

# LASER – aspectos de segurança



René Nome IQ – UNICAMP

# Referências

- OSHA
- Wikipedia
- Rick Trebino
- Olympus

# Sumário

- Aspectos de segurança – importância
  - Efeitos patológicos
  - Efeitos benéficos
- Fundamentos
  - Radiação
  - Matéria
- Normas de Segurança
  - Enfoque em boas práticas

# Sumário

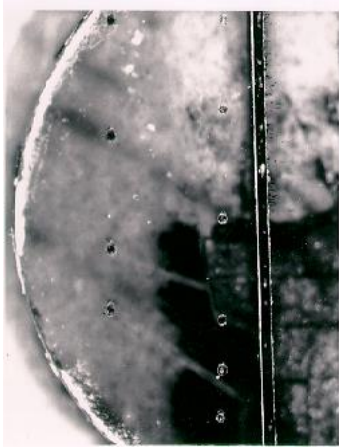
- Aspectos de segurança – importância
  - Efeitos patológicos
  - Efeitos benéficos
- Fundamentos
  - Radiação
  - Matéria
- Normas de Segurança
  - Enfoque em boas práticas

# Efeitos patológicos

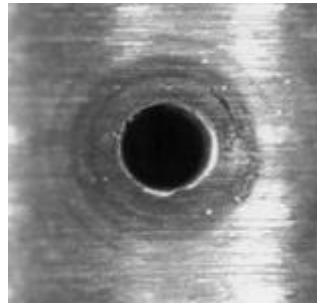
TABLE III:6-3. SUMMARY OF BASIC BIOLOGICAL EFFECTS OF LIGHT		
Photobiological spectral domain	Eye effects	Skin effects
Ultraviolet C (0.200-0.280 $\mu\text{m}$ )	Photokeratitis	Erythema (sunburn) Skin cancer
Ultraviolet B (0.280-315 $\mu\text{m}$ )	Photokeratitis	Accelerated skin aging Increased pigmentation
Ultraviolet A (0.315-0.400 $\mu\text{m}$ )	Photochemical UV cataract	Pigment darkening Skin burn
Visible (0.400-0.780 $\mu\text{m}$ )	Photochemical and thermal retinal injury	Photosensitive reactions Skin burn
Infrared A (0.780-1.400 $\mu\text{m}$ )	Cataract, retinal burns	Skin burn
Infrared B (1.400-3.00 $\mu\text{m}$ )	Corneal burn Aqueous flare IR cataract	Skin burn
Infrared C (3.00-1000 $\mu\text{m}$ )	Corneal burn only	Skin burn

# Aplicações

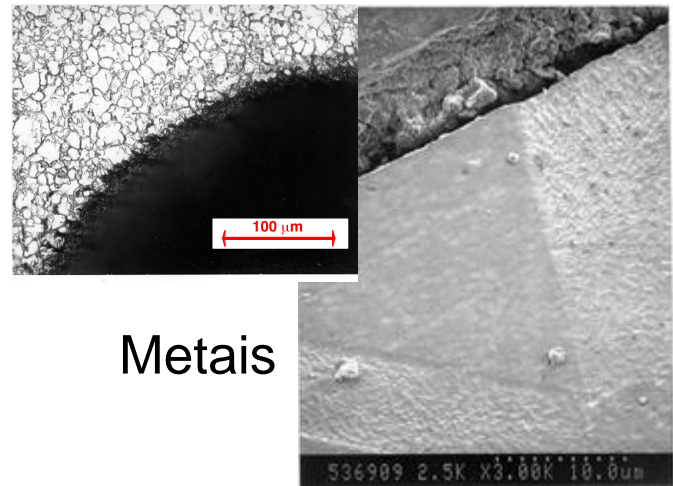
- Alignment
- Annealing
- Balancing
- Biomedical
  - Cellular research
  - Dental
  - Diagnostics
  - Dermatology
  - Ophthalmology
  - Surgery
- Communications
- Construction
  - Alignment
  - Ranging
  - Surveying
- Cutting
- Displays
- Drilling
- Entertainment
- Heat treating
- Holography
- Information handling
  - Copying
  - Displays
  - Plate making
  - Printing
  - Reading
  - Scanning
  - Typesetting
  - Videodisk
  - Marking
- Laboratory instruments
- Interferometry
- Metrology
- Plasma diagnostics
- Spectroscopy
- Velocimetry
- Lidar
  - Special photography
  - Scanning microscopy
- Military
  - Distance ranging
  - Rifle simulation
  - Weaponry
- Nondestructive training
- Scanning
- Sealing
- Scribing
- Soldering
- Welding



