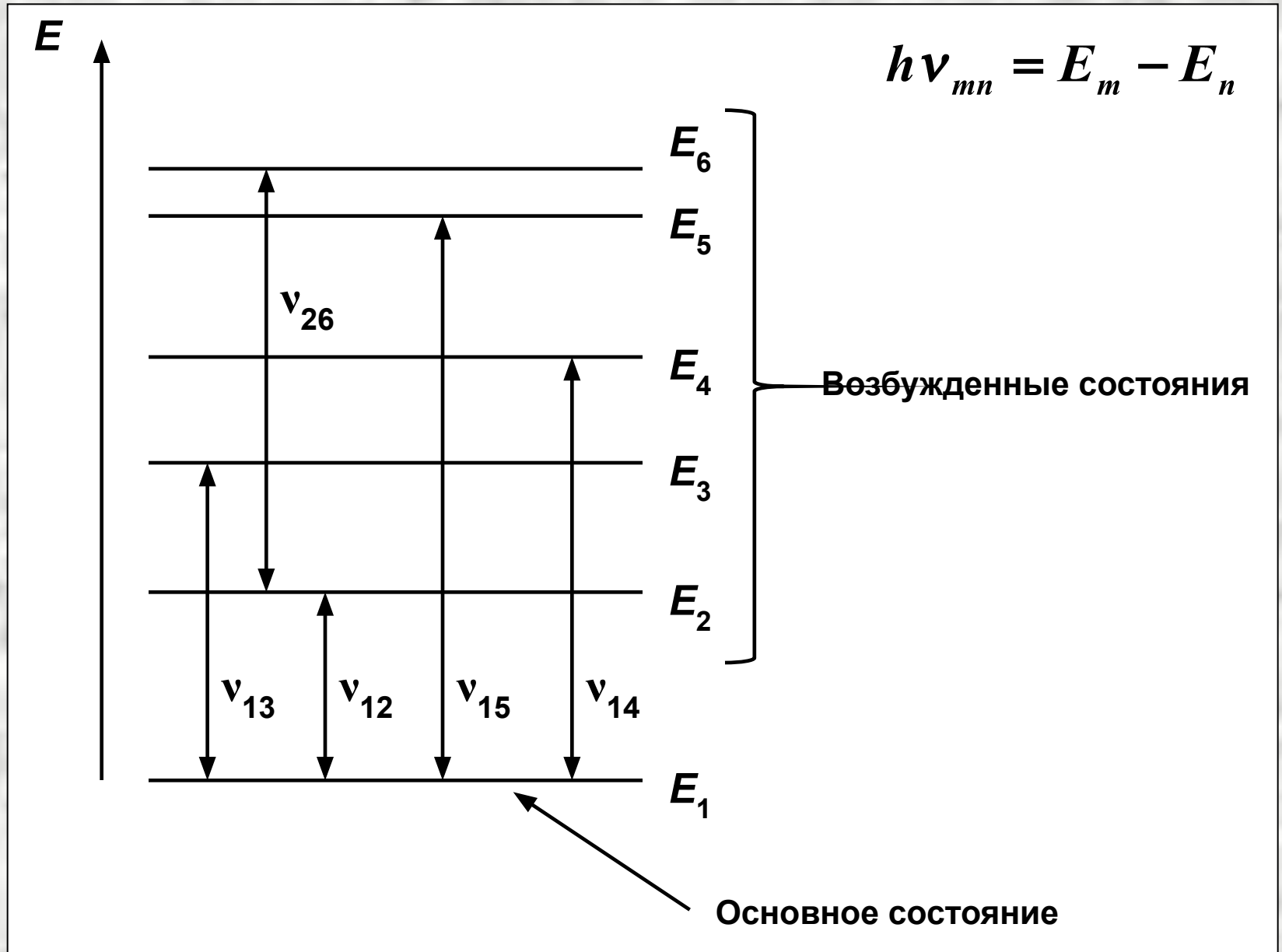
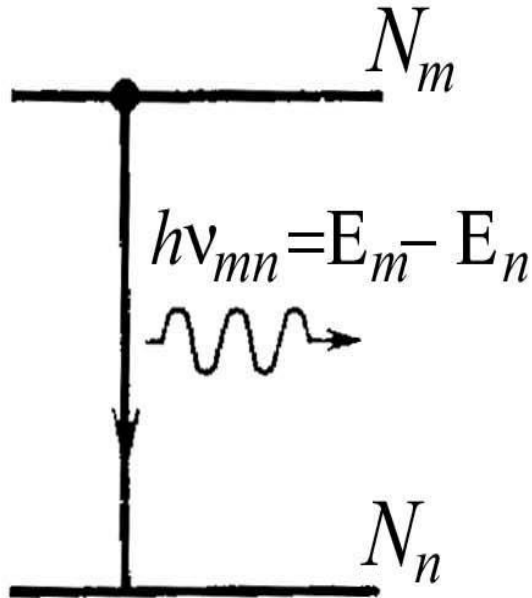


