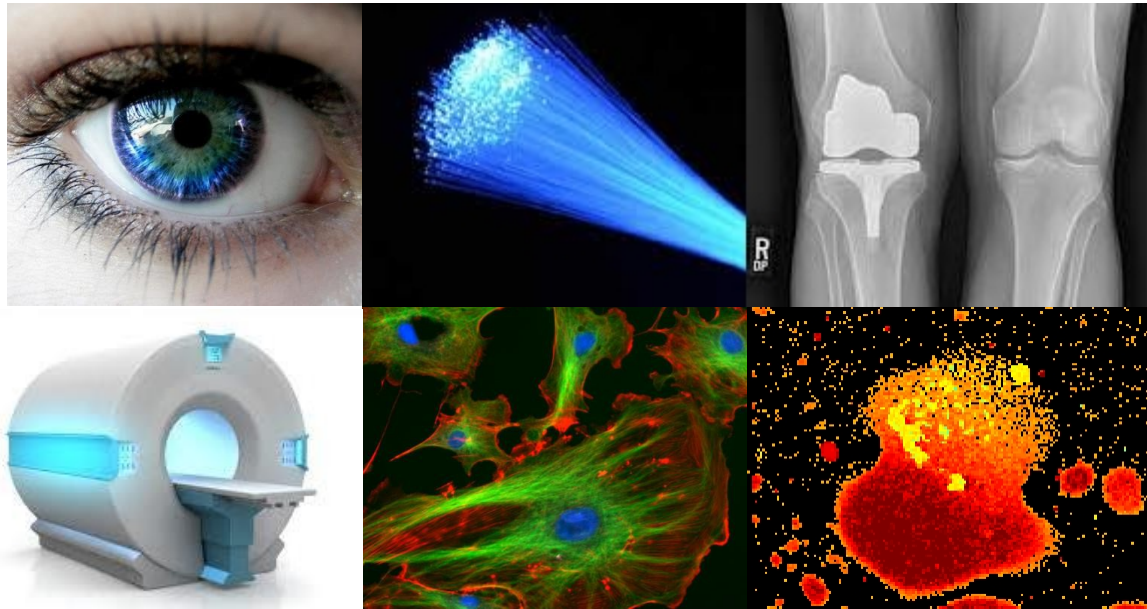


Lasers e Óptica Biomédica



Requisitos para a ação LASER

- Emissão estimulada

Fonte de energia externa

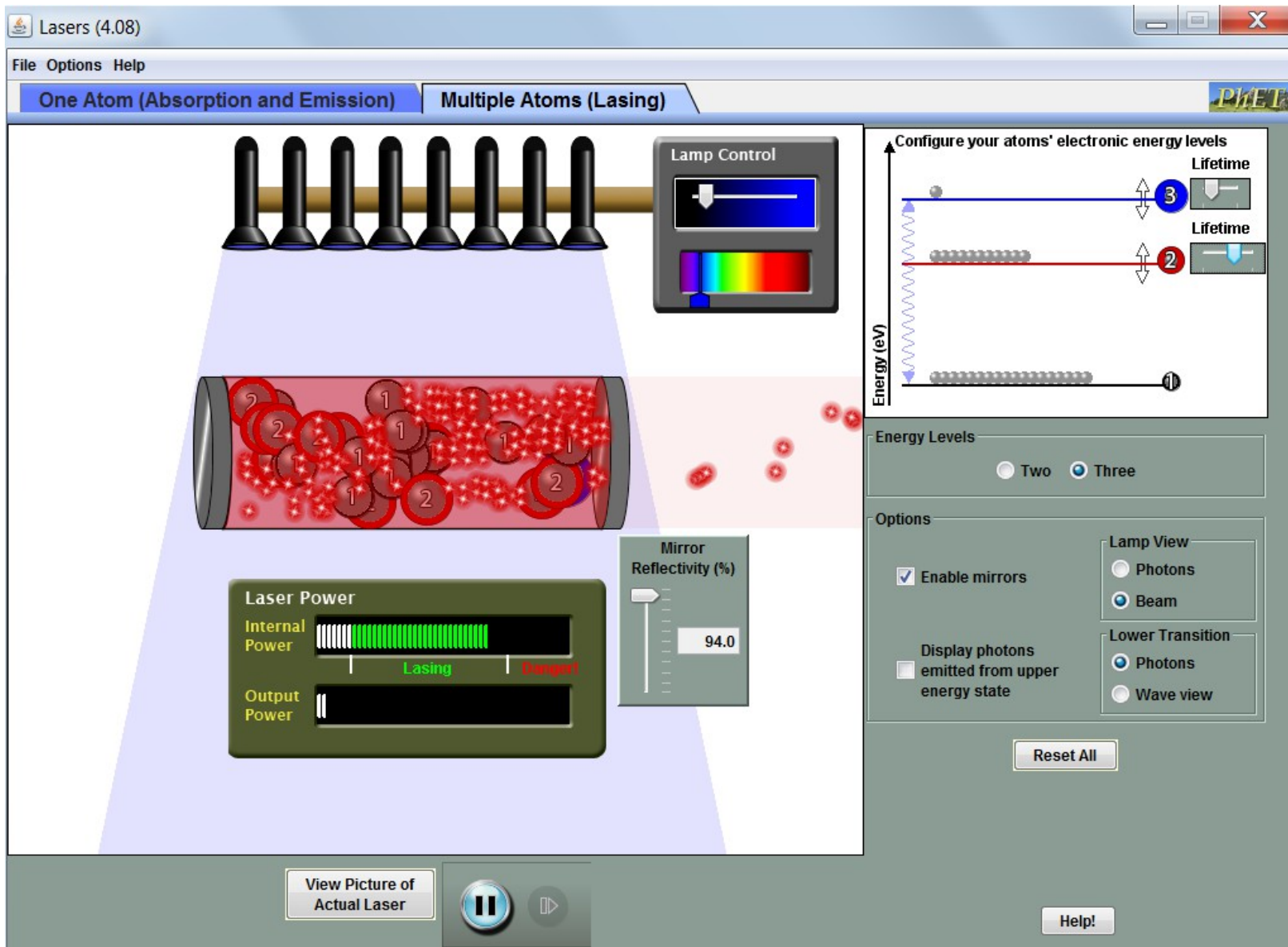
- Inversão da população

Ganho

- Feedback

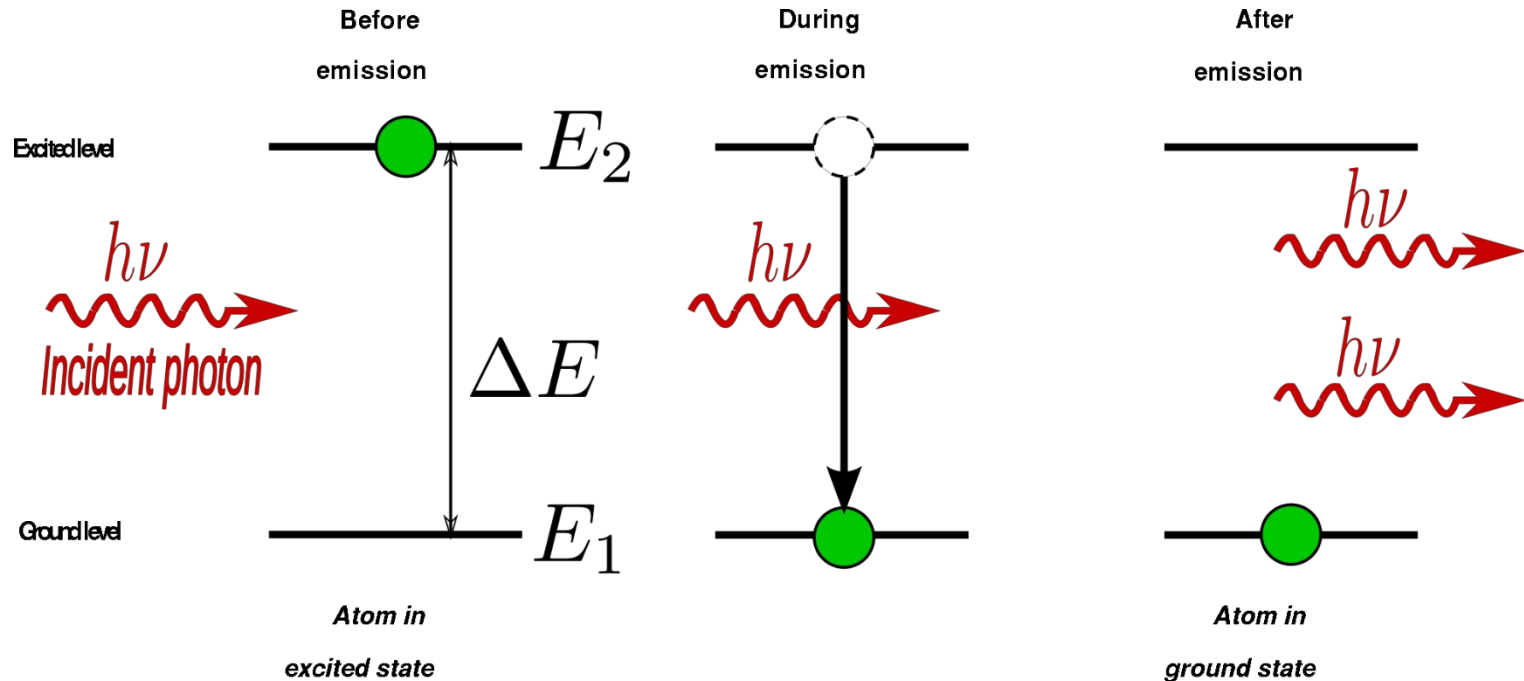
Tempo de vida dos níveis de energia

Vamos construir um LASER



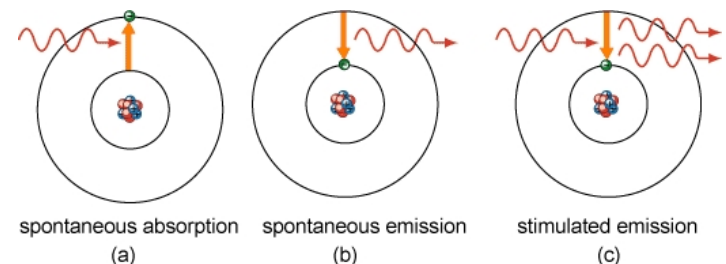
