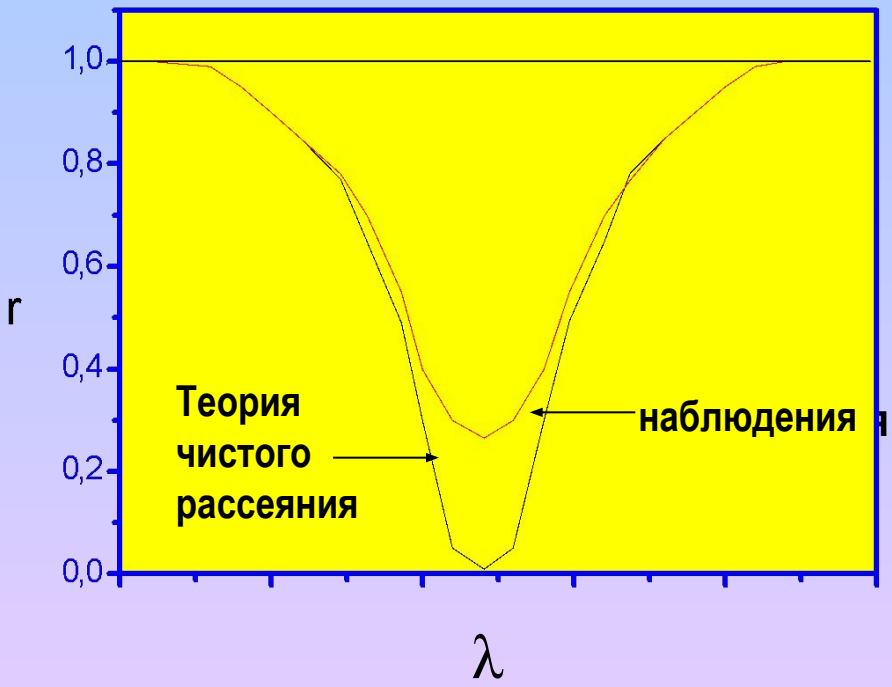
Лекция: флуоресценция

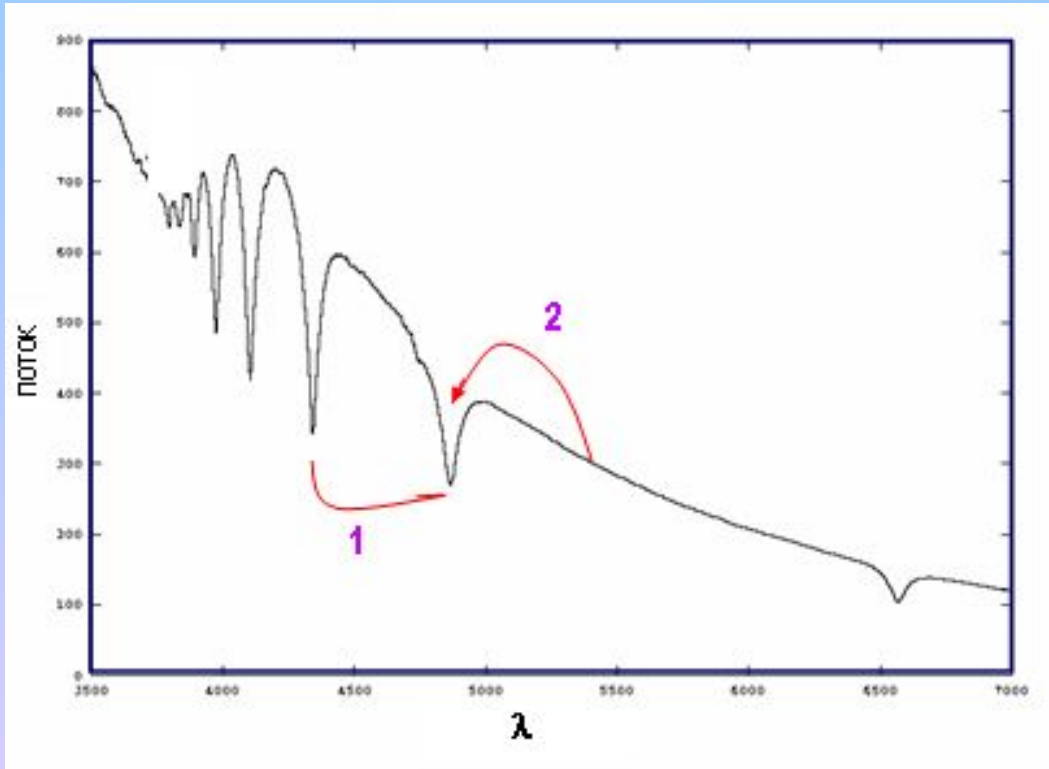
Вывод из теории рассеяния



Теория рассеяния предсказывает типичные значения остаточной интенсивности для ядер линий на уровне r_λ~0.001-0.0001.

