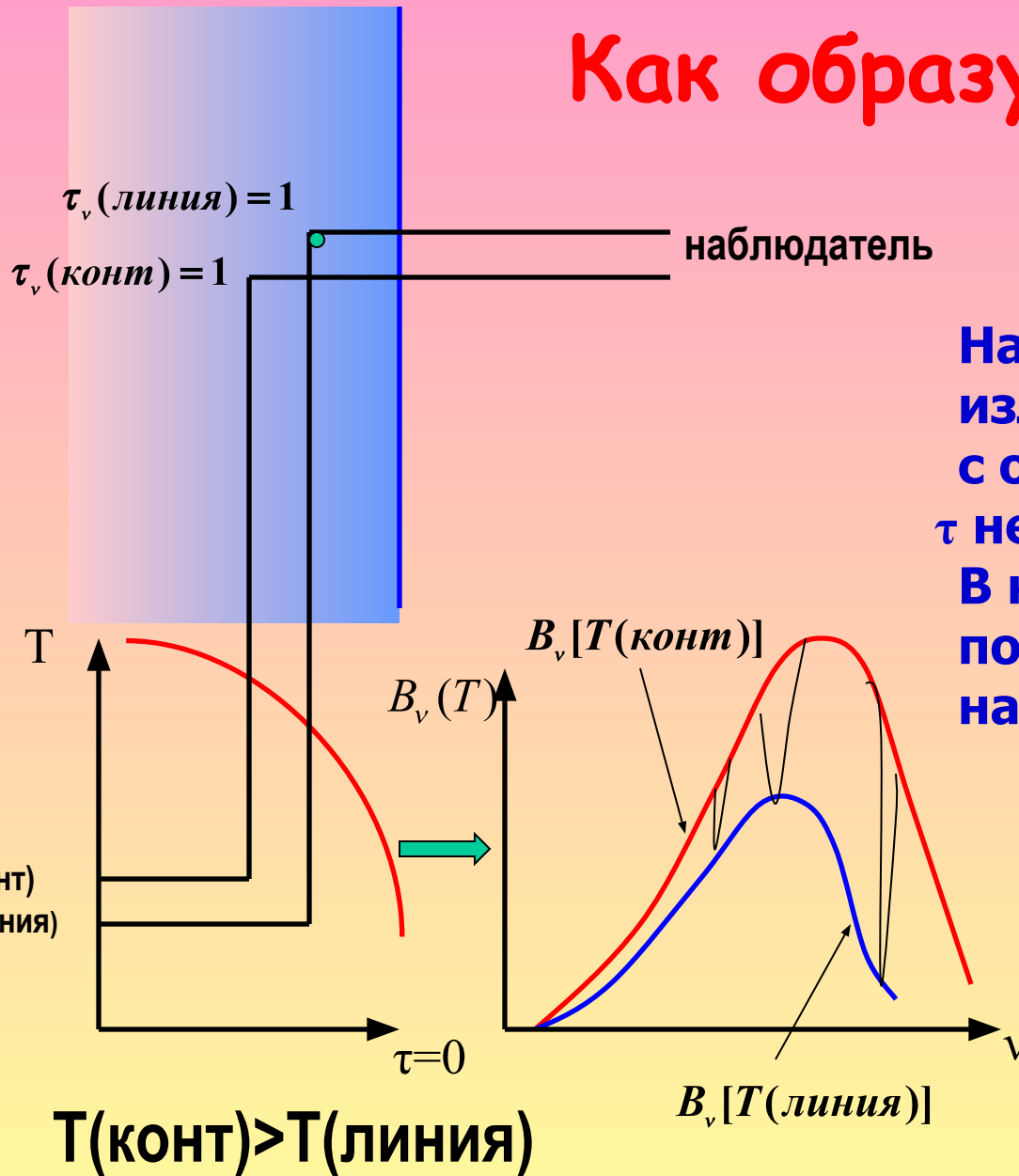


Образование личности.

Как образуются линии



Наблюдатель видит излучение через слой с оптической глубиной τ не более $\tau=1$.

В континууме коэффициент поглощения α мал, поэтому наблюдатель просматривает более глубокие слои с большей температурой. В области линии все обстоит наоборот.

