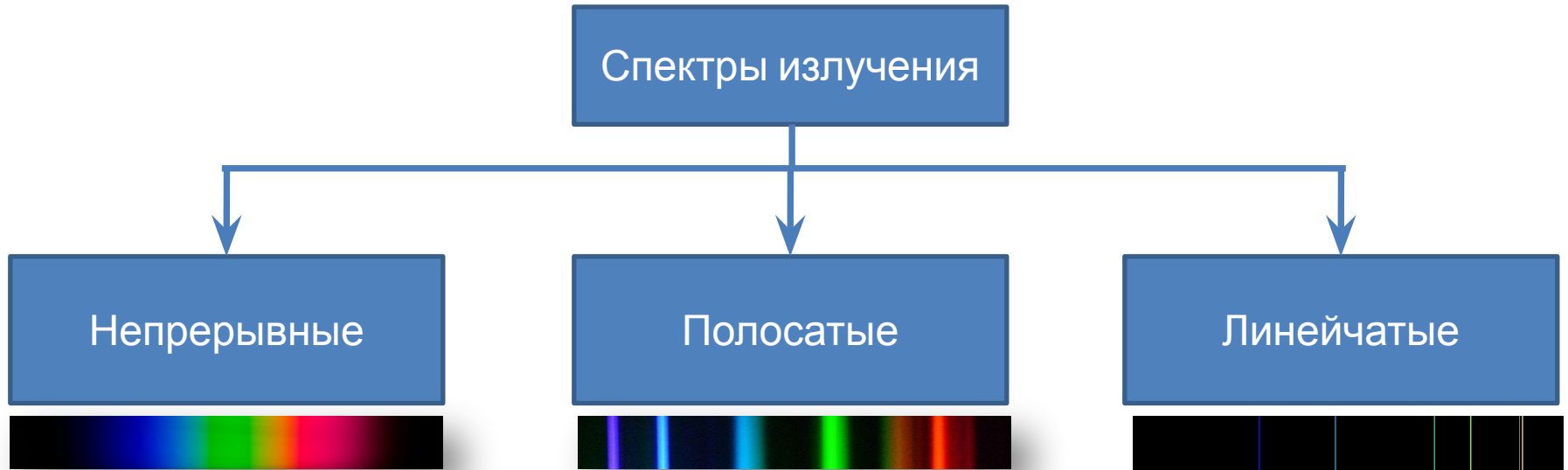
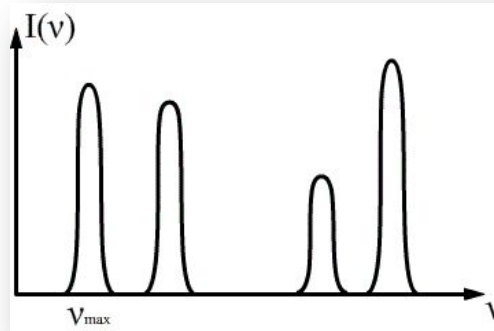
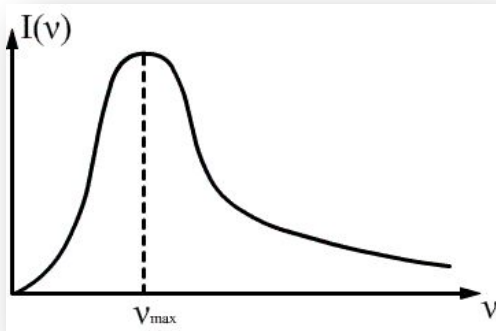


Строение атома  
Планетарная модель  
атома Резерфорда  
Теория Бора

# Спектры излучения



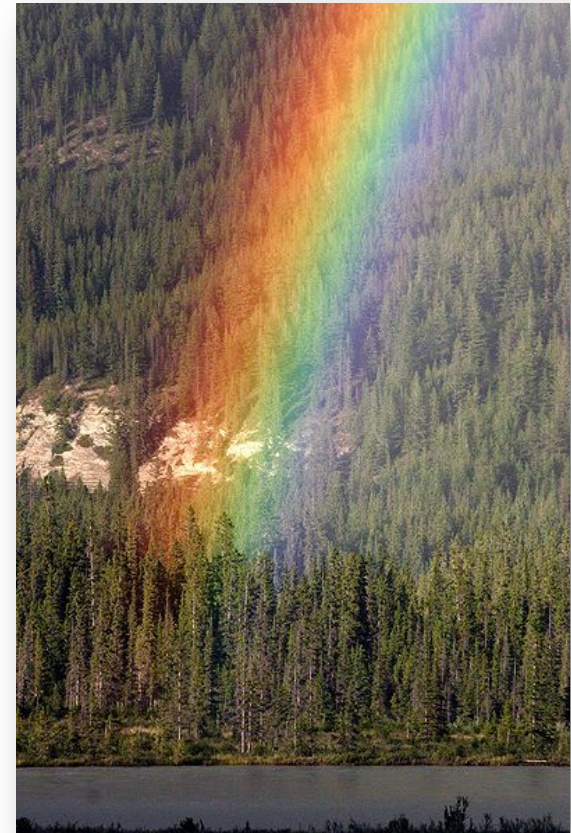
Распределение энергии по частотам  
(спектральная плотность интенсивности излучения)



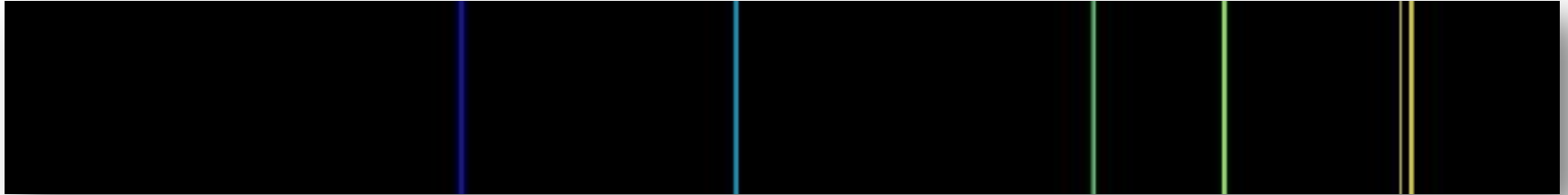
# Непрерывный спектр



- Дают тела, находящиеся в твердом, жидком состоянии, а также плотные газы.
- Чтобы получить, надо нагреть тело до высокой температуры.
- Характер спектра зависит не только от свойств отдельных излучающих атомов, но и от взаимодействия атомов друг с другом.
- В спектре представлены волны всех длин и нет разрывов.
- Непрерывный спектр цветов можно наблюдать на дифракционной решетке. Хорошей демонстрацией спектра является природное явление радуги.



