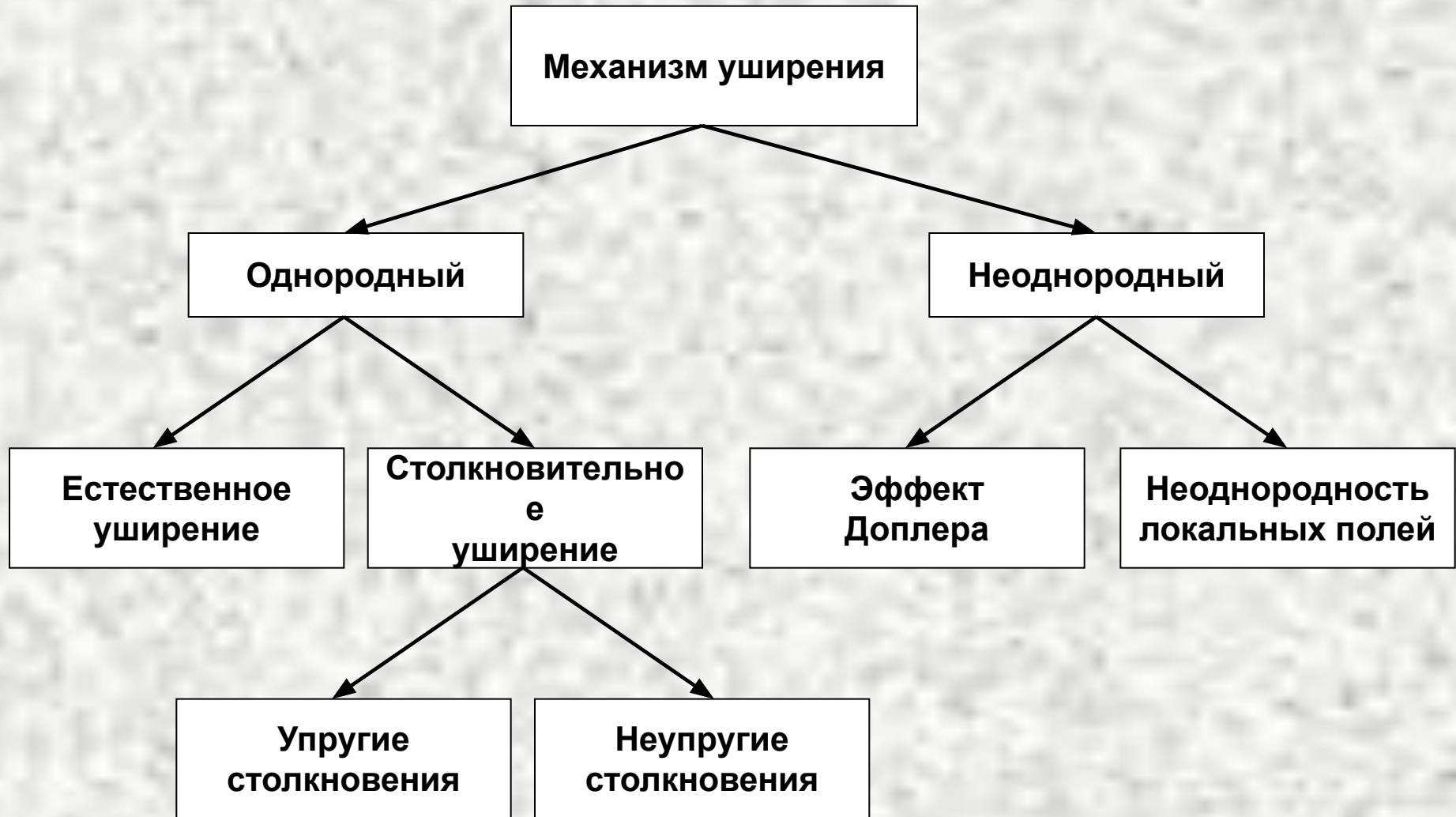


# Уширение спектральных линий



# Однородное уширение спектральных линий

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Время жизни возбужденных энергетических состояний конечно по крайней мере вследствие спонтанного излучения



Определение энергии состояния должно проводиться за время, не превышающее время жизни частицы в этом состоянии



Неточность в определении энергии принципиально не может быть меньше

$$\hbar / \tau$$

Спектральный диапазон, в котором заключены частоты перехода с одного уровня на другой, называется спектральной шириной перехода