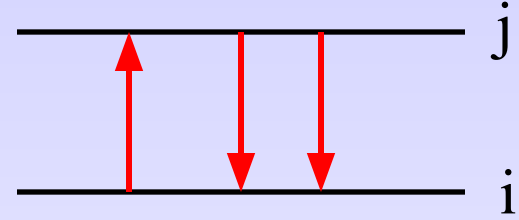
Коэффициенты Эйнштейна

- Число спонтанных переходов $j \longrightarrow i$ равно $N_j A_{ji}$, а энергия излучения равна $\varepsilon_v = N_j A_{ji} h\nu_{ij}$
- Число вынужденных переходов $j \longrightarrow i$
- равно $N_j B_{ji} \rho_{ji}$, а излученная энергия равна $\varepsilon_v = N_j B_{ji} \rho_{ji} h\nu_{ij}$
- Число вынужденных переходов $i \longrightarrow j$ равно $N_i B_{ij} \rho_{ij}$, а излученная энергия равна $\varepsilon_v = N_j B_{ij} \rho_{ji} h\nu_{ij}$

Замечание: Здесь коэффициенты Эйнштейна рассчитаны на плотность излучения ρ_{ij} . Но они могут быть рассчитаны и на интенсивность излучения.

Связь между коэффициентами Эйнштейна

Предполагаем ПТР:



$$\frac{N_j}{N_i} = \frac{g_j}{g_i} e^{-\frac{h\nu_{ij}}{kT}} \quad - \text{ формула Больцмана}$$

$$N_i B_{ij} \rho_{ij} = N_j A_{ji} + N_j B_{ji} \rho_{ij} \quad - \text{ детальный баланс}$$

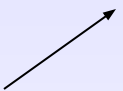
$$\rho_{ij} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu_{ij}}{kT}} - 1}$$

$$A_{ji} = \frac{8\pi h \nu_{ij}^3}{c^3} B_{ji}, \quad \frac{B_{ij}}{B_{ji}} = \frac{g_j}{g_i}$$

Замечание: если коэффициенты Эйнштейна рассчитаны на интенсивность, то первая формула будет иметь вид:

$$A_{ji} = \frac{2h \nu_{ij}^3}{c^2} B_{ji}$$

Учет отрицательного поглощения (вынужденного излучения)

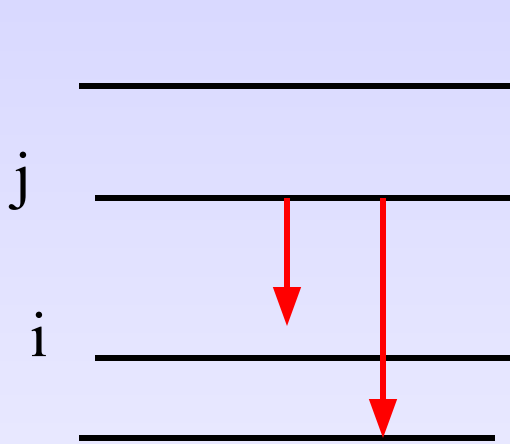
$$\Delta = N_i B_{ij} \rho_{ij} - N_j B_{ji} \rho_{ij} = N_i B_{ij} \rho_{ij} \left(1 - \frac{N_j}{N_i} \frac{B_{ji}}{B_{ij}}\right) =$$
$$= N_i B_{ij} \rho_{ij} \left(1 - \frac{N_j}{N_i} \frac{g_i}{g_j}\right)$$


Что будет, если эта скобка будет отрицательной?

При ТР будем иметь

$$\Delta = N_i B_{ij} \rho_{ij} \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{ij}}{kT}}\right)$$

Время жизни атома в возбужденном состоянии



Для простоты учитываем
только спонтанные
переходы.

