

# Постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору.

# Постулаты Бора

Первый постулат Бора: атомная система может находиться только в особых стационарных, или квантовых, состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия  $E_n$ . В стационарном состоянии атом не излучает.



Нильс Бор  
1885-1962

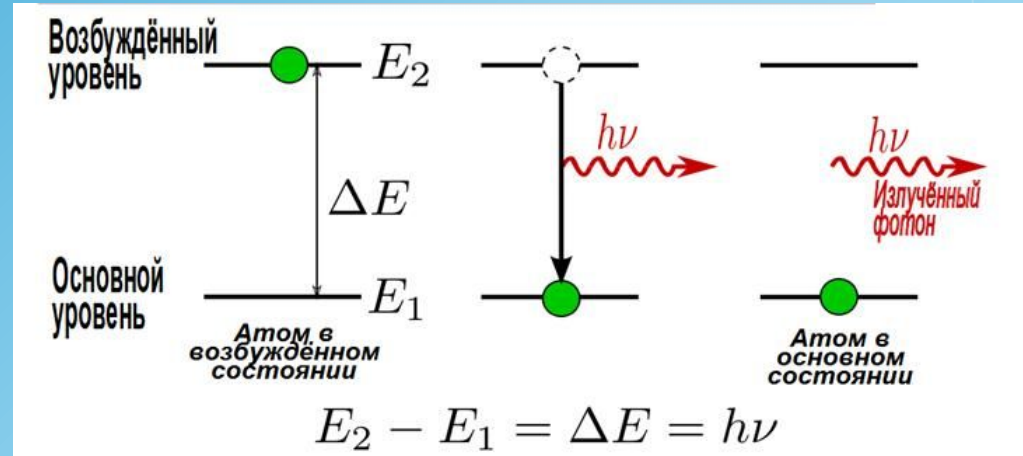
Постулат находится в противоречии с классической механикой (Энергия движущихся электронов может быть любой), с электродинамикой Максвелла, т.к. допускает возможность ускоренного движения без излучения электромагнитных волн.

**Второй постулат Бора:** излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией  $E_k$  в стационарное состояние с меньшей энергией  $E_n$ . Энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний.