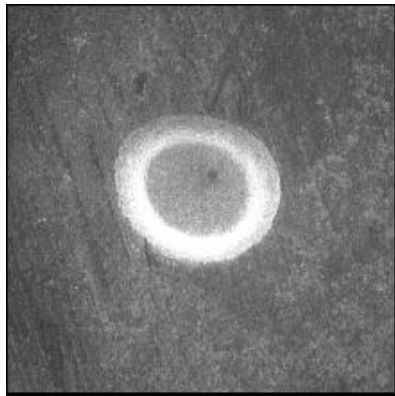
Diamante



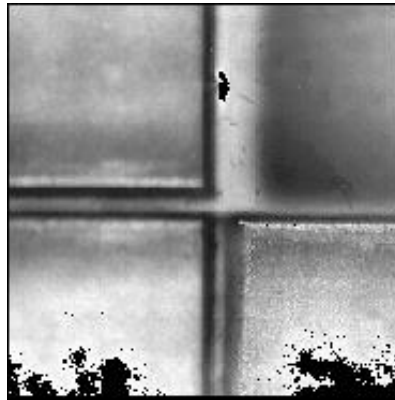
Cerâmica



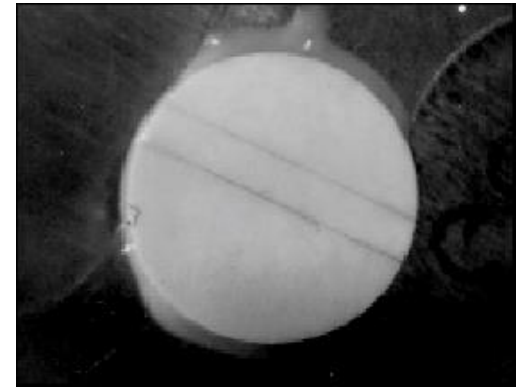
Metais



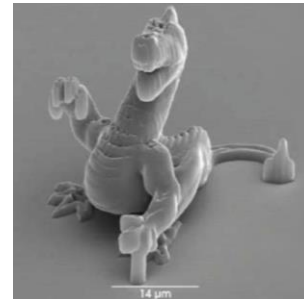
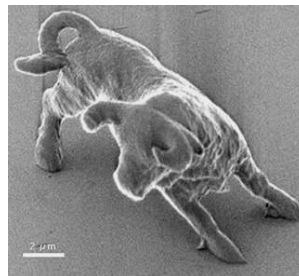
Dentes



Polímeros



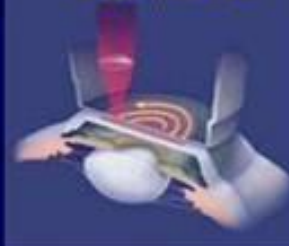
Explosivos



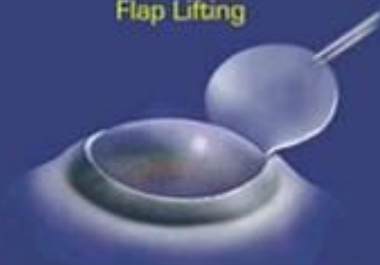
Introducing...  
The INTRALASE FS Laser



fs Lamellar Cut



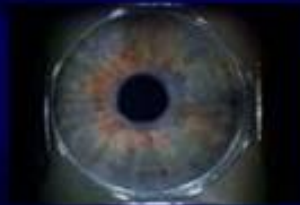
Flap Lifting



Excimer Laser Ablation

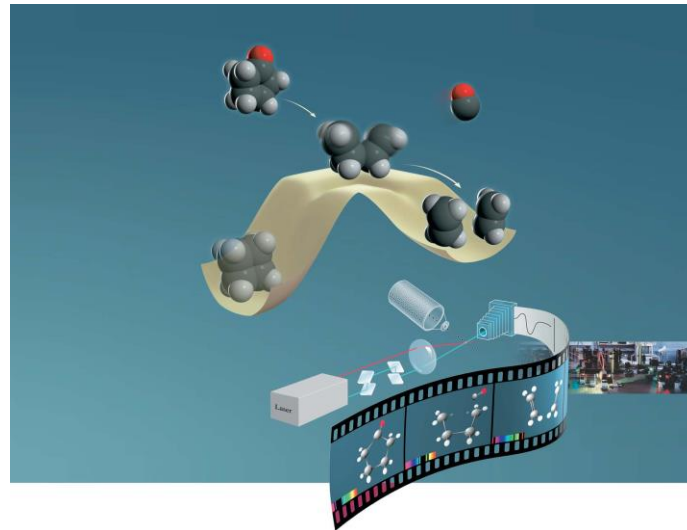
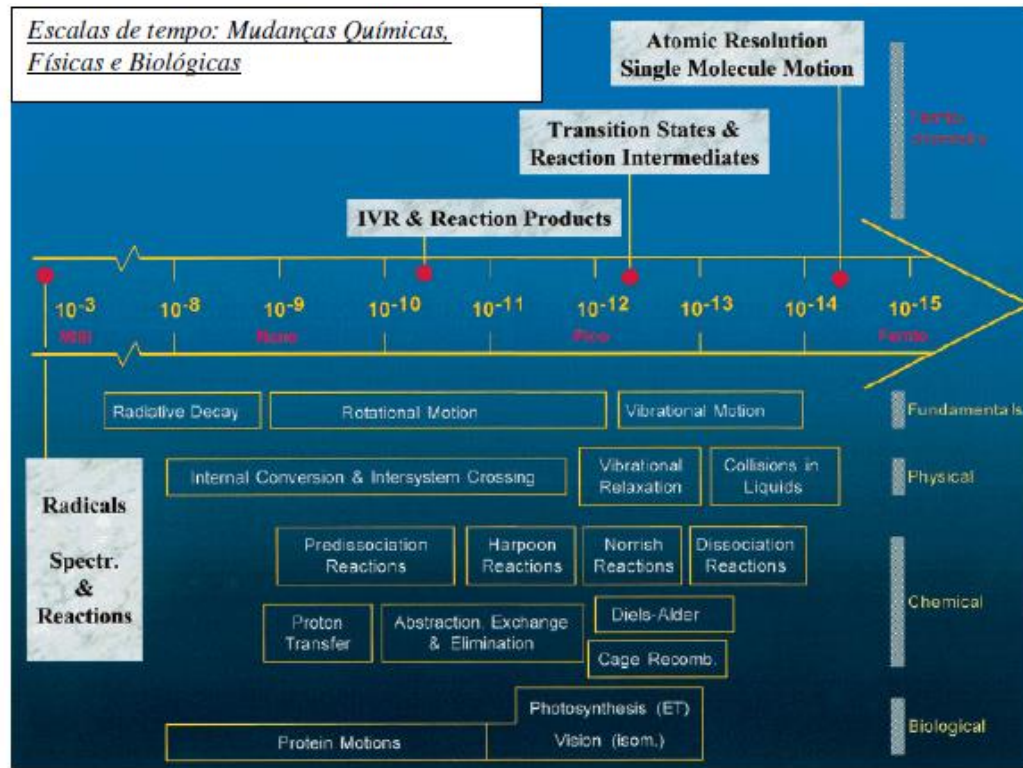