$$dN_j = -N_j \sum_{i=1}^{j-1} A_{ji} dt = -N_j \gamma_j dt$$

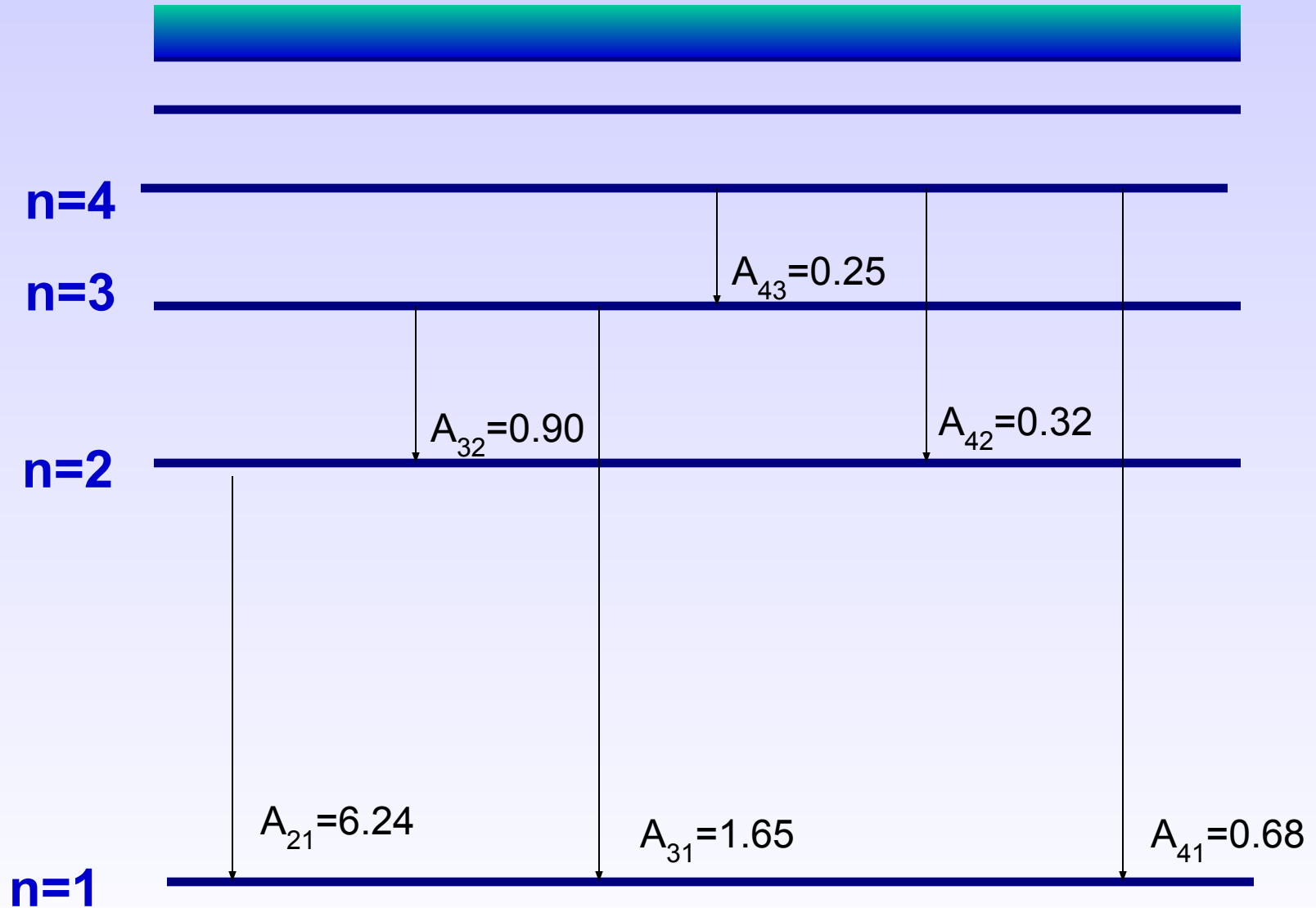
$$\frac{dN_j}{dt} = -N_j \gamma_j \longrightarrow$$

$$N_j(t) = N_j(t=0) e^{-\gamma_j t}$$

$$\bar{t} = \frac{\int t \gamma_j e^{-\gamma_j t} dt}{\int \gamma_j e^{-\gamma_j t} dt} = \frac{1}{\gamma_j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{j-1} A_{ji}}$$

Как изменится формула, если учитывать и другие процессы опустошения уровня j ?

Пример для атома водорода



Коэффициенты Эйнштейна приведены в единицах 10^8 сек^{-1}

Связь между коэффициентами Эйнштейна и коэффициентом поглощения

Число актов поглощения:

Классическая теория излучения -

$$\int \frac{N_i a_v \oint I_v(\omega) d\omega}{h\nu} d\nu = N_i c \int \frac{a_v \rho_v}{h\nu} d\nu \approx N_i c \frac{\rho_v}{h\nu} \int a_v d\nu$$

Полагаем, что в пределах линии плотность излучения почти постоянная.