Наблюдения же дают типичные значения r_λ~0.001-0.1

Вывод: Наша теория не учитывает какие то механизмы, которые поставляют дополнительные кванты в ядра линий из какого то резервуара излучения.



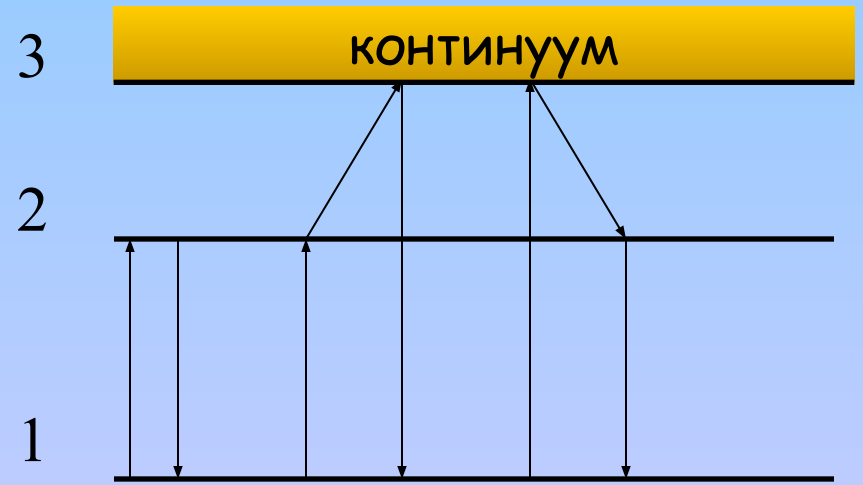
Возникла проблема: какой механизм может поставлять дополнительные кванты в линию, чтобы повысить ее остаточную интенсивность?

Ответ - есть два возможных механизма (см. рис.) :

1) кванты, поглощенные в одной линии, могут переизлучаться в другой, повышая остаточную интенсивность. Но этот механизм - без перспективы. Почему?

2) кванты, поглощенные в континууме, могут перизлучаться в линии. Этот механизм имеет перспективу. Почему?

Трехуровенный атом



Возможные переходы:

1-3-2-1 фотоионизация
фоторекомбинация
излучение в линии

1-2-3-1 поглощение в линии
фотоионизация
рекомбинация

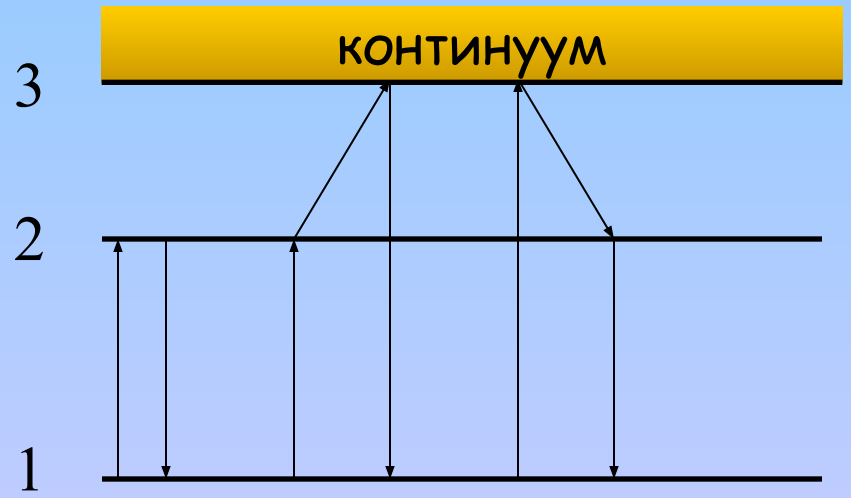
При этом процессе происходит полное исчезновение (поглощение) квантов в линии

1-2-1 поглощение в линии
излучение в линии

Это процесс чистого рассеяния

Как видно, дополнительное появление квантов в линии происходит за счет процессов 1-3-2-1. Но являются ли эти процессы доминирующими, например, по сравнению с процессами 1-2-3-1?