Flap Repositioned





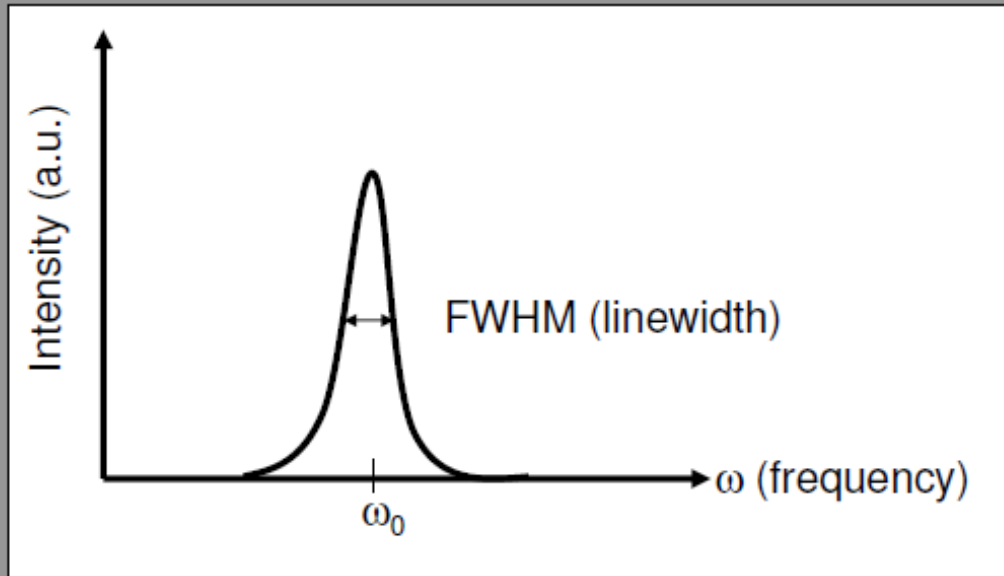
*Escalas de tempo: Mudanças Químicas,  
Físicas e Biológicas*



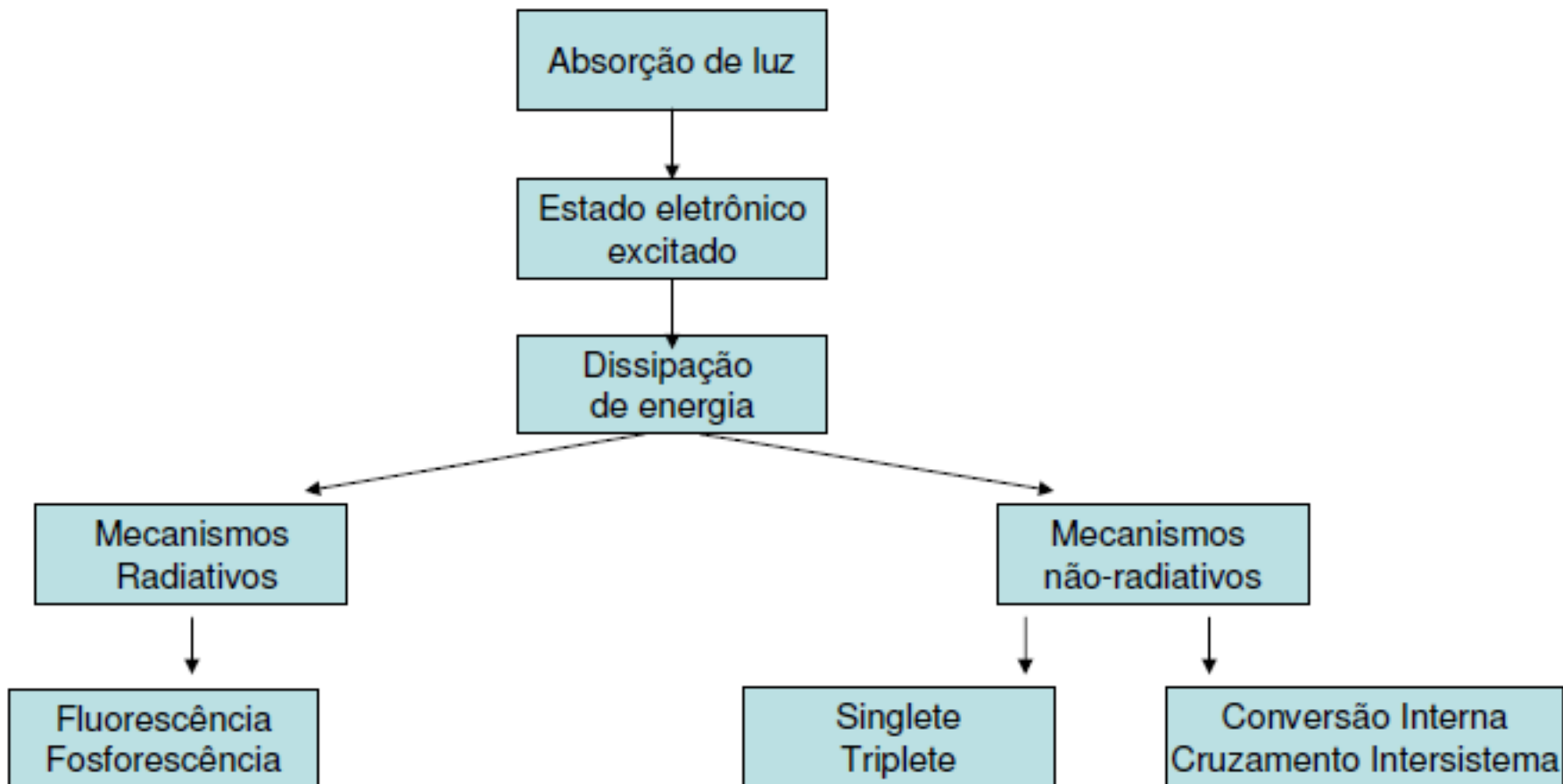
- Aspectos de segurança – importância
  - Efeitos patológicos
  - Aplicações
- Fundamentos
  - Radiação
  - Matéria
- Normas de Segurança
  - Enfoque em boas práticas