# Линейчатый спектр



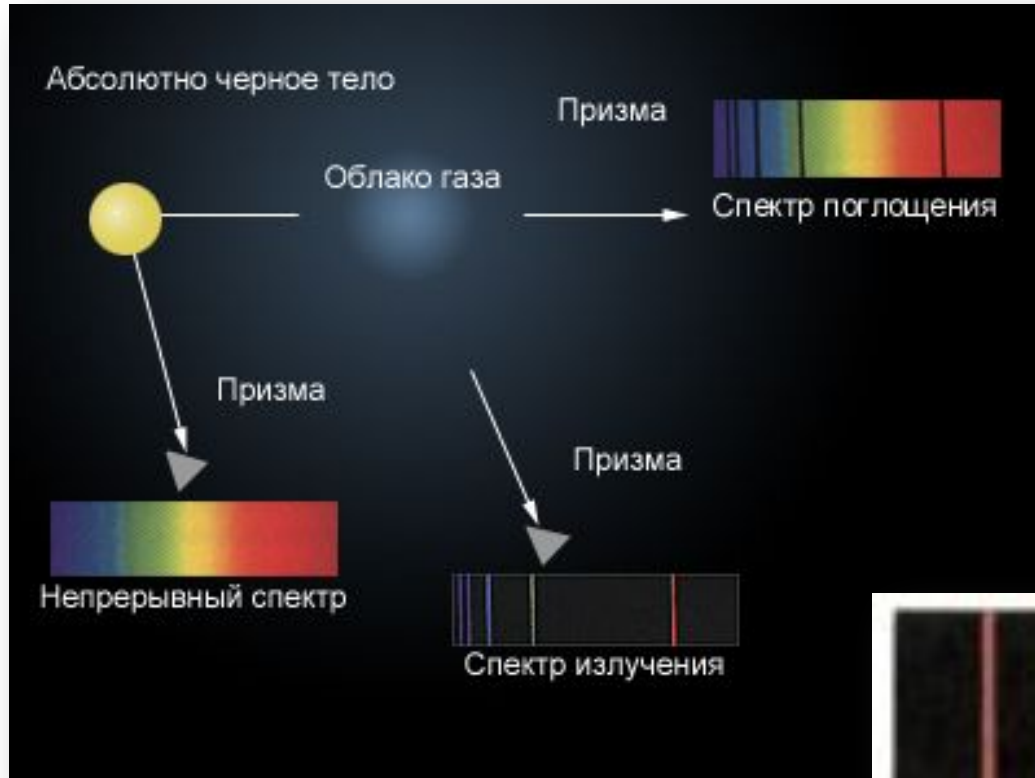
- Дают все вещества в газообразном атомарном (но не молекулярном) состоянии (атомы практически не взаимодействуют друг с другом).
- Изолированные атомы данного химического элемента излучают волны строго определенной длины.
- Для наблюдения используют свечение паров вещества в пламени или свечение газового разряда в трубке, наполненной исследуемым газом.
- При увеличении плотности атомарного газа отдельные спектральные линии расширяются.

# Полосатый спектр



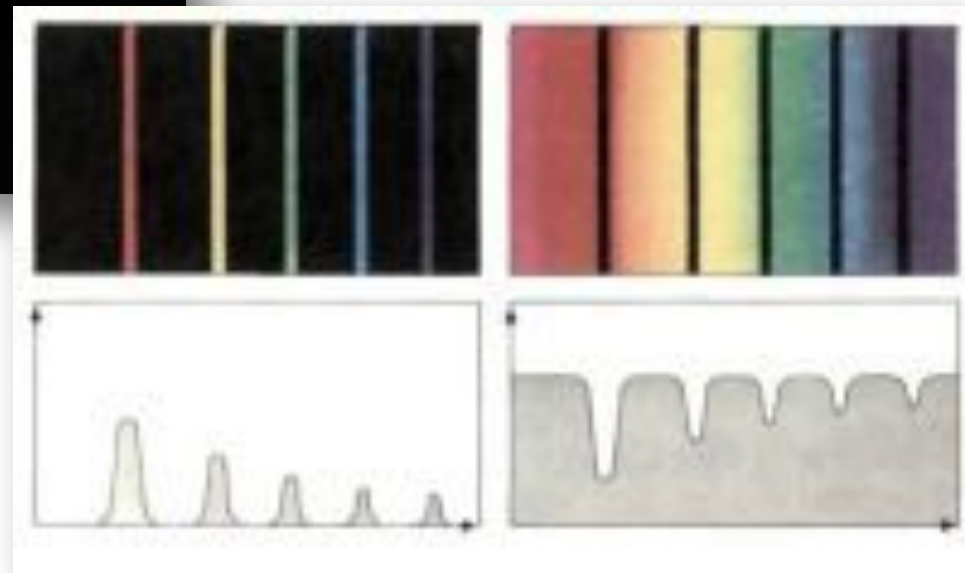
- Спектр состоит из отдельных полос, разделенных темными промежутками.
- Каждая полоса представляет собой совокупность большого числа очень тесно расположенных линий.
- Создаются молекулами, не связанными или слабосвязанными друг с другом.
- Для наблюдения используют свечение паров в пламени или свечение газового разряда.

# Спектр поглощения



- Если пропускать белый свет сквозь холодный, неизлучающий газ, то на фоне непрерывного спектра источника появятся темные линии.
- Газ поглощает наиболее интенсивно свет тех длин волн, которые он испускает в сильно нагретом состоянии.

• Темные линии на фоне непрерывного спектра – это линии поглощения, образующие в совокупности спектр поглощения.



# Спектральные серии водорода

**Серия Лаймана** – открыл в 1906 г. Теодор Лайман.

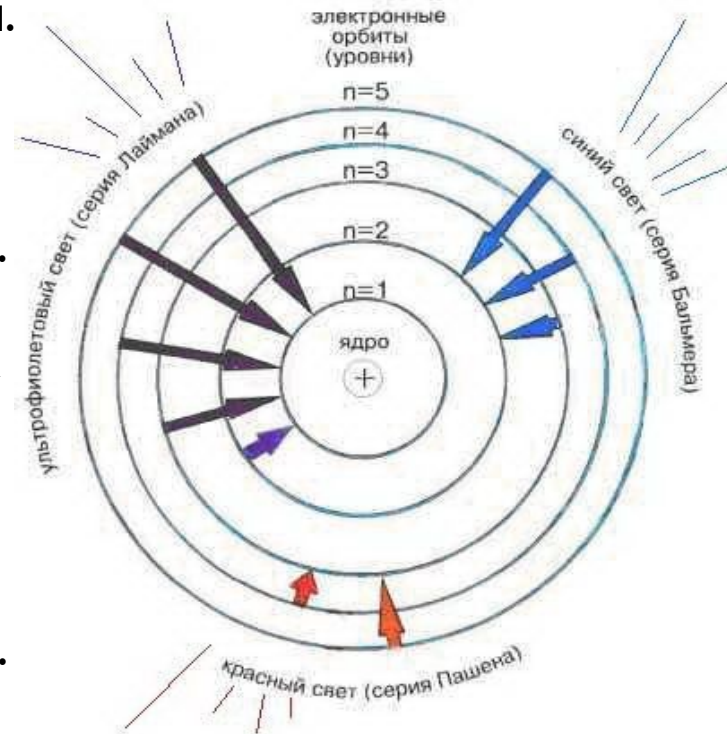
Данная серия образуется при переходах электронов с возбуждённых энергетических уровней на первый в спектре излучения и с первого уровня на все остальные при поглощении.

**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.



# *Строение атома*

## *Из истории:*

- Демокрит: существует предел деления атома.*
- Аристотель: делимость вещества бесконечна.*
- Париж, 1626 г.: учение об атоме запрещено под страхом смерти.*
- Сторонниками атомистической теории были М.В. Ломоносов, Ж. Гей-Люссак, Д. Дальтон и др.*

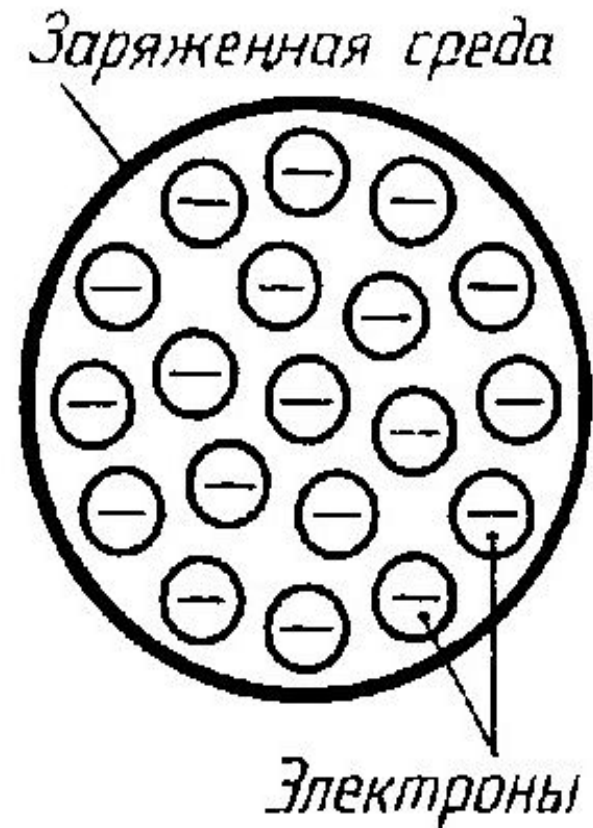


*Толчком к подробному изучению строения атома послужили:*

- открытие рентгеновского излучения (1895 г., В.К. Рентген);**
- открытие радиоактивности и новых радиоактивных элементов (1896 г., А. Беккерель, М. и П. Кюри);**
- открытие электрона (1896 г., Дж. Дж. Томсоном)**

