

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

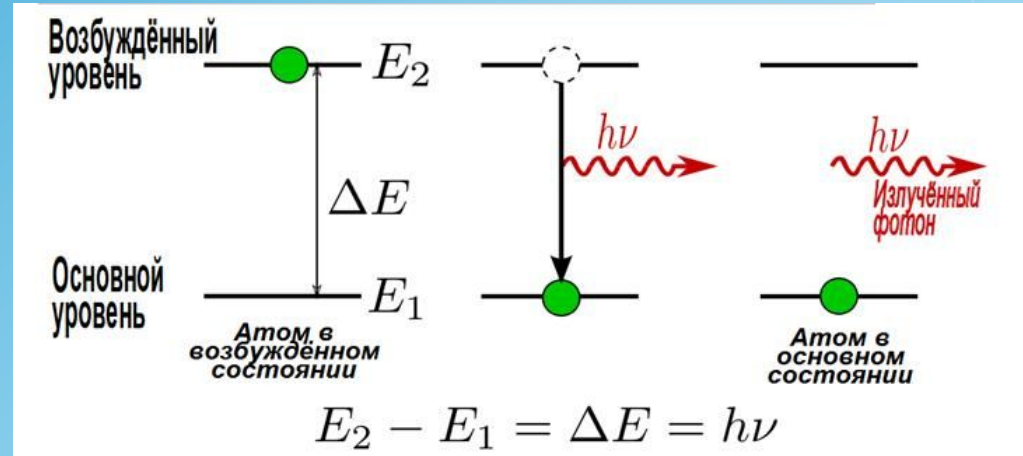
Постулат находится в противоречии с классической механикой (Энергия движущихся электронов может быть любой), с электродинамикой Максвелла, т.к. допускает возможность ускоренного движения без излучения электромагнитных волн.

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.

