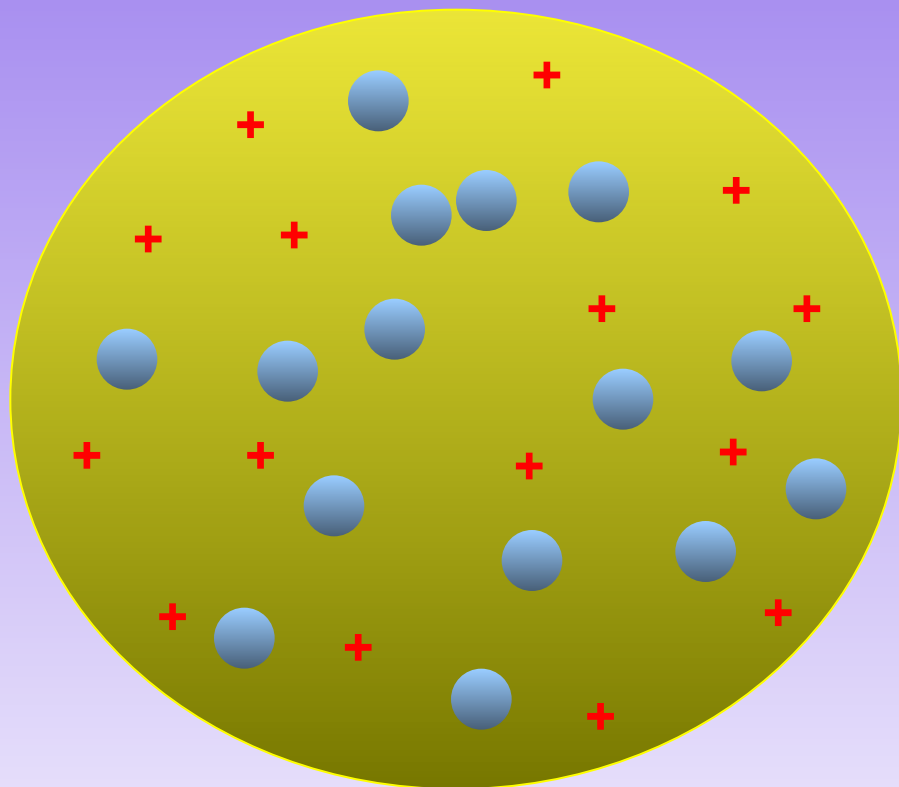


Ядерная модель атома. Квантовые постулаты Бора



I.

Модель Томсона



Дж. Томсон в 1898 году предложил модель атома: положительно заряженный шар радиусом 10^{-10} м, в котором плавают электроны, нейтрализующие положительный заряд.

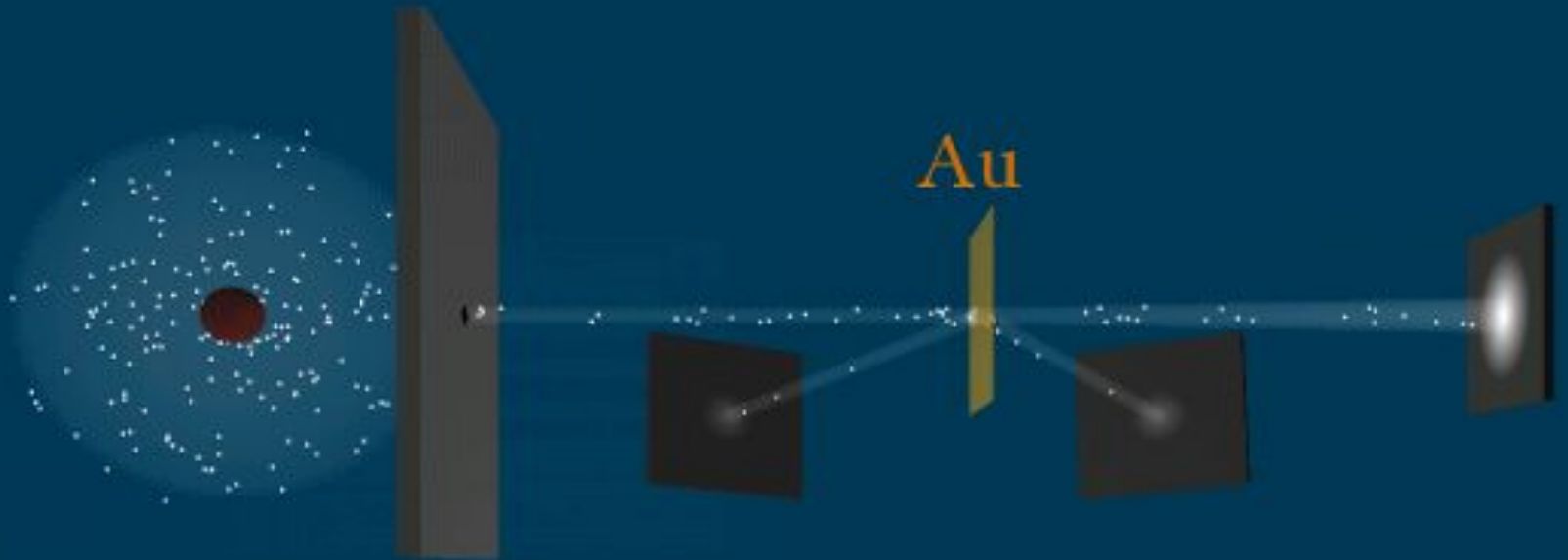
● - электрон

Опыт Резерфорда



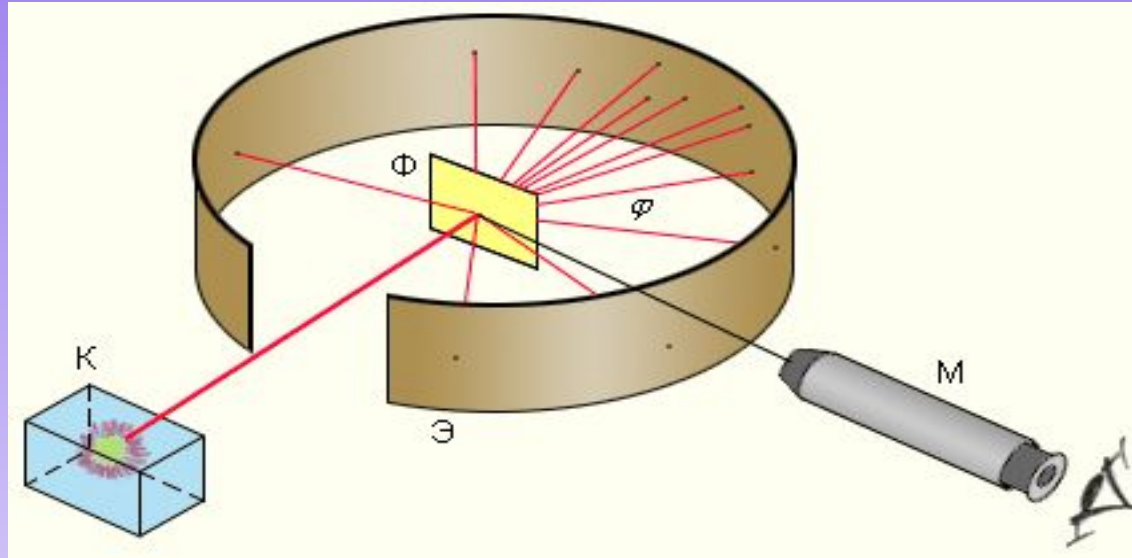
Первой экспериментально обоснованной моделью строения атома была планетарная модель Эрнеста Резерфорда, создать которую ему помог специально проведенный опыт. Поток α -частиц, излучаемых радиоактивным источником через узкую щель направлялся на тонкую золотую фольгу. Регистрация α -частиц проводилась при помощи флюоресцирующего экрана. В отсутствии фольги α -частицы двигались узким пучком, вызывая на экране яркую вспышку.

Рассеивание α - частиц



Когда на их пути помещали фольгу, то происходило в основном их слабое рассеивание. Однако, было обнаружено, что отдельные α -частицы могут отскакивать от фольги, вызывая свечение дополнительных экранов, помещенных в различных участках пространства до основного экрана.