# Модель атома Томсона

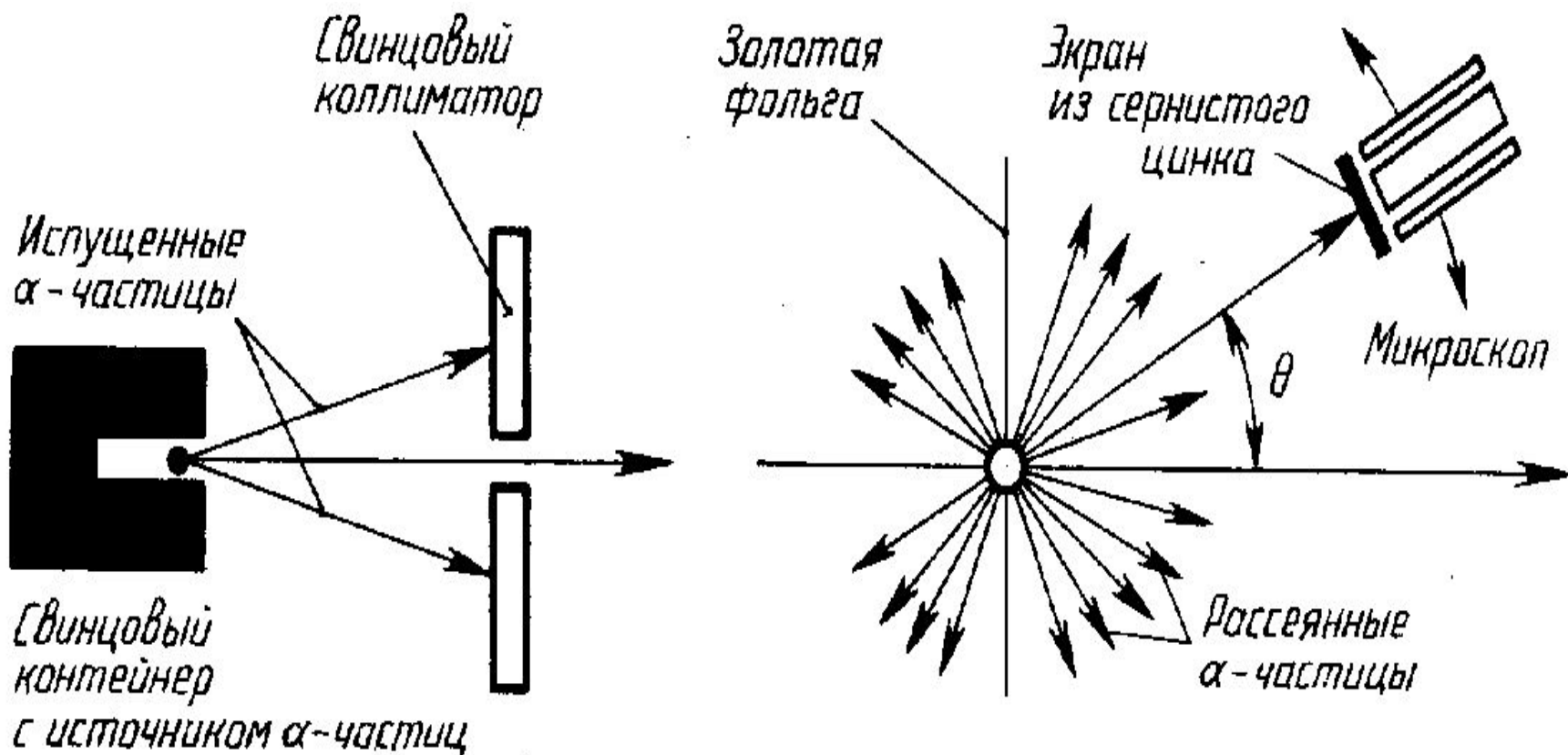
Мысль об электронном строении атома, впервые высказанную **В. Вебером** в 1896 г., развил **Х. Лоренц**: **электроны входят в состав атома**. Опираясь на эти открытия, **Дж. Томсон** в 1898 г. предложил модель атома в виде положительно заряженного шара радиусом  $10^{-10}$  м. в котором плавают электроны, нейтрализующие положительный заряд.



# *Ядерная модель атома*

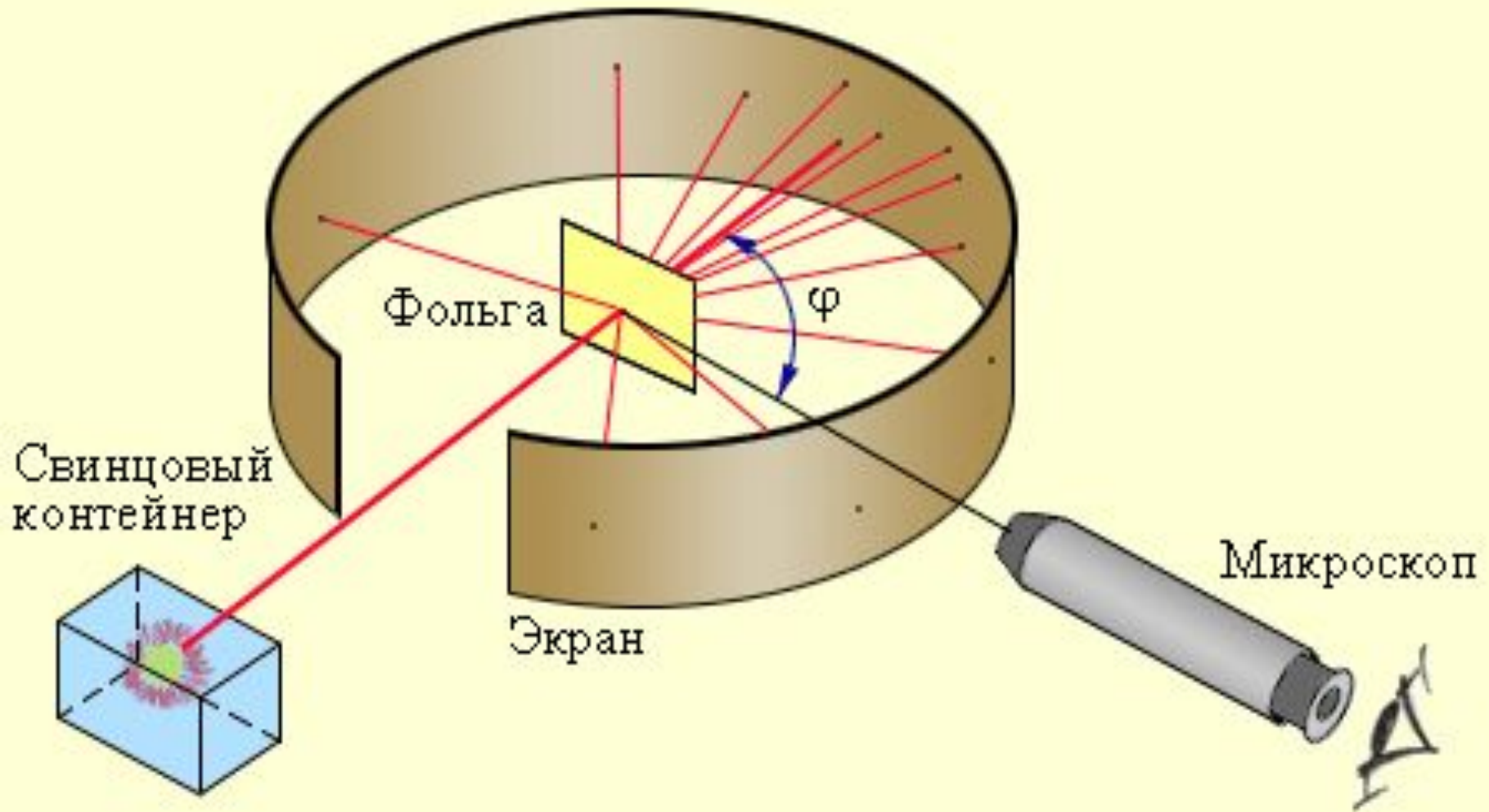
- Экспериментальная проверка модели Томсона была осуществлена в 1911 г. английским физиком Э. Резерфордом.
- Идея опыта заключалась в изучении рассеяния  $\alpha$ -частиц (заряд  $+2e$ , масса  $6,64 \cdot 10^{-27}$  кг) на атомах.  $\alpha$ -частицы были выбраны, т.к. их кинетическая энергия много больше кинетической энергии электронов ( $\beta$ -лучи) и, в отличие от  $\gamma$ -лучей они имеют электрический заряд.