Трехуровенный атом



Сравним роль переходов (1-3-2-1) и (1-2-3-1)

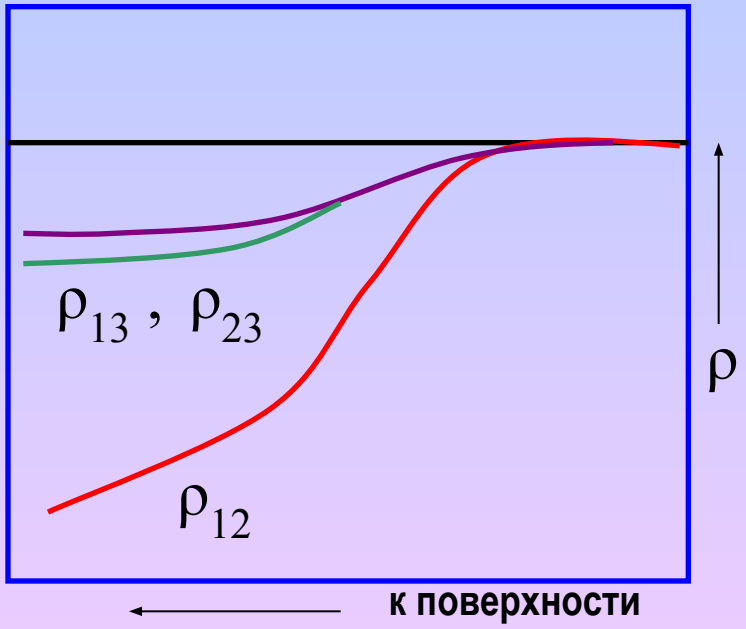
$$z = \frac{N(1-3-2-1)}{N(1-2-3-1)}$$

1-2-3-1 - число этих процессов определяется населенностью уровня 1 и плотностью излучения в частотах перехода 1-2 и 2-3

$$N(1-2-3-1) \sim N_1 \rho_{12} \rho_{23}$$

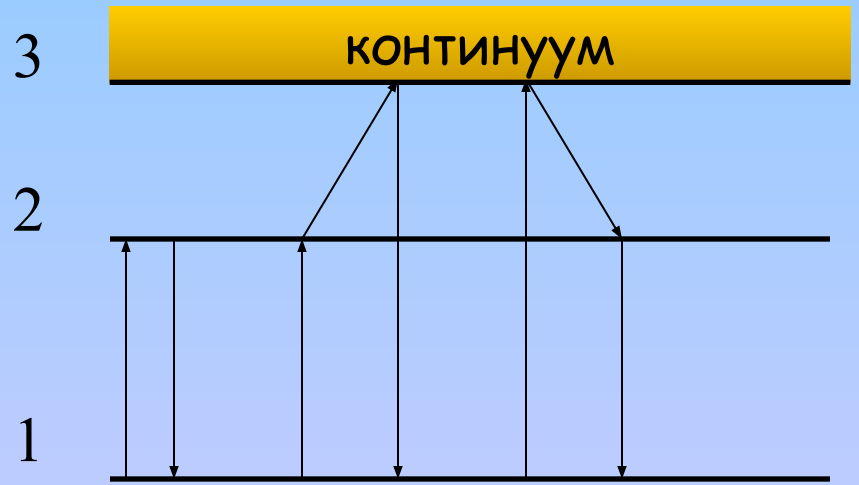
1-3-2-1 - число таких переходов определяется населенностью уровня 1 и плотностью излучения в частотах континуума 1-3

