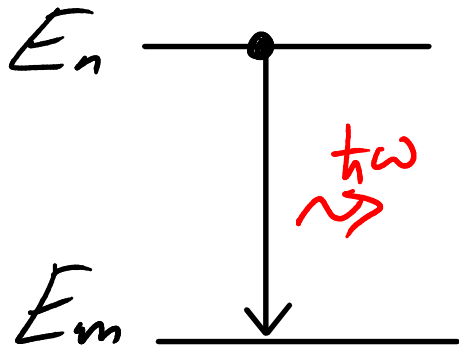


Глава 12. Спонтанное и вынужденное изл-е.

12.1. Естественная ширина спектральных линий

Рассм. атом в возб. сост. с тн. E_n



Возможен спонтанный
(самопроизв.) переход
в сост. с тн $E_m < E_n$.

Время, за кот. число атомов в данном
возбужд. сост. уменьшается в 2 раз
— время жизни возб. сост., τ

Из опыта $\tau \sim 10^{-8} \div 10^{-9}$ с

Из соотн. неопр-сти
Гейзенберга

$$\underline{\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar}$$

② \exists метастаб.
сост., $\tau > 0,1$ с
обычно это сост.
переход из кот. в низ-
— запрещен

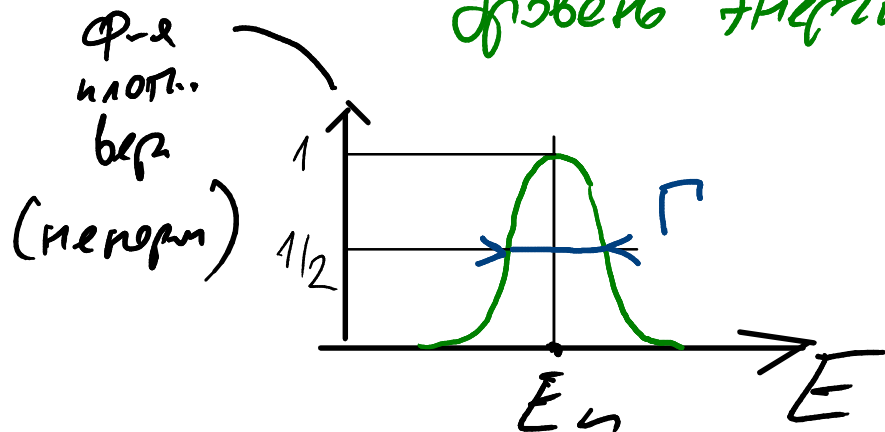
$$\Rightarrow \Delta E_{nm} \cdot \tau_{nm} \geq \hbar \Rightarrow$$

разница уровней $\Delta E_{nm} = E_n - E_m$ не
может быть меньше \hbar

\Rightarrow т.к. осн. сост. имеет время жизни ∞

и E осн. сост. строго точно \Rightarrow

Уровень энергии возб. сост. — размыт



Γ — ширина уровня

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$$

При переходе в осн. сост. возникает неопределенность

частоты: $\frac{1}{h} \delta W_0 = \Gamma$ | $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$; $\delta \lambda = \frac{2\pi c}{\omega^2} \delta \omega =$
 $= \frac{\lambda^2}{2\pi c} \delta \omega$

\Rightarrow $\delta W_0 = \frac{1}{c}$; $\delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2\pi c \Gamma}$