# Опыт Резерфорда

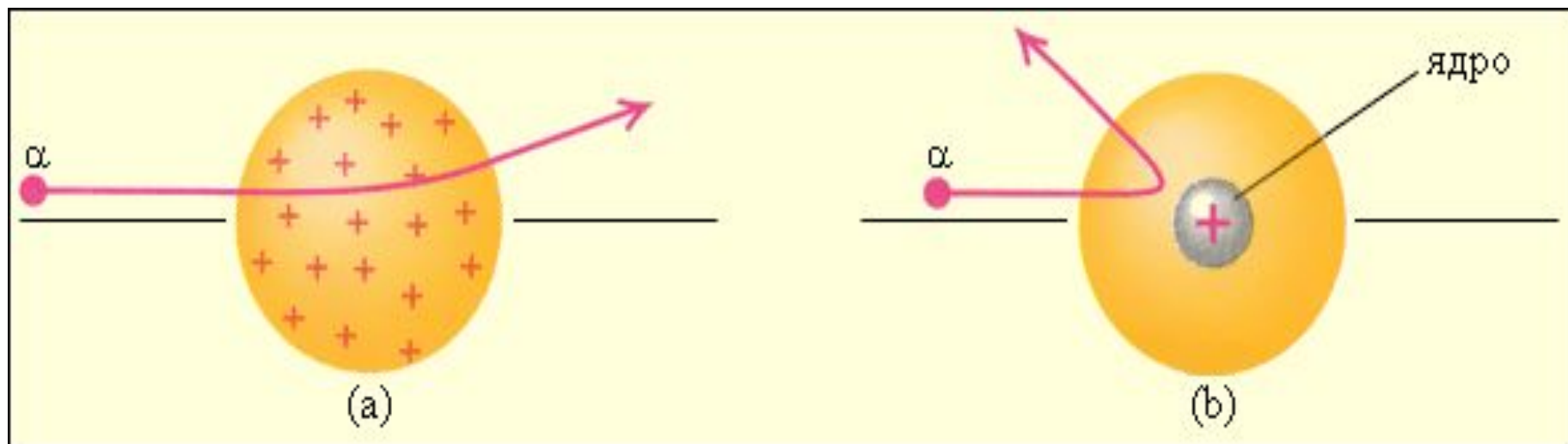


- Пучок  $\alpha$ -частиц пропусклся через тонкую золотую фольгу. Золото было выбрано как очень пластичный материал, из которого можно получить фольгу толщиной практически в один атомный слой. Опыты были повторены и на других материалах

# Схема опыта Резерфорда



Альфа частица отклоняется на различные углы(90 -180) при взаимодействии с золотой фольгой



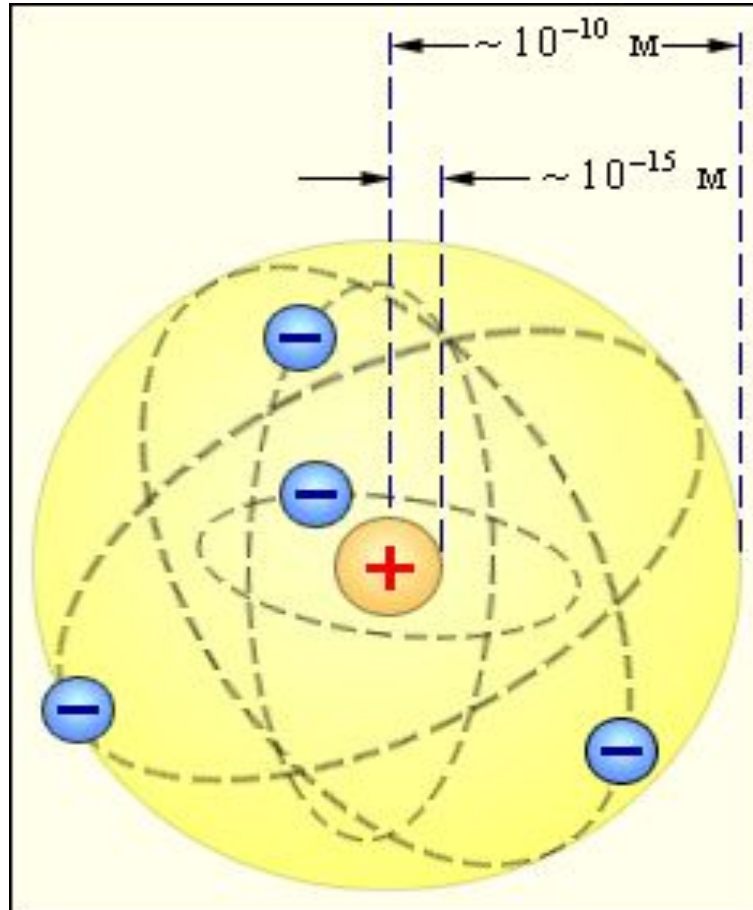
# Выводы из опыта Резерфорда

Э. Резерфорд и его помощники обнаружили, что какая-то часть  **$\alpha$ -частиц** отклоняется на довольно значительный угол от своего первоначального направления, а небольшая часть отражается от фольги.

Резерфорд показал, что модель Томсона находится в противоречии с его опытами. Обобщая результаты своих опытов, Резерфорд предложил **ядерную (планетарную) модель строения атома**:

- I. Атом имеет ядро, размеры которого малы по сравнению с размерами самого атома ( $\sim 10^{-15}$  м).
- II. В ядре сконцентрирована почти вся масса атома.
- III. Отрицательный заряд всех электронов распределен по всему объему атома и компенсирует положительный заряд ядра.