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

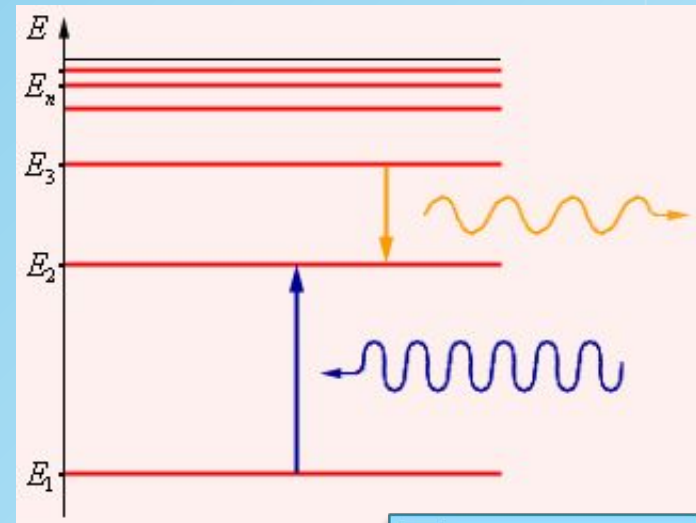


$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}$$



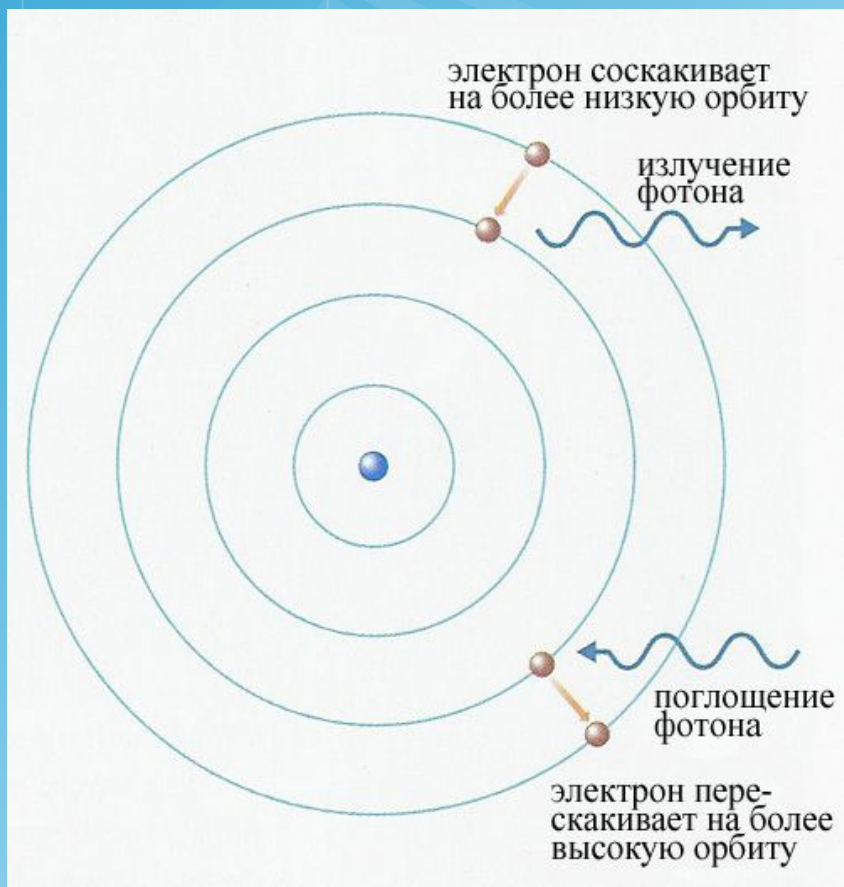
При поглощении света атом переходит из стационарного состояния с меньшей энергией в стационарное состояние с большей энергией, при излучении – из стационарного с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией.

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 .

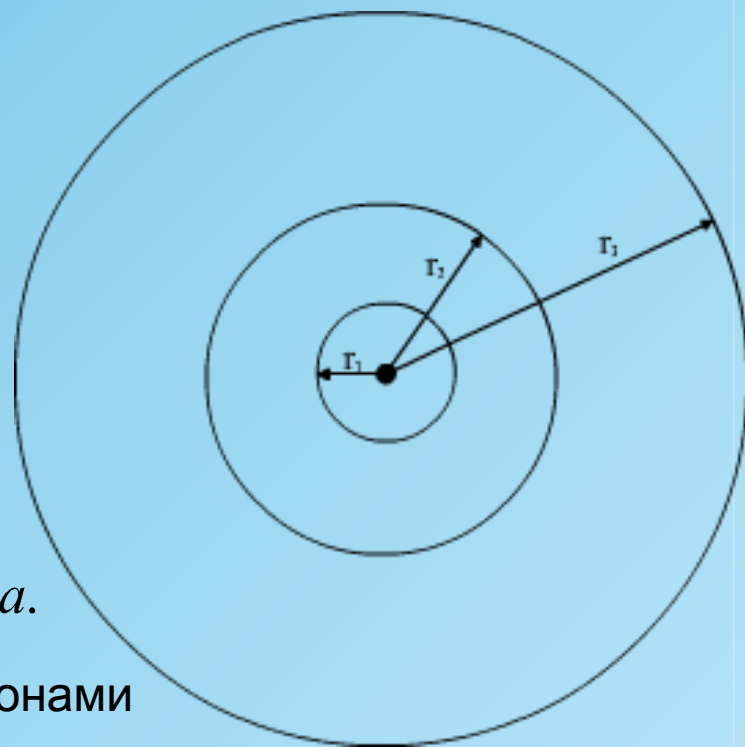
Значения электронных орбит определяют: \hbar ; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$; \bar{e}

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.