естественная ширина спектра
линии

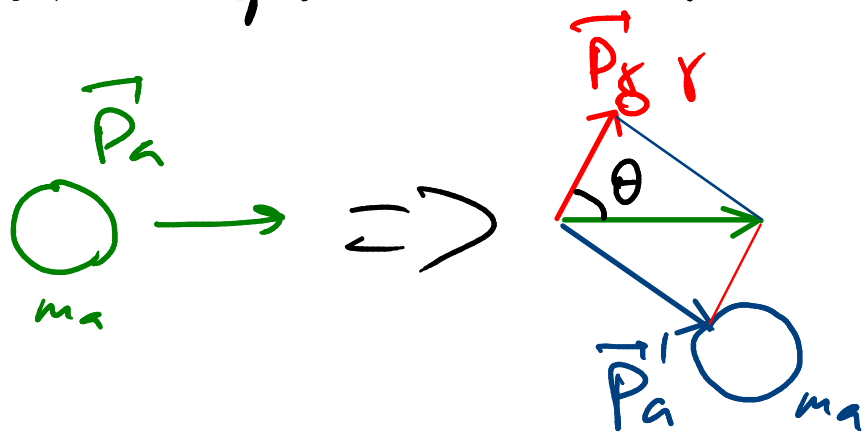
② $\lambda = 500 \text{ нм}$; $\delta W = 10^8 \text{ эВ}$;

$$\delta \lambda = \frac{500^2 \cdot 10^{-18}}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-8}} \approx \frac{25 \cdot 10^{-14}}{20} \approx 1,3 \cdot 10^{-14} \text{ м} =$$
$$= \underline{1,3 \cdot 10^{-5} \text{ нм}}.$$

12.2 Доплеровское уширение спектральных линий

— связано с тем. движ. атомов.

Рассм. атом массы m_a , или \vec{p}_a в состоянии E_h
атом переходит в состояние E_m и исп. фотон с \vec{p}_γ



ЗСЧ: $\vec{p}_a = \vec{p}_a' + \vec{p}_\gamma$

ЗСЭ: $E_h + T_a =$

$E_m + T_a' + E_\gamma$	$T_a = \frac{p_a^2}{2m_a}$
$= E_m + T_a' + E_\gamma$	$E_\gamma = h\nu$

$$\Delta E_{hm} = E_h - E_m = \frac{p_a^2 - p_a'^2}{2m_a} + h\nu$$

$$p_x = \frac{\hbar\omega}{c}; \quad \vec{p}_a' = \vec{p}_a - \vec{p}_\gamma \Rightarrow p_a'^2 = p_a^2 + p_\gamma^2 - 2p_a p_\gamma \cos\theta$$

$$\Delta E_{nm} = \hbar\omega + \frac{p_\gamma^2 - 2p_a p_\gamma \cos\theta}{2m_a} =$$

$$= \hbar\omega + \underbrace{\frac{(\hbar\omega)^2}{2m_a c^2}}_{\Delta E_z} - \underbrace{\frac{p_a \hbar\omega}{m_a c} \cos\theta}_{\Delta E_D}$$

$$\Rightarrow \Delta E_{nm} = \hbar\omega + \Delta E_z - \Delta E_D \quad ; \quad \Delta E_z = \frac{(\hbar\omega)^2}{2m_a c^2}$$

$$\Delta E_D = \frac{p_a \hbar\omega}{m_a c} \cos\theta$$

Обозначо $\Delta E_z \ll \Delta E_{nm}$; $\Delta E_D \ll \Delta E_{nm}$

$\Rightarrow \Delta E_{nm} \cong \hbar\omega$.

Рассм.

$(\Delta E_{nm} - \hbar\omega) = \Delta E_z + \Delta E_D$ — энергия отдачи

Усредним по углам : $\langle \Delta E_{nm} - \hbar\omega \rangle = \Delta E_z$.

$$\Delta E_z = \frac{(\Delta E_{nm})^2}{2m_a c^2}$$

Ср. зн. отдачи

$$\Delta E_D = \sqrt{\frac{2}{c}} \hbar\omega \cdot \cos\theta$$

Эн. своз. с тем. движ.

$\sigma = \frac{P_a}{m_a}$ —
— СК. тем. движ.

