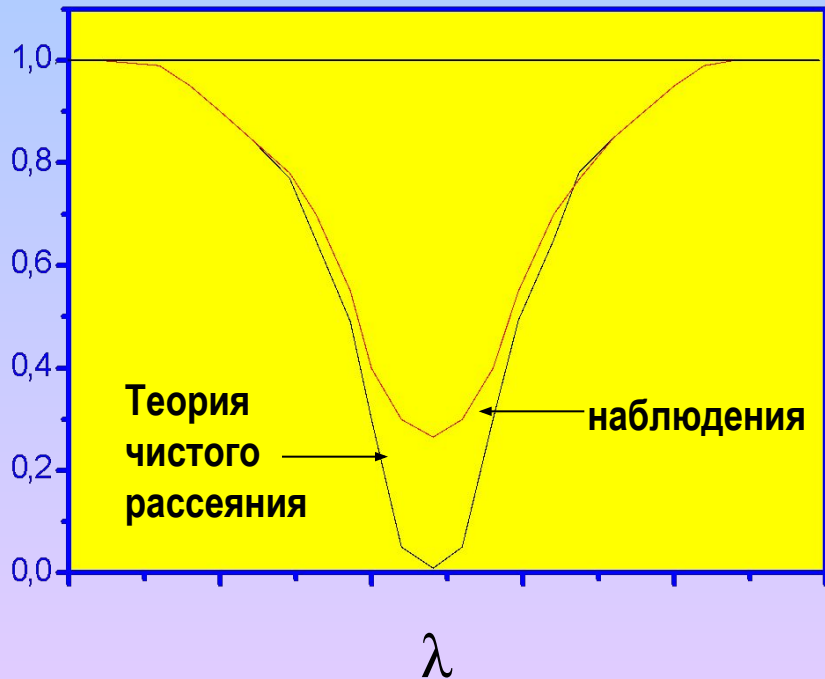


# Лекция: флуоресценция

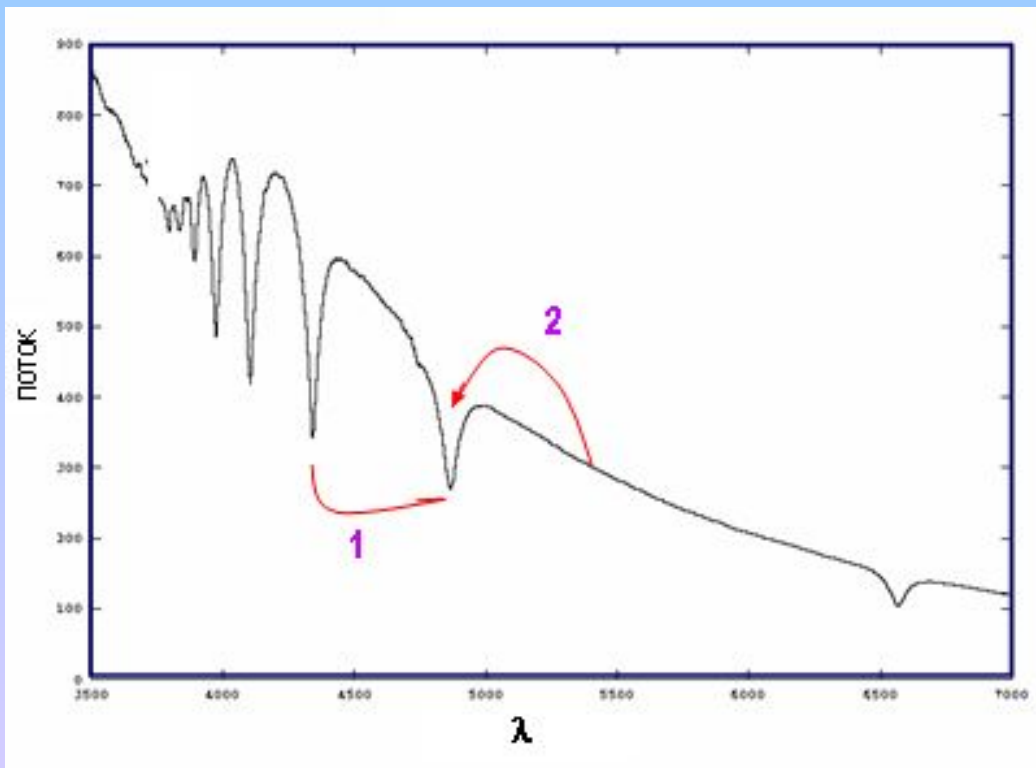
# Вывод из теории рассеяния



Теория рассеяния предсказывает типичные значения остаточной интенсивности для ядер линий на уровне  $r_\lambda \sim 0.001-0.0001$ .