# Структура уровней энергии электрона в атоме

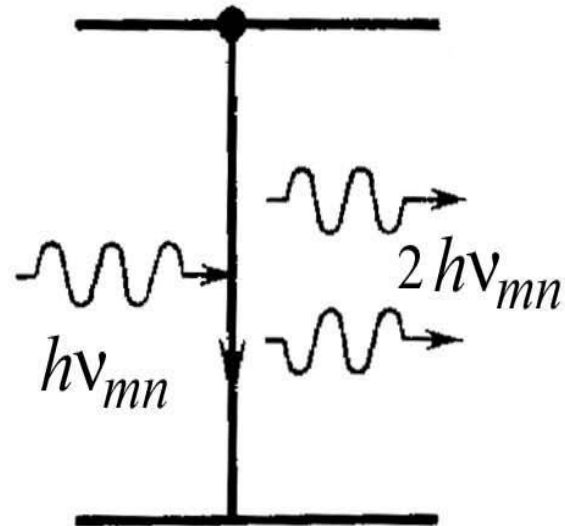


# Спонтанное излучение, вынужденное излучение и поглощение

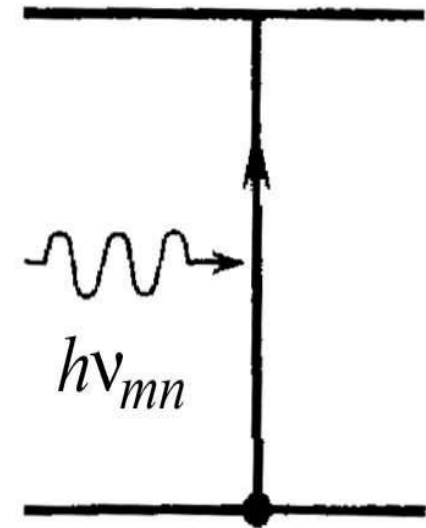
Спонтанное  
излучение



Вынужденное  
излучение



Вынужденное  
поглощение



$N_m, N_n$  – населенности уровней с энергиями  $E_m$  и  $E_n$   
 $h\nu_{mn}$  – энергия испущенного или поглощенного фотона

