


# Постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору.

The background is a light blue color with a subtle grid. On the left side, there is a large, semi-circular fan-like pattern composed of many thin, parallel lines radiating from the center. In the bottom right corner, there are several overlapping, curved white lines that resemble the orbits of an atom. There are also a few small, bright starburst or spark-like effects scattered across the background.

# 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.

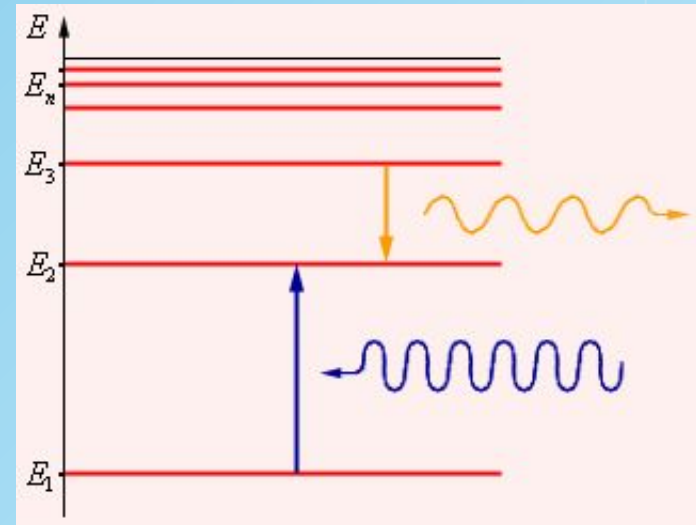
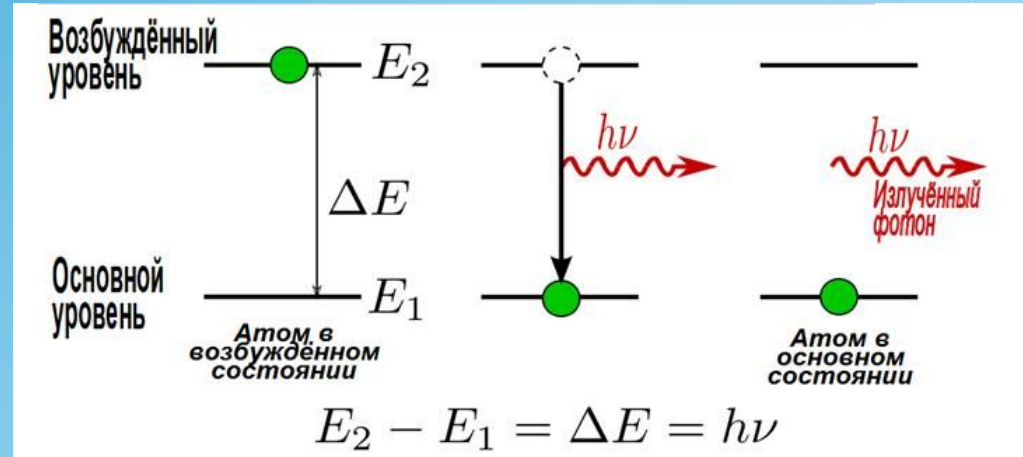
$$h\nu_{kn} = E_k - E_n$$