Laser

Absorção, emissão espontânea e emissão estimulada

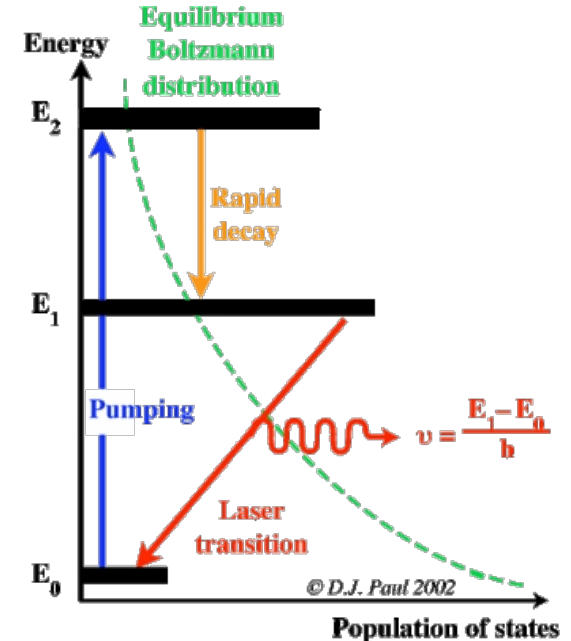
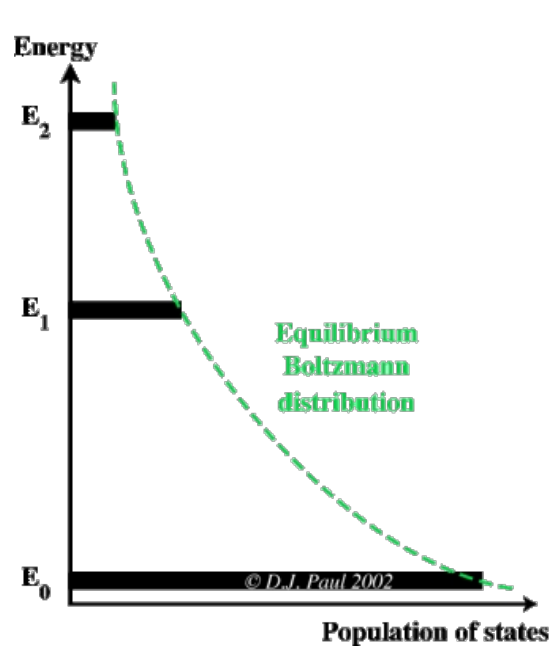
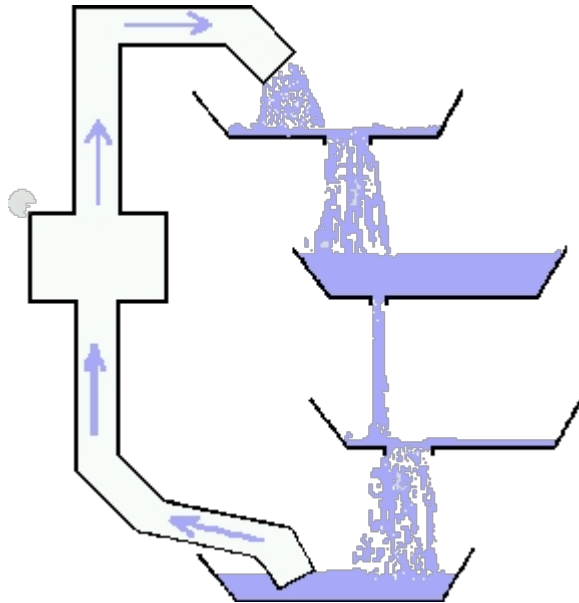


$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

A emissão estimulada introduz a coerência. Fotões com características idênticas de fase, direção de propagação, comprimento de onda e polarização.