Наблюдения же дают типичные значения  $r_\lambda \sim 0.001-0.1$

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



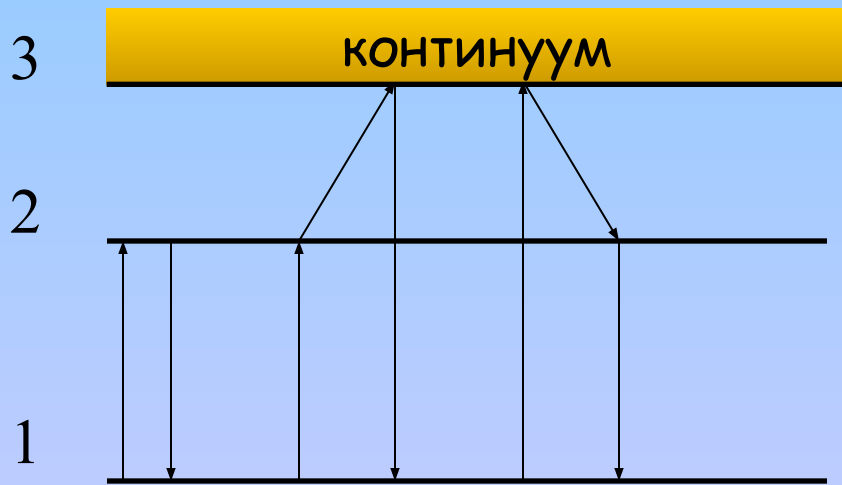
**Возникла проблема:  
какой механизм  
может поставлять  
дополнительные кванты  
в линию, чтобы  
повысить ее остаточную  
интенсивность?**

**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 переизлучаться в линии. Этот механизм имеет перспективу. Почему?**

# Трехуровневый атом



Возможные переходы:

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

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

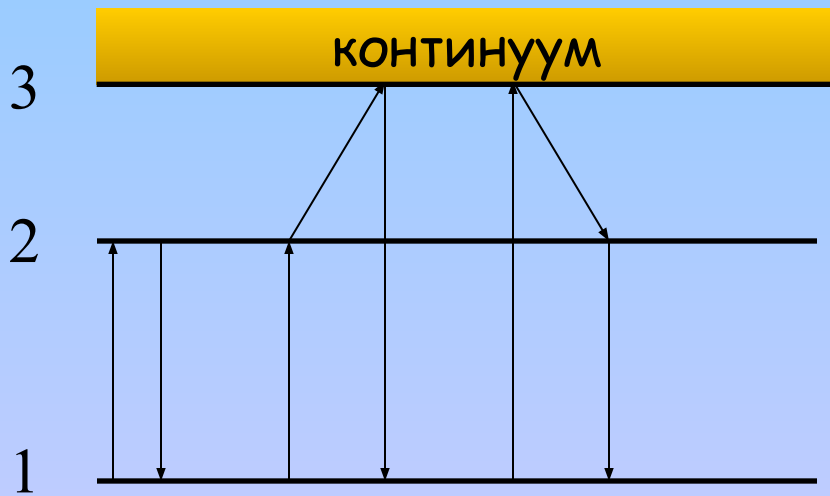
При этом процессе происходит  
полное исчезновение (погло-  
щение) квантов в линии

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?**

# Трехуровневый атом



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

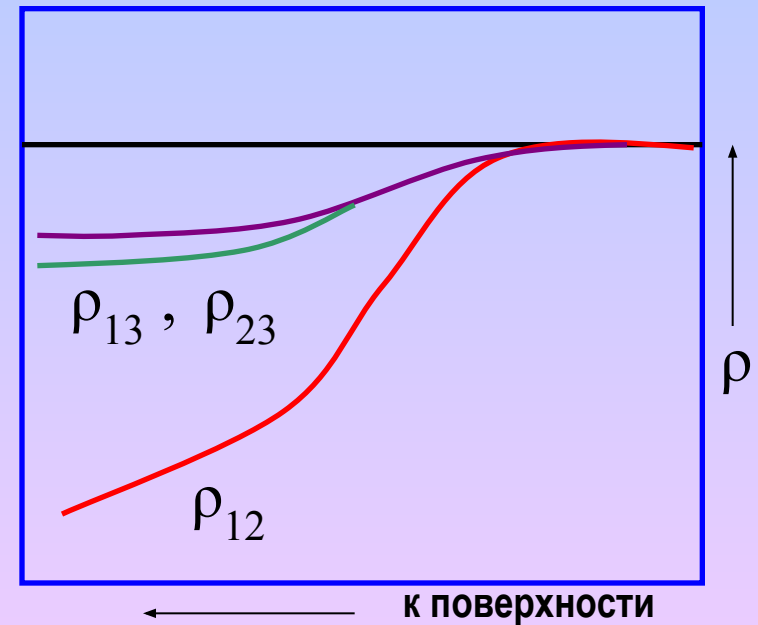
$$N(1-2-3-1) \sim N_1 \rho_{12} \rho_{23}$$