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n$$

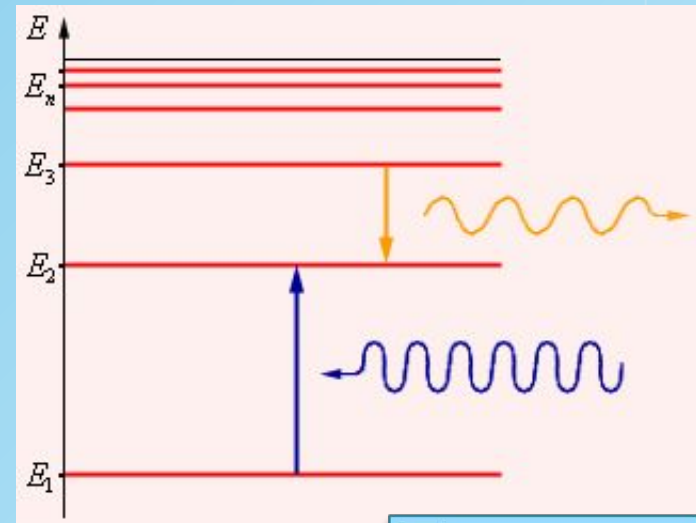


$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}$$



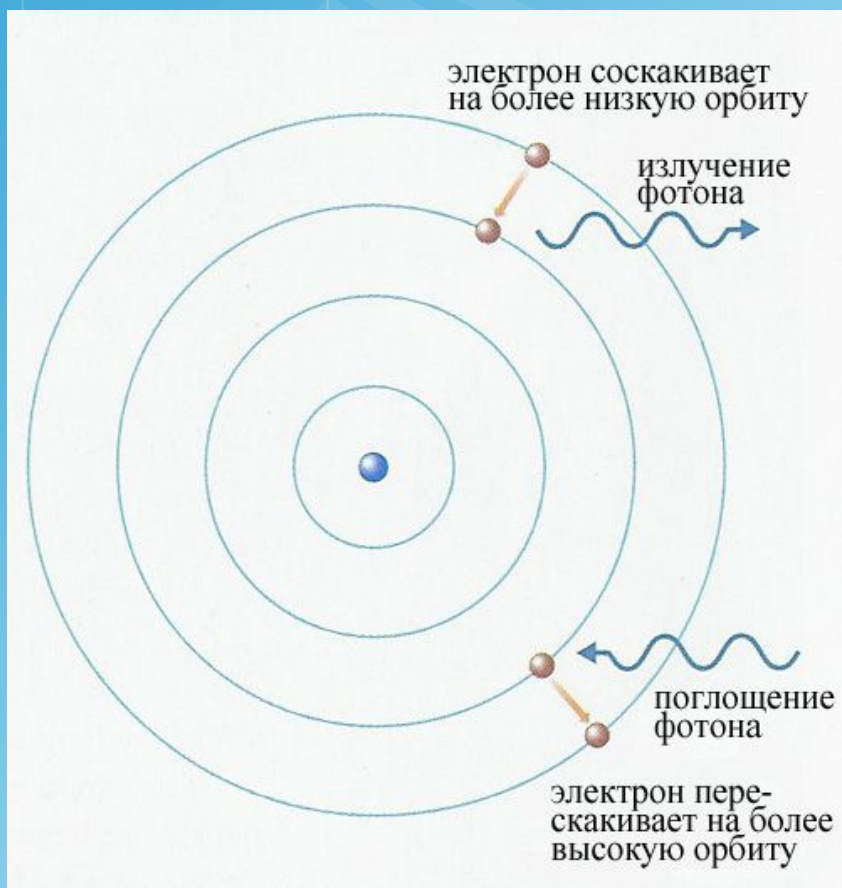
При поглощении света атом переходит из стационарного состояния с меньшей энергией в стационарное состояние с большей энергией, при излучении – из стационарного с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией.

Второй постулат противоречит электродинамике Максвелла, т.к. частота излученного света свидетельствует не об особенностях движения электрона, а лишь об изменении энергии атома.



**Поглощение света** – процесс, обратный излучению.

Атом, поглощая свет, переходит из низших энергетических состояний в высшие. При этом он поглощает излучение той же самой частоты, которую излучает, переходя из высших энергетических состояний в низшие.



# Модель атома водорода по Бору

Бор рассматривал простейшие круговые орбиты.

$$W_p = -\frac{e^2}{r}$$

- потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром в абсолютной системе единиц.  $e$  – модуль заряда электрона,  $r$  – расстояние от электрона до ядра.

Произвольная постоянная, с точностью до которой определяется потенциальная энергия, принята равной нулю.

$W_p < 0$ , так как взаимодействующие частицы имеют заряды противоположных знаков.

$E = E_{кин} + W_p$  – полная энергия атома.

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{r}$$

$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{r}$  - центростремительное ускорение по второму закону Ньютона сообщает электрону на орбите кулоновская сила.



$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \longrightarrow v^2 = \frac{e^2}{mr}$$

$$E = \frac{me^2}{2mr} - \frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{2r}$$

$$E = -\frac{e^2}{2r}$$

# Правило квантования

Из первого постулата Бора энергия может принимать только определенное значение  $E_n$ .

Электрон движется по круговой орбите, то

$mv$  – модуль импульса  $\bar{e}$   
 $r$  – радиус орбиты

} не меняются

$mvr$  – момент импульса в механике

$[\hbar] = \text{Дж} \cdot \text{с}$  - Постоянная Планка.

$$\text{Бор} \Rightarrow [mvr] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м} = \text{Дж} \cdot \text{с} = [\hbar]$$

Бор предположил, что произведение модуля импульса на радиус орбиты кратно постоянной Планка.

$mvr = n\hbar$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$  – правило квантования

# Радиусы орбит

$$\left. \begin{array}{l} mrv^2 = e^2 \\ mrv = n\hbar \end{array} \right\} \Rightarrow r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{me^2} - \text{радиусы орбит}$$

Радиусы боровских орбит меняются

дискретно с изменением числа  $n$ .