**Переходы между энергетическими состояниями**

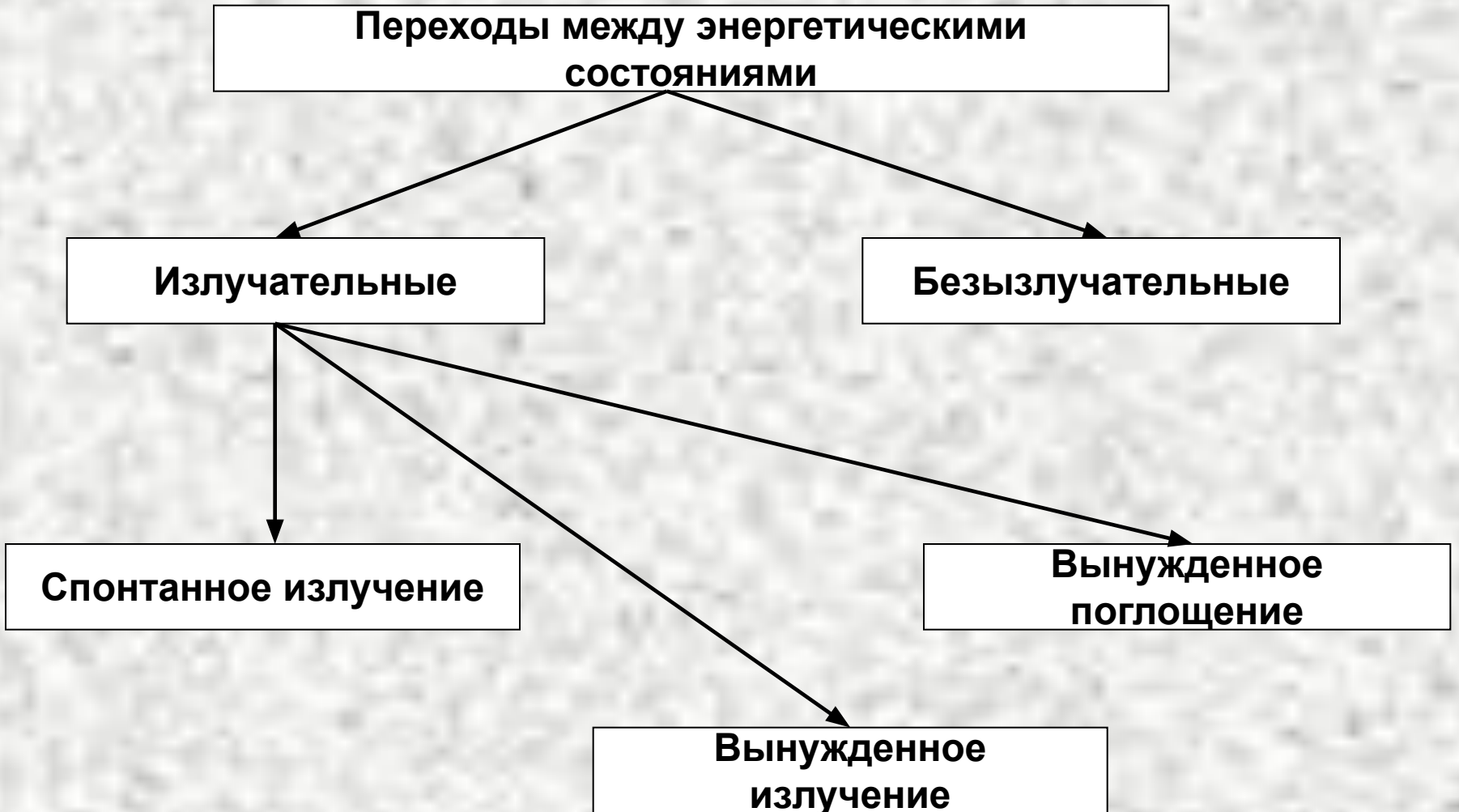
**Излучательные**

**Безызлучательные**

**Спонтанное излучение**

**Вынужденное  
поглощение**

**Вынужденное  
излучение**



**Излучательные  
переходы**

```
graph TD; A[Излучательные переходы] --> B[Спектральная линия - последовательность квантов электромагнитных колебаний, поглощенных или испущенных при переходе частиц из одного энергетического состояния в другое]; B --> C[Спектр поглощения – совокупность спектральных линий, образующихся при переходах частиц из нижних состояний в более высокие]; B --> D[Спектр излучения – совокупность спектральных линий, образующихся при переходах частиц из возбужденных состояний на нижние уровни];
```