## Some general comments

Regardless of spectral region or instrumentation used, spectroscopy equipments measure three parameters: intensity, frequency, and linewidth.



# Classificação dos processos

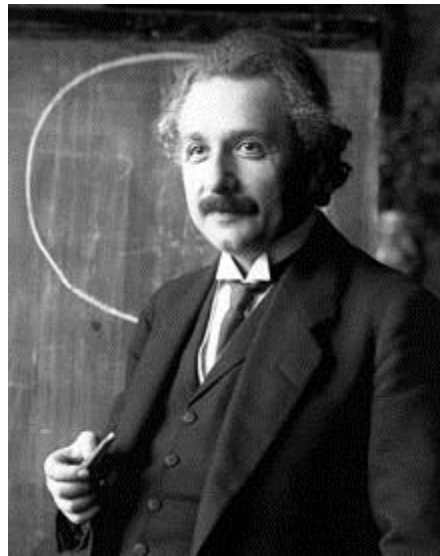


Luz  $\rightarrow$  luz  
 $h\nu \rightarrow h\nu'$

Luz  $\rightarrow$  Química  
 $h\nu \rightarrow \Delta G$

Luz  $\rightarrow$  Calor  
 $h\nu \rightarrow Q$

# Laser - fundamentos



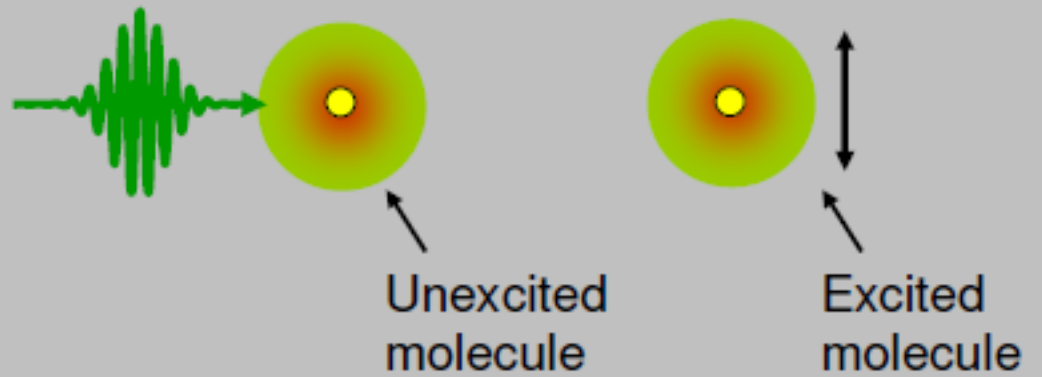
# Laser - fundamentos



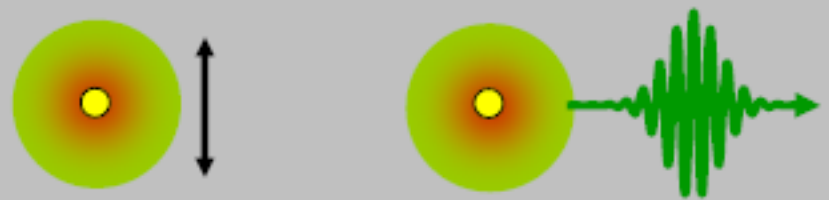
Before

After

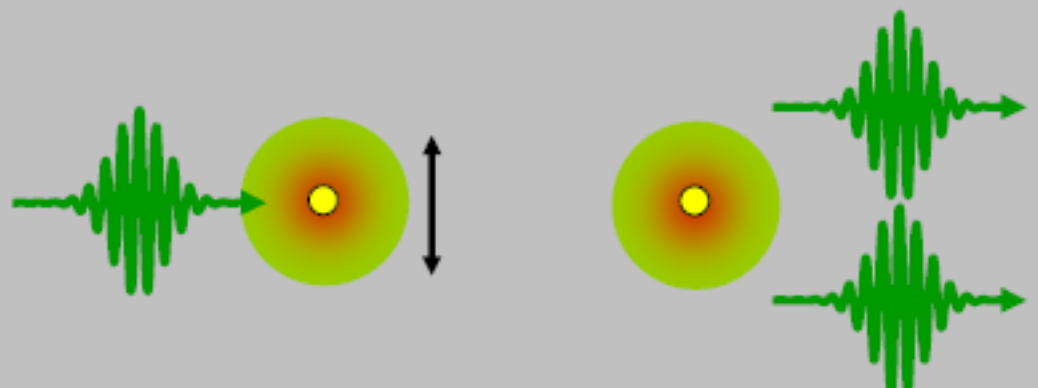