# *Планетарная модель атома (модель атома Резерфорда)*





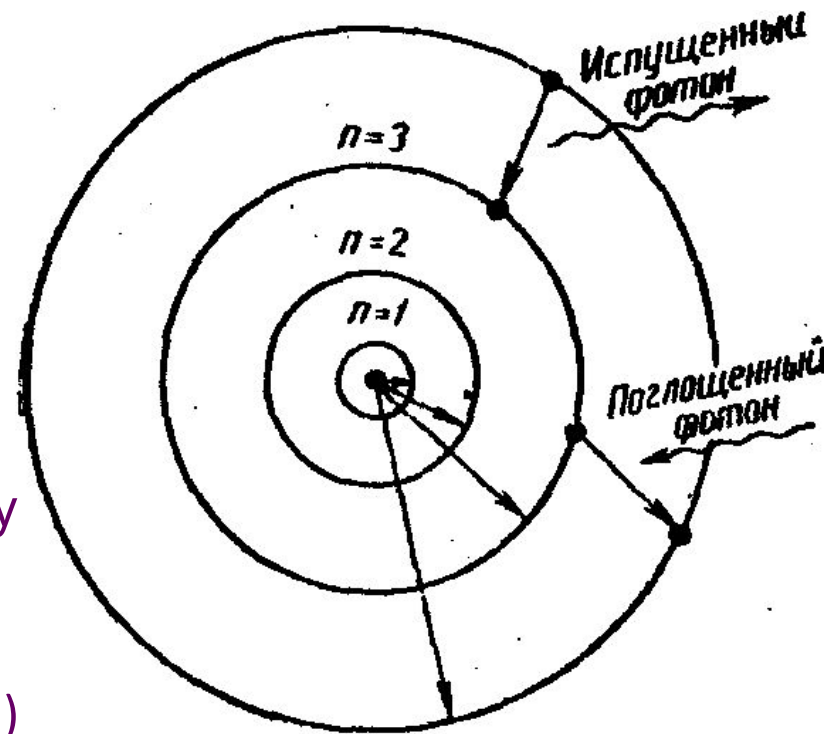
# ***Недостатки планетарной модели***

Предложенная модель строения атома не позволила объяснить устойчивость атома:

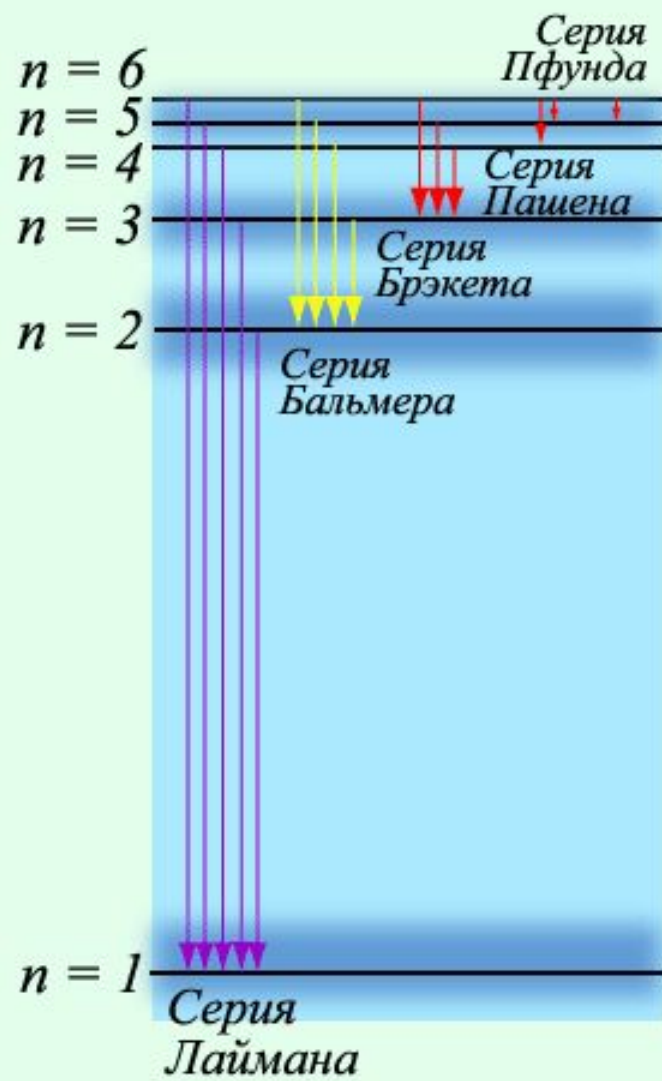
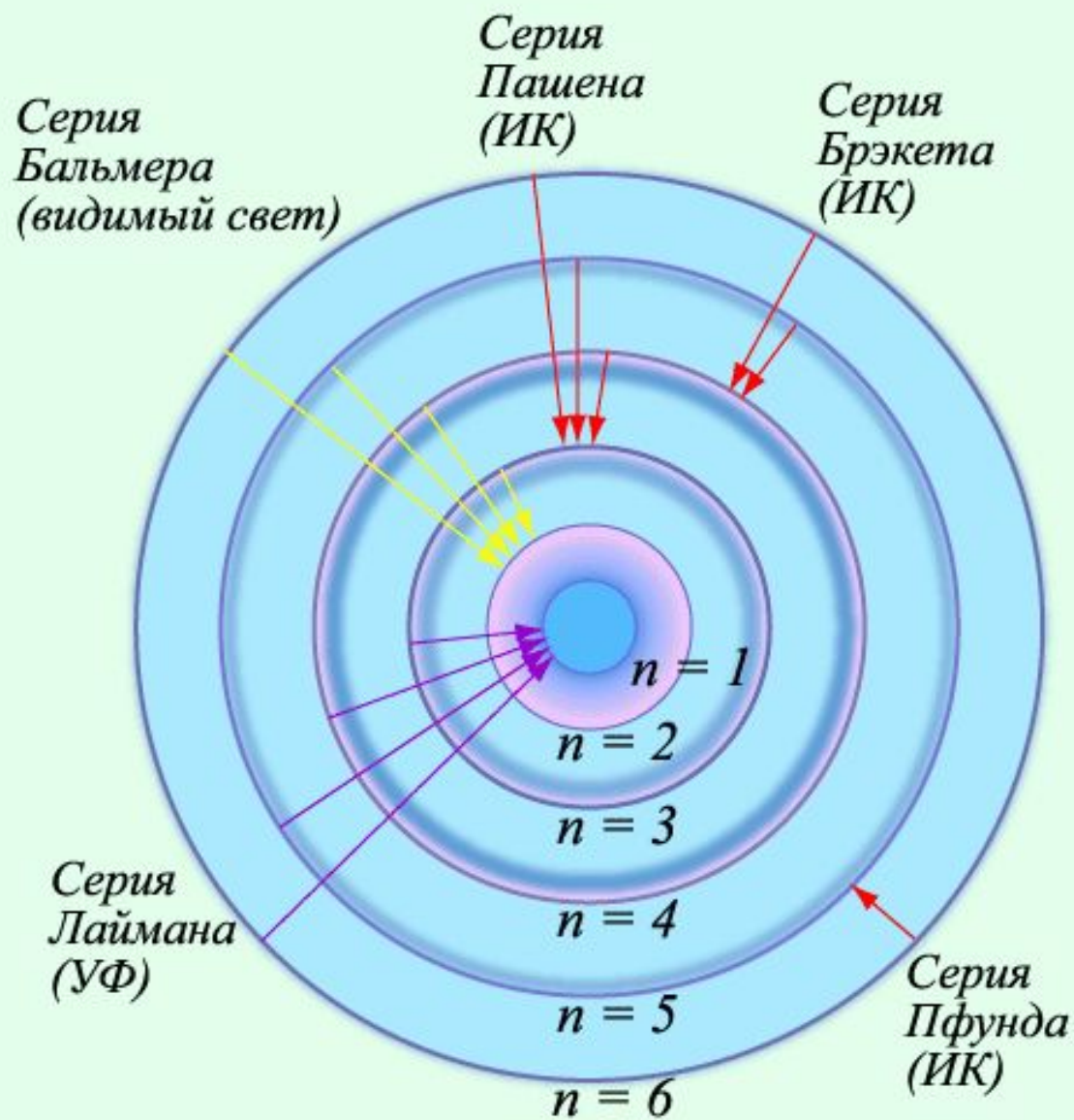
- ускоренное движение электрона согласно теории Максвелла сопровождается электромагнитным излучением, поэтому энергия электрона уменьшается, и он движется по спирали, приближаясь к ядру. Казалось бы, электрон должен упасть на ядро (расчет показывает, что это должно произойти за  $10^{-8}$  с), так как при движении по спирали уменьшается энергия электрона, в действительности атомы являются устойчивыми системами;
- спектр излучения при этом должен быть непрерывным (должны присутствовать все длины волн). На опыте спектр получается линейчатым;
- нет ответа на вопрос о строении ядра. Если в него входят только положительные частицы, то почему они не отталкиваются?