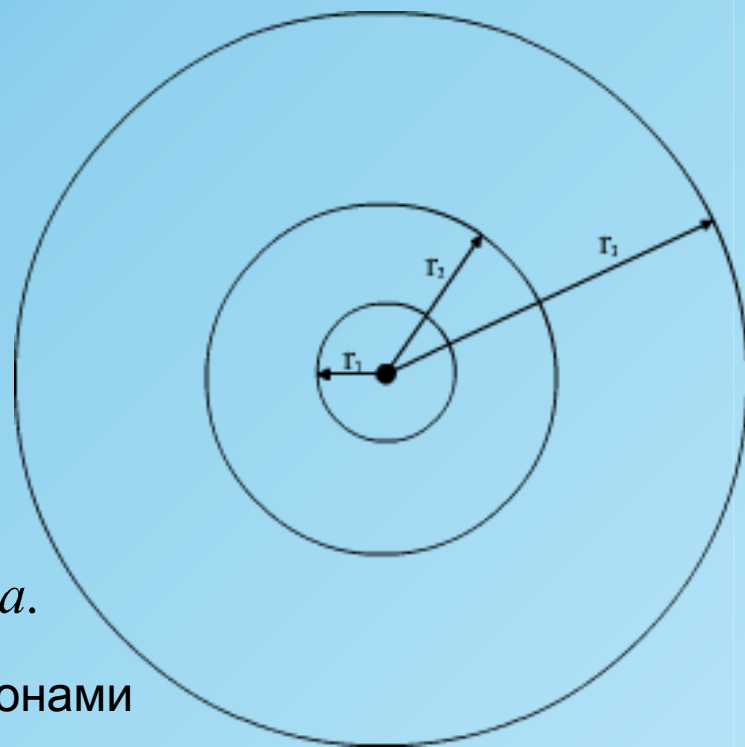
Значения электронных орбит определяют:  $\hbar$ ;  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$ ;  $e$

Наименьший радиус орбиты:

$r_1$ , где  $n = 1$

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ см} - \text{радиус атома водорода.}$$

Размеры атома определяются квантовыми законами (радиус пропорционален квадрату постоянной Планка). Классическая теория не может объяснить, почему атом имеет размеры порядка  $10^{-8}$  см.





# Энергия стационарных состояний

$$r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{m e^2} - \text{радиус орбит.}$$

$$E = -\frac{e^2}{2r} - \text{энергия}$$

$$E = -\frac{e^2 m e^2}{2 \hbar^2 n^2} = -\frac{m e^4}{2 \hbar^2 n^2} - \text{дискретные (прерывистые) значения энергий стационарных состояний атома (энергетические уровни).}$$



# Низшее энергетическое состояние

$$n = 1; \quad E_1 = -\frac{me^4}{2\hbar^2} = -2,168 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = -13,53 \text{ эВ}$$

Атом может находиться сколь угодно долго.

Чтобы ионизировать атом водорода, ему нужно сообщить энергию 13,53 эВ – энергия ионизации.

Возбуждающий атом:  $n=2, 3, 4, \dots$

$\tau = 10^{-8} \text{ с}$  – время жизни в возбужденном состоянии. За время  $\tau$  электрон успевает совершить около ста миллионов оборотов вокруг ядра.

# Излучение света

Возможные частоты излучения атома водорода:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{me^4}{4\pi\epsilon_0^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

где  $R = \frac{me^4}{4\pi\epsilon_0^3}$  - постоянная Ридберга  $R = 109737,316 \text{ см}^{-1}$ .

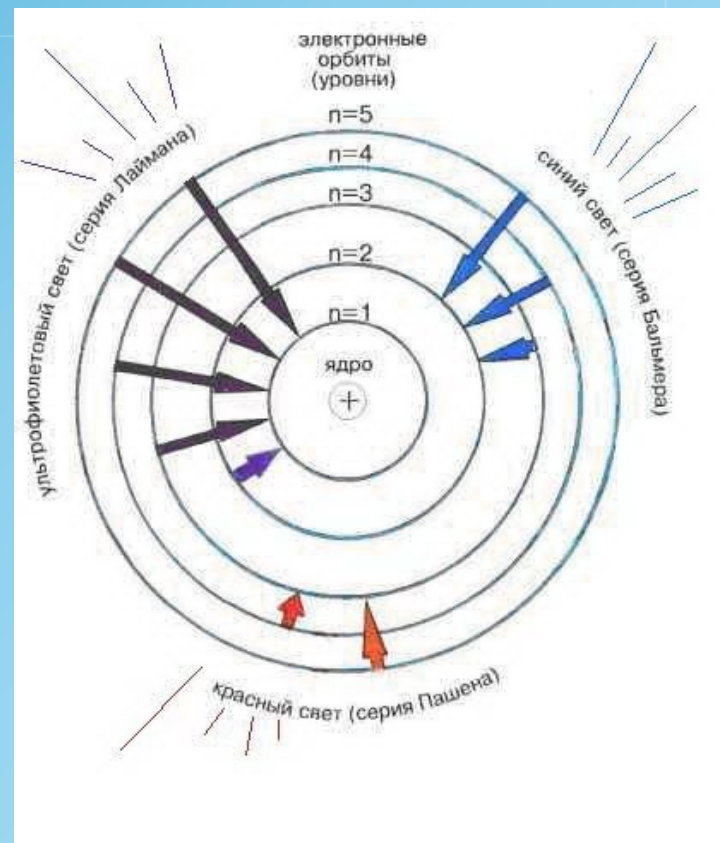
Теория Бора приводит к количественному согласию с экспериментом для значений частот, излучаемых атомом водорода. Все частоты излучений атома водорода образуют ряд серий, каждому из которых соответствует определенное значение числа  $n$  и различные значения  $k > n$ .