**Спектральная линия - последовательность квантов электромагнитных колебаний, поглощенных или испущенных при переходе частиц из одного энергетического состояния в другое**

**Спектр поглощения – совокупность спектральных линий, образующихся при переходах частиц из нижних состояний в более высокие**

**Спектр излучения – совокупность спектральных линий, образующихся при переходах частиц из возбужденных состояний на нижние уровни**

# Населенности энергетических состояний

## Распределение Больцмана

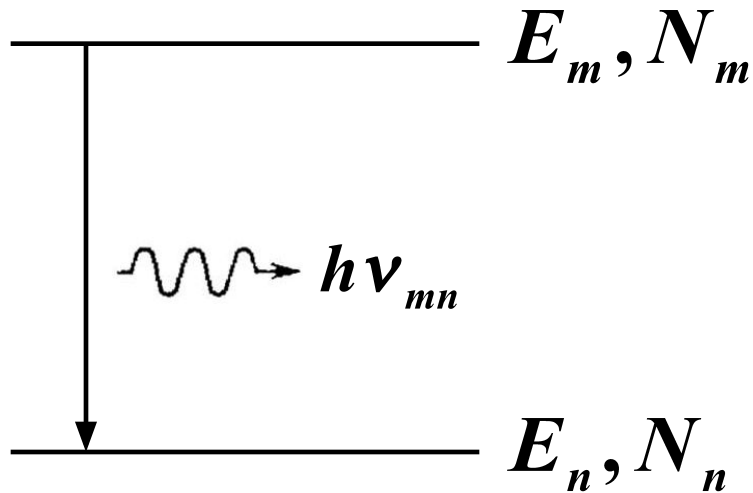
$$N_i = \left( \frac{N}{\sum_j g_j \cdot \exp(-E_j / kT)} \right) g_i \exp(-E_i / kT) = \frac{Ng_i}{Q} \exp(-E_i / kT)$$

Соотношения между населенностями уровней в состоянии термодинамического равновесия

$$\frac{N_m}{N_n} = \frac{g_m}{g_n} \cdot \exp\left(-\frac{E_m - E_n}{kT}\right)$$

$$\frac{N_n}{g_n} > \frac{N_m}{g_m}$$

# Динамика изменения населенности вследствие спонтанного излучения

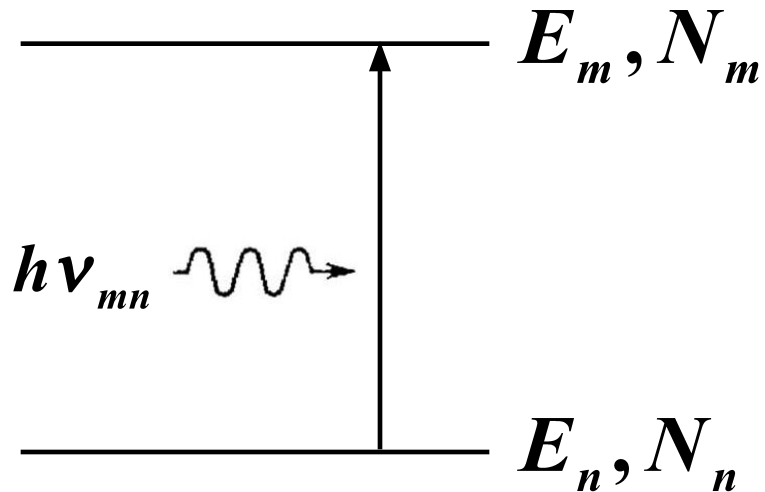


$$\frac{dN_m}{dt} = -A_{mn}N_m$$

$A_{mn}$  - вероятность спонтанного излучения, коэффициент Эйнштейна для спонтанного излучения

