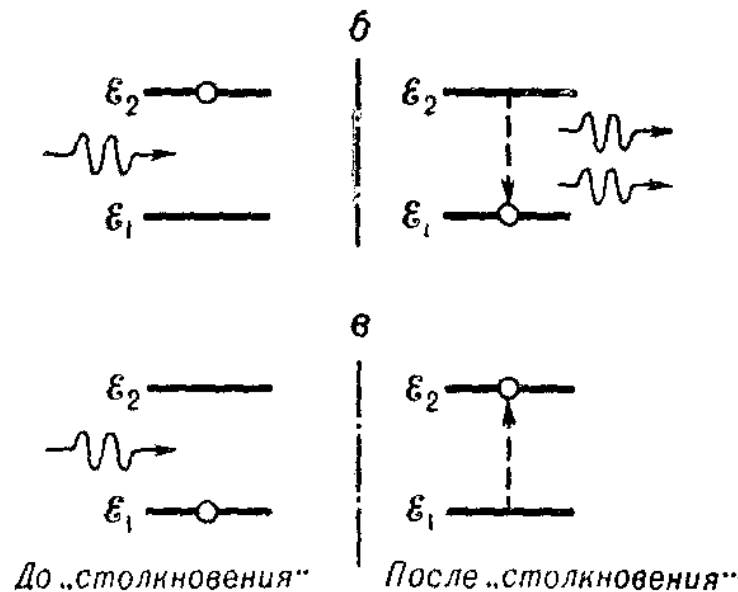
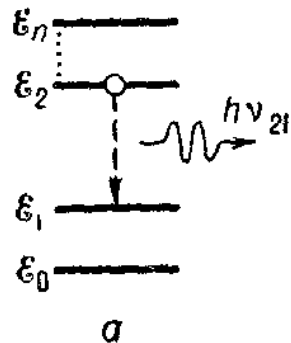


# Лазерные источники: спонтанное и вынужденное излучение

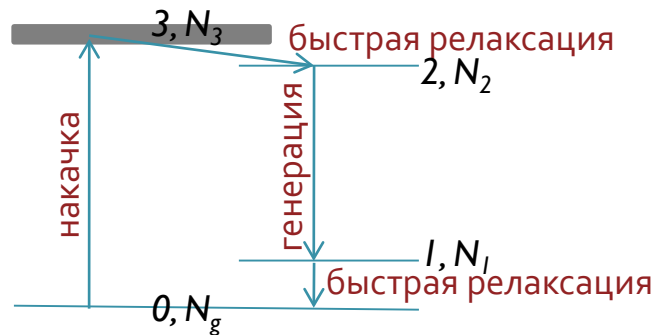


спонтанное излучение  $\left. \frac{dN_2}{dt} \right|_{\text{spont}} = -AN_2$

вынужденное излучение  $\left. \frac{dN_2}{dt} \right|_{\text{ind}} = -W_{21}N_2, \quad W_{21} = \sigma_{21}F$

# Лазерные источники: скоростные уравнения

Схема энергетических уровней  
четырехуровневого лазера



Скоростные уравнения

$$N_g + N_2 = N_t,$$

$$\dot{N}_2 = W_p N_g - Bq N_2 - N_2 / \tau,$$

$$\dot{q} = V_a Bq N_2 - q / \tau_c.$$

$$W_p N_g$$

-эффективность накачки

$$Bq N_2$$

- вынужденное излучение

$$N_2 / \tau, \quad q / \tau_c$$

- безызлучательная релаксация и оптическое поглощение

Приближения:

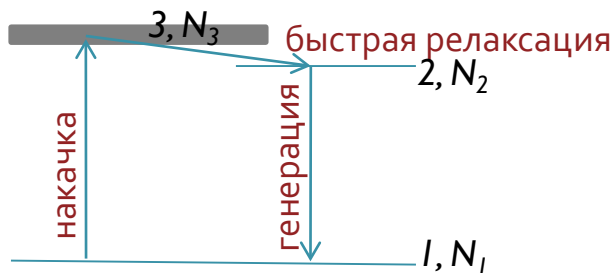
- населенности уровней 1 и 3

$$N_1 \approx N_3 \approx 0$$

- мода резонатора единственна

# Лазерные источники: скоростные уравнения

Схема энергетических уровней  
трехуровневого лазера



Скоростные уравнения

$$N_g + N_2 = N_t,$$

$$\dot{N}_2 = W_p N_1 - Bq(N_2 - N_1) - N_2 / \tau,$$

$$\dot{q} = V_a Bq(N_2 - N_1) - q / \tau_c.$$

# Коэффициенты Эйнштейна

Вынужденное излучение и поглощение в двухуровневой системе

$$W_{21} = B_{21}\rho_{\nu_0}$$

- вероятность вынужденного излучения

$$W_{12} = B_{12}\rho_{\nu_0}$$

- вероятность вынужденного поглощения

$$AN_2^e + B_{21}\rho_{\nu_0}N_2^e = B_{12}\rho_{\nu_0}N_1^e$$

- баланс равновесных населенностей

$B_{21}, B_{12}$  - коэффициенты Эйнштейна для вынужденного излучения и поглощения