$$N(1-3-2-1) \sim N_1 \rho_{13}$$



$$z \sim \frac{\rho_{13}}{\rho_{12}\rho_{23}} > 1$$

Трехуровенный атом



Коэффициенты излучения в линии

1-2-1

$$\varepsilon_\nu^l(1-2-1)=\alpha_\nu^l J_\nu$$

1-2-3-1

$$\varepsilon_\nu^l(1-2-3-1)=\gamma\alpha_\nu^l J_\nu$$

γ учитывает, что не все атомы со второго уровня переходят вниз

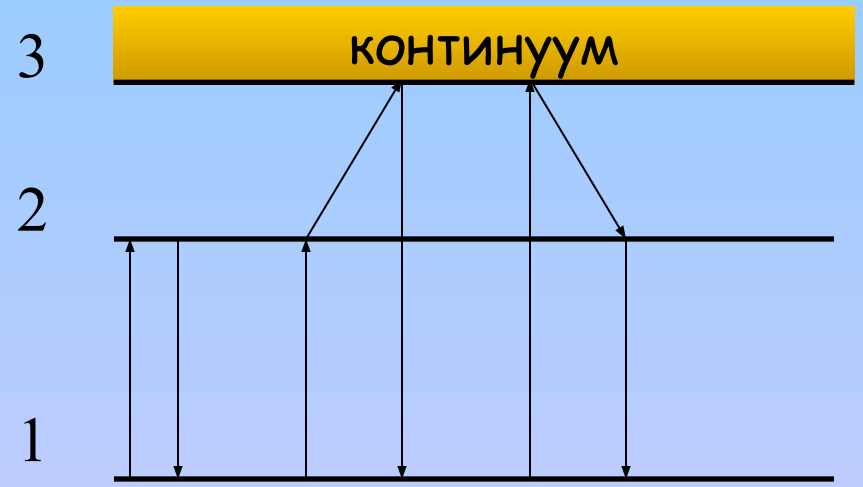
1-3-2-1

$$\varepsilon_\nu^l(1-3-2-1)=\varepsilon_\nu^{'}$$

С учетом всех процессов

$$\boxed{\varepsilon_\nu^l=(1-\gamma)\alpha_\nu^l J_\nu+\varepsilon_\nu^{'}}$$

Трехуровенный атом



Как определить $\varepsilon_\nu^{'}$?

1) Возьмем случай глубоких слоев, где выполняется ЛТР. Тогда согласно принципу детального баланса

$$N(1-2-3-1) = N(1-3-2-1)$$

2) Тогда

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_\nu^l(1-3-2-1) &= \varepsilon_\nu^{'} \\ \varepsilon_\nu^l(1-2-3-1) &= \gamma\alpha_\nu^l J_\nu \end{aligned}\right\} \varepsilon_\nu^{'} = \gamma\alpha_\nu^l J_\nu$$

3) Но при ЛТР $J_\nu = B_\nu(T)$ $\Longrightarrow$ $\varepsilon_\nu^{'} = \gamma\alpha_\nu^l B_\nu(T)$

4) В поверхностных слоях ЛТР может не соблюдаться. Поэтому введем поправочный множитель Q:

$$\varepsilon_\nu^{'} = \gamma Q\alpha_\nu^l B_\nu(T)$$

5) В итоге:

$$\boxed{\varepsilon_\nu^l = (1-\gamma)\alpha_\nu^l J_\nu + \gamma Q\alpha_\nu^l B_\nu^l}$$

$$\cos\vartheta \frac{dI_\nu}{d\tau_\nu} = (1+\eta_\nu)I_\nu - (1-\gamma)\eta_\nu J_\nu - (1+Q\gamma\eta_\nu)B_\nu(T),$$

$$d\tau_\nu = -\alpha_\nu^c dx, \quad \eta_\nu = \frac{\alpha_\nu^l}{\alpha_\nu^c}$$

$$\frac{d^2 J_\nu}{d\tau_\nu^2} = 3((1+\eta_\nu)[(1+\gamma\eta_\nu)J_\nu - (1+Q\gamma\eta_\nu)B_\nu(T)]$$

$$r_\nu = \frac{1+Q\gamma\eta_\nu}{1+\gamma\eta_\nu}\frac{2+\sqrt{3}}{1+\frac{\beta_\nu^*}{\sqrt{3}}}\frac{\beta_\nu^* + b_\nu}{2b_\nu + 3(1+\eta_\nu)}, b_\nu = \sqrt{3(1+\gamma\eta_\nu)(1+Q\gamma\eta_\nu)}$$

$$\gamma \approx 10^{-3}, \eta_{\nu_0} \approx 10^6, \gamma\eta_{\nu_0} \approx 10^3 >> 1$$

$$r_{\nu_0} \approx Q\sqrt{\gamma} \approx 0.03$$