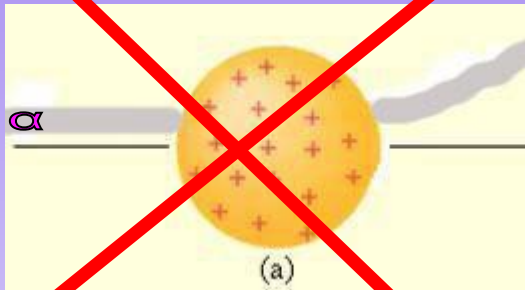
Схема опыта Резерфорда



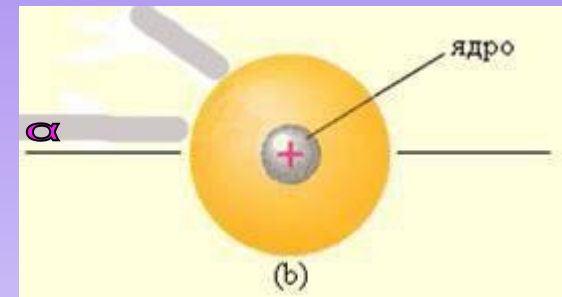
К – свинцовый контейнер с радиоактивным веществом
Ф – золотая фольга
Э – экран, покрытый сернистым цинком
М – микроскоп

Рассеяние α -частицы в атоме Томсона и в атоме Резерфорда

Атом Томсона



Атом Резерфорда



1. Большинство альфа - частиц отклоняются от прямолинейного пути на углы не более $1-2^\circ$
2. Небольшая часть альфа – частиц испытывала отклонение на значительно большие углы
3. В среднем одна из 8000 альфа- частиц рассеивается в направлении, обратном направлению первоначального движения

Планетарная модель атома Резерфорда.



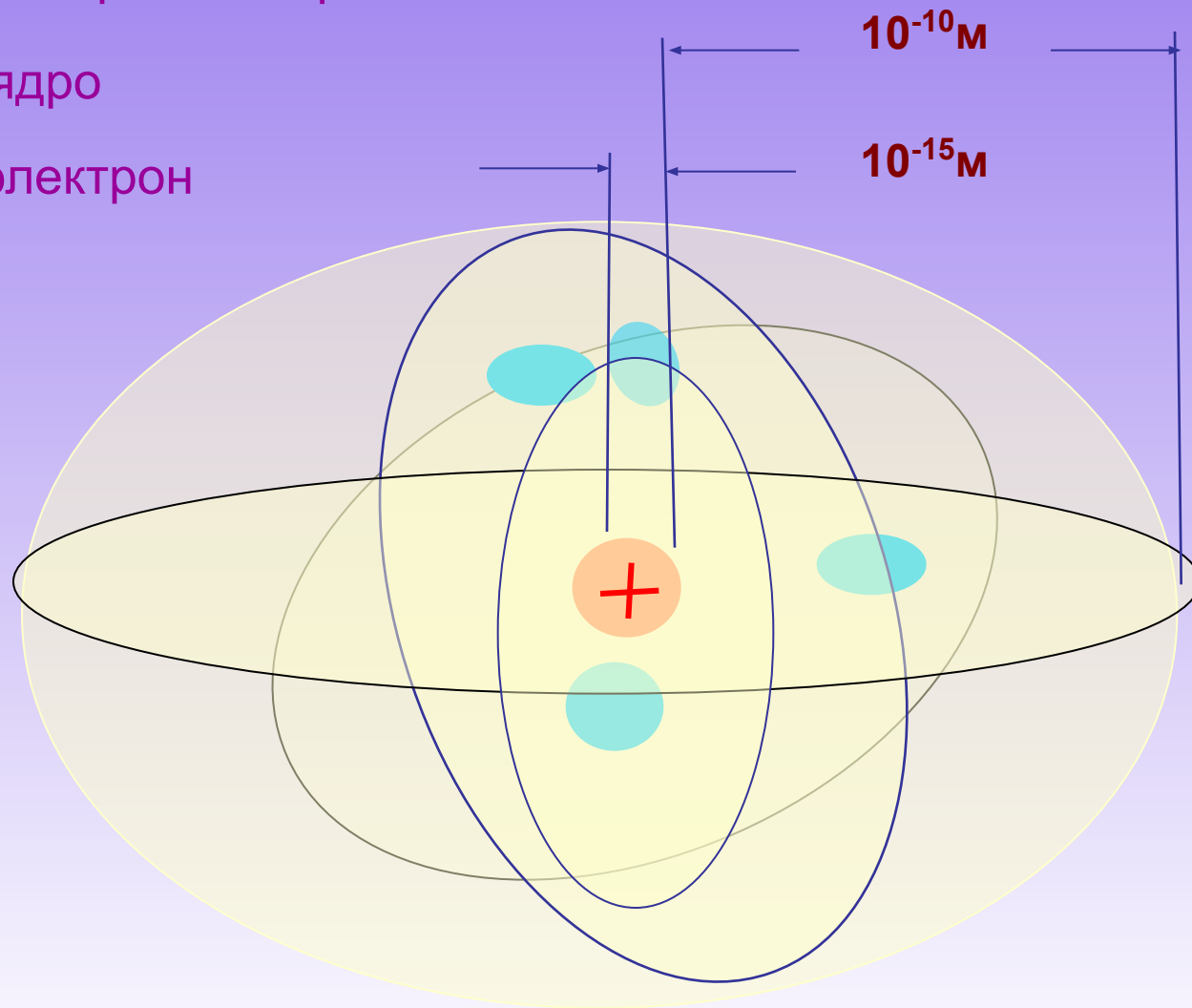
электронные орбиты



ядро

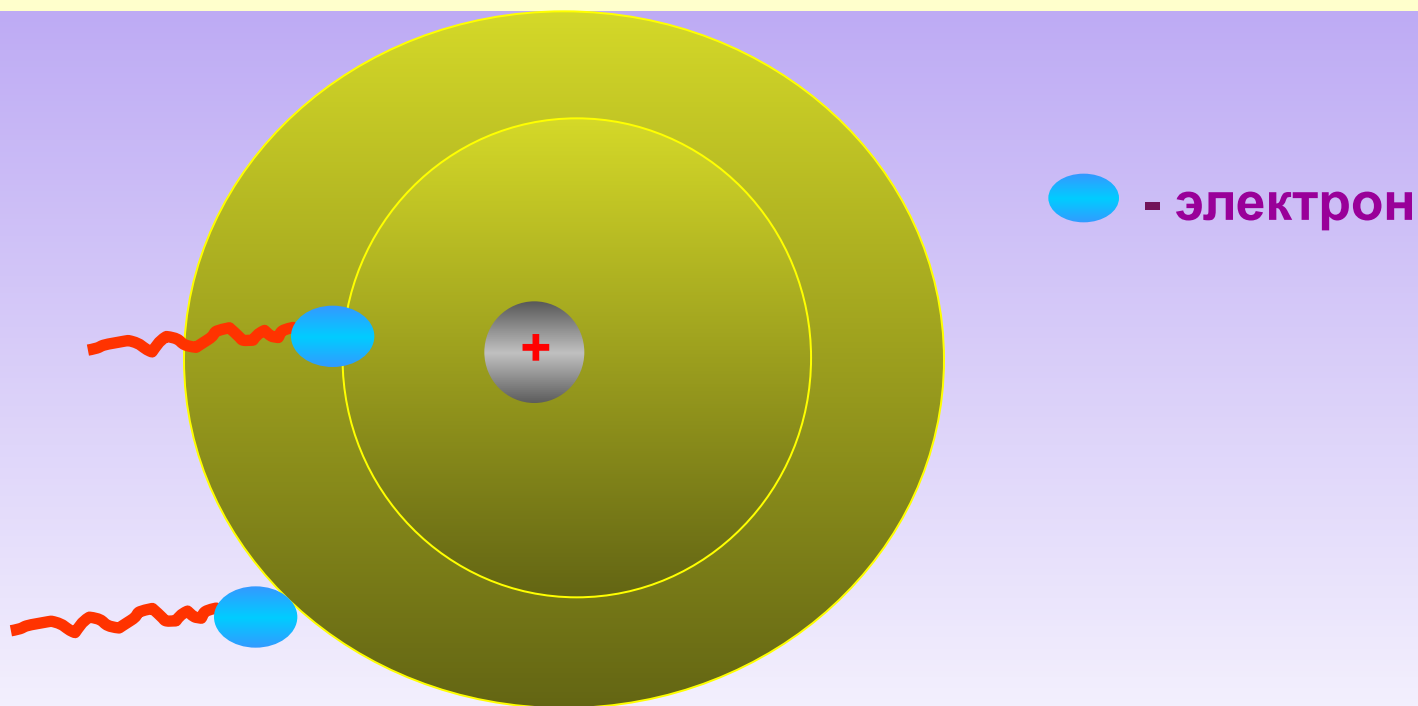


электрон



По законам классической электродинамики движущийся с ускорением заряд должен излучать электромагнитные волны, уносящие энергию. За время 10^{-8} с все электроны в атоме Резерфорда должны растратить свою энергию и упасть на ядро.