$\rho_{\nu_0}$  - спектральная плотность энергии электромагнитного поля

Равновесные населенности определяются распределением Больцмана,

$$N_2^e / N_1^e = \exp(-h\nu_0 / kT)$$

тогда

$$\rho_{\nu_0} = \frac{A}{B_{12} \exp(-h\nu_0 / kT) - B_{21}}$$

# Коэффициенты Эйнштейна

Вынужденное излучение и поглощение в двухуровневой системе

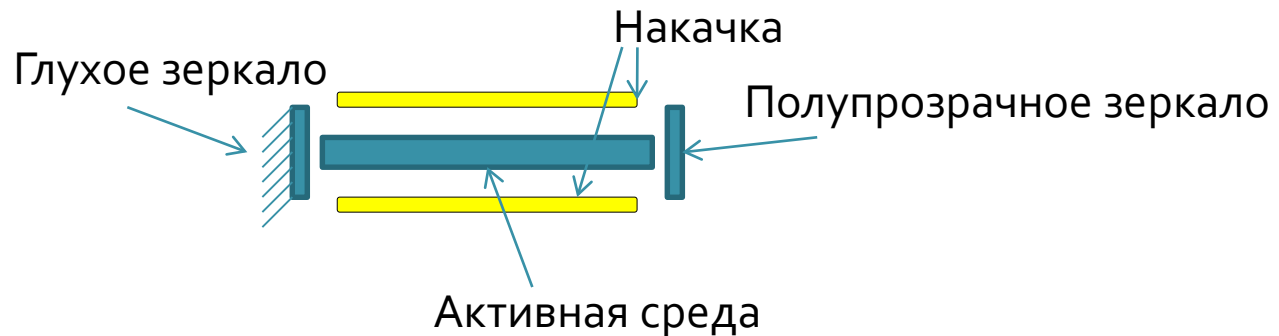
По формуле Планка для излучения абсолютно черного тела

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp(h\nu / kT) - 1}$$

сравнивая с предыдущим выражением, получим, что

$$B_{12} = B_{21} = B, \quad A / B = 8\pi h\nu_0^3 n^3 / c_0^3$$

Простейшая схема лазера



# Лазерные источники

| Type                           | Wavelength, nm                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Krypton-Fluoride Excimer       | 249                               |
| Xenon-Chloride Excimer         | 308                               |
| Nitrogen Gas (N <sub>2</sub> ) | 337                               |
| Organic Dye (in solution)      | 300 - 1000 (tunable)              |
| Krypton Ion                    | 335 - 800                         |
| Argon Ion                      | 450 - 530 (488 & 514.5 strongest) |
| Helium Neon                    | 543, 632.8, 1150                  |
| Semiconductor (GaInP family)   | 670 - 680                         |
| Ruby                           | 694                               |
| Semiconductor (GaAlAs family)  | 750 - 900                         |
| Neodymium YAG                  | 1064                              |
| Semiconductor (InGaAsP family) | 1300 - 1600                       |
| Hydrogen-Fluoride Chemical     | 2600 - 3000                       |
| Carbon Dioxide                 | 9000 - 1100 (main line 10,600)    |