Обозн: $\Delta E_z = \hbar \Delta \omega_R$; $\hbar \omega_0 = \underline{\Delta E_{km}}$.

$$\Delta E_D = \frac{\hbar}{2} \delta \omega_D \cdot \cos \theta;$$

$$\Rightarrow \cancel{\hbar} \omega_0 = \cancel{\hbar} \Delta \omega_R - \frac{1}{2} \cancel{\hbar} \delta \omega_D \cos \theta + \hbar \omega$$

$$\underline{\omega = \omega_0 - \Delta \omega_R + \frac{1}{2} \delta \omega_D \cos \theta}$$

Т.к. направление \vec{p}_a - равновероятно $\Rightarrow \cos \theta \in \underline{(-1, 1)}$,
- равномерно

$$\omega' = \omega_0 - \Delta \omega_R$$

\Rightarrow Заכותа φωωηα - β αηηερβαηε ($\omega' \pm \frac{1}{2} \delta\omega_D$)

Μηρηηα ηηοηο ηηηερβαηε

$$\delta\omega_D = 2 \frac{v}{c} \frac{\Delta E_{nm}}{h} \approx 2 \frac{v}{c} \omega$$

Δοηηερβωσκη ηηρηηηα σκηεηρ.

Ληηηη

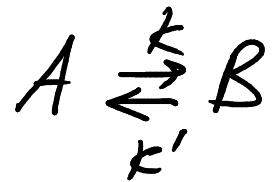
⊙ $v = 10^3 \text{ m/s}$; $\Delta\omega_R \approx 5 \cdot 10^4 \text{ Γυ}$ $\delta\lambda_D = \underline{3 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}}$
 $m = 10^{-22} \text{ z}$; $\Delta\lambda_R \sim \underline{10^{-7} \text{ \AA}}$
 $\omega \sim 3 \cdot 10^{15} \text{ Γυ}$;

12.3. Коэффициенты Эйнштейна

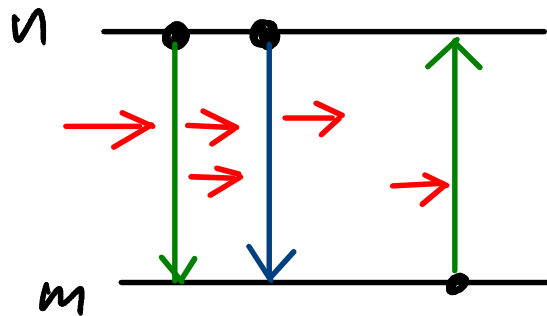
В равновесном сост. справедливо

Принцип детального равновесия:

Прямые и обратные процессы по
всему пути должны компенсировать др.-др.



Применяя этот принцип к переходам
в ту сост. атома с ат. E_n и E_m ; $E_n > E_m$.



$n \rightarrow m$. 1) спонтанные переходы
2) вынужденные переходы

$m \rightarrow n$ только вынуж. переходы.

Обозн.

A_{nm} - вероятность в ед. времени спонтанного перехода атома из сост. n в сост. m

$$[A_{nm}] = \text{с}^{-1}$$

N_n - концентрация атомов в сост. n

Частота спонтанных переходов $n \rightarrow m$;

$$\underline{D_{nm}^c} = A_{nm} \cdot N_n$$

V_{nm} - вероятность в ед. вр вынужд. перехода
атома из сост. n в сост. m , отнесенная к
спектр. плотн. эи. изл., вызвавшего этот переход

Частота вынужд. переходов $n \rightarrow m$

$$J_{nm}^{\nu} = V_{nm} \cdot N_n \cdot U(\omega, T)$$

→ спектр
плотн.
эи. изл.

$$U(\omega, T) = \frac{dW}{d\omega};$$
$$W = \frac{dW}{dV}$$

V_{mi} - версь в ед.вр., отп. к спектр. плотн. тн. чзл-я, вынужд. переход $m \rightarrow i$, вызв. тнчлч чзл.

Частота вынужд. перех. $m \rightarrow i$; $J_{mi}^b = N_m \cdot U \cdot V_{mi}$

N_m - конц.е атомов в сост. m .