То, что этого не происходит в устойчивых состояниях атома, показывает, что внутренние процессы в атоме не подчиняются классическим законам.



II.

АТОМНЫЕ СПЕКТРЫ.

Излучение невзаимодействующих друг с другом атомов состоит из отдельных спектральных линий.

Такой спектр называется *линейчатым*

Изучение атомных спектров послужило ключом к познанию строения атомов.

Исследования показали: линии в спектрах атомов расположены не беспорядочно, а объединяются в группы или *серии линий*.

Отчетливее всего это обнаруживается в спектре простейшего атома – водорода.

Швейцарский физик Бальмер в 1885 году обнаружил, что длины волн в видимой и близкой ультрафиолетовой области спектра излучения водорода могут быть точно представлены формулой

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

λ_0 - константа, n - целое число, принимающее значения 3, 4, 5 и т.д.

- В дальнейшем (в начале XX в.) в спектре атома водорода было обнаружено еще несколько серий. В ультрафиолетовой области спектра находится серия Лаймана:

$$\nu = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) (n = 2, 3, 4, \dots).$$

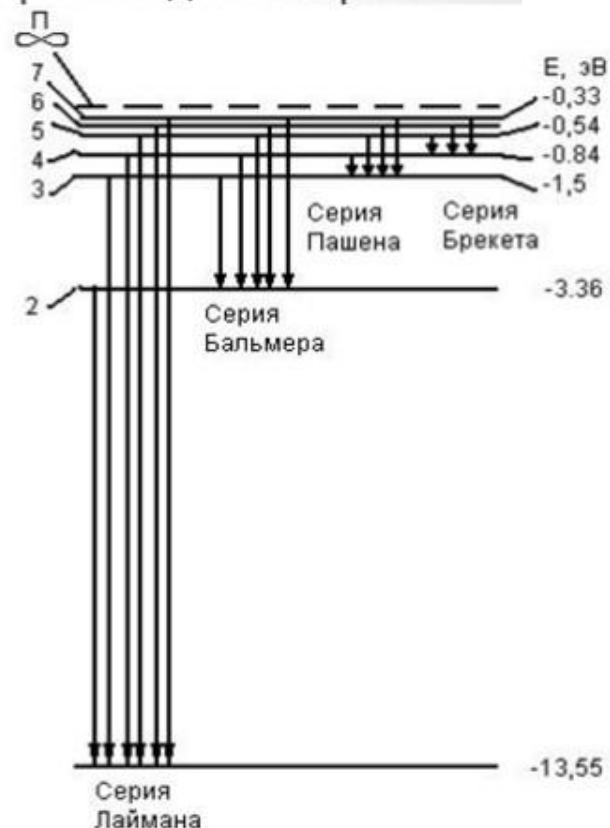
В инфракрасной области спектра были также обнаружены:

- серия Пашена $\nu = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) (n = 4, 5, 6, \dots);$

- серия Брекета $\nu = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) (n = 5, 6, 7, \dots);$

- серия Пфунда $\nu = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) (n = 6, 7, 8, \dots);$

- серия Хэмфри $\nu = R\left(\frac{1}{6^2} - \frac{1}{n^2}\right) (n = 7, 8, 9, \dots).$



- Все приведенные выше серии в спектре атома водорода могут быть описаны одной формулой, называемой обобщенной формулой Бальмера:

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

где m имеет в каждой данной серии постоянное значение, $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ {определяет серию}, n принимает целочисленные значения, начиная с $m+1$ (определяет отдельные линии этой серии).

ИТОГ:

Известно: пп 1-6. Есть противоречия.

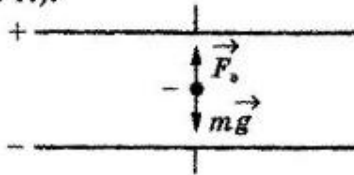
Решение: п 7 – Нильс Бор.

① Доказательства сложной структуры атомов.

1. Открытие электрона (Дж. Томсон, 1897 г.).

- электрический разряд в газах
- фотоэффект
- термоэлектронная эмиссия

Измерение заряда e^- (Р. Милликен, 1909 г.).

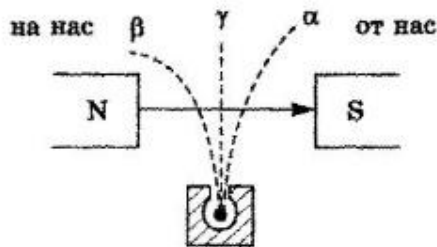


Электрон

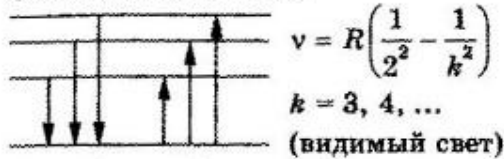
$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

2. Периодический закон Д. И. Менделеева, 1869 г.

3. Радиоактивность (А. Беккерель, 1896 г.).



4. Спектральные закономерности (И. Бальмер, 1885 г.).



$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), n = 1, 2, 3, \dots; k > n$$

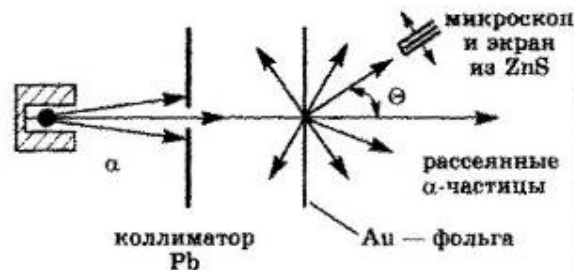
② Модель Дж. Томсона, 1906 г.

Атом $r_a \sim 10^{-8}$ см

- эл. нейтрален
- содержит e
- способен излучать свет



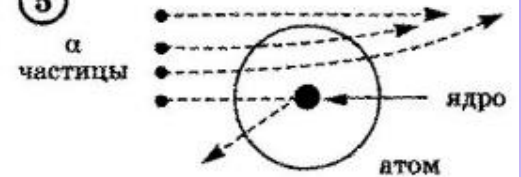
③ Опыты Э. Резерфорда, 1911 г.



④ α -частицы.

$$q_\alpha = +2e; m_\alpha \approx m_{He}; v_\alpha \sim \frac{1}{15} c$$

⑤



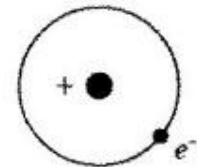
⑥

Модель атома Э. Резерфорда.

$$m_{пр} \approx m_n$$

$$r_n \sim 10^{-13} \text{ см}$$

$$r_a \sim 10^{-8} \text{ см}$$



⑦

Квантовые постулаты Н. Бора, 1913 г.