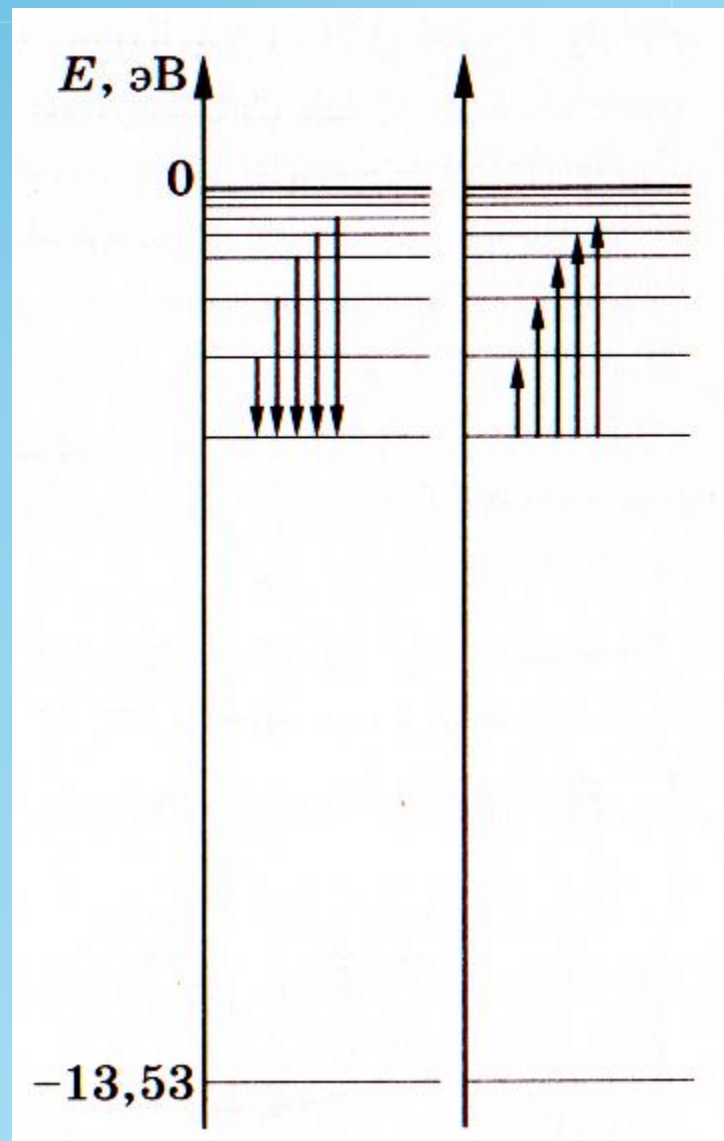
Энергия стационарных состояний

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

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

$$E = -\frac{e^2 me^2}{2\hbar^2 n^2} = -\frac{me^4}{2\hbar^2 n^2} - \text{дискретные}$$

(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: $n=2, 3, 4, \dots$

$\tau = 10^{-8}$ с – время жизни в возбужденном состоянии. За время τ 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 $R = 109737,316 \text{ см}^{-1}$.