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

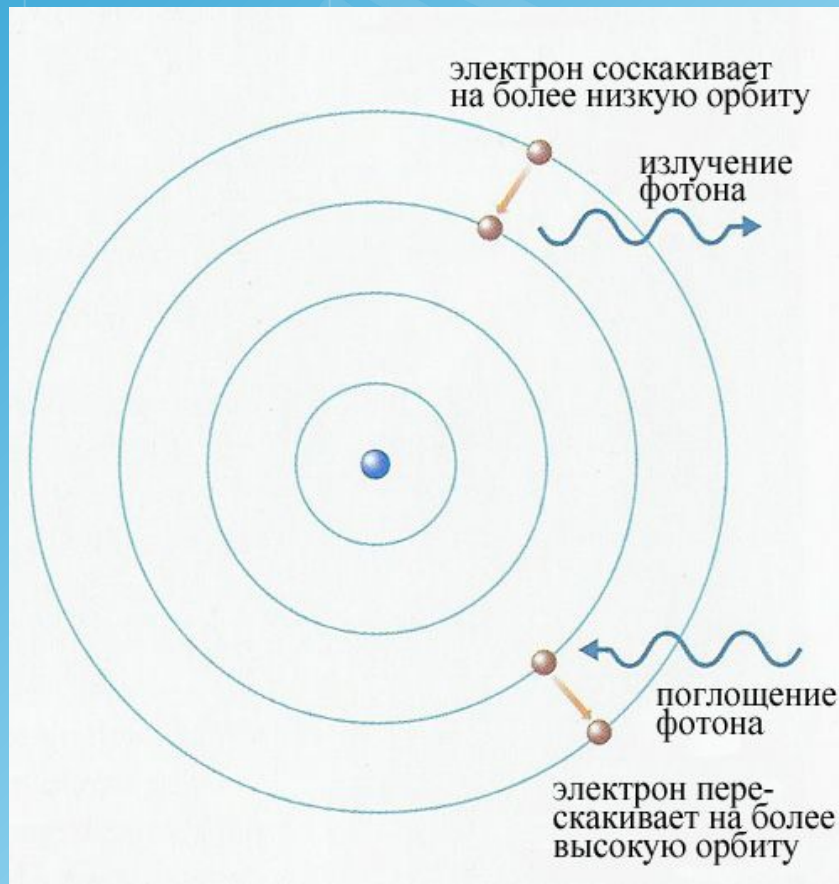
При поглощении света атом переходит из стационарного состояния с меньшей энергией в стационарное состояние с большей энергией, при излучении – из стационарного с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией.

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  $n$ .

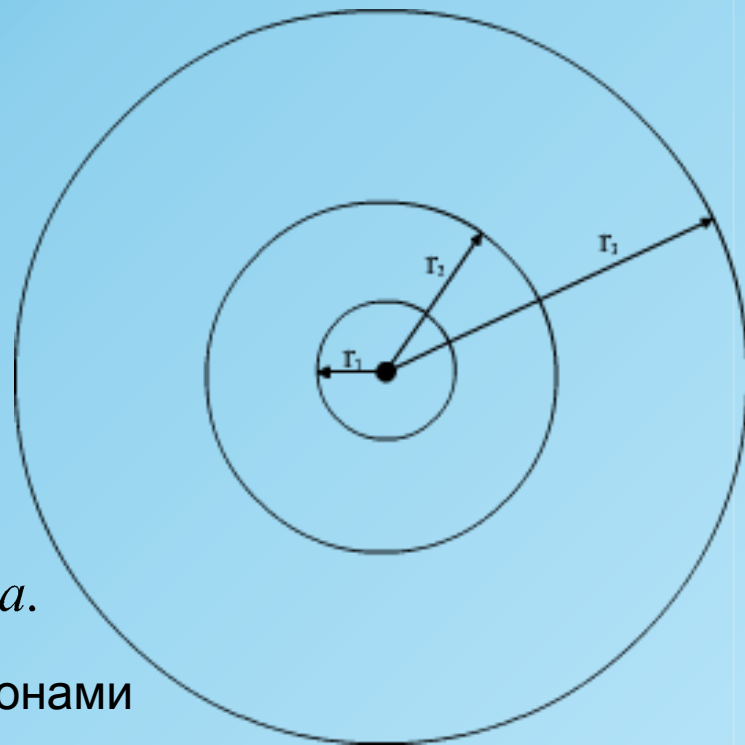
Значения электронных орбит определяют:  $\hbar$ ;  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$ ;  $e$

