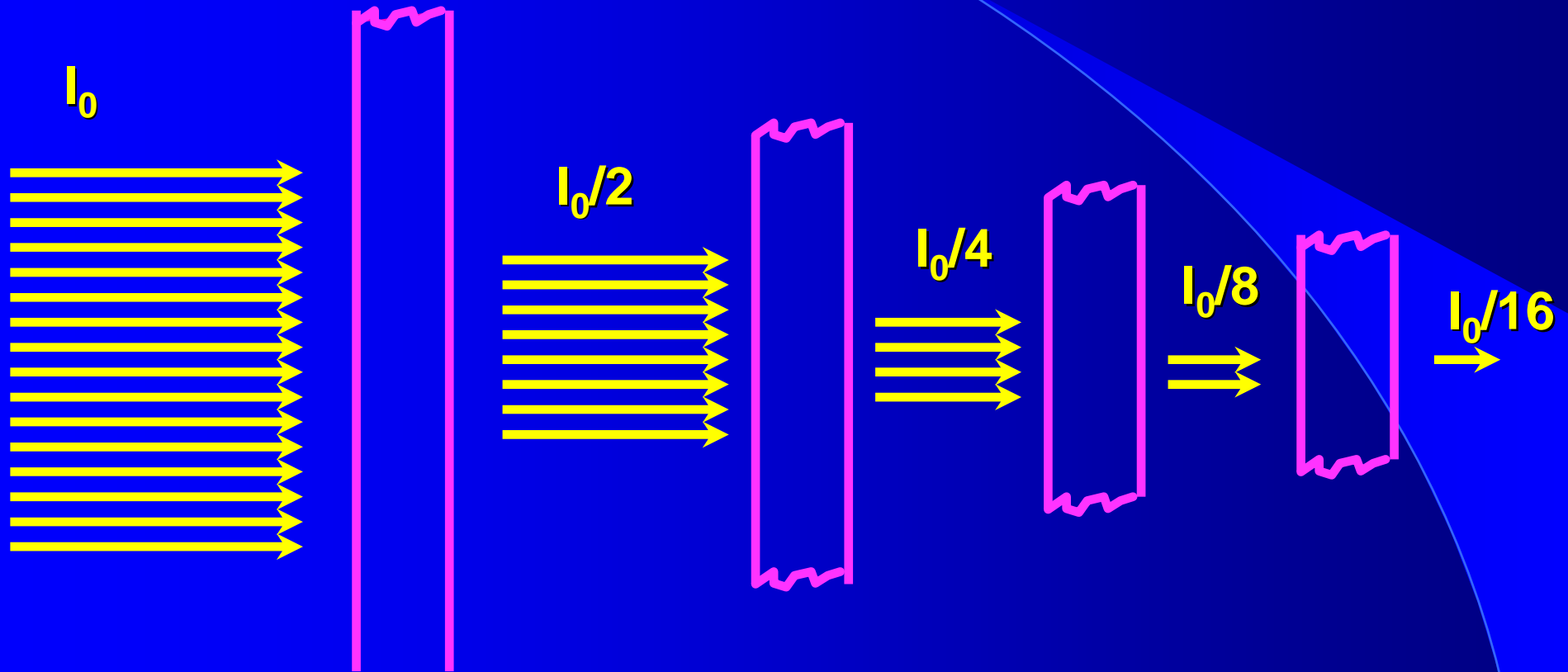


# INTERAÇÃO DA LUZ LASER COM A MATÉRIA



- .Transmissão
- .Espalhamento
- .Absorção
- .Reflexão

# Atenuação de um feixe laser durante a absorção



$$\text{Fração absorvida} = (I_{\text{saída}} - I_{\text{entrada}}) / I_{\text{entrada}}$$

# Absorção

- A absorção é devido à conversão parcial de energia luminosa em calor ou certa vibração das moléculas no material absorvedor.

- A propriedade de transparência ou opacidade dependem do comprimento de onda.

Ex. A córnea é transparente no visível e absorvedora no UV

- Absorção seletiva:

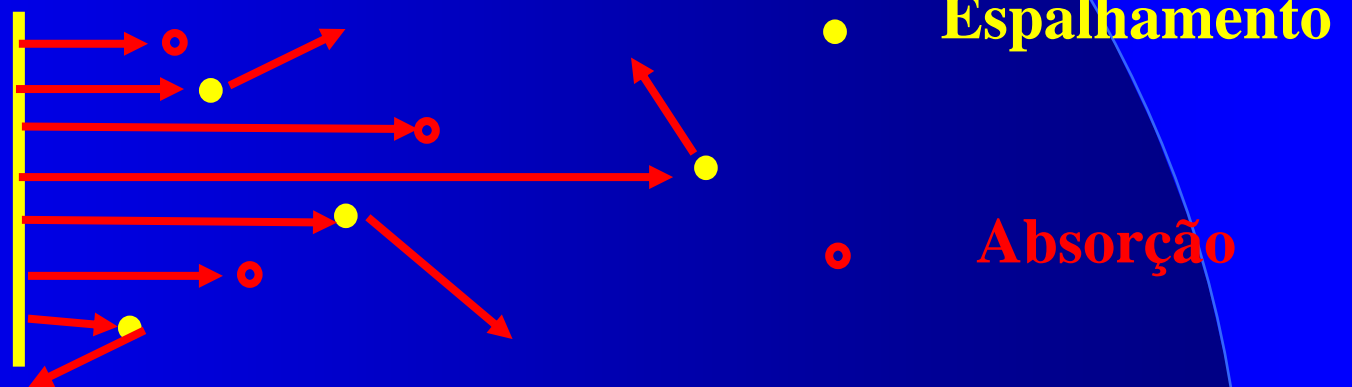
- Superfícies coloridas (reflectância  $[\lambda]$ )

- Corpos de luz (gerados por luz que penetra e é retroespalhada)

# Espalhamento

- O espalhamento no tecido limita a penetração da radiação.
- Permite que os fótons atinjam regiões distantes do ponto de aplicação.