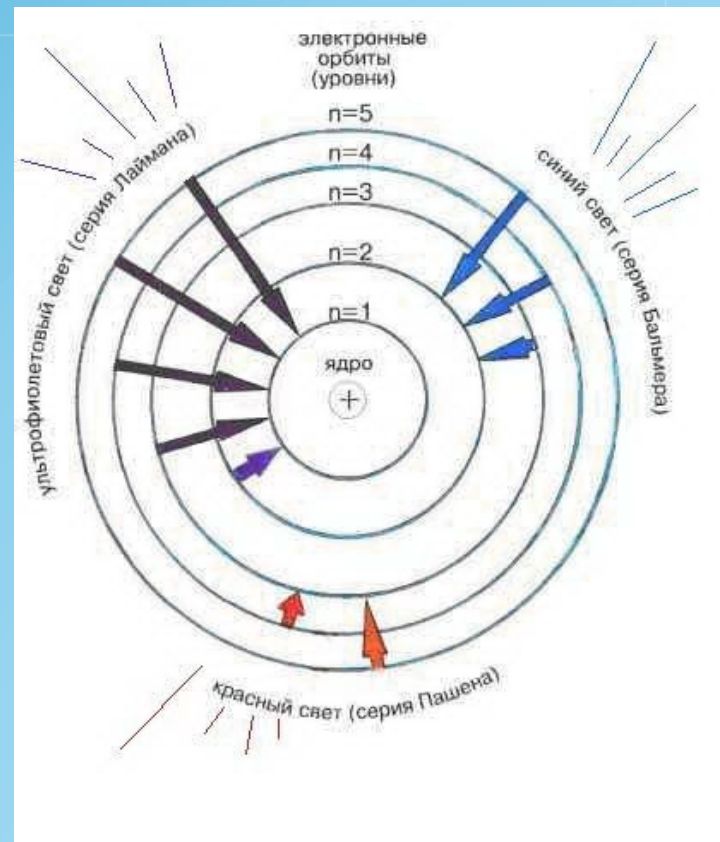
Теория Бора приводит к количественному согласию с экспериментом для значений частот, излучаемых атомом водорода. Все частоты излучений атома водорода образуют ряд серий, каждому из которых соответствует определенное значение числа n и различные значения $k > n$.

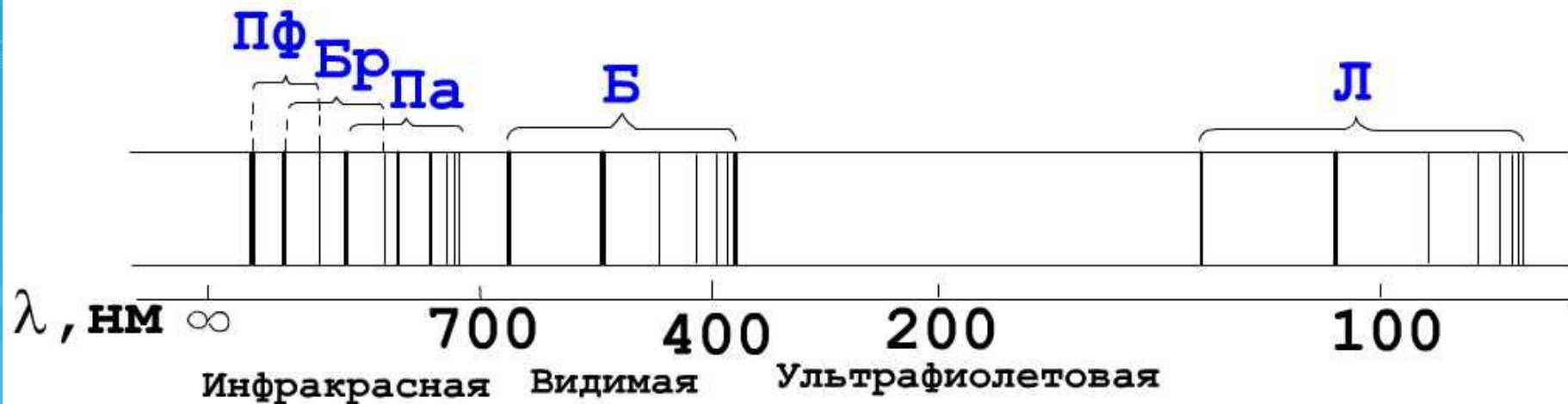
Спектральные серии водорода

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 возбуждённых 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 возбуждённых энергетических уровней на третий в спектре излучения и с третьего уровня на все вышележащие уровни при поглощении.

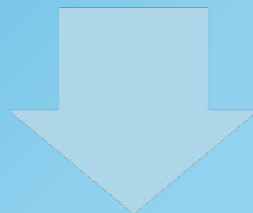




Серии: Пф - Пфунда;
 Бр - Бреккета;
 Па - Пашена;
 Б - Бальмера;
 Л - Лаймана;
 серия Бр перекрывается
 сериями Пф и Па.

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