Спектральная ширина:  $\Delta \nu_0 = A / 2\pi$

центральная частота перехода

коэффициент Эйнштейна для спонтанного излучения

# Однородное уширение. Модель затухающего осциллятора

Уравнение движения осциллятора

$$\ddot{x} + \gamma x + \omega_0^2 x = 0$$

$$\omega_0^2 = D/M \text{ - частота колебаний (} D \text{ – жесткость, } M \text{ – масса)}$$

$\gamma$  - постоянная затухания

Начальные условия

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = 0$$

Решение для амплитуды колебаний

$$x(t) = x_0 \cdot \exp(-\gamma t/2) \cdot \exp(-i\omega_0 t)$$

# Однородное уширение. Модель затухающего осциллятора

Частотное распределение амплитуды колебаний

$$g(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} x(t) \cdot \exp(-i\omega_0 t) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{ix_0}{\omega - \omega_0 + i\gamma/2}$$

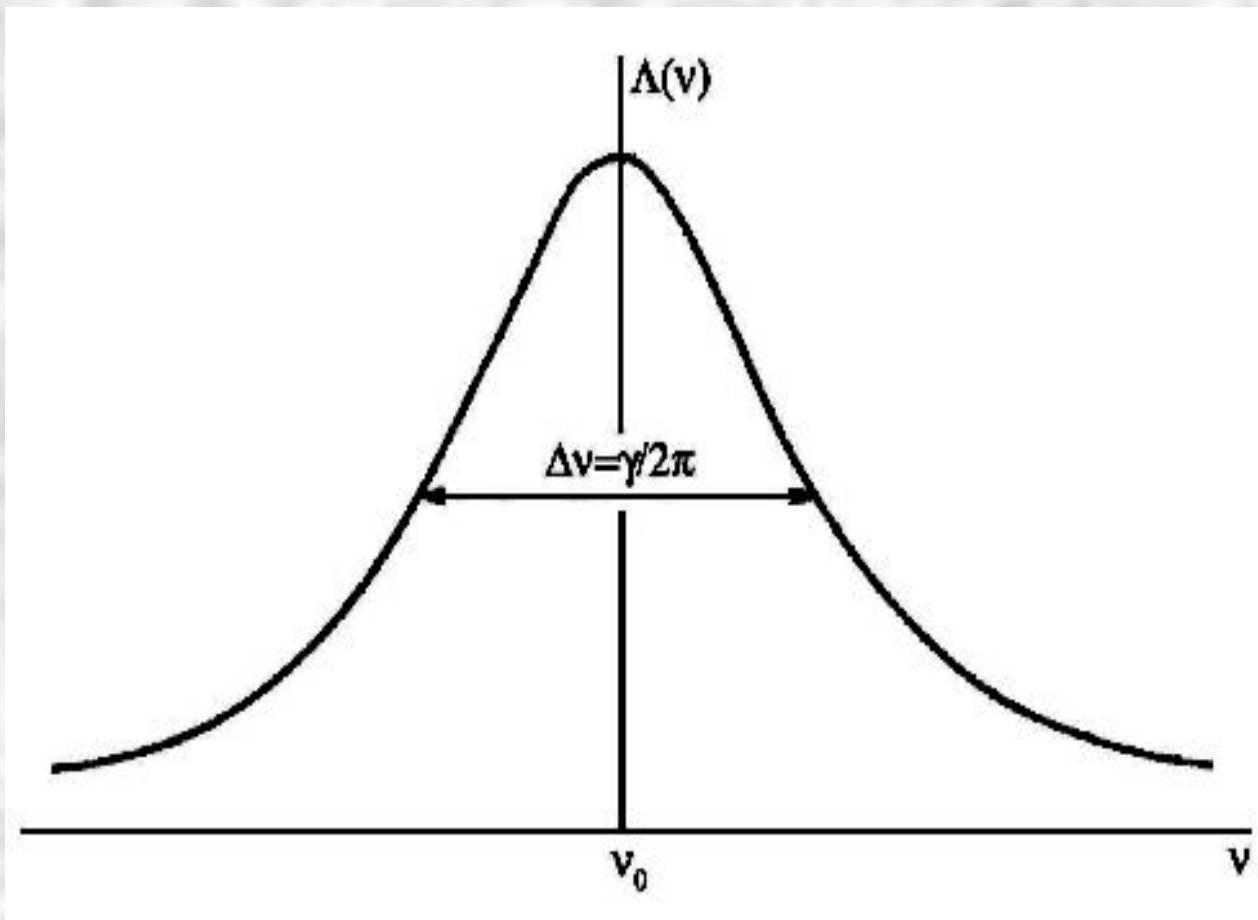
Спектральный профиль интенсивности

$$G(\omega) \sim g(\omega) \cdot g^*(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{x_0^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \gamma^2/4}$$