**Ex.** Para o comprimento de onda de  $1 \mu\text{m}$ , em tecidos moles, o espalhamento limita a profundidade de penetração a uns poucos milímetros.



**Dcaimento de intensidade de um feixe colimado**

**O grau de espalhamento depende do comprimento de onda do laser e das propriedades ópticas do tecido.**

**Para os comprimentos de onda UV (190 -300nm)**

**- IR (2 - 10  $\mu\text{m}$ ), a profundidade de penetração no tecido está entre 1 e 20  $\mu\text{m}$ . (abs >> espalhamento)**

**Para os comprimentos de onda entre**

**- 450 e 590 nm, a profundidade de penetração no tecido está entre 0,5 - 2,5 mm. (abs ~ espalhamento)**

**Para os comprimentos de onda entre**

**- 590 e 1,5  $\mu\text{m}$ , a profundidade de penetração no tecido está entre 2 - 8 mm. (abs << espalhamento) (cuidado com o aquecimento de estruturas distantes, perigoso!)**

# Mecanismos de Interação Laser-tecido

- **Tecido:**

- **propriedades ópticas**

- (coeficientes de reflexão, absorção e espalhamento)

- **propriedades térmicas**

- (condutividade térmica e capacidade térmica)

- **Radiação laser:**

- **comprimento de onda**

- **energia aplicada**

- **potência de pico**

- **área focalizada**

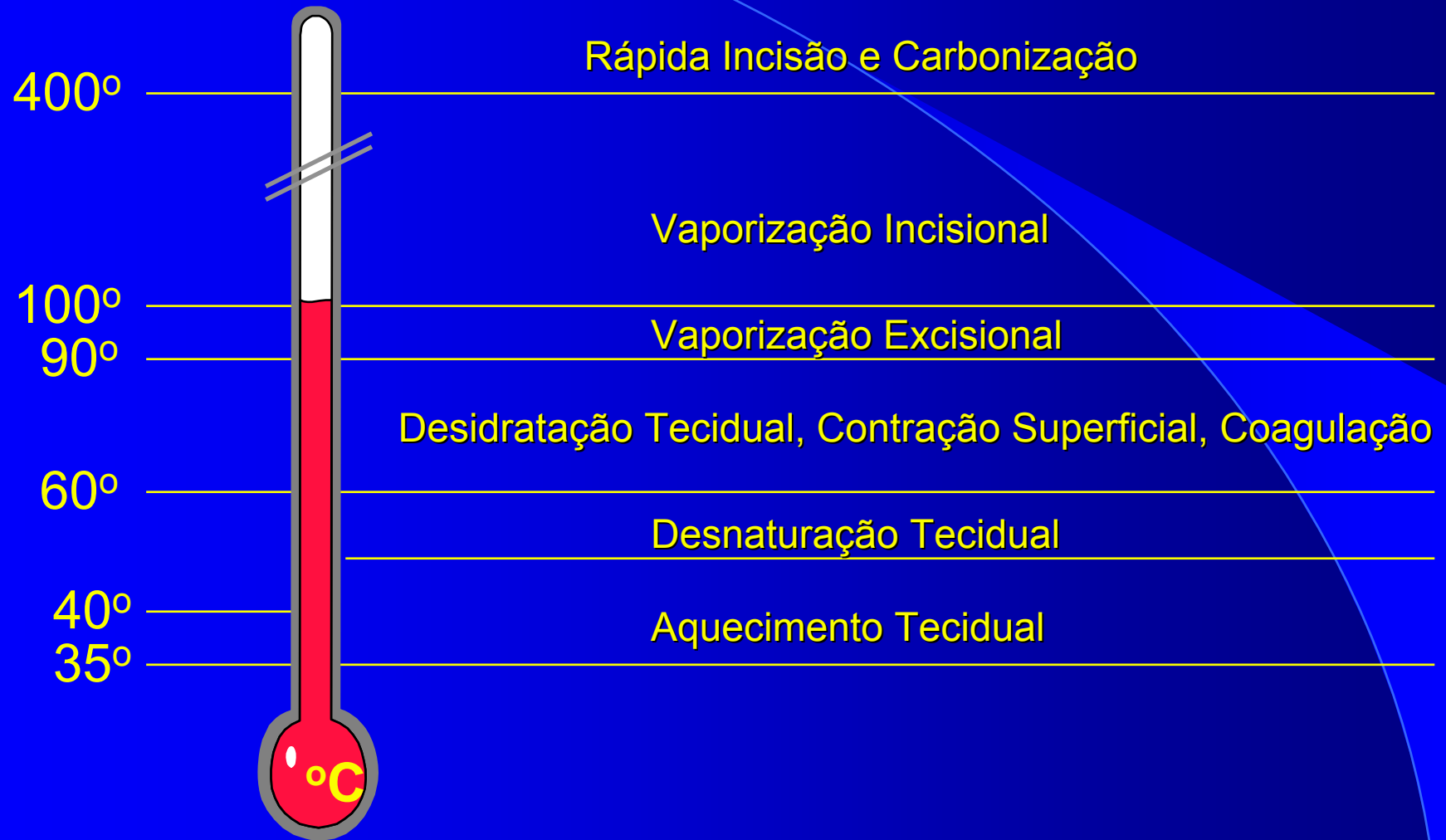
- (densidades de energia e de potência)