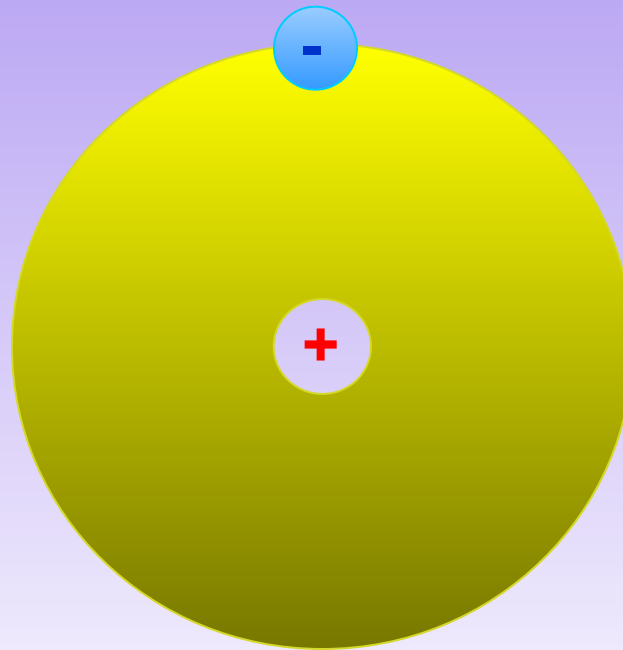
1. Существование стационарных состояний

2. Излучение энергии

$$h\nu_{nk} = W_n - W_k$$

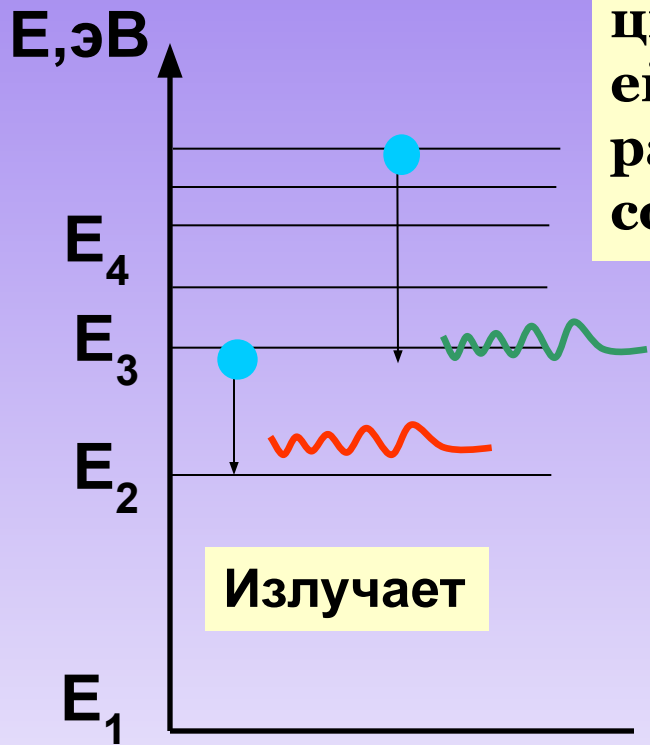
I ПОСТУЛАТ БОРА

Атомная система может находиться только в особых стационарных квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n . В стационарных состояниях атом не излучает.



II ПОСТУЛАТ БОРА

При переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_n в стационарное состояние с меньшей энергией E_m излучается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:



Излучает



электрон



квант

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m$$

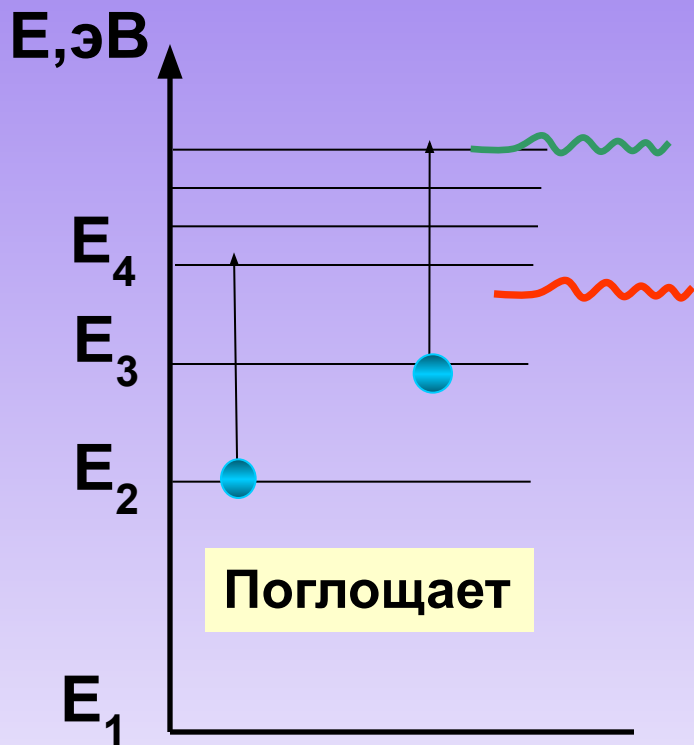
h – постоянная Планка

Частота излучения

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$$

II ПОСТУЛАТ БОРА

При переходе атома из стационарного состояния с меньшей энергией E_n в стационарное состояние с большей энергией E_m поглощается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:



$$h\nu_{nm} = E_n - E_m$$

h – постоянная Планка

Частота излучения

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$$



электрон



квант

Правило квантования Бора

В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные, квантованные значения момента импульса

$$m_e v r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

m_e - масса электрона,
 v - скорость электрона
 r_n - радиус стационарной круговой орбиты

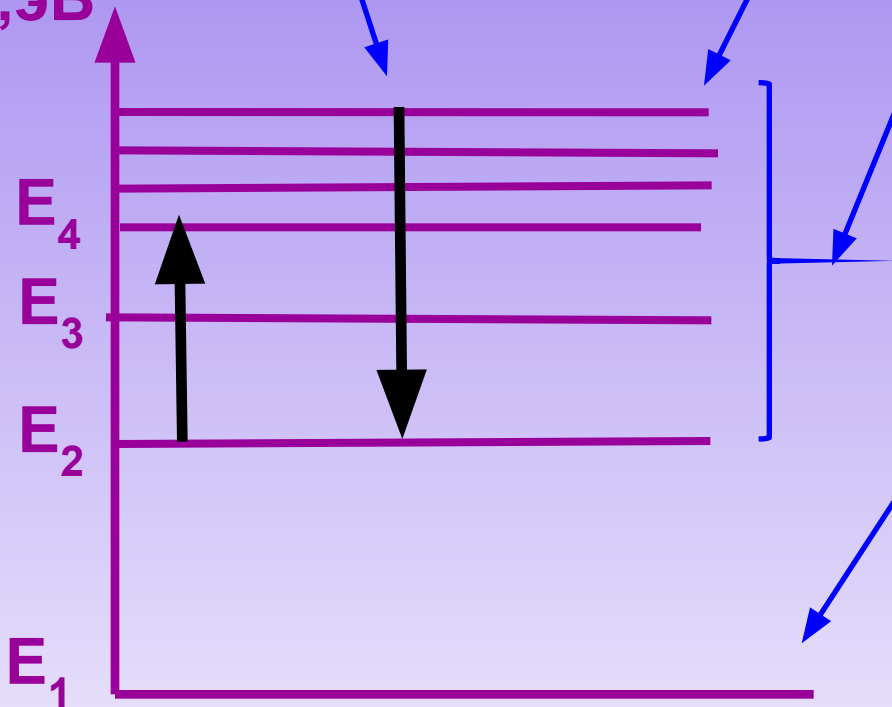
Правило квантования Бора позволяет вычислить радиусы стационарных орбит электрона в атоме водорода и определить значения энергий

Энергетические диаграммы

Переход атома

Энергетический уровень
(стационарное состояние)

$E, \text{эВ}$

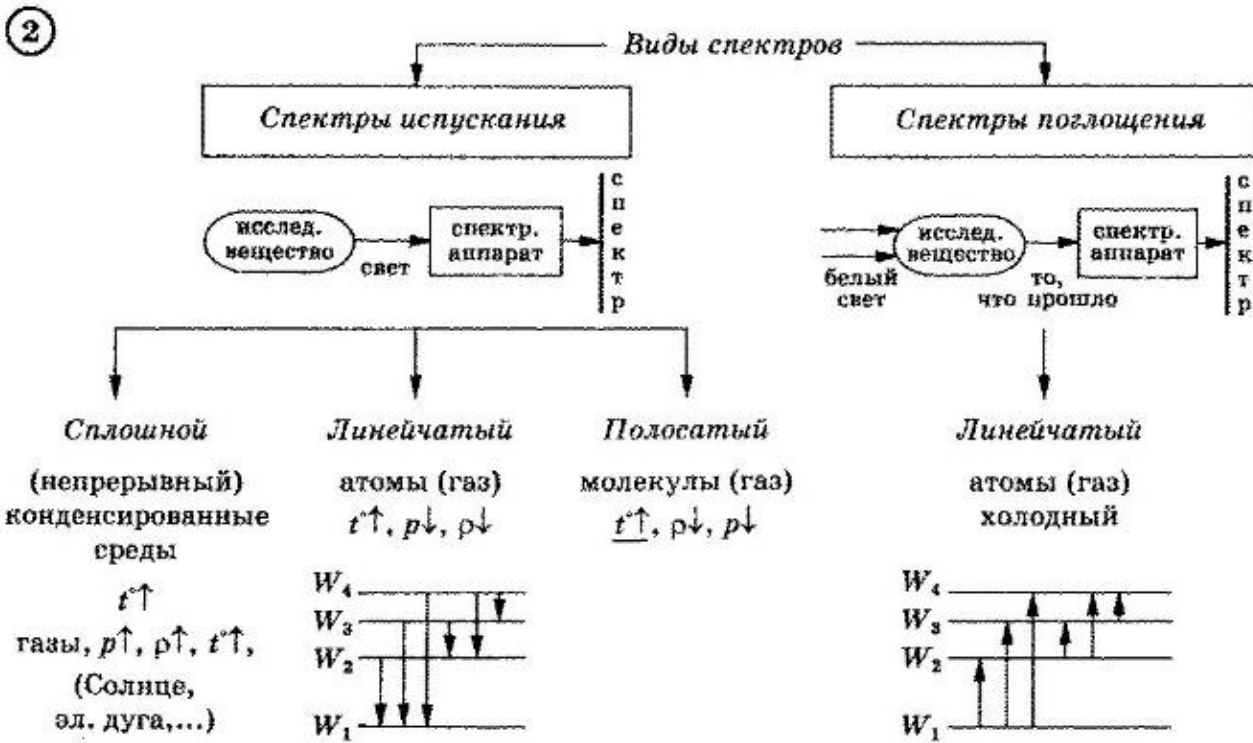
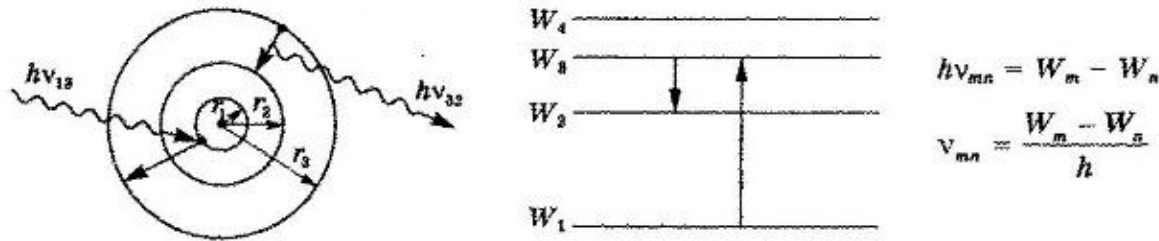