A_{mi}, B_{im}, V_{mi} - коэфф.
Эйнштейна

В равновесии: $\underline{J_{nm}^e + J_{nm}^b = J_{mn}^b}$

$\Rightarrow N_n A_{nm} + N_n B_{nm} \cdot U = N_m U \cdot B_{mn}$

В сост. равновесия; — раскр-е Бозе-Эйнштейна

$N_i = A e^{-E_i/kT}$

$\Rightarrow A_{nm} e^{-E_n/kT} + B_{nm} \cdot U e^{-E_n/kT} =$
 $= B_{mn} \cdot U e^{-E_m/kT}$

При $T \rightarrow \infty$; $U \rightarrow \infty$

$$\Rightarrow B_{nm} \cdot U e^{-E_n/kT} \approx B_{mn} \cdot U e^{-E_m/kT}$$

При больших T : $e^{-E_n/kT} \xrightarrow{T \rightarrow \infty} 1$

$$\Rightarrow \boxed{B_{nm} = B_{mn}}$$

$$\Rightarrow A_{nm} e^{-E_n/kT} = B_{nm} \cdot U (e^{-E_m/kT} - e^{-E_n/kT})$$

$$U = \frac{A_{nm}}{B_{nm}} \frac{1}{\exp\left[\frac{E_n - E_m}{kT}\right] - 1} ;$$

$$E_n - E_m = \Delta E_{nm} = \hbar \omega .$$

$$\Rightarrow \left| U = \frac{A_{nm}}{B_{nm}} \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1} \right| \text{ Попробуем}$$

Планка.

②

$$A_{nm} \sim \int \psi_n^* \hat{P} \psi_m$$

↓
оценка
Dim.
max.

В пределе $\omega \rightarrow 0 \rightarrow U \approx \frac{A_{nm}}{B_{nm}} \frac{kT}{\hbar \omega}$ $e^x = 1 + x + O(x^2)$

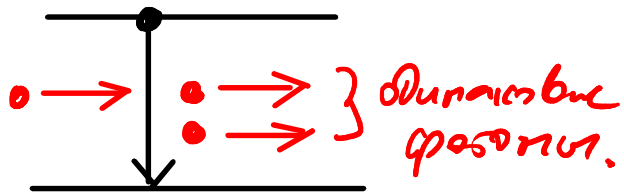
Для Планка формулы:

$$U = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} kT$$

$$\frac{A_{nm}}{B_{nm}} = \frac{\hbar \omega^3}{\pi^2 c^3}$$

12.4. Лазеры

В вых. изм. обладает той же частотой,
фазой и выск. волн, что и возбужденное изм.



1953г

Басов Таунс
Прохоров Вебер
↔
независимо

→ усиление
и генерация
изм-ов
в микроволн. Диап.

Microwave Amplification by Stimulated

Emission of Radiation = MASER

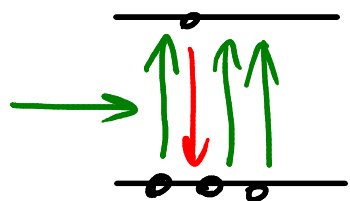
1960z. Meinman - mazer

Light A. S. E. R. = laser

1962. - Басов, Прохоров, Талунс - коберь.

В ТД равновесии. $N_i = A e^{-E_i/kT}$.

$\Rightarrow N_i$ уменьшается с ростом i .



\Rightarrow В ТД равновесии
поглощ. преобл. над. излуч.

$$\frac{N_n}{N_m} = e^{-\frac{\Delta E_{nm}}{kT}}$$

(отн) заселенность уровней

В ТД.
равновесии

$$\frac{N_n}{N_m} < 1$$

Если создать сос.