Квантовая теория излучения -

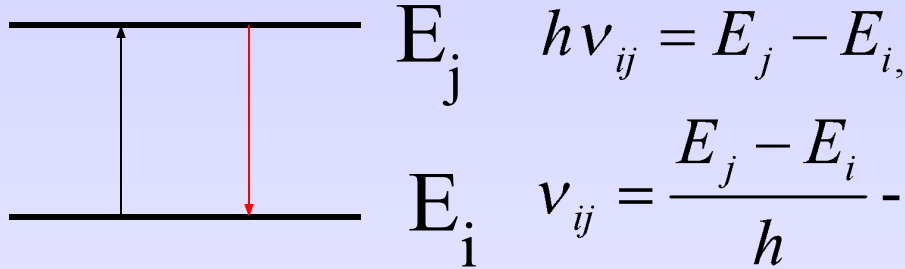
$$N_i B_{ij} \rho_{ij}$$

Итого:

$$\int a_v d\nu = \frac{h\nu_{ij}}{c} B_{ij}$$

Профиль линии

Квантовая теория излучения: если бы энергетические уровни были бы дискретными (т.е. со строго фиксированным значением энергии возбуждения E_j), то профиль линии был бы в виде дельта-функции.



$$\nu_{ij} = \frac{E_j - E_i}{h} - \text{строго фиксированная частота}$$

Классическая теория излучения:



Бесконечная
синусоида

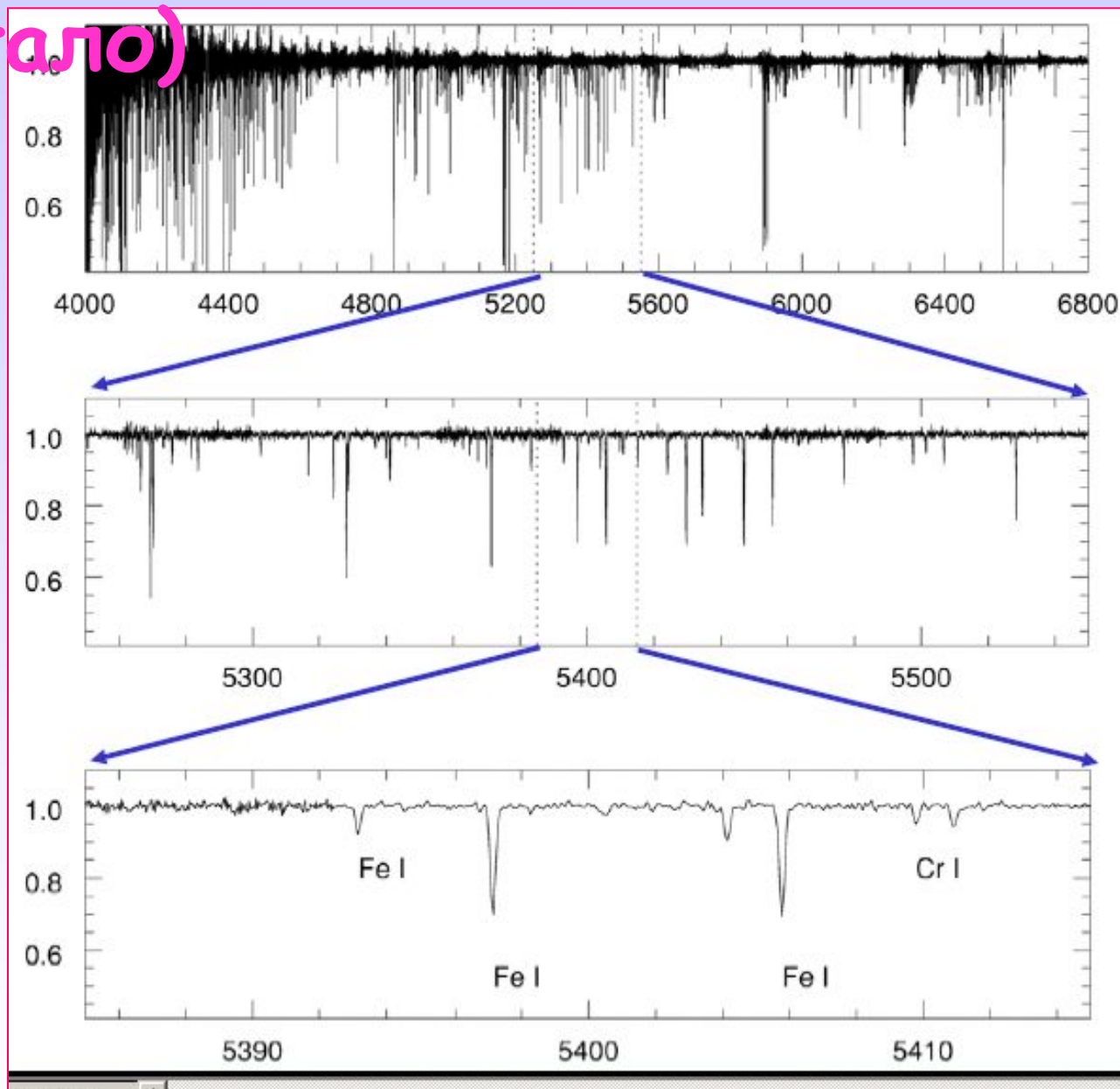
Вид линии:

непрерывный спектр

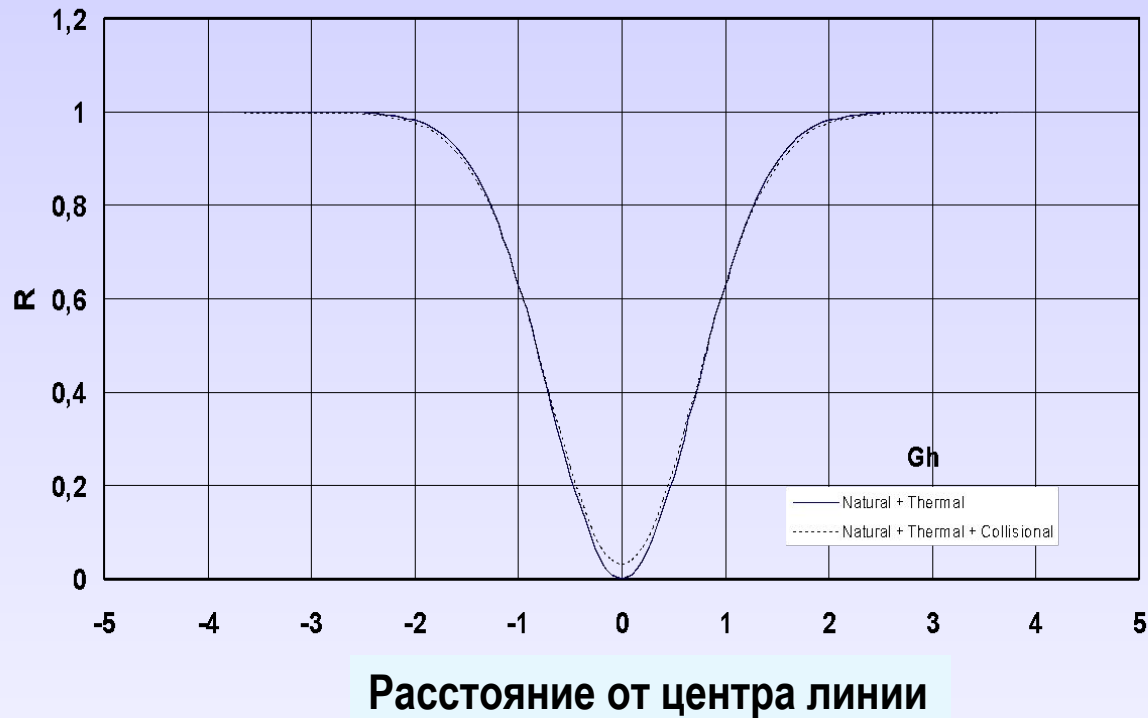
ЭМИССИОННАЯ
ЛИНИЯ

абсорбционная линия

Реальный спектр (пример-звезда гало)



Реальный вид профилей линий



Это означает, что линии уширяются определенными механизмами уширения