Возбужденное состояние
 $E_4 > E_3 > E_2 > E_1$

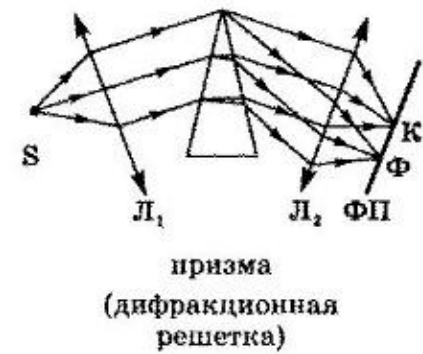
Нормальное состояние атома
 E_1 - минимальная энергия

ИЗЛУЧЕНИЯ И СПЕКТРЫ

1 Излучение и поглощение света.

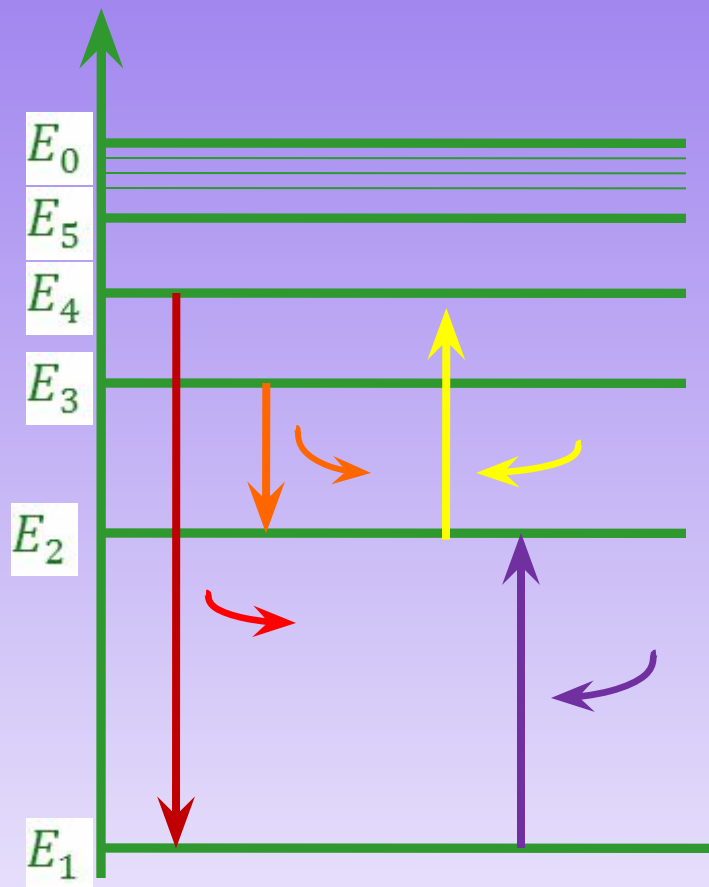
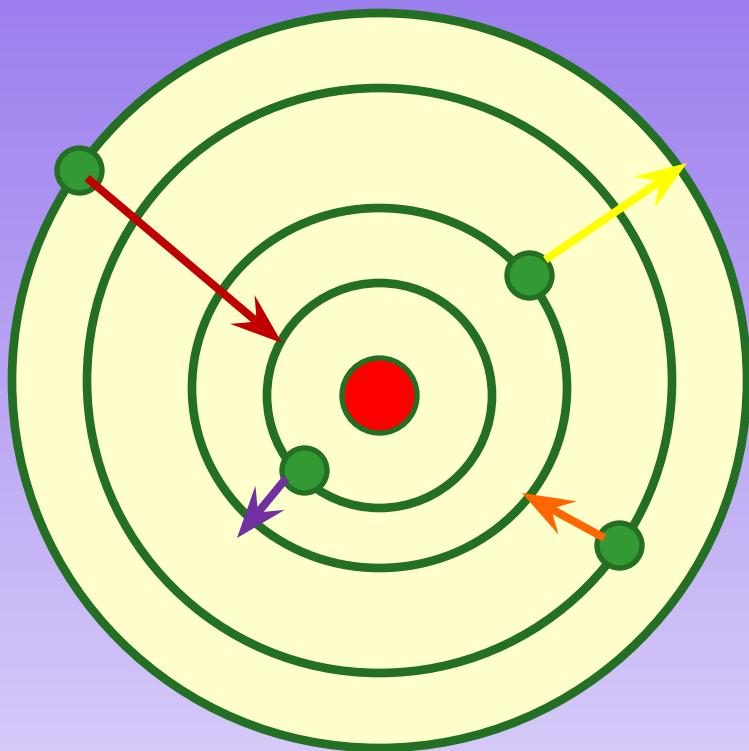


3 Спектрограф.



4 Спектральный анализ.

1. Сверхчувствительный метод
 $m \sim 10^{-10}$ г
2. Объект — свет
 - астрофизика
 - физхимия
 - металлургия
 - криминалистика