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

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

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

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



# 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  $R = 109737,316 \text{ см}^{-1}$ .

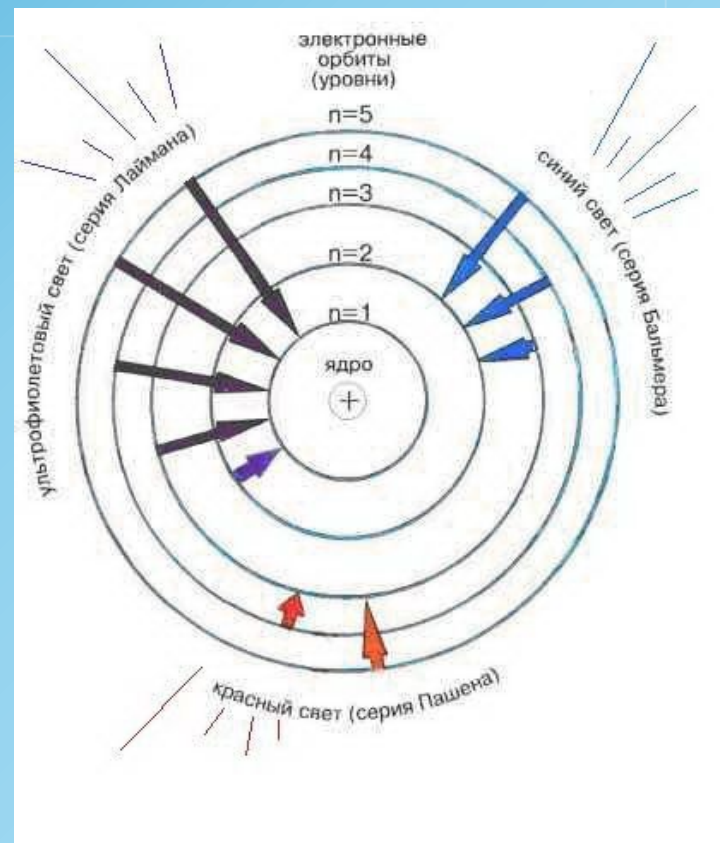
Теория Бора приводит к количественному согласию с экспериментом для значений частот, излучаемых атомом водорода. Все частоты излучений атома водорода образуют ряд серий, каждому из которых соответствует определенное значение числа  $n$  и различные значения  $k > n$ .

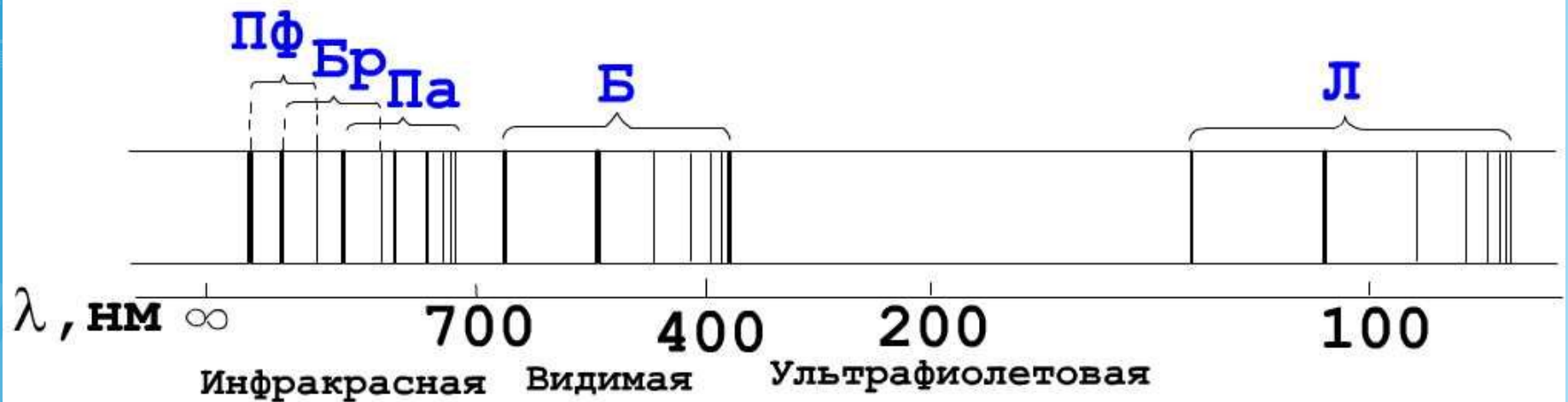
# Спектральные серии водорода

**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**