# Модель атома Бора

**Модель Бора** — полуклассическая модель атома, предложенная Нильсом Бором в 1913 г. За основу он взял планетарную модель атома, выдвинутую Резерфордом. Однако, с точки зрения классической электродинамики, электрон в модели Резерфорда, двигаясь вокруг ядра, должен был бы излучать энергию непрерывно и очень быстро и, потеряв её, упасть на ядро. Чтобы преодолеть эту проблему, Бор ввёл допущение, суть которого заключается в том, что электроны в атоме могут двигаться только по определённым (стационарным) орбитам, находясь на которых они не излучают энергию, а излучение или поглощение происходит только в момент перехода с одной орбиты на другую. Причём, стационарными являются лишь те орбиты, при движении по которым момент количества движения электрона равен целому числу постоянных Планка:



Модель атома Бора



# 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.

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

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

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

# ПОСТУЛАТЫ БОРА

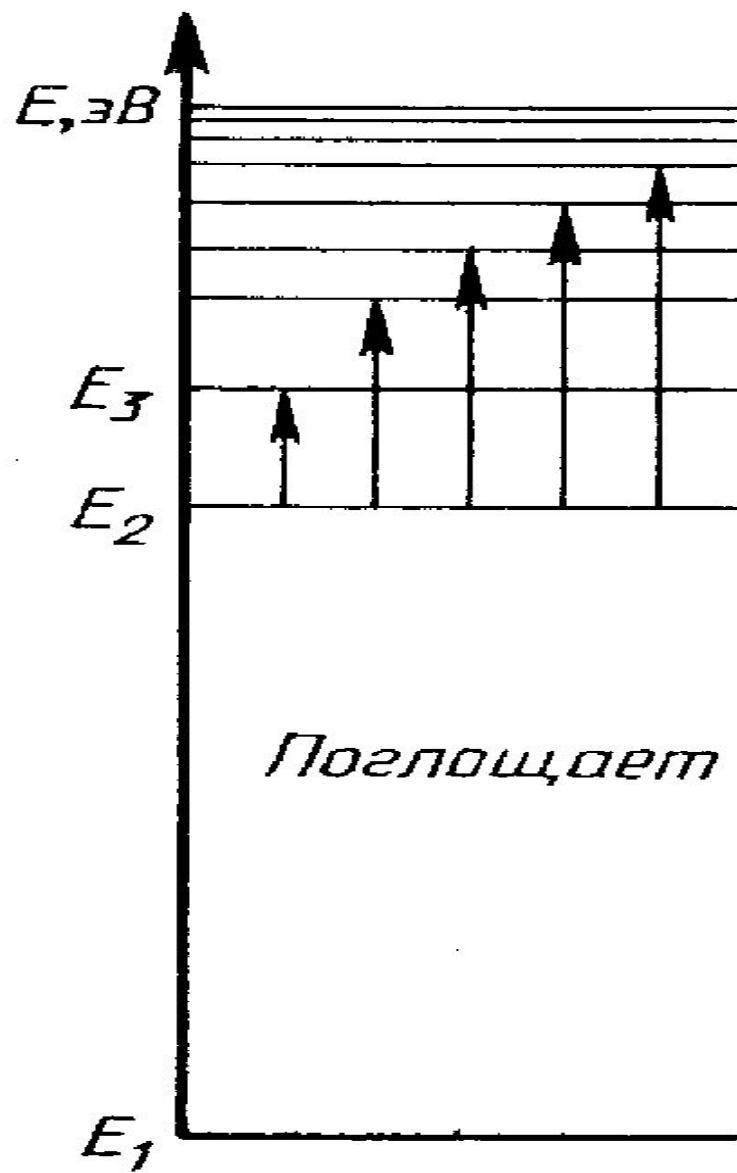
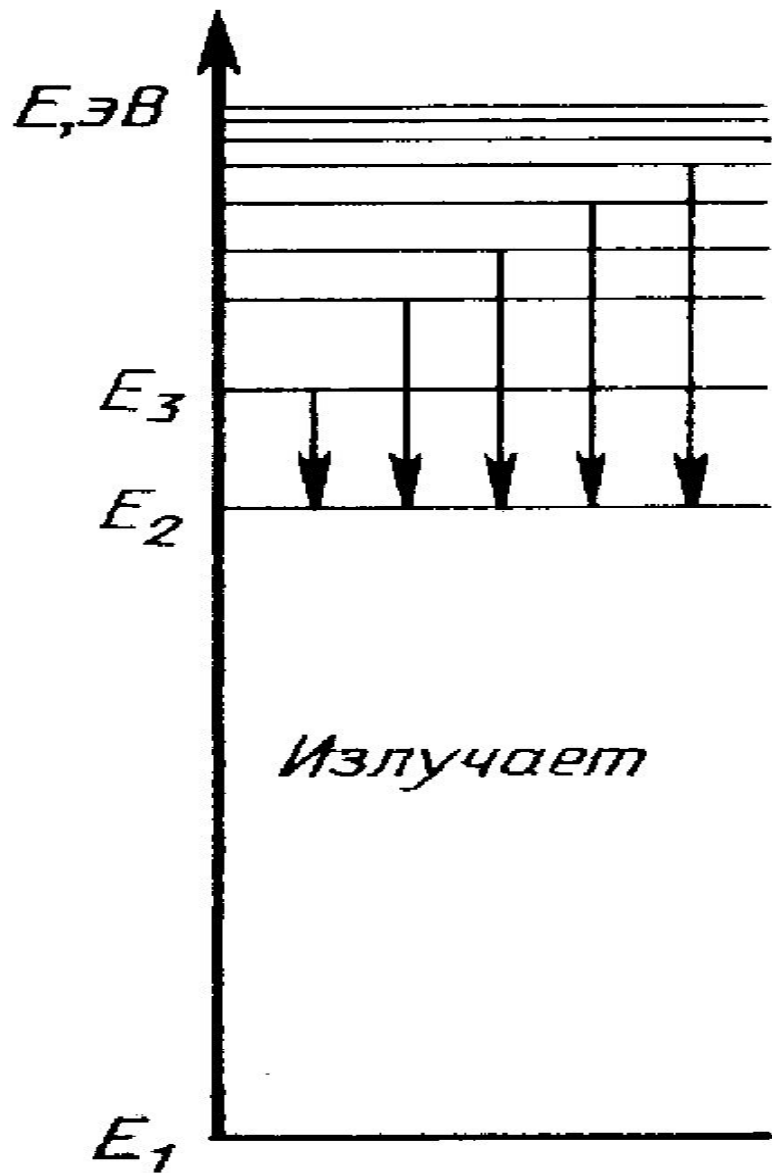
1. *Атомная система может находиться только в особых стационарных квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия  $E_n$ .*

*В стационарном состоянии атом не излучает.*

2. *При переходе атома из стационарного состояния с большей энергией  $E_k$  в стационарное состояние с меньшей энергией  $E_n$  излучается квант энергии:*

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

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

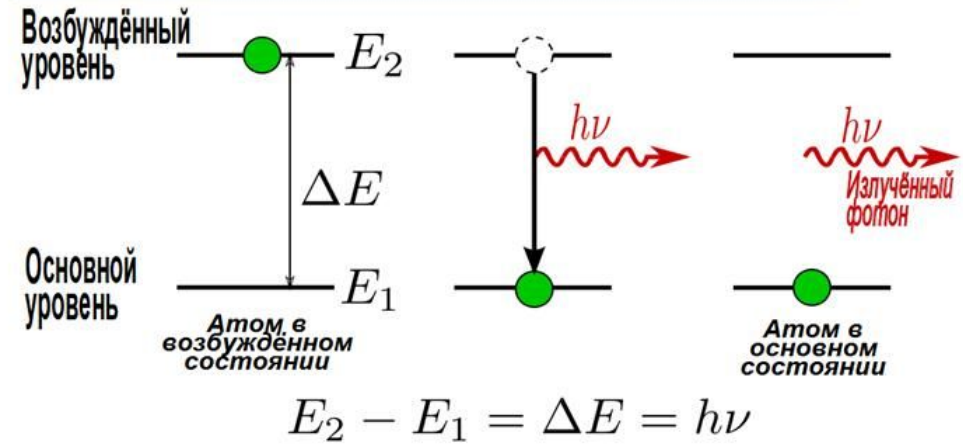


**Второй постулат Бора:** излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией  $E_k$  в стационарное состояние с меньшей энергией  $E_n$ . Энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний.