- **tempo de exposição**

# Mecanismos de Interação Laser-tecido



# Efeitos Térmicos em tecidos moles



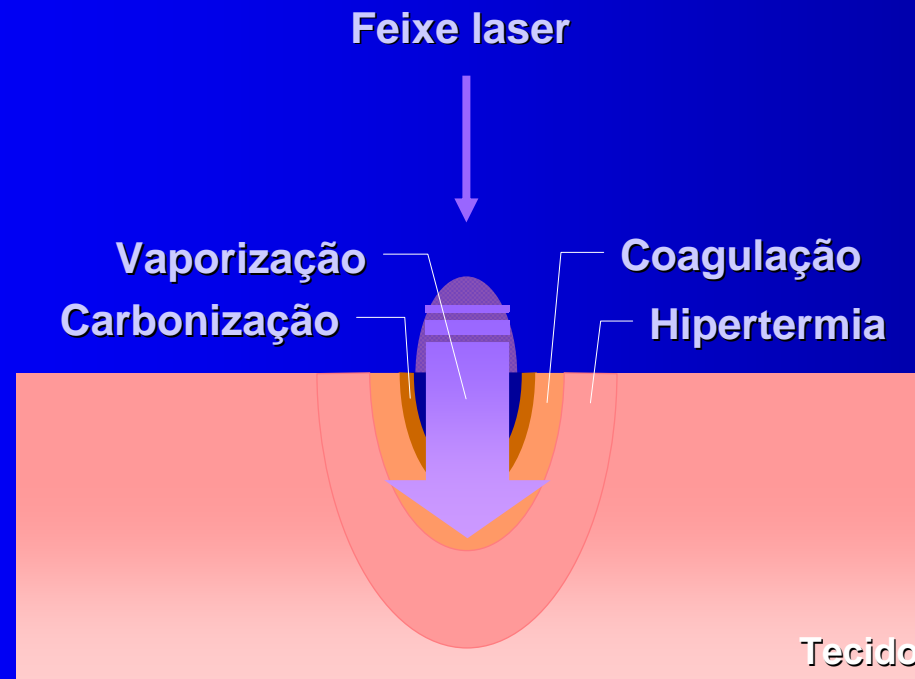
# INTERAÇÕES TÉRMICAS

## Efeitos térmicos

Regra geral (radiação laser) :

- intensidades acima de  $10 \text{ W / cm}^2$
- radiação contínua (CW) ou com duração de pulsos acima de aproximadamente  $1 \mu\text{s}$

Disposição dos efeitos térmicos dentro do tecido :



# Definições e conceitos

- **Potência Radiante (P)** (potência)
- Radiância
- Energia Radiante
- Exposição radiante

Unidade (S.I) (Watt) W

Potência emitida, transferida ou recebida numa forma de radiação, fluxo de energia (J/s)

# Definições e conceitos

- Potência Radiante
- **Radiância (E)** (densidade de potência - Intensidade)
- Energia Radiante
- Exposição radiante

Unidade (S.I)  $\frac{W}{m^2}$

Fluxo de energia incidente sobre uma determinada área

Grandeza física que avalia a possibilidade de dano microtérmico

# Definições e conceitos

- Potência Radiante
- Radiância
- Energia Radiante ( $Q$ ) (energia) Unidade (S.I) (Joule) J
- Exposição radiante

Tempo integral do fluxo radiante sobre um intervalo de tempo

# Definições e conceitos

- Potência Radiante
- Radiância
- Energia Radiante
- **Exposição radiante (H)**  
(densidade de energia - fluência)

Unidade (S.I)  $\frac{\text{J}}{\text{m}^2}$

Quantidade de energia incidente em uma determinada área

Grandeza física que avalia a possibilidade de inibição de efeitos

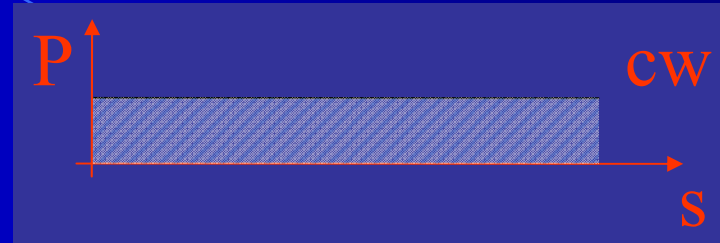
$$\text{fluência (J/cm}^2\text{)} = \frac{E \text{ (J)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$I \text{ (W/cm}^2\text{)} = \frac{P \text{ (W)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

# Definições e conceitos

Laser de Potência  $P = 10 \text{ W c.w.}$

Diâmetro do feixe  $d = 3 \text{ mm}$



Radiância  $E = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{10}{\pi(1,5 \times 10^{-3})^2} = 1,41 \times 10^6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1,41 \frac{\text{MW}}{\text{m}^2}$   
(Intensidade)

Energia radiante em  $1,0 \text{ s}$   $Q = P \cdot \Delta t = 10 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 10 \text{ J}$