# Absorption



# Spontaneous Emission



# Stimulated Emission



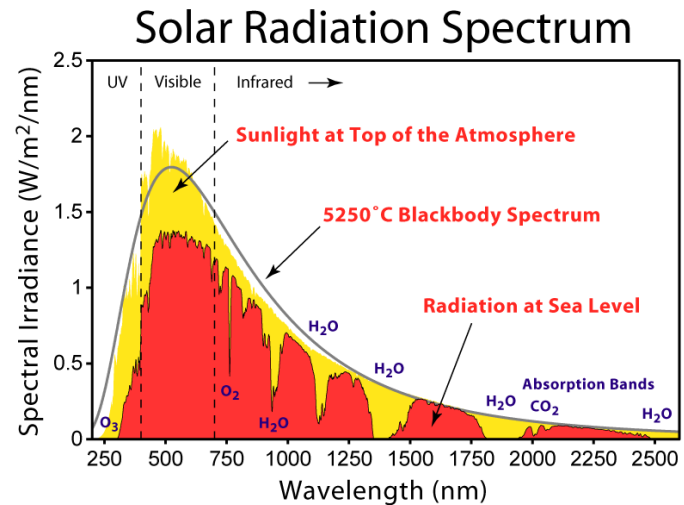
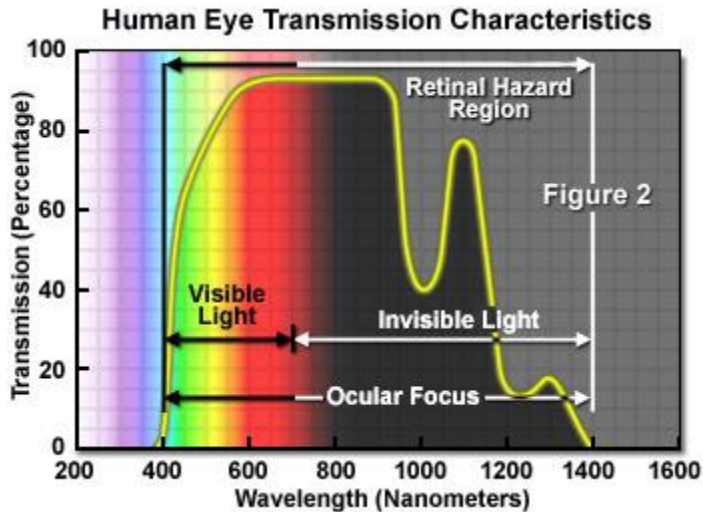
## THE LASER

All the animations and explanations on  
[www.toutestquantique.fr](http://www.toutestquantique.fr)



- Aspectos de segurança – importância
  - Efeitos patológicos
  - Efeitos benéficos
- Fundamentos
  - Radiação
  - Matéria
- Normas de Segurança
  - Enfoque em boas práticas

# O olho humano



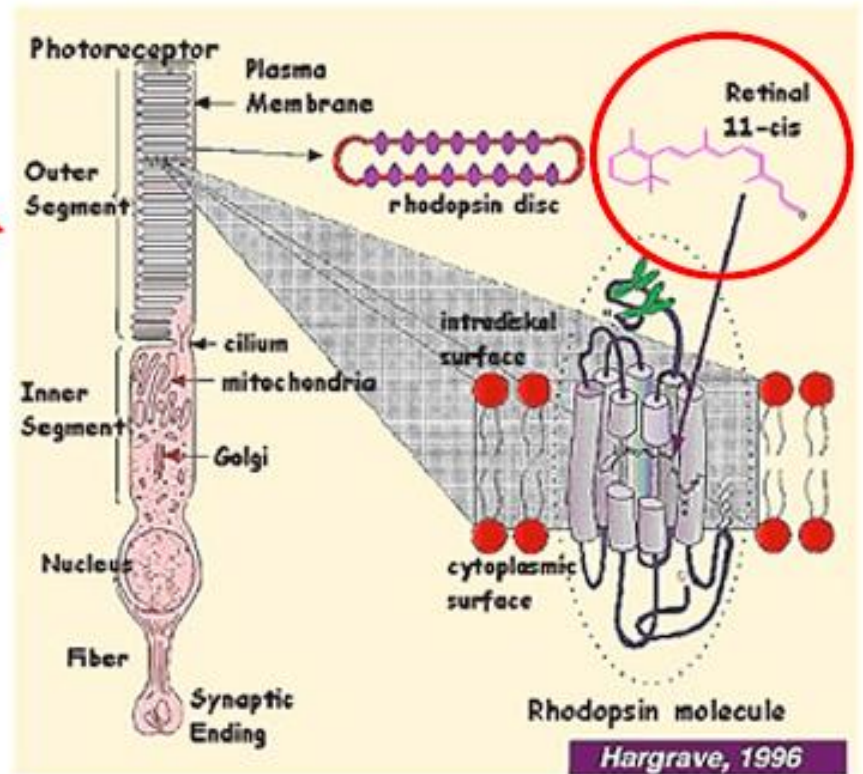
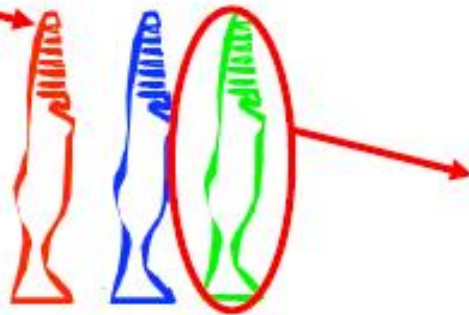


Figure 8. Schematic diagram of rhodopsin in the outer segment discs.