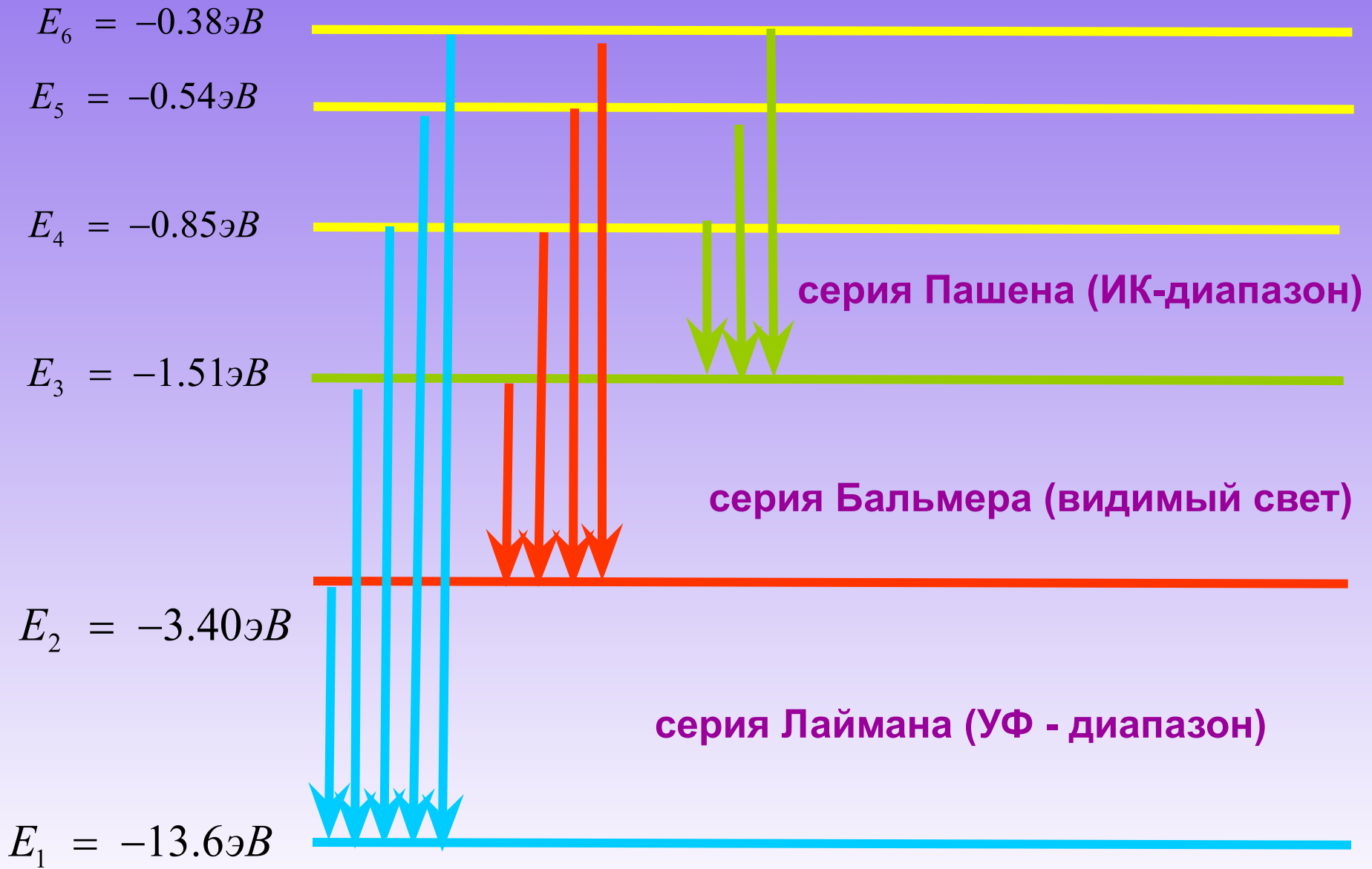
$$E_{41} = E_4 - E_1$$

$$E_{12} = E_1 - E_2$$

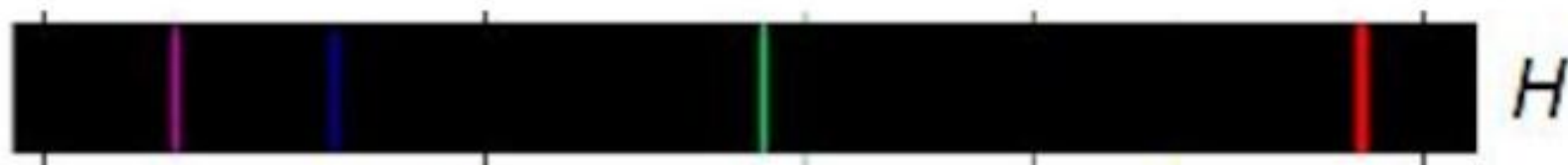
$$E_{32} = E_3 - E_2$$

$$E_{24} = E_2 - E_4$$

Серии излучения атома водорода



Закономерности в спектре атома водорода. Формула Бальмера.



Серия линий в видимой части спектра атома водорода

Серия Бальмера

1885г.
Математически записанная Бальмером наблюдаемая закономерность...

Формула Бальмера

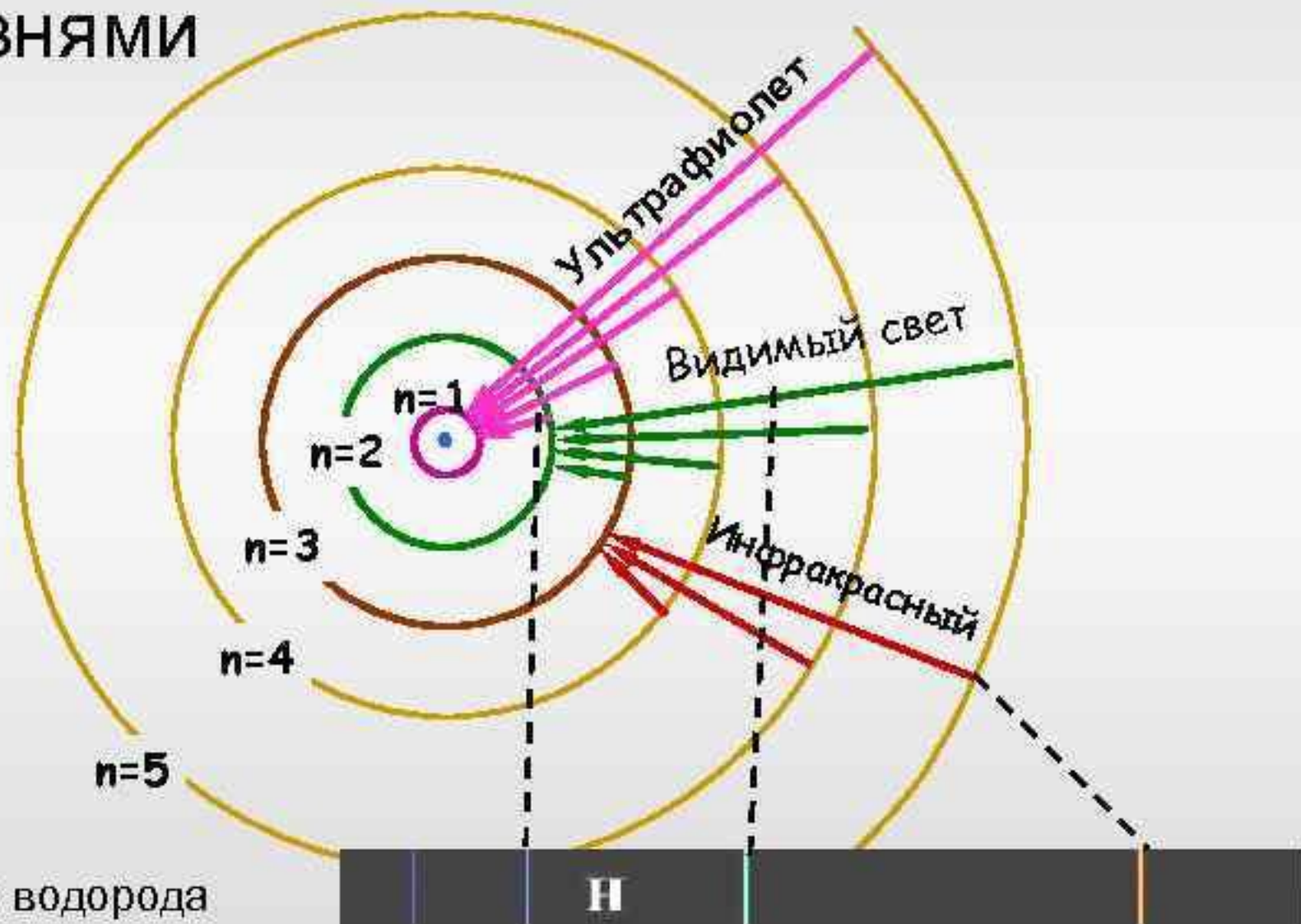
$$\omega = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$n = 3, 4, 5, \dots$$