Exposição radiante  $H = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{10}{\pi(1,5 \times 10^{-3})^2} = 1,41 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$   
(Fluência)

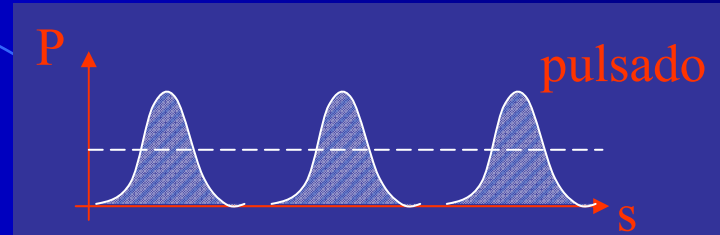
# Definições e conceitos

Energia por pulso  $Q = 100 \text{ mJ}$

Largura do pulso  $\tau = 20 \text{ ns}$

Frequência  $f = 10 \text{ Hz}$

Diâmetro do feixe  $d = 3 \text{ mm}$



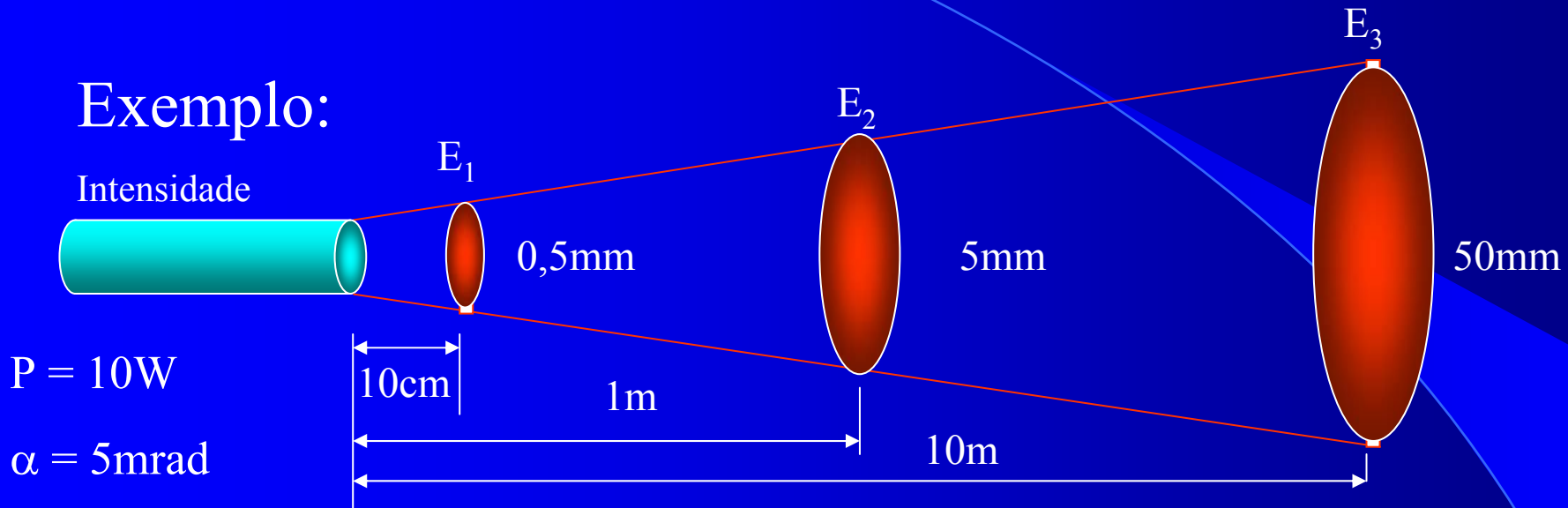
Potência média  $\longrightarrow \langle P \rangle = Q \cdot f = 100 \text{ mJ} \cdot 10 \text{ Hz} = 1 \text{ W}$

Radiância  $\longrightarrow E = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{1,0}{\pi(1,5 \times 10^{-3})^2} = 1,4 \frac{\text{MW}}{\text{m}^2}$   
(Intensidade)

Exposição radiante  $\longrightarrow H = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{\pi(1,5 \cdot 10^{-3})^2} = 14,1 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$   
(Fluência)

# Definições e conceitos

Exemplo:



$$E_1 = \frac{P}{A} = \frac{10W}{\pi(0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 12,7 MW/m^2$$

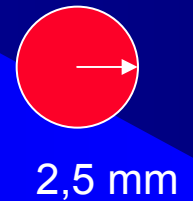
$$E_2 = \frac{P}{A} = \frac{10W}{\pi(5 \cdot 10^{-3})^2} = 127 kW/m^2$$

$$E_3 = \frac{P}{A} = \frac{10W}{\pi(50 \cdot 10^{-3})^2} = 1,27 kW/m^2$$

Exemplo: Calcular da densidade de energia, potência pico e potência média, de um laser pulsado de Nd:YAG emitindo 100 mJ de energia por pulso, com largura temporal de 100  $\mu$ s e frequência de 10 Hz. Sabendo-se que a área iluminada é de 0,2 cm<sup>2</sup> (raio ~ 2,5 mm)

Densidade de energia  
(fluência)

$$H = \frac{E}{A} = \frac{100 \text{ mJ}}{0,2 \text{ cm}^2} = 0,5 \frac{\text{J}}{\text{cm}^2}$$