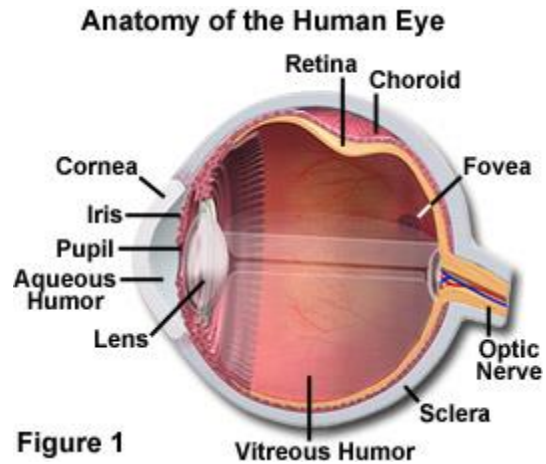
*S. Ramón y Cajal*



SPN



# O olho humano

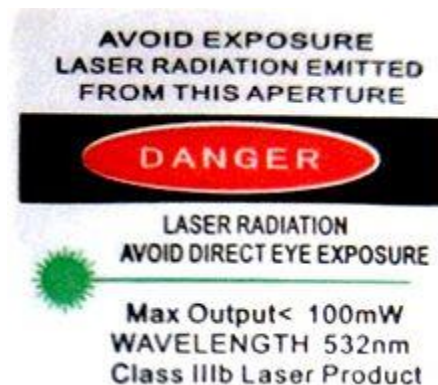


# NORMAS DE SEGURANÇA

- Aspectos de segurança – importância
  - “How blue can you get?”
  - All the good stuff that lasers can do...
- Fundamentos
  - Radiação
  - Matéria
- Normas de Segurança
  - Enfoque em boas práticas

# Segurança em laser:

- Definição: desenho, uso e implementação de segurança no uso de lasers para minimizar o risco de acidentes.
- Normas de segurança são necessárias porque mesmo pequenas quantidades de radiação laser podem levar a danos permanentes...
- Especificações: ANSI Z136 (EUA), IEC 60825 (internacional)
- Brasil?



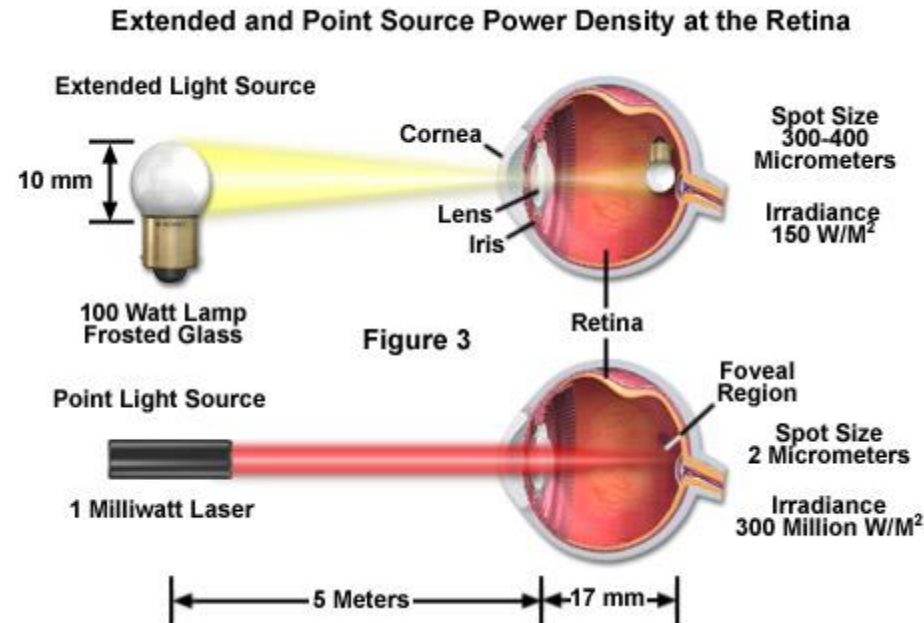


# Perigos com radiação a laser

- Mecanismo predominante: efeitos térmicos
  - Danos: pele, olho
  - Interação: direta, refletância difusa
- Efeitos fotoquímicos também são comuns

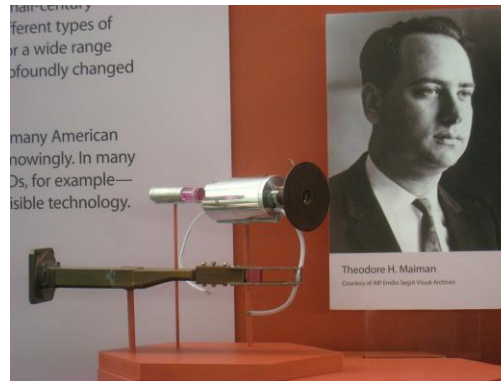
# Por que o laser é tão perigoso?

- Coerência, pequeno ângulo de divergência, o próprio mecanismo de focalização do olho humano.