Inversão da população por laser



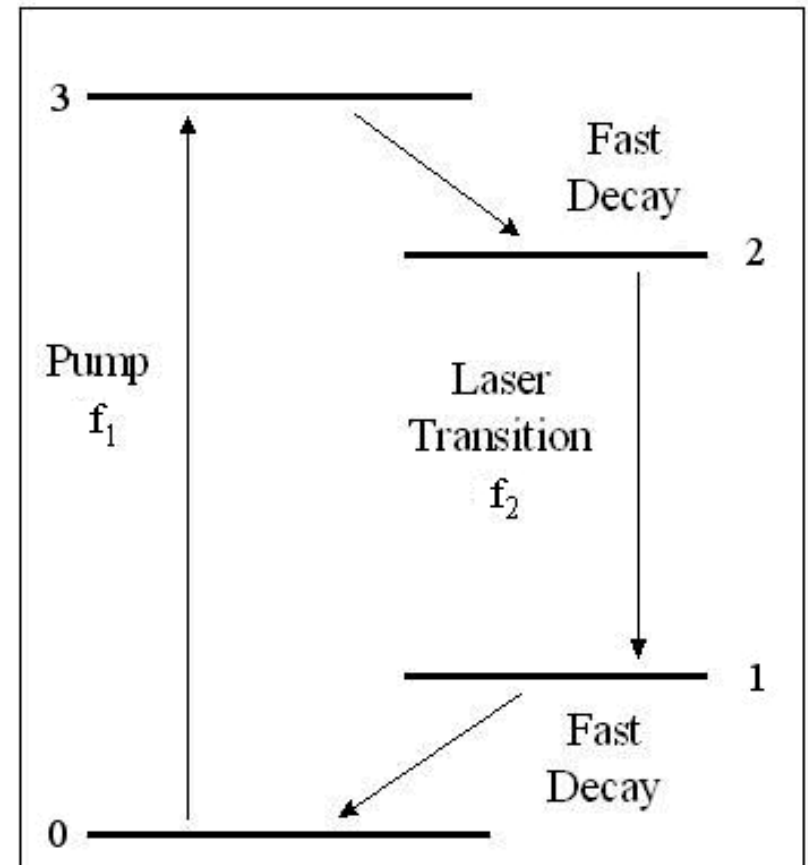
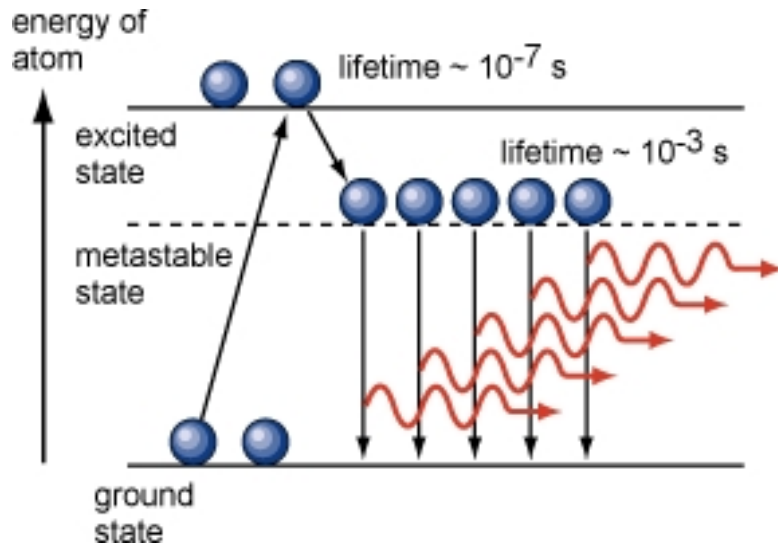
$$N_i = N_0 e^{-\mathcal{E}_i/k_B T}$$

$$N_j = N_i e^{-(\mathcal{E}_j - \mathcal{E}_i)/k_B T} = N_i e^{-h\nu_{ji}/k_B T}$$

A relação entre as taxas de emissão e os tempos de vida dos níveis envolvidos são fundamental para obter inversão e ganho de população.

<http://www.ml.engineering.columbia.edu/ntm/level2/c>

Inversão da população por laser



Four Level Scheme

Com 4 níveis é muito mais fácil obter a inversão da população, a população inicial em N1 é geralmente muito mais baixa do que em N0 (portanto, mais fácil de ultrapassar povoando N2 com potências de bombagem relativamente menores).

Bomba de laser

É necessário dispor de uma fonte de energia externa para excitar os "meios activos" para obter inversão e ganho de população .

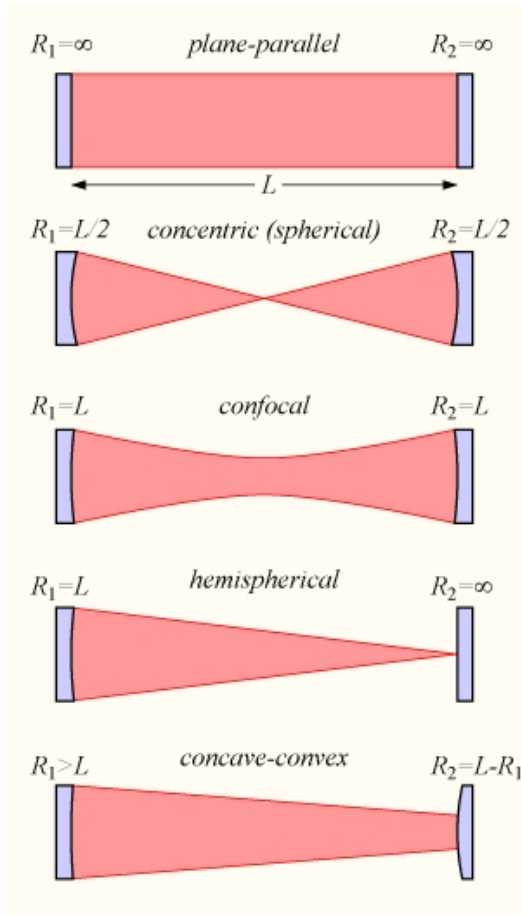
O tipo de fonte de energia depende do tipo de LASER:

- Bomba ótica (lâmpada de flash, ou outro LASER)
- Bomba eléctrica
- Raio X
- Bomba química (reação química)

Ter a fonte de energia e o meio ativo para proporcionar ganho ótico.