# Лазерные источники

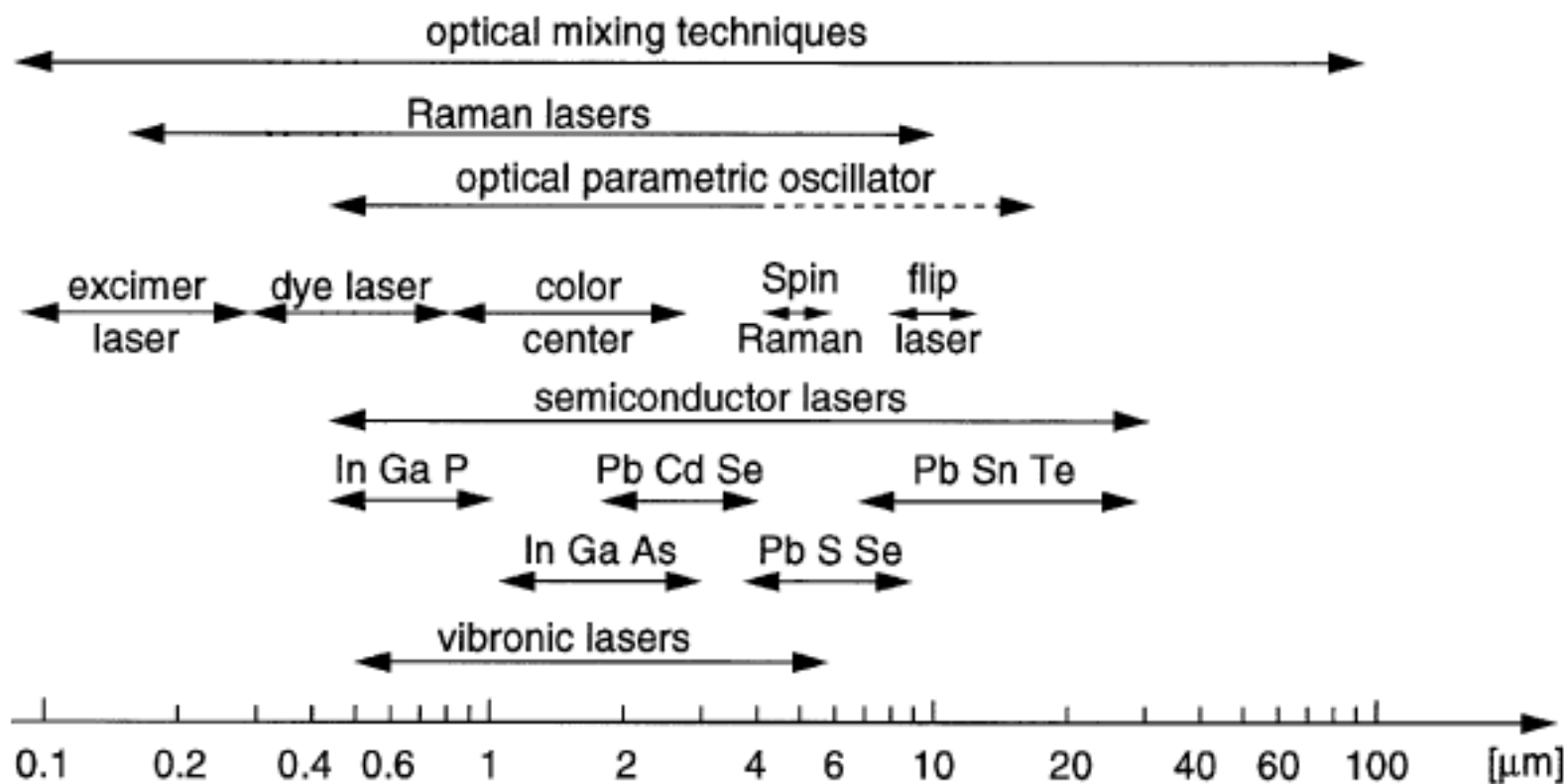


Fig.5.67. Spectral ranges of different tunable coherent sources



# Перестраиваемые твердотельные лазеры

**Table 5.3.** Characteristic data of some tunable solid-state lasers

| Laser                   | Composition   | Tuning range [nm] | Operation temperature [K] | Pump                |
|-------------------------|---|-------------------|---------------------------|---------------------|
| Ti:sapphire             | $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$                  | 670–1100          | 300                       | Ar laser            |
| Alexandrite             | $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$                | 710–820           | 300–600                   | Flashlamp           |
|                         |   | 720–842           | 300                       | Kr laser            |
| Emerald                 | $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6:\text{Cr}^{3+}$ | 660–842           | 300                       | $\text{Kr}^+$ laser |
| Olivine                 | $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Cr}^{4+}$                | 1160–1350         | 300                       | YAG laser           |
| Flouride laser          | $\text{SrAlF}_5:\text{Cr}^{3+}$                         | 825–1010          | 300                       | Kr laser            |
|                         | $\text{KZnF}_3:\text{Cr}^{3+}$                          | 1650–2070         | 77                        | cw Nd:YAG laser     |
| Magnesium fluoride      | $\text{Ni:MgF}_2$                                       | 1600–1740         | 77                        | YAG laser           |
| $\text{F}_2^+$ F-center | $\text{NaCl/F}_2^+$                                     | 1400–1750         | 77                        | cw Nd:YAG laser     |
| Holmium laser           | $\text{Ho:YLF}$   | 2000–2100         | 300                       | Flashlamp           |
| Erbium laser            | $\text{Er:YAG}$   | 2900–2950         | 300                       | Flashlamp           |
| Erbium laser            | $\text{Er:YLF}$   | 2720–2840         | 300                       | diode laser         |
| Thulium laser           | $\text{Tm:YAG}$   | 1870–2160         | 300                       | diode laser         |