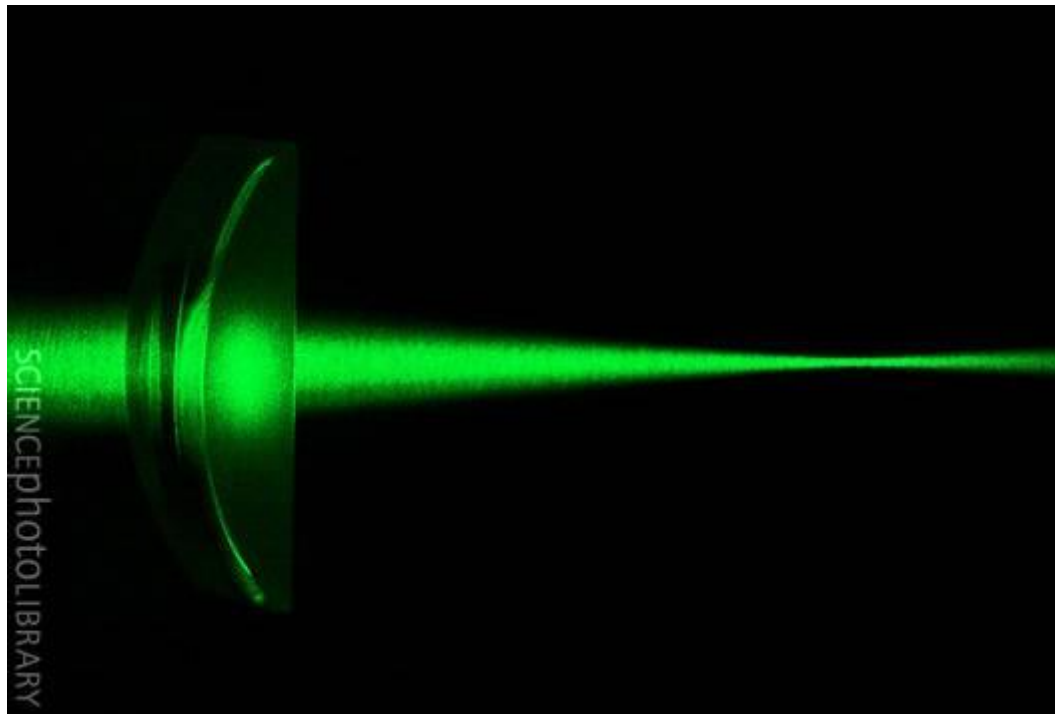


# Por que o laser é tão perigoso?

- Focalização do olho humano  $\Leftrightarrow$  ganho ótico
  - 1 mW laser  $\rightarrow$  100 W/cm<sup>2</sup>
  - Luz solar  $\rightarrow$  10 W/cm<sup>2</sup> (cuidado!)



# Focalização de luz



# Focalização ótica do olho

- O olho focaliza luz visível e infra-vermelho na retina.
- Focalização de laser: 200000 vezes maior intensidade quando comparado com a intensidade na entrada do olho.
- Maior parte da radiação é absorvida por pigmentos de melanina, causando queimaduras da retina.

# Mecanismos de dano ao olho

- Lasers na região do visível ao infravermelho próximo (400 – 1400 nm) penetram o cristalino, causando aquecimento da retina. Um aumento de apenas 10C pode destruir células fotorreceptoras.
- Radiação  $< 400$  nm e  $> 1400$  nm é absorvida pela córnea e lente, levando à danos de queimadura ou catarata.

# Lasers no infra-vermelho

- O reflexo do olho humano somente é engatilhado por luz visível.
- Exemplo: NdYAG

# Mecanismos de dano

- Mecanismo térmico: aquecimento de tecidos, causando desnaturação de proteínas.
  - Contínuo → exposição contínua
  - Pulsado → exposição transiente → evaporação de água. Onda de choque → dano a distância...
  - Lasers de femtosegundos → auto-focalização mesmo na região transparente do olho.
- Mecanismo fotoquímico: comprimento de onda visível curto ou UV.



TABLE III:6-1. WAVELENGTHS OF MOST COMMON LASERS			
Lasers type	Wavelength (μmeters)	Lasers type	Wavelength (μmeters)
Argon fluoride (Excimer-UV)	0.193	Helium neon (yellow)	0.594
Krypton chloride (Excimer-UV)	0.222	Helium neon (orange)	0.610
Krypton fluoride (Excimer-UV)	0.248	Gold vapor (red)	0.627
Xenon chloride (Excimer-UV)	0.308	Helium neon (red)	0.633
Xenon fluoride (Excimer-UV)	0.351	Krypton (red)	0.647
Helium cadmium (UV)	0.325	Rhodamine 6G dye (tunable)	0.570-0.650
Nitrogen (UV)	0.337	Ruby (CrAlO <sub>3</sub> ) (red)	0.694
Helium cadmium (violet)	0.441	Gallium arsenide (diode-NIR)	0.840
Krypton (blue)	0.476	Nd:YAG (NIR)	1.064
Argon (blue)	0.488	Helium neon (NIR)	1.15
Copper vapor (green)	0.510	Erbium (NIR)	1.504
Argon (green)	0.514	Helium neon (NIR)	3.39
Krypton (green)	0.528	Hydrogen fluoride (NIR)	2.70
Frequency doubled Nd YAG (green)	0.532	Carbon dioxide (FIR)	9.6
Helium neon (green)	0.543	Carbon dioxide (FIR)	10.6
Krypton (yellow)	0.568		
Copper vapor (yellow)	0.570		

**Key:**  
 UV =ultraviolet (0.200-0.400 μm)VIS =visible (0.400-0.700 μm)NIR =near infrared (0.700-1.400 μm)

# Parâmetros ajustáveis

- Seleção do comprimento de onda
- Seleção do modo de emissão do laser
- Seleção da potência
- Diâmetro do feixe
- Fluência
- Tempo de aplicação
- Considerações gerais

# MPE: Níveis máximos permitidos de exposição

- MPE: maior potência ou densidade de energia ( $\text{W}/\text{cm}^2$  ou  $\text{J}/\text{cm}^2$ ) de uma fonte de luz ainda considerada segura.
- MPE é medida na córnea do olho humano.
- Leva em consideração comprimento de onda, tempo de exposição (coerência temporal) e distribuição espacial da luz (coerência espacial).