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

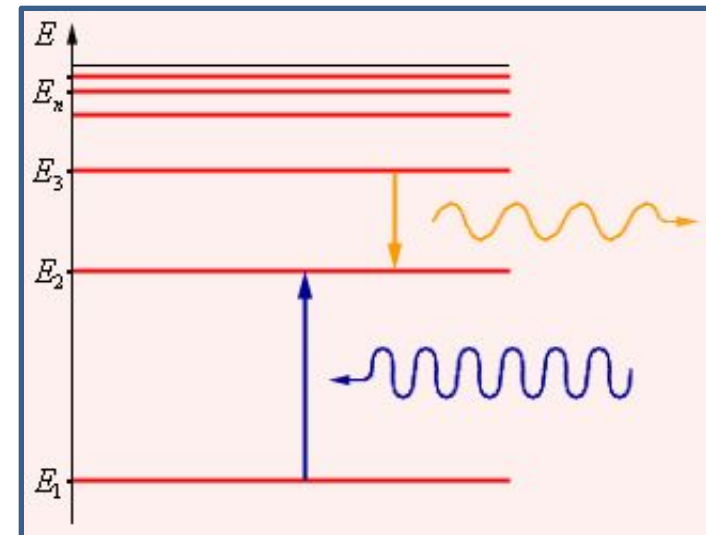


$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}$$



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.





# Правило квантования

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

Электрон движется по круговой орбите, то

$$\left. \begin{array}{l} mv - \text{модуль импульса } \bar{e} \\ r - \text{радиус орбиты} \end{array} \right\} \text{не меняются}$$

$mvr$  – момент импульса в механике

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

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

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

$$mvr = n\hbar, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots - \text{правило квантования}$$

## Правило квантования орбит:

- Электроны могут двигаться в атоме только по определённым орбитам, которые определяются условием:

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} = n \hbar$$

$$m v_n r_n = n \hbar$$

- где  $r_n$  - радиус  $n$ -ой орбиты;  $v_n$  - скорость электрона на этой орбите;  $m_e$  - масса электрона,  $n$  - целое число - номер орбиты или главное квантовое число.

# 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  $n = 1$

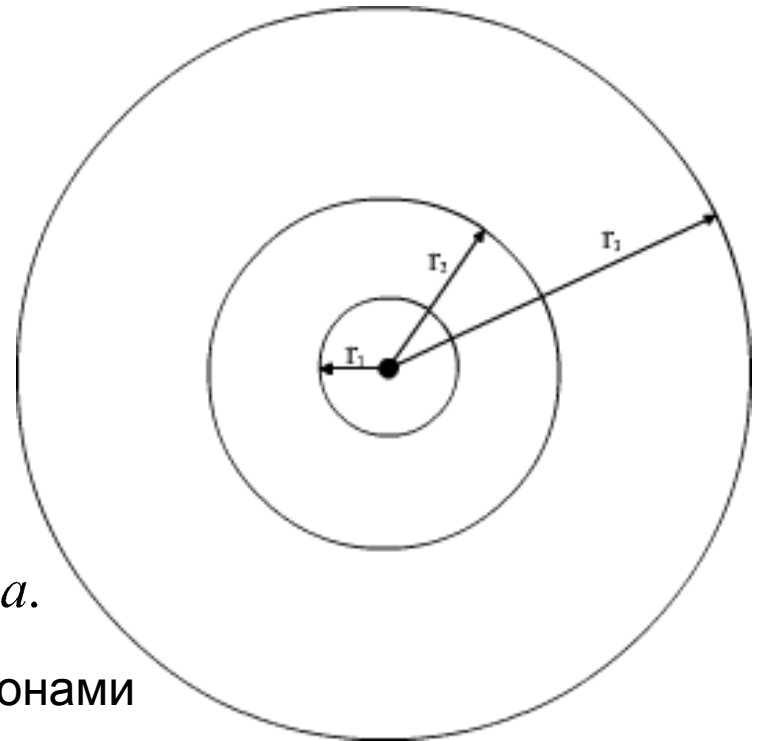
$$r_1 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ см} - \text{радиус атома водорода.}$$

Размеры атома определяются квантовыми законами

(радиус пропорционален квадрату постоянной

Планка). Классическая теория не может объяснить,

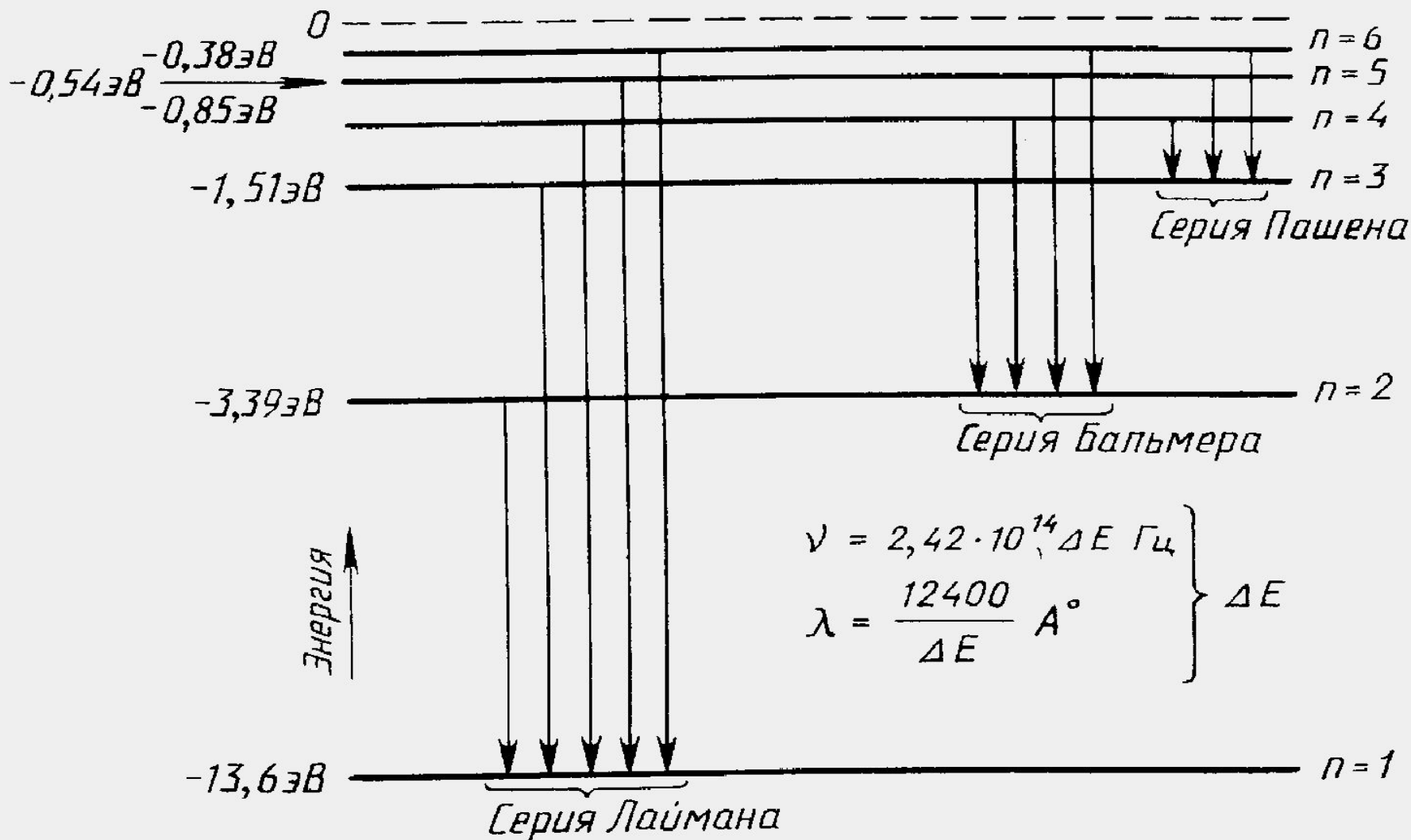
почему атом имеет размеры порядка  $10^{-8} \text{ см}$ .

