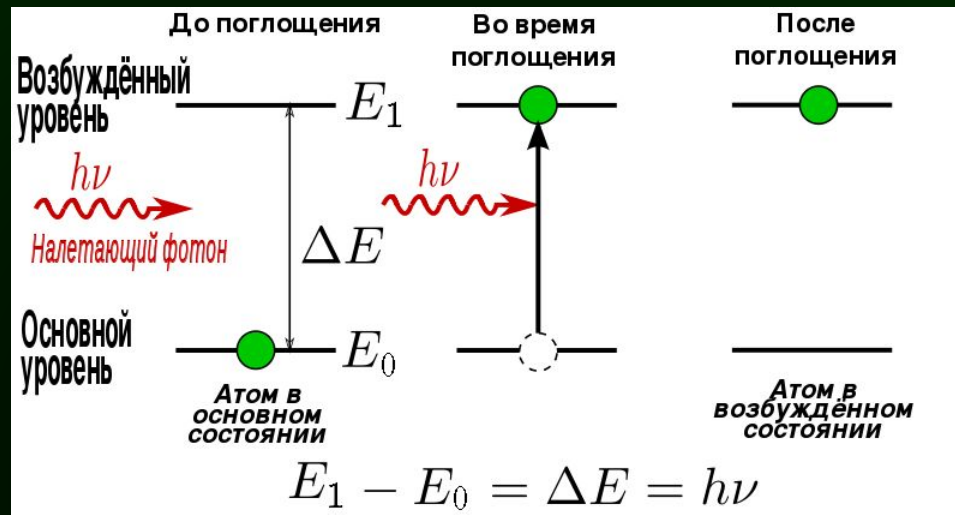
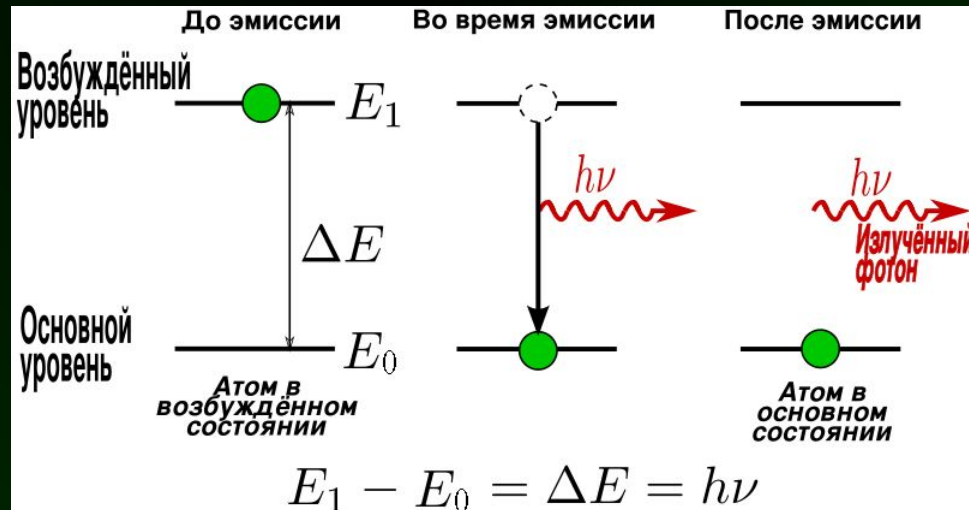