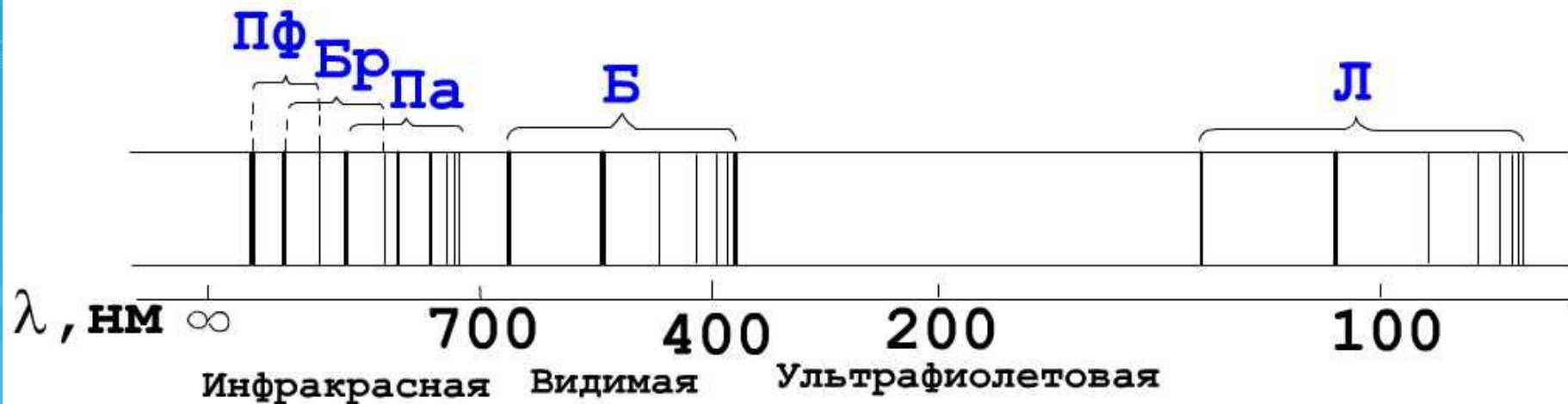
# Спектральные серии водорода

**Серия Лаймана** – открыл в 1906 г. Теодор Лайман. Данная серия образуется при переходах электронов с возбуждённых энергетических уровней на первый в спектре излучения и с первого уровня на все остальные при поглощении.

**Серия Бальмера** – открыл в 1885 г. Иоганн Бальмер. Данная серия образуется при переходах электронов с возбужденных энергетических уровней на второй в спектре излучения и со второго уровня на все вышележащие уровни при поглощении.

**Серия Пашена** – открыл в 1908 г. Фридрих Пашен. Данная серия образуется при переходах электронов с возбужденных энергетических уровней на третий в спектре излучения и с третьего уровня на все вышележащие уровни при поглощении.





Серии: Пф - Пфунда;  
 Бр - Бреккета;  
 Па - Пашена;  
 Б - Бальмера;  
 Л - Лаймана;  
 серия Бр перекрывается  
 сериями Пф и Па.



Теория Бора построила количественную теорию спектра атома водорода.

Относительно атомов гелия и более сложных атомов **теория Бора** позволяла делать лишь качественные (хотя и очень важные) заключения, но не удалось построить количественную теорию.



## Квантовая механика и квантовая электродинамика