Potência pico

$$P_p = \frac{E}{\Delta t} = \frac{100 \text{ mJ}}{100 \mu\text{s}} = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$$

Potência média

$$\langle P \rangle = \frac{E}{\frac{1}{f}} = E \cdot f = 100 \text{ mJ} \cdot 10 \text{ Hz} = 1 \text{ W}$$

Arthur Schawlow puts the laser to use



## 1961: First laser medical treatments

*“In December 1961 the Columbia-Presbyterian Hospital used a laser on a human patient for the first time, destroying a retinal tumor with the American Optical [ruby laser] photocoagulator.”*

Joan Lisa Bromberg

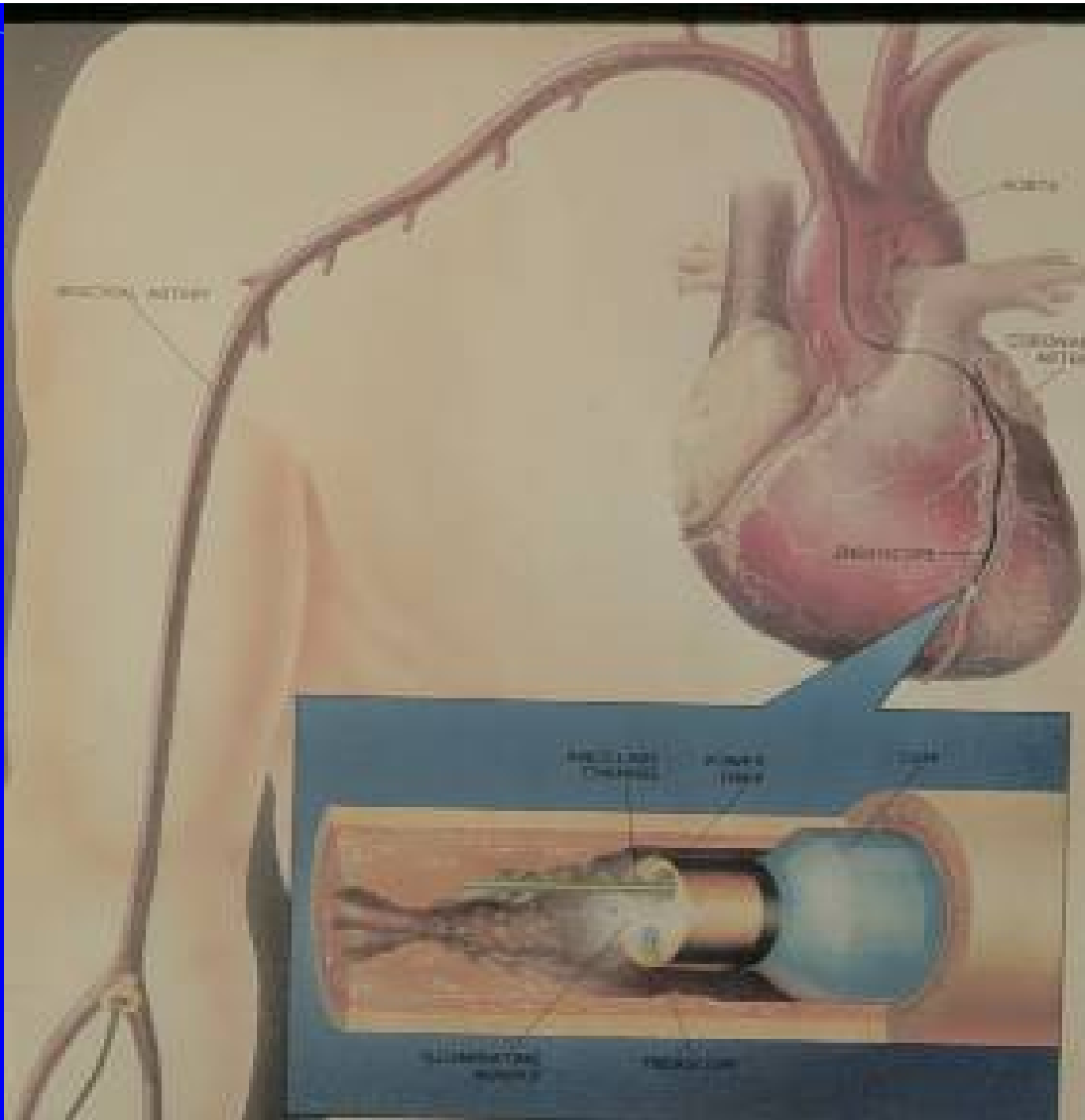
**The Laser in America, 1950—1979**

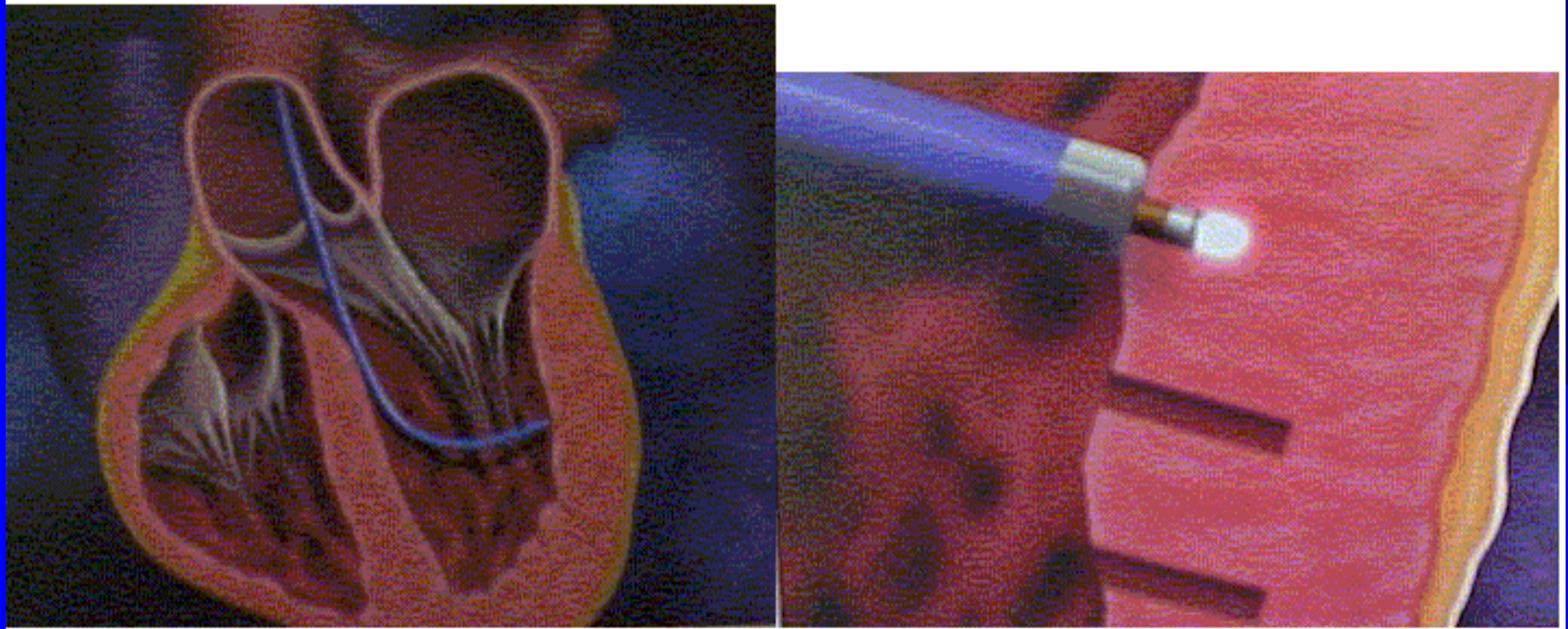
Laser History Project / MIT Press, 1991

# Aplicações de lasers em ciências da vida

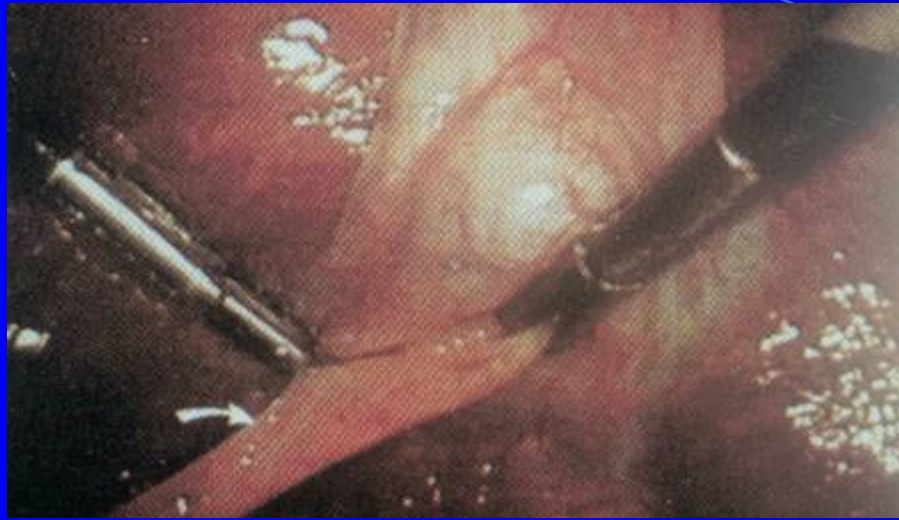


Excimer  
ou  
Ho