Falta alguma coisa para ter um LASER funcional?

Cavidade ressonante laser (seleção espectral e feedback)



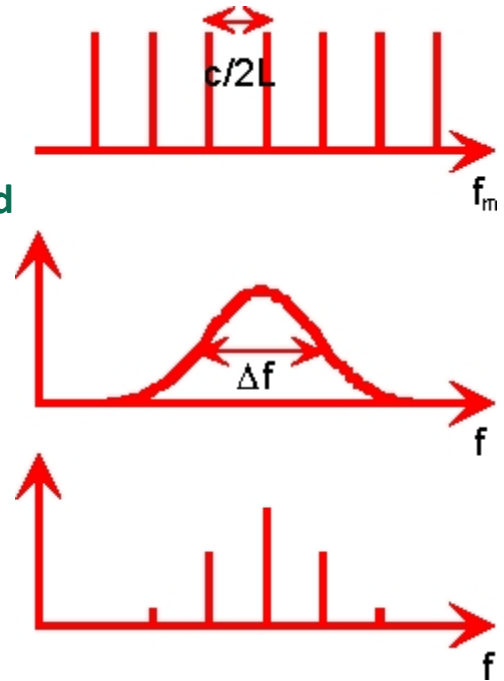
Os espelhos aumentam o percurso efetivo de interação dos fótons na cavidade, aumentando a **probabilidade de emissão estimulada**.

A cavidade suporta apenas certos tipos de **modos longitudinais**, que cumprem as condições de fronteira da cavidade.

Apenas alguns modos se sobrepõem à banda de absorção do meio ativo.

$$\Delta E \Delta t \sim \hbar$$

$$\Delta f \Delta t \sim 1/(2\pi)$$



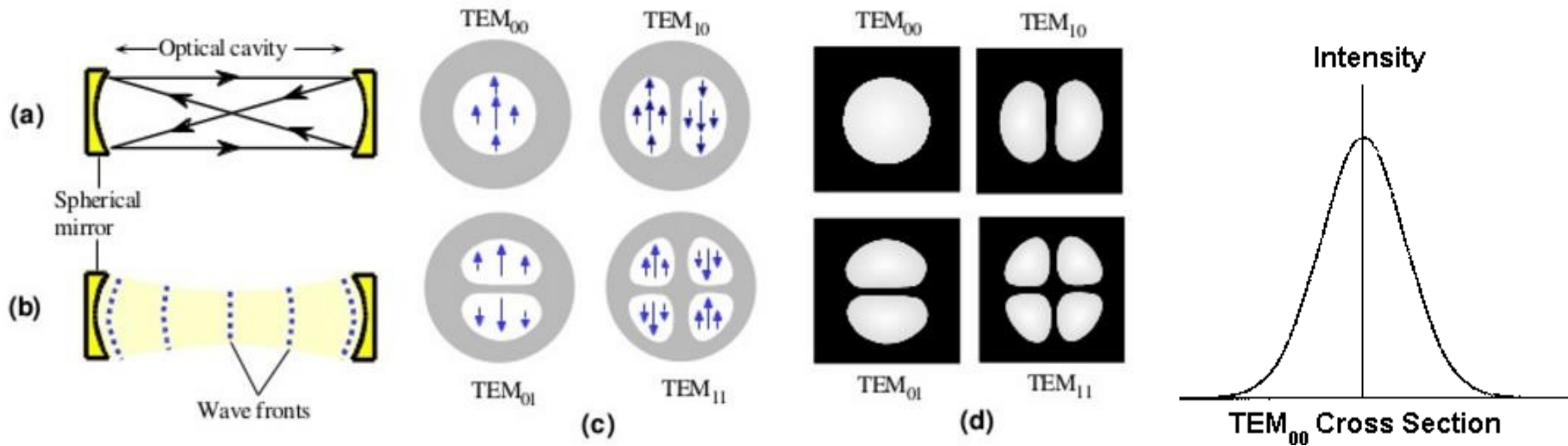
$$m\lambda = 2L$$

$$f_m = c/\lambda = mc/(2L)$$

$$\Delta f = c/2L$$

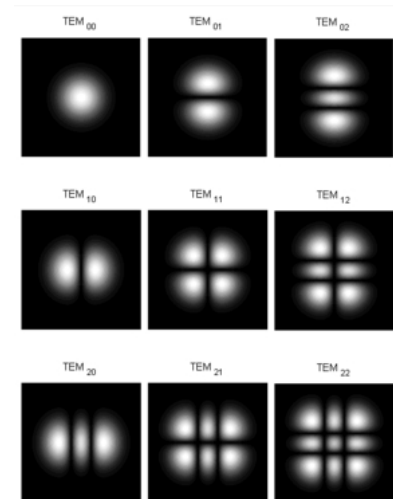
$m = ?$; $\Delta f = ?$
Se a largura de banda de ganho
 $\Delta \nu = 1,6 \text{ GHz}$ $m =$

Cavidade Ressonante Laser (Modos Transversais)