$$\tau_{mn} = \frac{1}{A_{mn}} - \text{время жизни } m\text{-го уровня}$$

# Динамика изменения населенности вследствие вынужденного поглощения

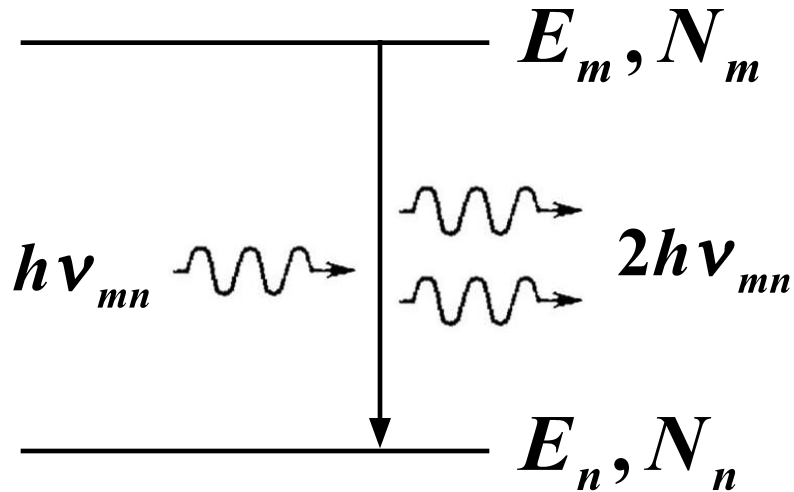


$$\frac{dN_n}{dt} = -B_{nm}\rho(\nu_{nm})N_n$$

$B_{nm}$  - коэффициент Эйнштейна для вынужденного поглощения

$W_{nm} = B_{nm} \cdot \rho(\nu_{nm})$  - вероятность вынужденного поглощения

# Динамика изменения населенности вследствие вынужденного излучения



$$\frac{dN_m}{dt} = -B_{mn}\rho(\nu_{nm})N_m$$

$B_{mn}$  - коэффициент Эйнштейна для вынужденного излучения

$W_{mn} = B_{mn} \cdot \rho(\nu_{nm})$  - вероятность вынужденного излучения



## Формула Планка

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

Результат термодинамического вывода Эйнштейна

$$N_m A_{mn} + N_m B_{mn} \rho(\nu_{nm}) = N_n B_{nm} \rho(\nu_{nm})$$

$$\rho(\nu_{nm}) = \frac{A_{mn}}{\frac{N_n}{N_m} B_{nm} - B_{mn}} = \frac{A_{mn}}{\frac{g_n}{g_m} B_{nm} \exp\left(\frac{h\nu_{nm}}{kT}\right) - B_{mn}}$$

$$B_{nm} g_n = B_{mn} g_m \quad A_{mn} = B_{mn} \frac{8\pi h \nu_{nm}^3}{c^3}$$

$$W_{mn} = \left( \frac{8\pi h \nu_{nm}^3}{c^3} + \rho(\nu_{nm}) \right) B_{mn}$$

## **Свойства спонтанных и вынужденных переходов**

**Основные отличия между процессами спонтанного и вынужденного излучения заключаются в следующем:**

**В случае спонтанного излучения испущенная электромагнитная волна имеет произвольную фазу, направление распространения и поляризацию.**

**В случае вынужденного излучения говорят о тождественности излученного кванта поля кванту, вызвавшему переход. Это означает, что кванты внешнего поля и поля, образовавшегося при вынужденных переходах, имеют одинаковую фазу, направление и поляризацию, другими словами, они неразличимы.**

**Основные выводы, которые можно сделать из анализа полученных соотношений между вероятностями спонтанных и вынужденных переходов, заключаются в следующем:**

**Во-первых, вероятности вынужденного излучения и поглощения равны**

**Во-вторых, если вынужденные переходы запрещены, то запрещенными оказываются и спонтанные переходы, и наоборот**