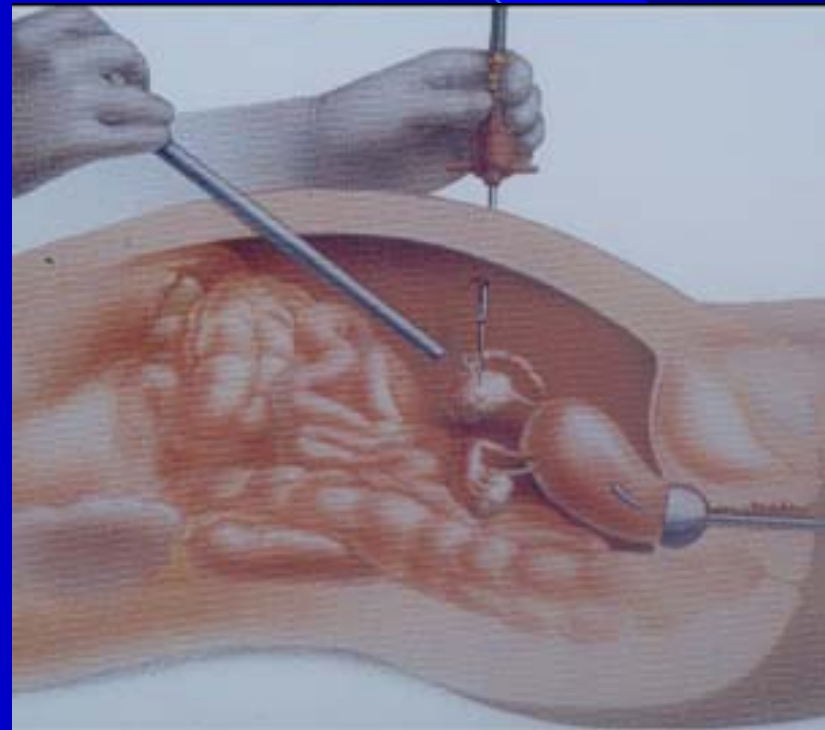


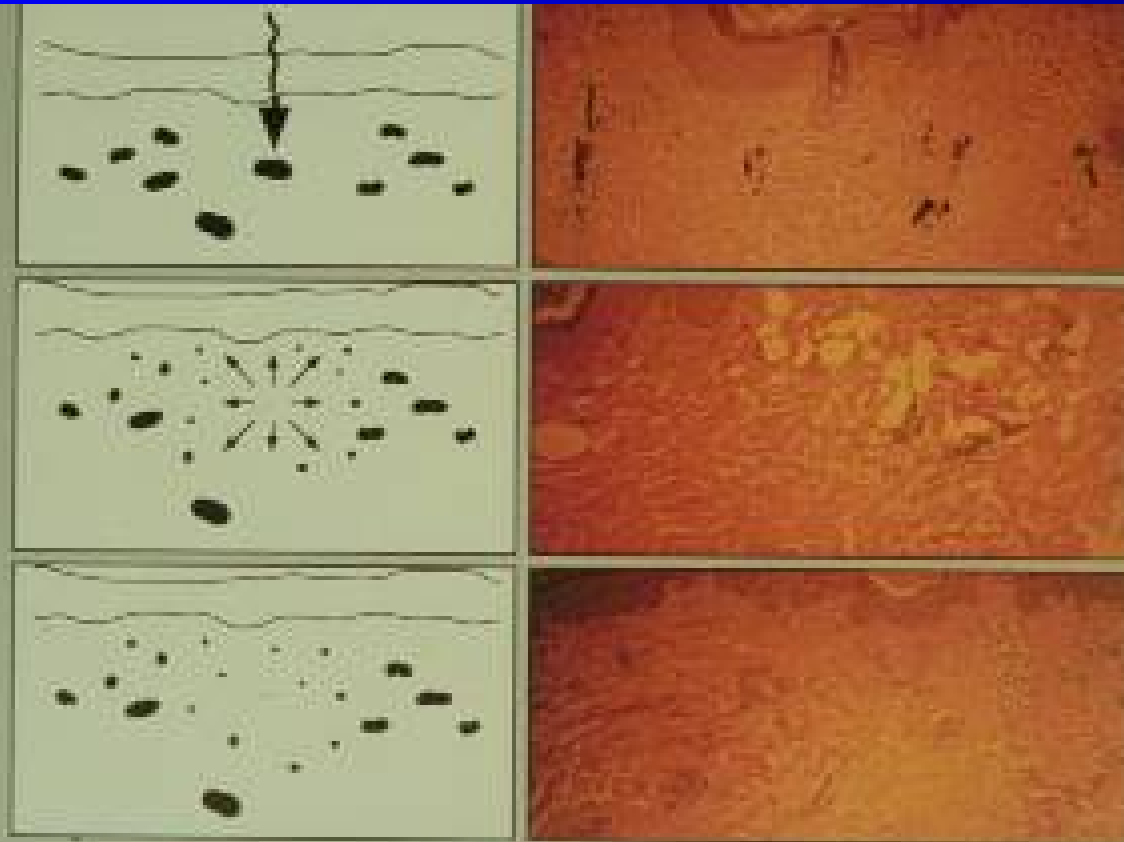
Laser de Hólmio- Revascularização do Miocárdio



## Cirurgia por Laparoscopia

Colecistectomia  
 $CO_2$





### **MECHANISM OF TATULAZR TREATMENT ON TATTOO PIGMENT**

*(shown graphically and histologically)*

*(top)* Tattoo pigment particles before laser treatment.

*(middle)* Photoacoustic effect of the 100 nanoseconds pulsewidth shatters the pigment particles.

*(bottom)* The tattoo pigment particles are fewer and smaller 4 weeks after treatment. Macrophages then phagocytize the smaller fragments and remove them from the area.





CO<sub>2</sub>



Dr. Mauricio de Maio  
HC/FMUSP



Dr. Mauricio de Maio  
HC/FMUSP



# Interações Fotoquímicas

- Ocorrem para densidades de potência muito baixas  $\approx 1 \text{ W/cm}^2$
- Exemplo na natureza: **fotosíntese**

## Tipos de interações:

- TERAPIA FOTODINÂMICA DE TUMORES (PDT)
- Bioestimulação, ou  
Low Intensity Level Therapy (LILT)

Faringite  
CO<sub>2</sub>



Dra. Ester Nicola- FM-UNICAMP

# Frenectomia com laser de CO<sub>2</sub>



desidratação

# Segurança e Proteção Física no Uso de Lasers

- **Normas**

*Internacionais:*

**FDA, IEC**

- *Nacionais:*

– **COBREN, ABNT, INMETRO, SINMETRO**

**Agencia Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA - MS**

⇒ **leis de fabricação e comercialização**

# **Noções Básicas de *Segurança no uso de Lasers***

- **Segurança da Sala**
- **Acessórios não refletores**
- **Proteção do equipamento Laser**
- **Proteção Física**    **Operador**  
                                 **Auxiliar**  
                                 **Paciente**