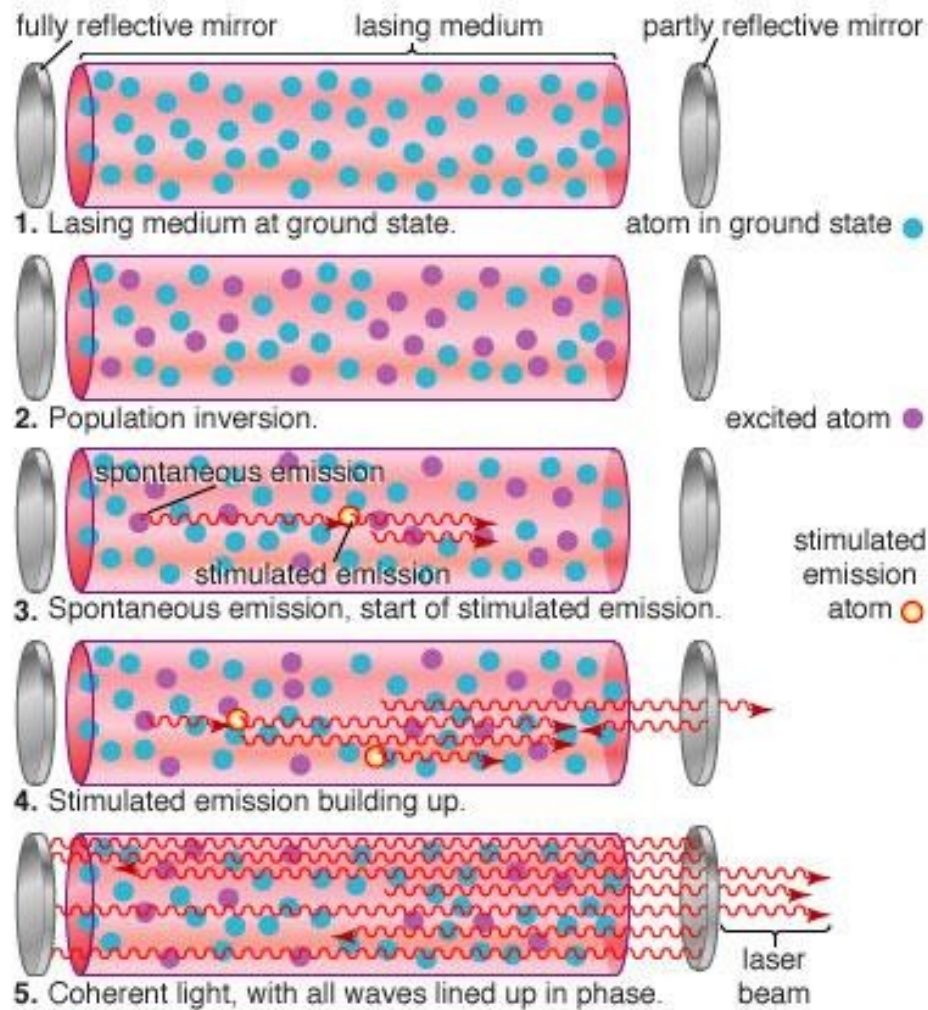


Laser Modes (a) An off-axis transverse mode is able to self-replicate after one round trip. (b) Wavefronts in a self-replicating wave (c) Four low order transverse cavity modes and their fields. (d) Intensity patterns in the modes of (c).

© 1999 S.O. Kasap *Optoelectronics* (Prentice Hall)

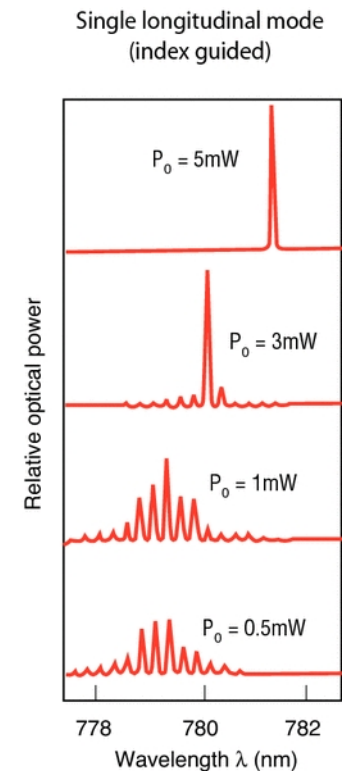
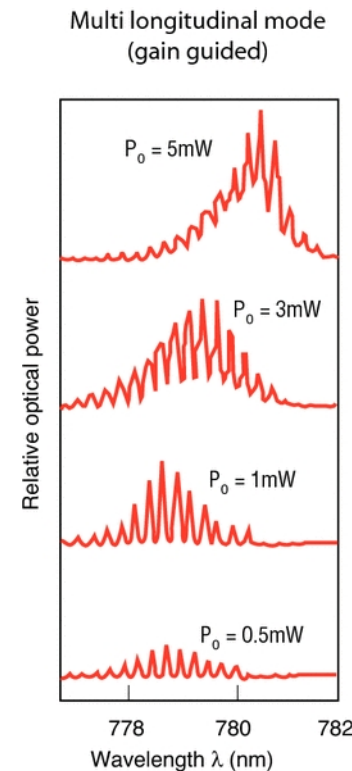


Laser - Emissão Estimulada dentro de uma cavidade ótica



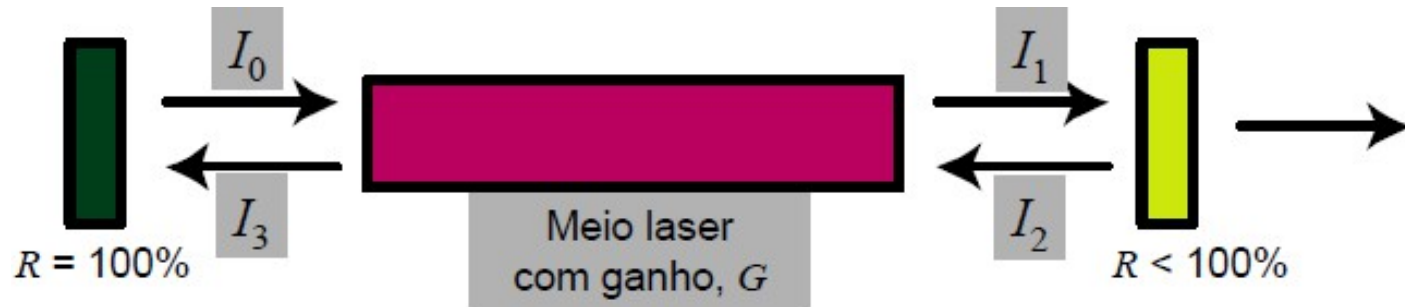
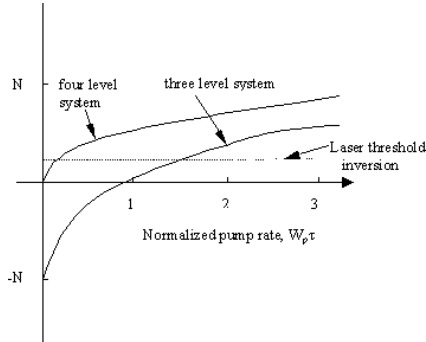
© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

A cavidade ótica
permite a
realimentação e a
filtragem espectral



O LASER

O LASER é feito por um meio que armazena energia, entre espelhos - onde um dos espelhos são parcialmente reflectores, permitindo que parte da luz saia da cavidade.