# Радиационные переходы

## Поглощение

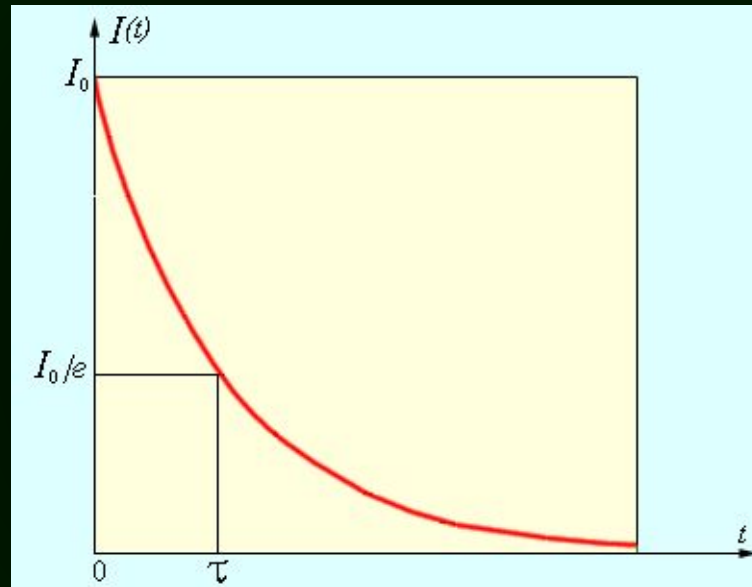


## Излучение (спонтанное)



# Спонтанное излучение

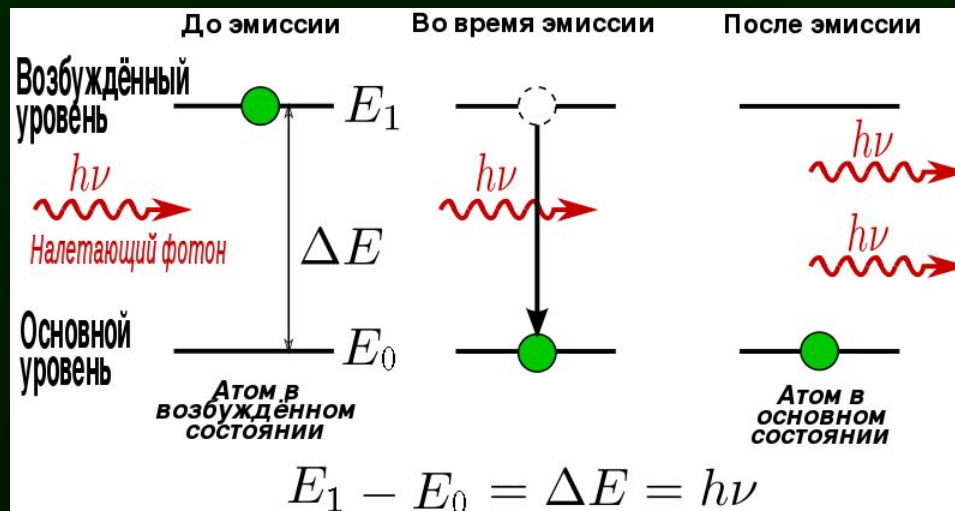
$$dN_{10} = A_{10} N_1 dt \quad N_1(t) = N_{10} \exp(-A_{10} t)$$



$$I(t) = I_0 \exp(-A_{10} t) = I_0 \exp(-t/\tau_1)$$

$$\tau_1 = 1/A_{10} \quad \tau \sim 10^{-8} \dots 10^{-9} \text{ с}$$

# Вынужденное излучение

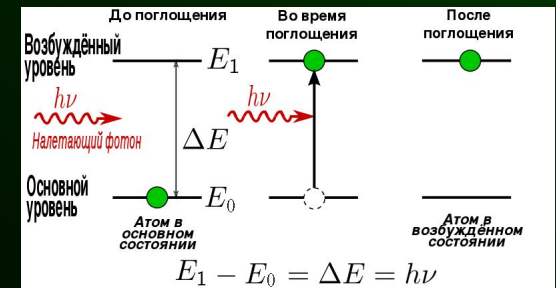
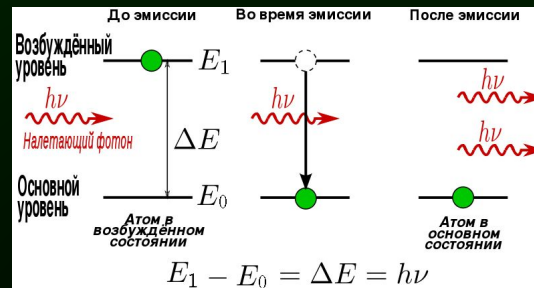
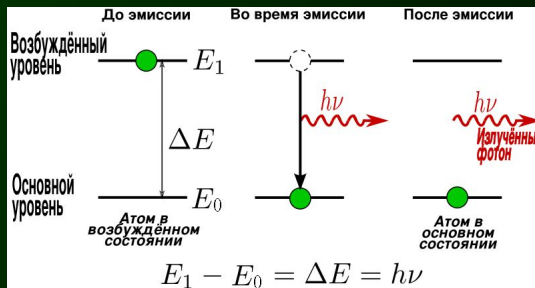