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

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

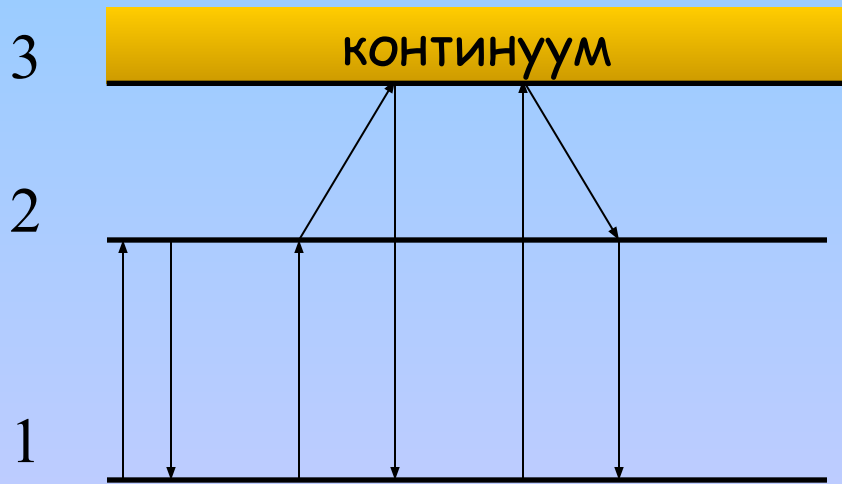
Сравним роль переходов (1-3-2-1) и (1-2-3-1)

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



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

# Трехуровневый атом



Коэффициенты излучения  
в линии

**1-2-1**

$$\varepsilon_v^l (1-2-1) = \alpha_v^l J_v$$

**1-2-3-1**

$$\varepsilon_v^l (1-2-3-1) = \gamma \alpha_v^l J_v$$

$\gamma$  учитывает, что не все атомы со второго уровня переходят вниз

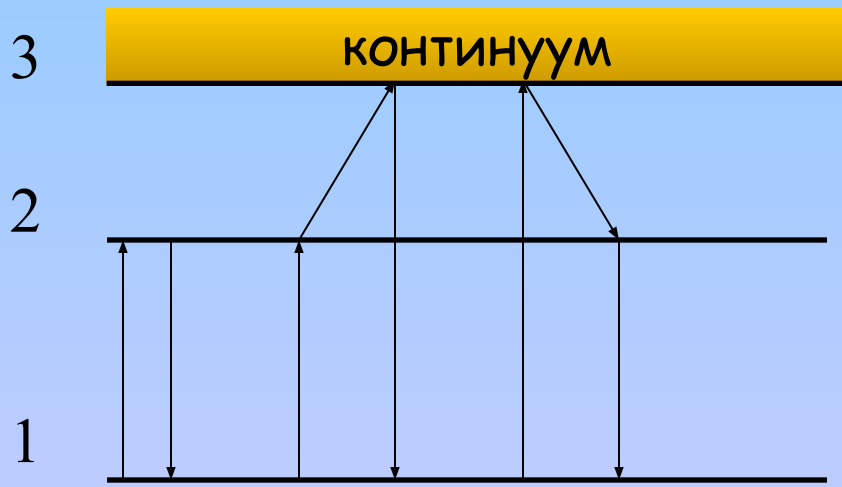
**1-3-2-1**

$$\varepsilon_v^l (1-3-2-1) = \varepsilon_v'$$

С учетом всех процессов

$$\varepsilon_v^l = (1-\gamma) \alpha_v^l J_v + \varepsilon_v'$$

# Трехуровневый атом



Как определить  $\varepsilon'_v$ ?

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

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_v^l (1-3-2-1) &= \varepsilon'_v \\ \varepsilon_v^l (1-2-3-1) &= \gamma \alpha_v^l J_v \end{aligned} \right\} \varepsilon'_v = \gamma \alpha_v^l J_v$$

3) Но при ЛТР  $J_v = B_v(T) \longrightarrow \varepsilon'_v = \gamma \alpha_v^l B_v(T)$

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

$$\varepsilon'_v = \gamma Q \alpha_v^l B_v(T)$$

5) В итоге:

$$\varepsilon_v^l = (1-\gamma) \alpha_v^l J_v + \gamma Q \alpha_v^l B_v^l$$

$$\cos \vartheta \frac{dI_v}{d\tau_v} = (1 + \eta_v)I_v - (1 - \gamma)\eta_v J_v - (1 + Q\gamma\eta_v)B_v(T),$$

$$d\tau_v = -\alpha_v^c dx, \quad \eta_v = \frac{\alpha_v^l}{\alpha_v^c}$$

$$\frac{d^2 J_v}{d\tau_v^2} = 3((1 + \eta_v)[(1 + \gamma\eta_v)J_v - (1 + Q\gamma\eta_v)B_v(T)]$$

$$r_v = \frac{1 + Q\gamma\eta_v}{1 + \gamma\eta_v} \frac{2 + \sqrt{3}}{1 + \frac{\beta_v^*}{\sqrt{3}}} \frac{\beta_v^* + b_v}{2b_v + 3(1 + \eta_v)}, \quad b_v = \sqrt{3(1 + \gamma\eta_v)(1 + Q\gamma\eta_v)}$$

$$\gamma \approx 10^{-3}, \eta_{v_0} \approx 10^6, \gamma\eta_{v_0} \approx 10^3 \gg 1$$

$$r_{v_0} \approx Q\sqrt{\gamma} \approx 0.03$$