Para que um laser funcione como tal, a intensidade deve ser mais elevada após uma viagem de ida e volta à volta da cavidade

$$I_3 \geq I_0$$

As perdas por absorção, dispersão e reflexão ocorrem no interior da cavidade. Em geral, a radiação LASER só será emitida se:

Um feixe de luz LASER é:

Ganhos > perdas

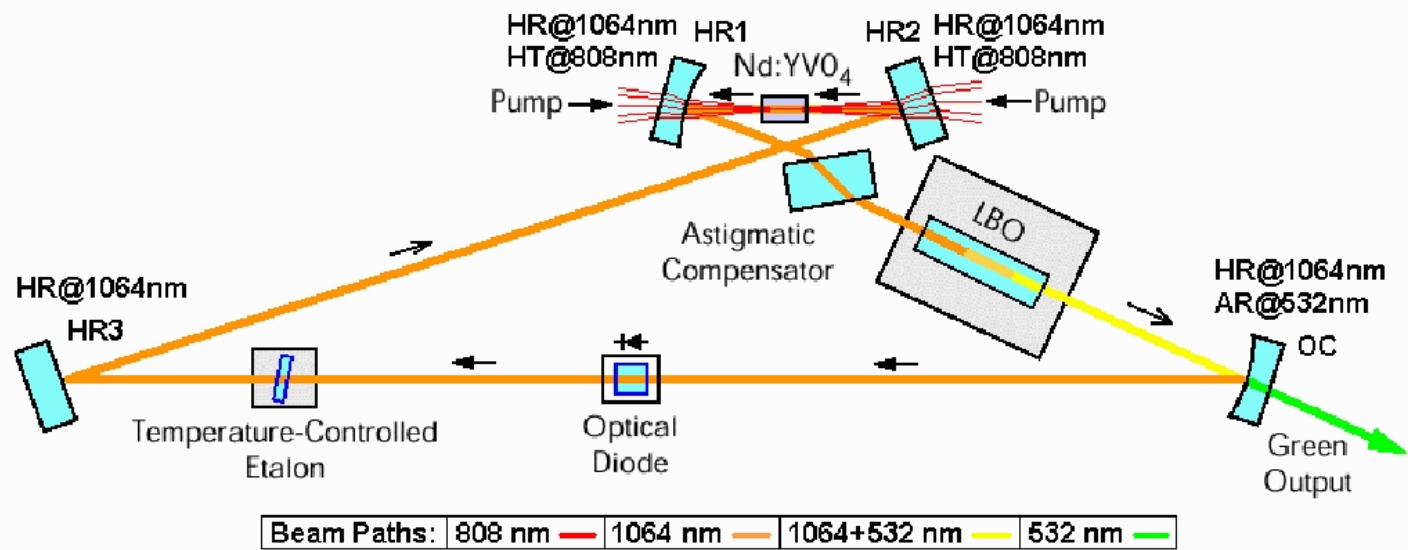
Quando os ganhos superam as perdas, diz-se a condição "Threshold".

- **Monocromático:** Tem um comprimento de onda estreito específico λ (cor bem definida). A emissão λ é determinada pela quantidade de energia libertada pelo eletrão na transição para um nível quântico inferior.
- **Coerente:** A luz é "organizada" - cada fóton é um clone do seu par estimulado. Todos os fótons têm propriedades semelhantes de fase, comprimento de onda, polarização e direção.
- **Colimado:** O feixe LASER é estreito e direcional, muito brilhante com uma divergência muito pequena. Ao contrário de

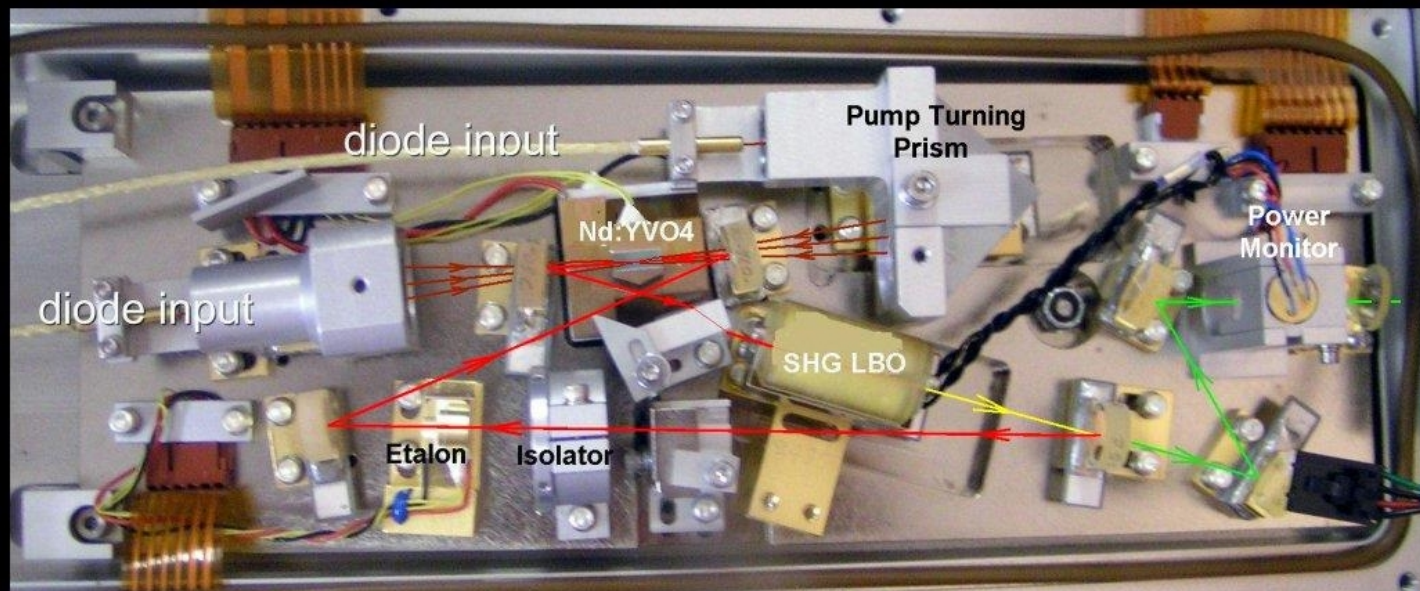
um flash

luz, que emite luz em todas as direcções, difusa e de baixa luminosidade.

- Pode ser operado com emissão contínua ou pulsada.



Ring Cavity Resonator of Coherent, Inc. Verdi Green DPSS Laser



Coherent Verdi DPSS Laser Cavity with Components Labeled

Direccionalidade

Divergência: Lâmpada $>180^\circ$

LED: 15°

Laser: mrad ($1/100$ de graus)



Laser Beam Divergence in the Near and Far Field

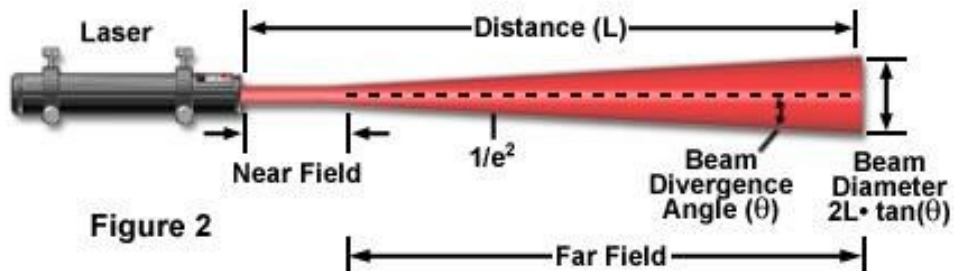
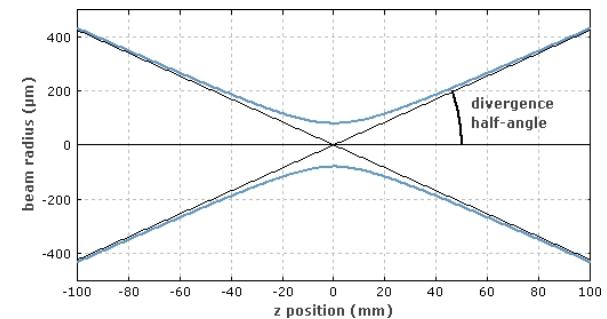