Вынужденное излучение **когерентно**

Вероятность вынужденного излучения

$$B_{10} \cdot U_{\omega}$$

# Термодинамическое равновесие



$$N_1 A_{10} + N_1 B_{10} U_\omega = N_0 B_{01} U_\omega$$

Распределение Больцмана:

$$N_1/N_0 = \exp[-(E_1 - E_0)/(kT)] = \exp[-\hbar\omega/(kT)]$$

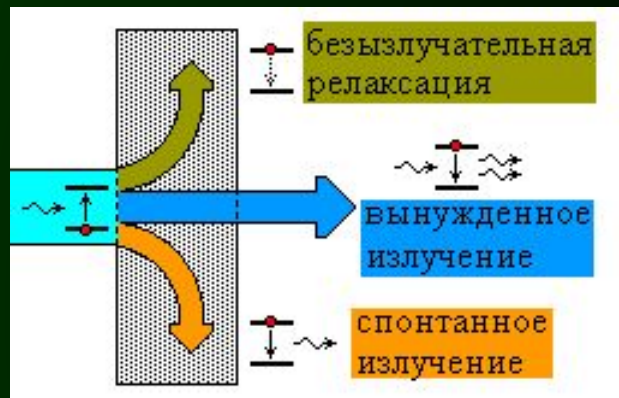
$$B_{01} = B_{10}$$

$$U_\omega(T) = \frac{A_{10}/B_{10}}{\exp[\hbar\omega/(kT)] - 1}$$

$$A_{10}/B_{10} = \hbar\omega^3 / (\pi^2 c^3)$$

# Принципы работы лазеров

**Лазер:** *light amplification by stimulated emission of radiation*



Закон Бугера  $I(z) = I_0 \exp(-\alpha z)$

$$\alpha = (N_1 B_{10} - N_0 B_{01}) U_{\omega} n dz / c$$

$$\alpha = \hbar \omega B (N_0 - N_1) n / c$$

Коэффициент поглощения

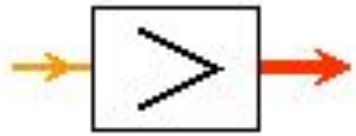
$$N_1 / N_0 = \exp[-\hbar \omega / (kT)] < 1$$

Инверсная населенность:  $N_1 > N_0$

# Инверсная населенность



МС – метастабильный (долгоживущий) уровень

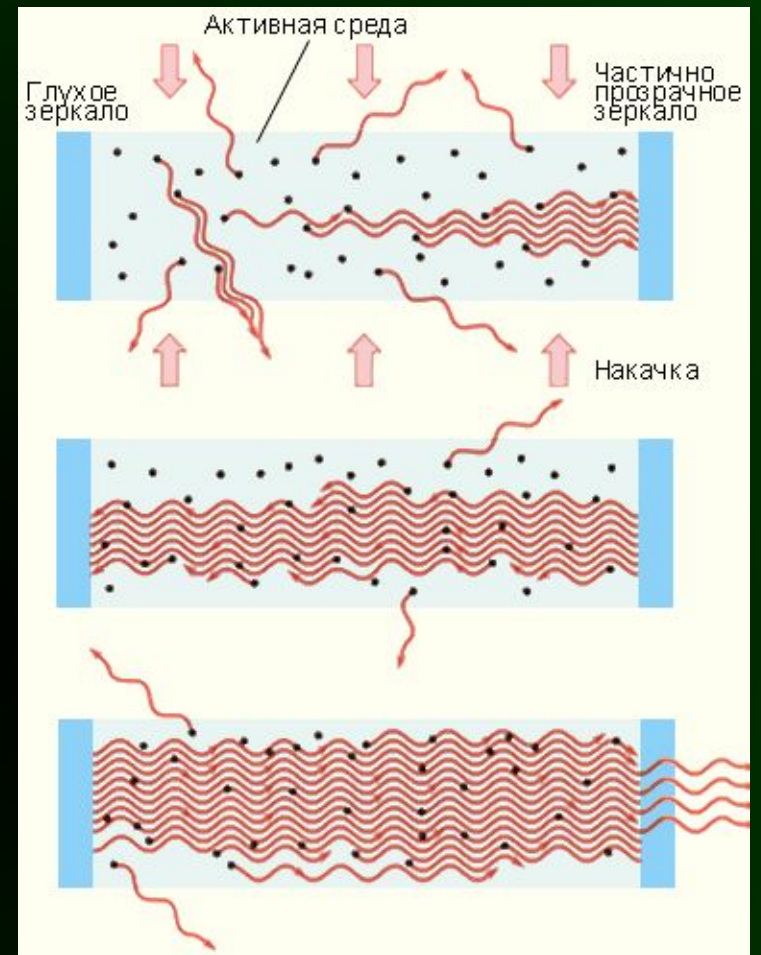


**Усилитель**



**Генератор =  
усилитель +  
положительная  
обратная связь**

ПОС



# Лазер на рубине

Т. Мейман, 1960 г.

Рубин: корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{Cr}^{3+}$ )