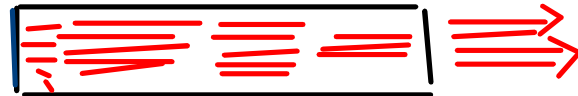
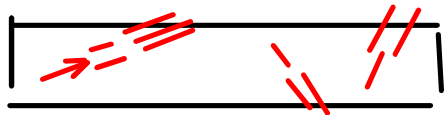
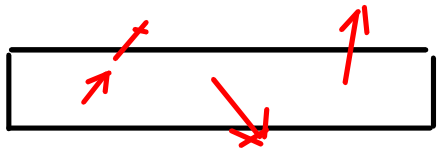
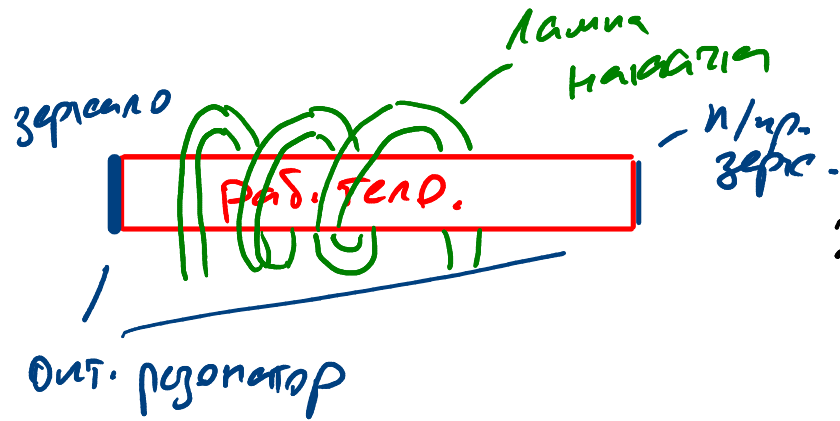
$\frac{N_n}{N_m} > 1$	инверсная заселенность
-----------------------	---------------------------

\Rightarrow аттн. коэфф. лол. света $\chi < 0$
и возможно уелание света.

⊗ $T < 0$

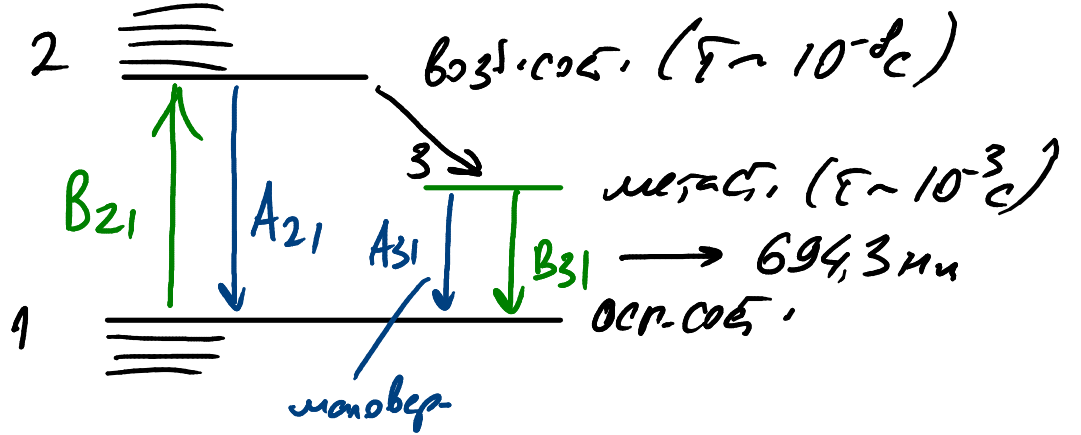
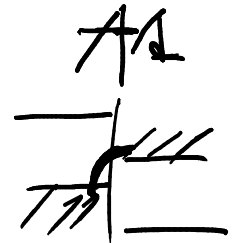
OK тк. сос.
неравновесно

Схема работы лазера



Нейтман

Максика - процесс озд-е
У.З.



спонтан. возд.