TABLE III:6-6. SUMMARY: MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURE LIMITS†

Laser type	Wave-length ( $\mu\text{m}$ )	----- MPE level (W/cm <sup>2</sup> ) -----			
		0.25 sec	10 sec	600 sec	30,000 sec
CO <sub>2</sub> (CW)	10.6	---	$100.0 \times 10^{-3}$	---	$100.0 \times 10^{-3}$
Nd: YAG (CW)	1.33	---	$5.1 \times 10^{-3}$	---	$1.6 \times 10^{-3}$
Nd: YAG (CW)	1.064	---	$5.1 \times 10^{-3}$	---	$1.6 \times 10^{-3}$
Nd: YAG (Q-switched)	1.064	---	$17.0 \times 10^{-6}$	---	$2.3 \times 10^{-6}$
GaAs (Diode/CW)	0.840	---	$1.9 \times 10^{-3}$	---	$610.0 \times 10^{-6}$
HeNe (CW)	0.633	$2.5 \times 10^{-3}$	---	$293.0 \times 10^{-6}$	$17.6 \times 10^{-6}$
Krypton (CW)	0.647	$2.5 \times 10^{-3}$	---	$364.0 \times 10^{-6}$	$28.5 \times 10^{-6}$
	0.568	$31.0 \times 10^{-6}$	---	$2.5 \times 10^{-3}$	$18.6 \times 10^{-6}$
	0.530	$16.7 \times 10^{-6}$	---	$2.5 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Argon (CW)	0.514	$2.5 \times 10^{-3}$	---	$16.7 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-6}$
XeFl (Excimer/ CW)	0.351	---	---	---	$33.3 \times 10^{-6}$
XeCl (Excimer/ CW)	0.308	---	---	---	$1.3 \times 10^{-6}$

† Source: ANSI Z 136.1 (1993)

# CLASSIFICAÇÃO

- Quatro classes + subclasses
- Classificação baseada na capacidade de dano a pessoas expostas, desde classe 1 (nenhum risco durante uso normal) até classe 4 (risco severo à olhos e pele).
- A classificação evolui com o nosso conhecimento sobre lasers.

TABLE III:6-4. LASER CLASSIFICATIONS--SUMMARY OF HAZARDS

Applies to wavelength ranges					Hazards		
Class	UV	VIS	NIR	IR	Direct ocular	Diffuse ocular	Fire
I	X	X	X	X	No	No	No
IA	--	X <sup>†</sup>	--	--	Only after 1000 sec	No	No
II	--	X	--	--	Only after 0.25 sec	No	No
IIIA	X	X <sup>††</sup>	X	X	Yes	No	No
IIIB	X	X	X	X	Yes	Only when laser output is near Class IIIB limit of 0.5 Watt	No
IV	X	X	X	X	Yes	Yes	Yes

# Classificação - 2007

- Classe 1: seguro sob todas as condições de uso. Ou seja, a máxima exposição permitida (MPE) não é excedida mesmo olhando para o laser diretamente ou com o auxílio de óticas convencionais de magnificação.
- Classe 1M: seguro exceto quando atravessa óticas convencionais de magnificação.

# Classe 2

- Lasers na região do visível
  - Reflexo limitará a exposição à radiação a tempos inferiores a 250 ms.
  - Ondas contínuas de 1mW ou menos.
  - Se a potência for  $> 1$  mW, para tempos de exposição  $< 250$  ms ou para luz incoerente.
- Exemplo: apontadores de laser. Leitor de código de barras.
- Classe 2M: idem a classe 1M



# Classe 3

- CLASSE 3R: seguro quando manuseado corretamente, com campo de visão restrito.
  - Pequeno risco de danos.
  - Na região do visível, MPE < 5 mW.
- CLASSE 3B
  - Perigoso se o olho for exposto diretamente à radiação. Por outro lado, reflectância difusa não é perigosa.
  - Para lasers pulsados, os limites são de 30 mW.
  - É necessário o uso de óculos de proteção.
  - Lasers classe 3B devem ser equipados com dispositivos de segurança ('key switch' e 'safety interlock').
  - Exemplos: lasers dentro de gravadores de CD e DVD.

# Classe 4:

- Inclui todos os lasers que excedem os limites da classe 3B.
- Por definição: pode queimar a pele, causar danos irreversíveis ou permanentes ao olho como resultado de observação direta, indireta ou difusa.

# Medidas de segurança

- Recomendações:
  - Qualquer pessoa que utiliza lasers deve estar ciente dos riscos.
  - Experimentos em ótica devem ser realizados em mesas óticas, com todos os feixes de laser viajando somente no plano horizontal. Todos os feixes devem permanecer na mesa ótica.
  - Usuários não devem colocar os olhos no caminho da radiação.
  - Relógios, joias e outros artigos que podem atravessar o eixo ótico são proibidos em laboratórios de laser. Todos os objetos não-óticos que estão próximos ao plano ótico devem ter um acabamento especial para evitar reflexões especulares.

# Medidas de segurança

- Sempre utilizar óculos de segurança.
- Utilização de tubos para guiar o laser.
- Montagens óticas devem ser construídas com intensidades de feixe reduzidas.

# Óculos de proteção

- Devem ser selecionados para o tipo específico de radiação.
- Classificação é baseada em densidades óticas, i.e., lei de Lambert-Beer.
- Localizar as especificações em cada unidade.