# Лазеры на красителях

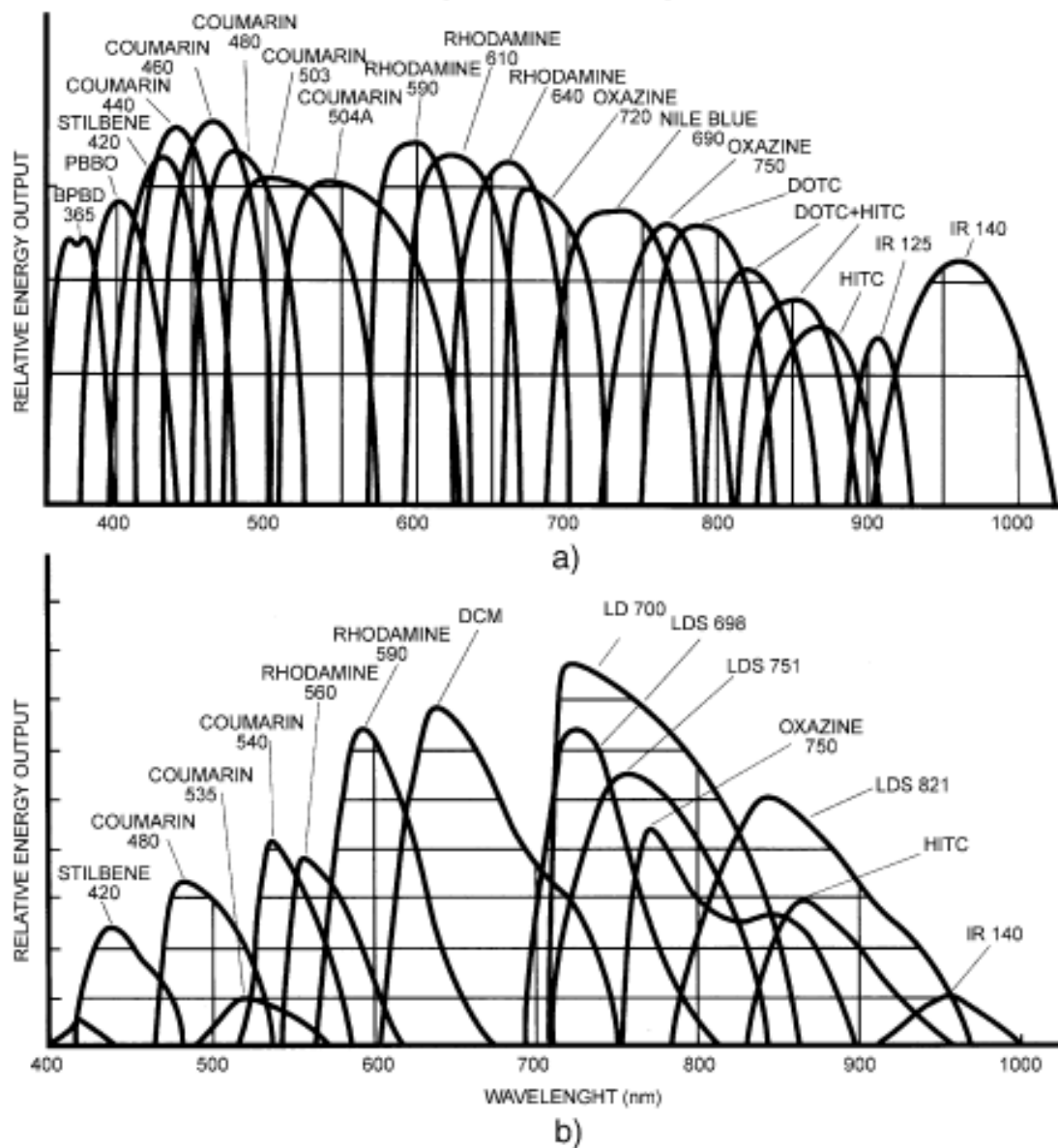


Fig. 5.86a,b. Spectral gain profiles of different laser dyes, illustrated by the output power of pulsed lasers (a) and cw dye lasers (b) (Lambda Physik and Spectra-Physics information sheets)