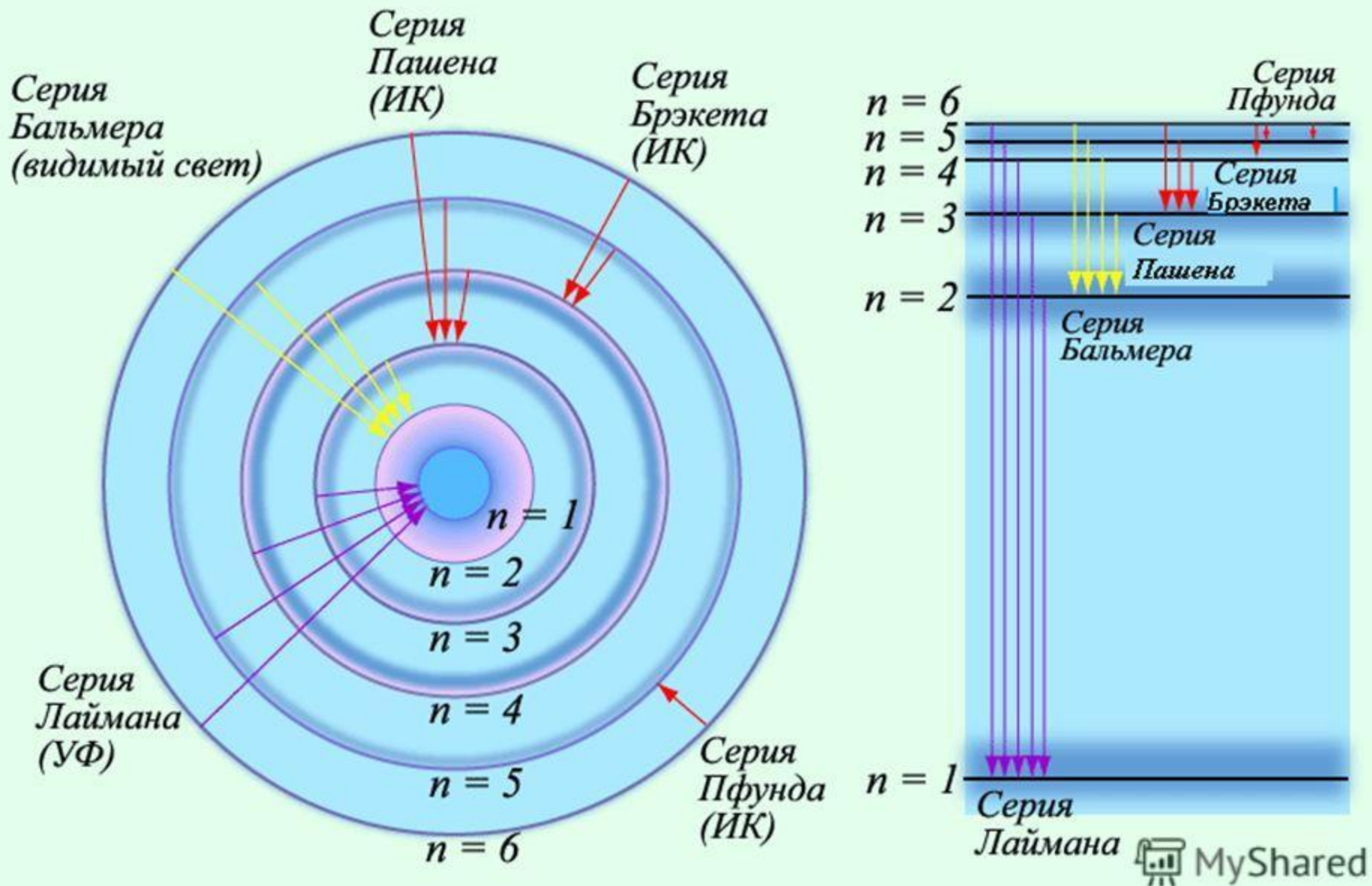
$$R = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ рад} / \text{с}$$

Постоянная Ридберга

Спектры излучения атомов – это переходы между энергетическими уровнями



Модель атома водорода по Бору



Боровская теория атома

Постулаты, выдвинутые Бором, позволили рассчитать спектр атома водорода и *водородоподобных систем* - систем, состоящих из ядра с зарядом Ze и одного электрона (например, ионы He^+ , Li^+)

1) Радиусы стационарных орбит

$$\frac{m v^2}{r} = \frac{Z e \cdot e}{4 \pi \epsilon_0 r^2} \quad \Leftrightarrow \quad m v r = n \hbar \quad \Rightarrow \quad r_n = \frac{4 \pi \epsilon_0 \hbar^2}{m Z e^2} \cdot n^2 \quad r_1 = 52,8 \text{ пм}$$

2) Энергия электрона на стационарной орбите

$$E_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ (эВ)}$$

3) Скорость электрона на орбите

$$v = \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 \hbar m}$$

- Электрон, вращаясь по орбите, испытывает действие кулоновской силы взаимодействия с ядром и центростремительной силы.
- Энергия электрона в атоме *отрицательная!* Кинетическая энергия меньше отрицательной энергии (по модулю) в 2 раза.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БОРОВСКАЯ ТЕОРИЯ ВОДОРОДНОГО АТОМА

Теория Бора сыграла большую роль в развитии квантовой механики. Однако, она не лишена недостатков:

1. Она внутренне противоречива: с одной стороны, использовалась механика Ньютона, с другой – привлекались чуждые этой механике искусственные правила квантования.
2. «Полуклассическая» или «полуквантовая» теория Бора не также не смогла ответить на вопрос, как движется электрон при переходе с одного уровня энергии на другой.
3. Теория не позволяла описывать атомы с числом электронов больше единицы.

Дальнейшее развитие теории микрочастиц привело к убеждению, что движение электрона в атоме нельзя описывать с помощью законов классической механики и что необходима новая теория.

Такая (квантовая) теория была создана к 1927 году усилиями многих ученых, среди которых выдающуюся роль сыграли В.Гейзенберг, Э.Шрёдингер, М.Борн, П.Дирак.

Решение задач

Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ, где $n = 1, 2, 3, \dots$. При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попад на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\lambda_{кр} = 300$ нм. Чему равна максимальная возможная скорость фотоэлектрона?

Согласно постулатам Бора энергия фотона равна

$$h\nu = E_2 - E_1. \quad (1)$$

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = h\nu_{кр} + \frac{m_e v_{\max}^2}{2}, \quad (2)$$

где учтено, что $A_{\text{вых}} = h\nu_{кр}$.

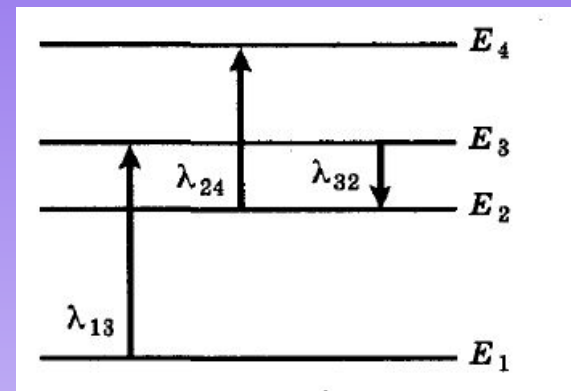
Объединяя (1) и (2), получим:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m_e} [(E_2 - E_1) - h\nu_{кр}]} \approx 1,65 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$\text{Ответ: } v_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m_e} [(E_2 - E_1) - h\nu_{кр}]} \approx 1,65 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Излучение атомов

1. На рисунке приведена схема энергетических уровней атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой.
 $\lambda_{13} = 400 \text{ нм}$, $\lambda_{24} = 500 \text{ нм}$, $\lambda_{32} = 600 \text{ нм}$.



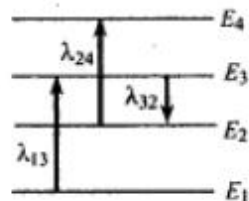
Чему равна:

1. длина волны для фотонов, излучаемых при переходе с уровня E_4 на уровень E_1 ?
2. Максимальную (минимальную) длину волны фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями?
3. Максимальную (минимальную) частоту волны фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями?



ОТВЕТЫ

С6. На рисунке изображены несколько энергетических уровней атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Экспериментально установлено, что минимальная длина волны для фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна $\lambda_0 = 250$ нм. Какова величина λ_{13} , если $\lambda_{32} = 545$ нм, $\lambda_{24} = 400$ нм?



Ответ:

Образец возможного решения

Минимальная длина волны соответствует максимальной частоте и энергии фотона. То есть $\lambda_0 = \lambda_{41}$, и

$$\nu_{14} = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^{-7}} = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}.$$

$$\text{Имеем: } \nu_{24} = \frac{c}{\lambda_{24}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 0,75 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)};$$

$$\nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5,45 \cdot 10^{-7}} \approx 0,55 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}.$$

Частота фотона, испускаемого или поглощаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих двух уровней. Поэтому $\nu_{13} = \nu_{14} - \nu_{24} + \nu_{32} = 1 \cdot 10^{15}$ Гц,

$$\lambda_{13} = \frac{c}{\nu_{13}} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{15}} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Определите длину волны фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с четвёртого уровня на второй

Формула Бальмера для частоты света: $\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

Подставляешь номера уровней: $\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = \frac{3}{16} R$

Длину волны света вычисляешь, используя значения скорости света и постоянной Ридберга:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{16 c}{3 R} = \frac{16 * 3 * 10^8}{3 * 3,29 * 10^{15}} = \dots \text{вычисли}$$

Формулы в рамках запоминай!!!