Нормированный лоренцевский профиль интенсивности

$$\Lambda = \frac{\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + (\gamma/2)^2} = \frac{\Delta\nu_{\text{Л}} / 2\pi}{(\nu - \nu_0)^2 + (\Delta\nu_{\text{Л}}/2)^2}, \Delta\nu_{\text{Л}} = \gamma / 2\pi$$

## Однородное уширение. Лоренцевский контур линии



$$\gamma_{\text{ест}} = \gamma = \frac{\gamma_m + \gamma_n}{2}$$



# Однородное уширение спектральных линий

Спонтанное излучение является неотъемлемым свойством материи



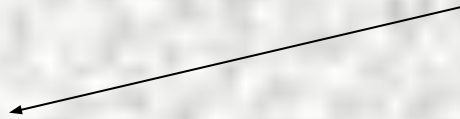
Соответствующий тип уширения называется естественным или собственным уширением

Коэффициент Эйнштейна пропорционален третьей степени частоты

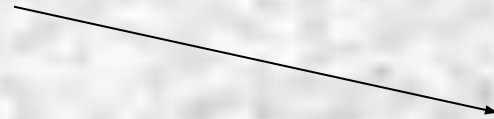


Естественная ширина увеличивается с ростом частоты излучения

## Столкновительное уширение



В газах проявляется при соударениях атома с другими атомами, молекулами, ионами, электронами или стенками резервуара



В твердых телах возникает за счет взаимодействия атома с фононами решетки

## **Однородное уширение спектральных линий**

**Столкновительные процессы являются дополнительным, наряду со спонтанным излучением, механизмом, ограничивающим время жизни возбужденных состояний и, как следствие, увеличивающим ширину энергетического уровня**

**При столкновении частиц друг с другом они испытывают электрическое взаимодействие, которое зависит от расстояния**

**В образующемся потенциальном поле этого взаимодействия энергетические уровни сдвигаются, что приводит к соответствующему изменению частоты перехода**

**Для столкновительного уширения, как и в случае спонтанного излучения, нормированный профиль спектрального распределения определяется лоренцевской функцией**

**Столкновительная ширина линии зависит от давления газа**

# Однородное уширение спектральных линий

## Зависимость столкновительной ширины от давления газа

Порядок величины времени между столкновениями:

$$\tau_{ст} \sim \frac{1}{\gamma_{ст}} \sim \frac{a}{u} \sim \frac{1}{p}$$

величина порядка размера частицы

столкновительная ширина линии

средняя скорость теплового движения частиц

давление газа

Столкновительная ширина линии прямо пропорциональна давлению газа

Полная ширина линии  $\gamma = \gamma_{ест} + \gamma_{ст} = \gamma_{ест} + Kp$

коэффициент столкновительного уширения линии,  
определяемый свойствами самого вещества



# Однородное уширение спектральных линий

## Однородное уширение:

- 1. Каждый атом, находящийся в возбужденном состоянии, излучает при переходе сверху вниз линию с одной и той же полной шириной и одной и той же спектральной формой**
- 2. Каждый атом, находящийся в нижнем состоянии, поглощает при переходе снизу вверх линию с одной и той же полной шириной и одной и той же спектральной формой**

**При однородном уширении форма линии есть единая характеристика как одного атома, так и всей их совокупности**

**Если в результате воздействия на всю совокупность атомов или молекул происходит изменение формы линии, то оно происходит одинаковым образом для всех атомов или молекул**

# Излучение и поглощение. Коэффициенты Эйнштейна

Вероятность спонтанного излучения может быть записана в виде:

$$A = \int a_{\omega} d\omega$$

$a_{\omega} d\omega$  - вероятность спонтанного излучения в частотном диапазоне  $d\omega$

~~$[a_{\omega}]_{\omega}$~~  <sup>-1</sup>

Эффективное сечение поглощения  $\sigma^{\text{погл}} = \frac{\text{Поглощенная энергия}}{\text{Падающий поток}}$

Доля поглощенной энергии  $I_{\text{погл}} = dW^{\text{погл}} \boxtimes \omega$

$$\sigma_{\omega}^{\text{погл}} = \frac{I_{\text{погл}}}{I_{\text{кр}} d\omega d\Omega} = a_{\omega} \frac{\pi c^2}{\omega^2} = \frac{1}{4} \lambda^2 a_{\omega}; \quad \sigma_{\omega}^{\text{погл}} = \sigma_{\omega}^{\text{изл}}$$