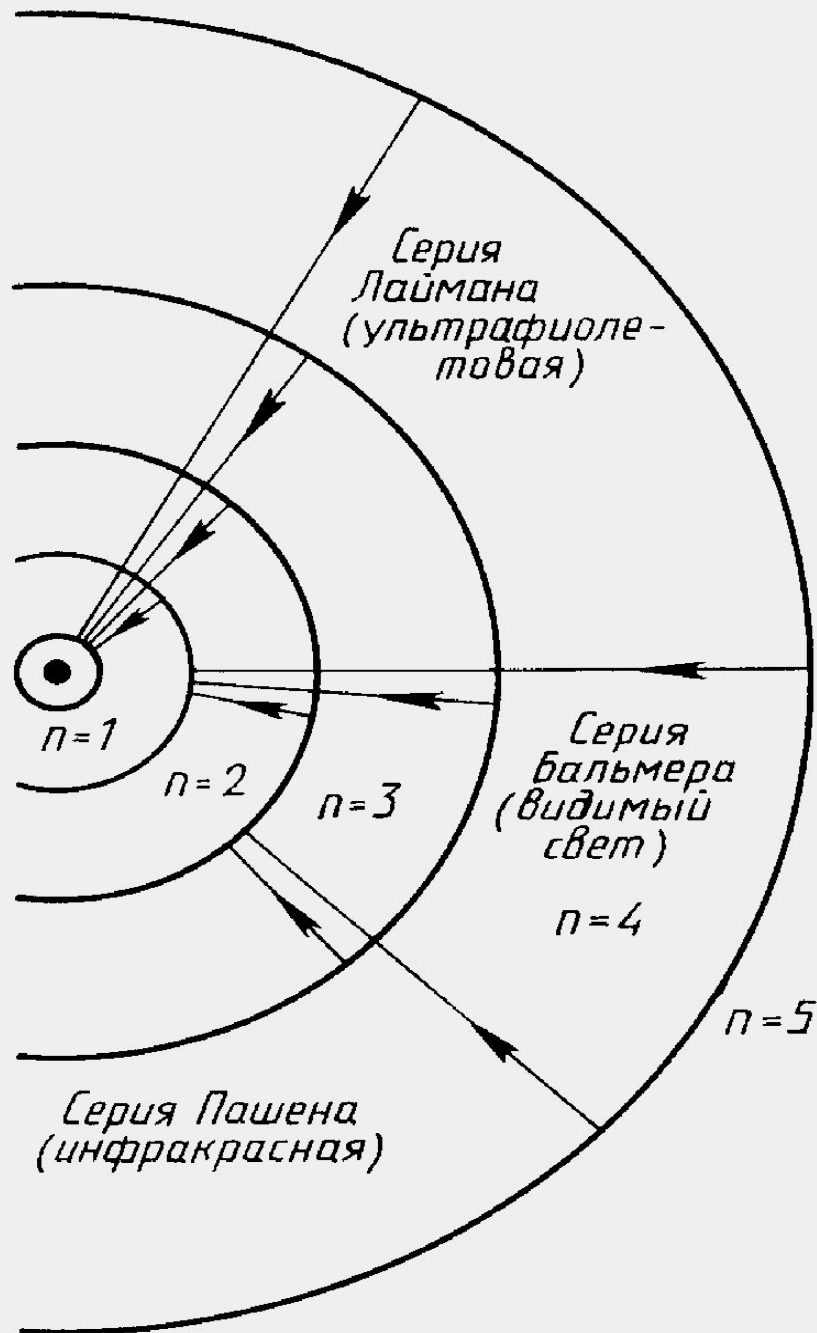


**Квантованные значения  
радиусов орбит:**

$$r_1 : r_2 : r_3 = n^2_1 : n^2_2 : n^2_3, \dots$$

# Постулаты Бора объясняют происхождение линейчатых спектров и их закономерности





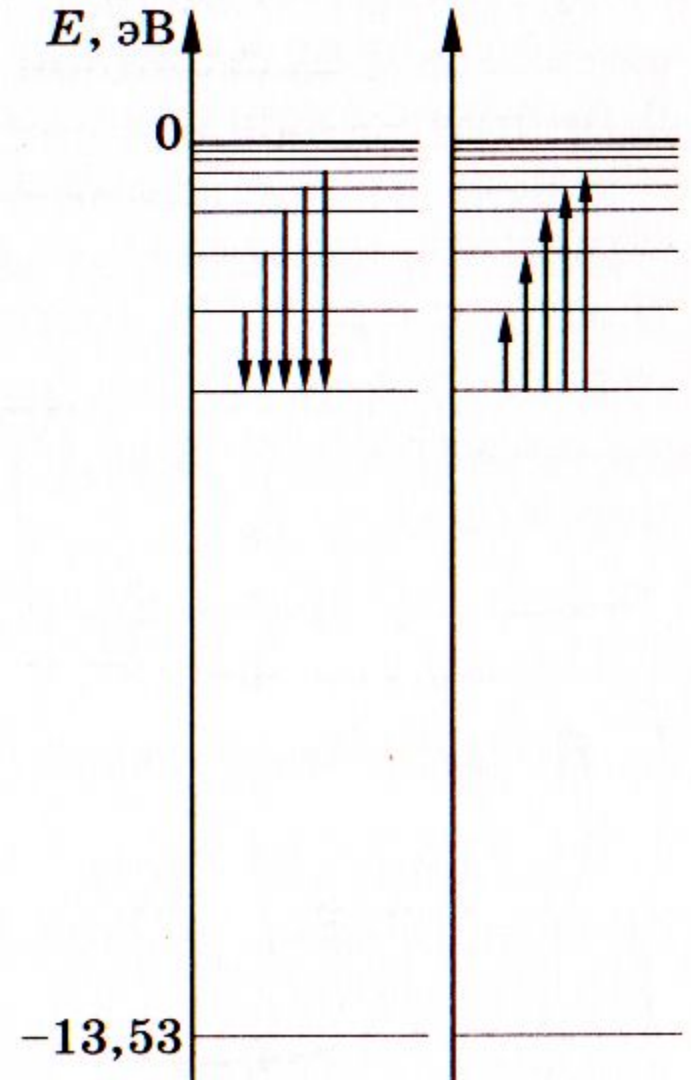
# Энергия стационарных состояний

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

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

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

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  $\tau$  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  $k > n$ .

**По второму постулату Бора возможные частоты излучения водорода равны:**

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

$$\nu_{kn} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

**где R – постоянная Ридберга, равна  $3,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ ;**

**n и k – номера орбит.**

# *Видимый свет*

*И. Бальмер (1885г.)*

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

*$n = 3, 4, 5$  и т.д.,  $R = 3,2 \cdot 10^{15}$  Гц*

# Ультрафиолетовая серия

Т. Лайман

$$\nu = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$n = 2, 3, 4, 5$  и т.д.

# *Инфракрасная серия*

**Ф. Пашен**

$$\nu = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

*n = 4, 5 и т.д.*

# *Трудности теории Бора*

- I. Правило квантования Бора применимо не всегда, представление об определенных орбитах, по которым движется электрон в атоме Бора, оказалось условным. Теория Бора неприменима для многоэлектронных атомов и не объясняет ряд спектральных закономерностей.
- II. В 1917 г. А. Эйнштейн предсказал возможность перехода атома с высшего энергетического состояния в низшее под влиянием внешнего воздействия. Такое излучение называется **вынужденным излучением** и лежит в основе работы **лазеров**.