Figure 2



Monocromático (largura de banda espectral muito estreita)

Spectra From Common Sources of Visible Light

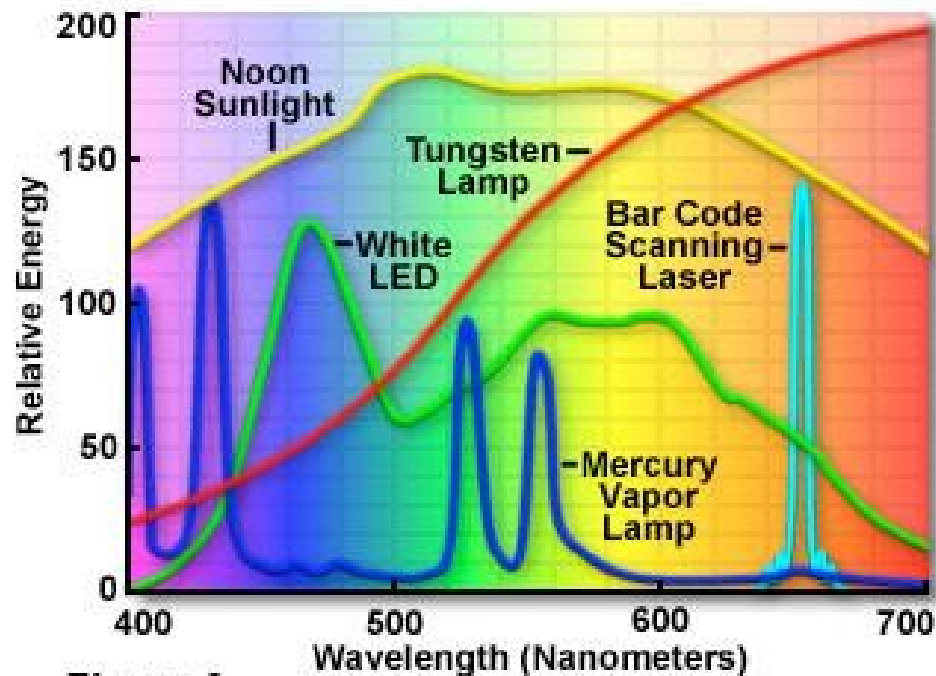
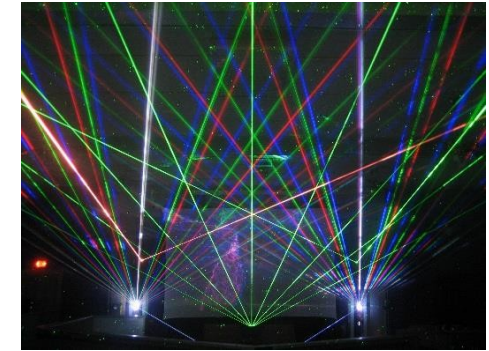


Figure 3



Sol, lâmpada de tungstênio: 100's nm

LED: 20 nm

Laser: sub pm! (kHz)

Tipos de lasers

- Cristais (por exemplo, Rubi, Nd:YAG)
- Semicondutores (InGa As)
- Gás (por exemplo, He-Ne, KrF)
- Corantes (Rodamina)

Laser type	Wavelength	Typical pulse duration
Argon ion	488/514 nm	CW
Krypton ion	531/568/647 nm	CW
He-Ne	633 nm	CW
CO ₂	10.6 μ m	CW or pulsed
Dye laser	450–900 nm	CW or pulsed
Diode laser	670–900 nm	CW or pulsed
Ruby	694 nm	1–250 μ s
Nd:YLF	1053 nm	100 ns – 250 μ s
Nd:YAG	1064 nm	100 ns – 250 μ s
Ho:YAG	2120 nm	100 ns – 250 μ s
Er:YSGG	2780 nm	100 ns – 250 μ s
Er:YAG	2940 nm	100 ns – 250 μ s
Alexandrite	720–800 nm	50 ns – 100 μ s
XeCl	308 nm	20–300 ns
XeF	351 nm	10–20 ns
KrF	248 nm	10–20 ns
ArF	193 nm	10–20 ns
Nd:YLF	1053 nm	30–100 ps
Nd:YAG	1064 nm	30–100 ps
Free electron laser	800–6000 nm	2–10 ps
Ti:Sapphire	700–1000 nm	10 fs – 100 ps