# Proteção Física

## Incidência do Feixe

### Alvos:

- Pele
- Olhos

## Perigos Letais do Equipamento

- Alta tensão
- Perigo de Fogo

# PRINCIPAIS PERIGOS

- Eletrochoque : *MORTE*

Prevenção: *Técnicos qualificados*

- Exposição Acidental: *OLHOS e PELE*

*Danos à retina, córnea e queimaduras*

Prevenção: *Equipamentos de Proteção Pessoal*

*Adequação da Sala e Instrumental*

# PRINCIPAIS PERIGOS

- Fumaça Gerada Pelo Tecido Irradiado

Desagradável, pode conter células viáveis

Diminui a intensidade da radiação laser no alvo

Prevenção: Deve ser aspirada e evacuada da sala

- Fogo

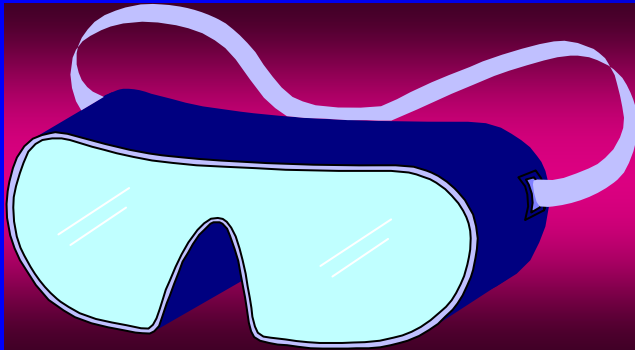
Prevenção: Anestésicos não inflamáveis

Campo umedecido

Proteção de instrumental e acessórios

# Proteção Física INDISPENSÁVEL

## Óculos de proteção



- Densidade óptica adequada à classe do laser
- Filtros acoplados aos sistemas ópticos

glasses!

This lightweight, wrap-around laser shield reduces fogging and doubles as a splashguard.



Wavelengths (nm)	Optical Density	Lens Color	VLT*	Order #	Price	Buy Online
1064, 10600	5+	Lt. Green	~70%	KIF-51	\$295	<a href="#">Purchase</a>
488-514.4, 532	5	Orange	~40%	KIF-52	\$295	<a href="#">Purchase</a>
532, 1064	5	Amber	~20%	KIF-54	\$350	<a href="#">Purchase</a>
800 - 830	5	Pink	~30%	KIF-58	\$295	<a href="#">Purchase</a>
980	5	Lt. Green	~70%	KIF-58-2	\$295	<a href="#">Purchase</a>
10600	5+	Clear	~90%	KIF-60C	\$89	<a href="#">Purchase</a>

# Proteção Física INDISPENSÁVEL

- Proteção dos olhos
- Sinais de advertência
- Interlocks

## Danos à RETINA

- *Laser Visível*  
400 nm - 700 nm
- *Infravermelho*  
700 nm - 1,4  $\mu\text{m}$   
(focalizáveis)

Nd, Diodo

## Danos à CÓRNEA

- *Ultravioleta*  
 $\lambda < 300 \text{ nm}$
- *Infravermelho*  
 $\lambda > 1,4 \mu\text{m}$

Er, CO<sub>2</sub>

# Classificação de Lasers

## Classe 1:

são seguros  
incluindo o uso de instrumentos ópticos  
potência menor que **MPE**

## Classe 1M : 302,5 a 4000 nm

são seguros  
não podem ser utilizados com instrumentos ópticos.

# Classificação de Lasers

**Classe 2:** 400 a 700 nm

seguros devido ao reflexos de aversão  
incluindo instrumentos ópticos de visualização

**Classe 2M:** 400 a 700 nm

seguros devido ao reflexos de aversão  
danosos se visualizados com instrumentos ópticos

**Classe 3R:** 302,4 nm a 1 mm

visualização intrafeixe é perigosa mas o risco é  
menor que o para lasers Classe 3B

# Classificação de Lasers

## Classe 3B:

são perigosos quando a visualização intrafeixe ocorre dentro da Distância de Risco Ocular Nominal (DRON).  
visualização de reflexões difusas normalmente é segura

## Classe 4:

são lasers **perigosos** mesmo para reflexões difusas  
Eles podem causar danos à pele e olhos e oferecem risco de fogo

# Rótulos de advertência



RADIAÇÃO LASER VISÍVEL E  
INVISÍVEL EVITE A EXPOSIÇÃO  
DOS OLHOS OU DA PELE À  
RADIAÇÃO DIRETA OU  
ESPALHADA PRODUTO A LASER  
CLASSE 4

**DANGER**

**VISIBLE AND/OR INVISIBLE  
LASER RADIATION  
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE**



**Your laser information**

**Your contact information**

# O que eu preciso saber para trabalhar com lasers em segurança?

- Sua classificação
- Comprimento de onda
- Potência de saída
- ângulo aparente
- regime de operação
- largura do pulso



- divergência do feixe
- distância da fonte
- sinalização
- normas técnicas
- óculos apropriados
- roupas apropriadas

# Usuários

- **Capacitação**
- **Treinamento**
  - auxiliares
- **Busca contínua de informações**

Obrigada pela atenção!