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) Энергия электрона, находящегося в атоме водорода на энергетическом уровне с номером n .
- Б) Энергия, которую нужно сообщить электрону в атоме водорода для того, чтобы он перешел с n -го энергетического уровня на m -й энергетический уровень.

ФОРМУЛА

- 1)
$$E_{nm} = 13,6 \text{ эВ} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$
- 2)
$$E_{nm} = 13,6 \text{ эВ} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{m} \right)$$
- 3)
$$E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}$$
- 4)
$$E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n}$$

Энергия электрона определяется формулой 3, а энергия, которую нужно сообщить электрону в атоме водорода для того, чтобы он перешел с n -го энергетического уровня на m -й энергетический уровень – формулой 1.

Электрон, имеющий импульс $p = 2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с, сталкивается с покоящимся протоном, образуя атом водорода в состоянии с энергией E_n ($n = 2$). В процессе образования атома излучается фотон. Найдите частоту ν этого фотона, пренебрегая кинетической энергией атома. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ, где } n = 1, 2, 3, \dots$$

Возможное решение

По условию задачи кинетической энергией образовавшегося атома следует пренебречь. Поэтому кинетическая энергия электрона до столкновения $\frac{p^2}{2m}$ и энергия излученного фотона $h\nu$ входят в уравнение, описывающее сохранение энергии и имеющее вид:

$$\frac{p^2}{2m} = E_n + h\nu,$$

откуда:

$$\nu = \frac{1}{h} \left(\frac{p^2}{2m} - E_n \right) = \frac{1}{6,6 \cdot 10^{-34}} \left(\frac{(2 \cdot 10^{-24})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} + \frac{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2^2} \right) \approx 4,15 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Ответ: $\nu \approx 4,15 \cdot 10^{15}$ Гц

С6 Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ, где } n = 1, 2, 3, \dots \text{ При переходе из состояния } E_2 \text{ в состояние}$$

E_1 атом испускает фотон. Поток таких фотонов падает на поверхность фотокатода. Запирающее напряжение для фотоэлектронов, вылетающих с поверхности фотокатода, $U_{\text{зап}} = 7,4 \text{ В}$. Какова работа выхода $A_{\text{вых}}$ фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

Возможное решение

Энергия фотона: $h\nu = E_2 - E_1$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A_{\text{вых}} + eU_{\text{зап}}$.

Отсюда $A_{\text{вых}} = (E_2 - E_1) - eU_{\text{зап}}$. Ответ: $A_{\text{вых}} \approx 4,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 2,8 \text{ эВ}$.

Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ, где } n = 1, 2, 3, \dots \text{ При переходе атома из состояния } E_2$$

в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, этот фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\nu_{\text{кр}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$. Чему равен максимально возможный импульс фотоэлектрона?

Возможное решение

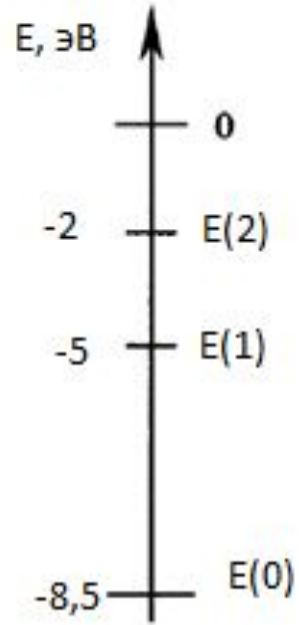
Энергия фотона $h\nu = E_2 - E_1$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$.

Отсюда: $p_{\text{max}} = \sqrt{2m_e [(E_2 - E_1) - h\nu_{\text{кр}}]} \approx 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ кг}\cdot\text{м/с}$.

Ответ: $p_{\text{max}} \approx 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ кг}\cdot\text{м/с}$

Излучение атомов



Предположим, что схема энергетических уровней атомов некоего вещества имеет вид, показанный на рисунке. И атомы находятся в состоянии с энергией E_1 . Электрон, движущийся с кинетической энергией 1,5 эВ, столкнулся с одним из таких атомов и отскочил, приобретя некоторую дополнительную энергию. Определите импульс электрона после столкновения, считая, что до столкновения атом покоился. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном

Решение:

При столкновении атом перешел в состояние E_0 , передав электрону энергию $\Delta E = E_1 - E_0 = 3,5$ эВ

1. На рисунке приведена схема энергетических уровней атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. $\lambda_{13} = 400$ нм, $\lambda_{24} = 500$ нм, $\lambda_{32} = 600$ нм.
1. На рисунке приведена схема энергетических уровней атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой.
1. На рисунке приведена схема энергетических уровней атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при

Ответ: $1,2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с

Дано:

$$\Delta E = 1,89 \text{ эВ} =$$
$$= 1,89 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Найти: $\lambda - ?$ **Решение:**

$$\Delta E = E_{\text{к}} - E_{\text{н}} = h\nu.$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

$$\Rightarrow \Delta E = \frac{hc}{\lambda}, \quad \text{отсюда} \quad \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,024 \cdot 10^{-19}} \approx 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda \approx 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

№ 3. Дано:

$$E_4 = -1,7 \text{ эВ}$$

$$(k = 4)$$

$$E_2 = -6,8 \text{ эВ}$$

$$(n = 2)$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\lambda = ?$$

Решение:

Второй постулат Бора: $h\nu = E_4 - E_2$

$$\nu = \frac{E_4 - E_2}{h}$$

$$\nu = \frac{(-1,7 + 6,8) \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} = 1,23 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{1,23 \cdot 10^{15}} \approx 2,44 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}$$

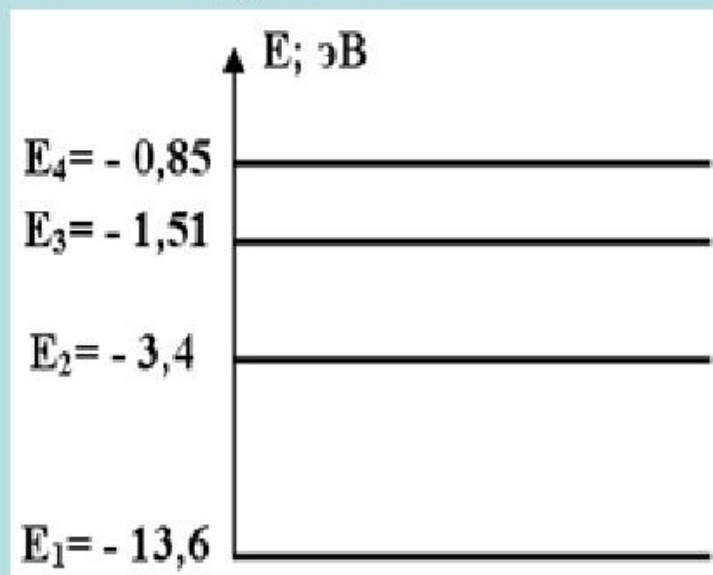
Ответ: $\lambda = 2,44 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

8. Используя информацию, приведенную на рисунке, определить чему равна энергия фотона с наибольшей длиной волны, поглощаемого атомом водорода находящимся на втором энергетическом уровне?

$$E_{\phi} - ?$$

$$n = 2$$

$$E_n = - 3,4 \text{ эВ}$$



Так как энергия фотона обратно пропорциональна длине волны, фотону с наибольшей длиной волны будет соответствовать наименьшая энергия. Значит, при поглощении такого фотона атом перейдет на 3 энергетический уровень. Т.е.

$$E_k = - 1,51 \text{ эВ}$$

Задача 826.

Дано:

$$r_2 = 2,11 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$v_2 = ?$

Решение:

Скорость электрона на орбите мы можем найти двумя способами.

1) Воспользуемся первым постулатом Бора, согласно которому стационарными являются те орбиты, для которых момент импульса кратен приведённой постоянной Планка: $mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$. Тогда

$$v_2 = 2 \frac{h}{2\pi m r_2} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 2,11 \cdot 10^{-10}} \text{ (м/с)} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

2) По второму закону Ньютона на электрон действует кулоновская сила со стороны ядра: $\frac{mv_2^2}{r_2} = k \frac{q^2}{r_2^2}$, откуда

$$v_2 = \sqrt{\frac{kq^2}{mr}} = q \sqrt{\frac{k}{mr}}.$$

Подставив цифры, получим то же числовое значение для скорости.

Ответ: $1,1 \cdot 10^6$ м/с.