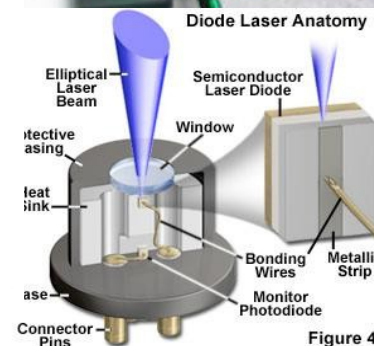
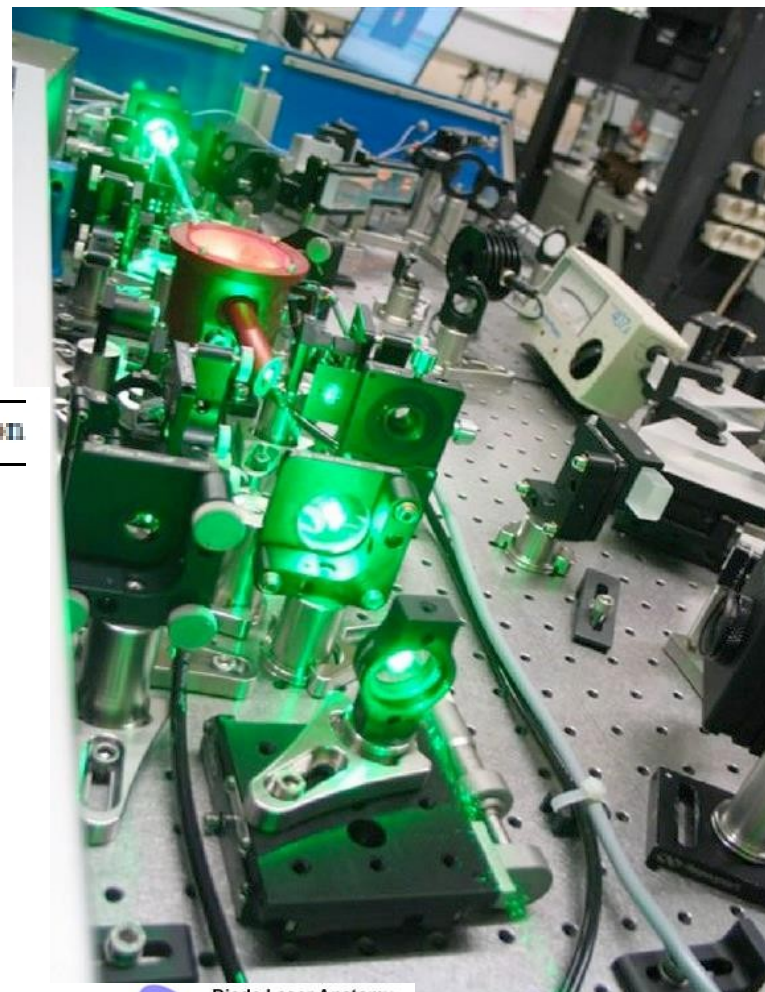
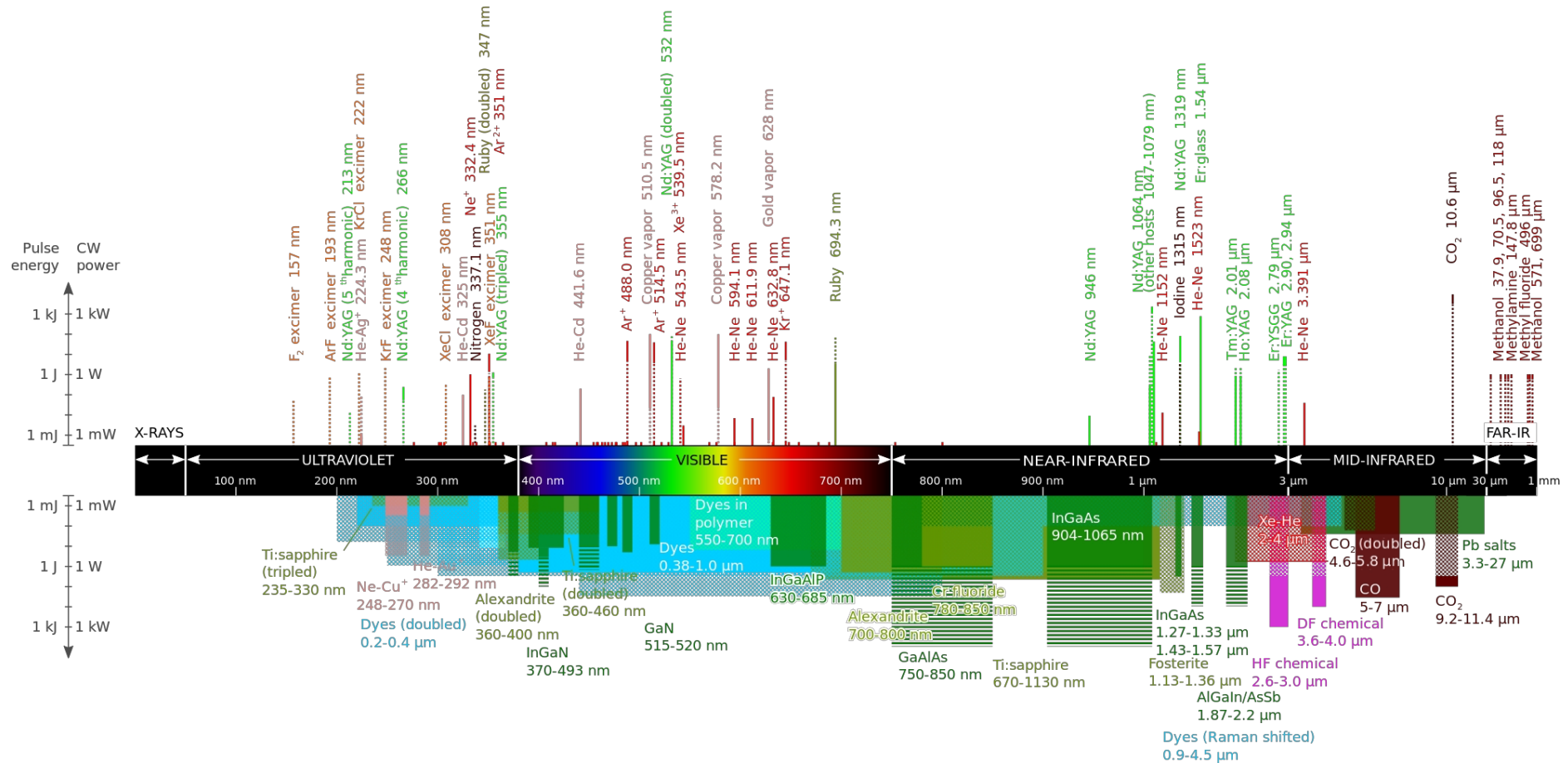


Figure 4

Lasers



<http://www.gaotec.com/index.php/products-applications/clc-laser/about-laser-wavelengthandapplications>

Exercícios

2. Calcule o número de comprimentos de onda da luz vermelha emitida por um laser He-Ne, ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$), que cabem numa folha de papel com uma espessura de $0,075 \text{ mm}$. Qual seria o comprimento ocupado pelo mesmo número de comprimentos de onda, para micro-ondas com uma frequência de 10 GHz ?

3. Uma lâmpada de flash ($3,0 \text{ V}$, $0,25 \text{ A}$) converte cerca de 10% da sua potência em luz ($\lambda \sim 550 \text{ nm}$). Se o feixe tiver uma secção inicial de 5 cm^2 :
 - a. Quantos fótons são emitidos por segundo?
 - b. Quantos fótons existem em cada m de feixe?
 - c. Quais são as características do vetor apontador (direção e magnitude)? Na saída da lâmpada.

Bibliografia e multimédia

http://www.phy.cuhk.edu.hk/phyworld/articles/laser/laser_e.html

<http://www.aml.engineering.columbia.edu/ntm/level2/ch02/html/l2c02s04.html>

<http://electron6.phys.utk.edu/optics421/modules/m5a/lasers.htm>

<http://userweb.eng.gla.ac.uk/douglas.paul/QCL/popinversion.html>

			Capítulos Tsia	Niemz	Hecht
17/2	Semana 2	Simulação laser JAVA. Princípios de ação do laser e propriedades da luz laser. Tipos de lasers.	1.6-7		13.1