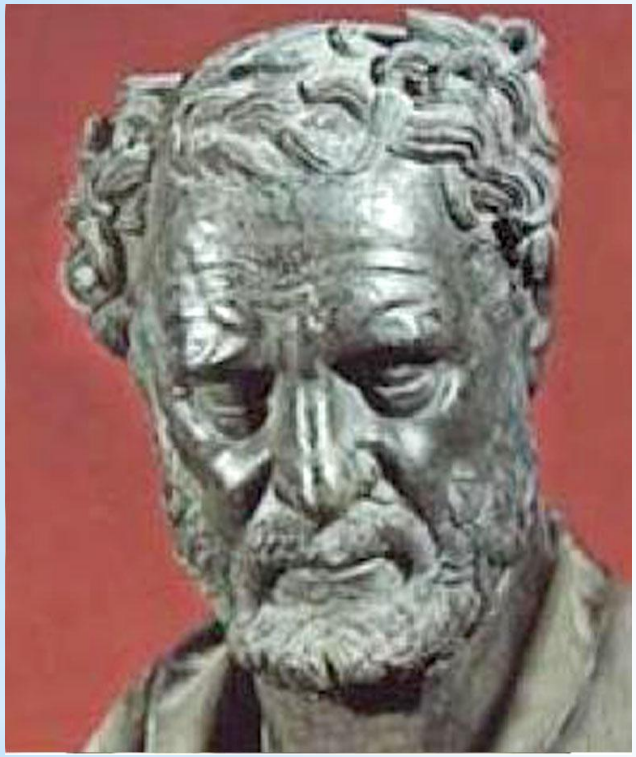
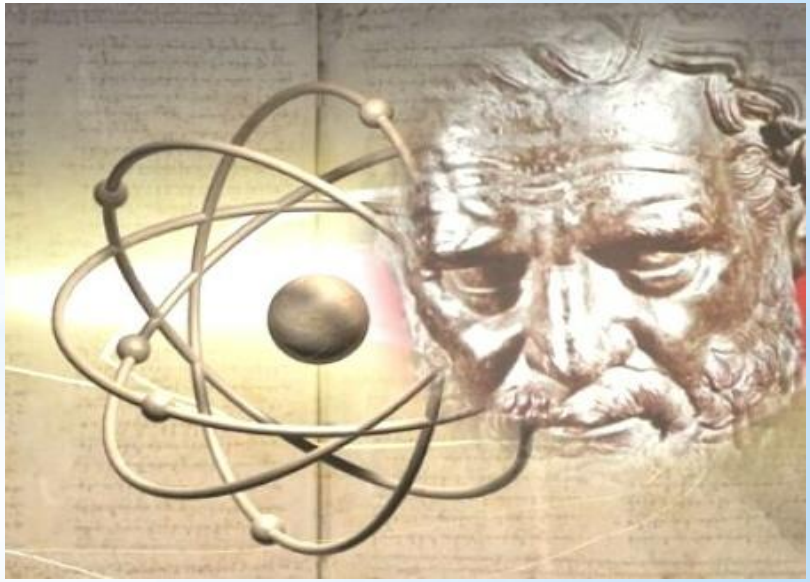
Физика атома. Постулаты Бора

Учитель физики Хархалуп Ю.Е.

(МБОУ Школа №57 г.о. Самара)

ДЕМОКРИТ 450-370 до н.э.



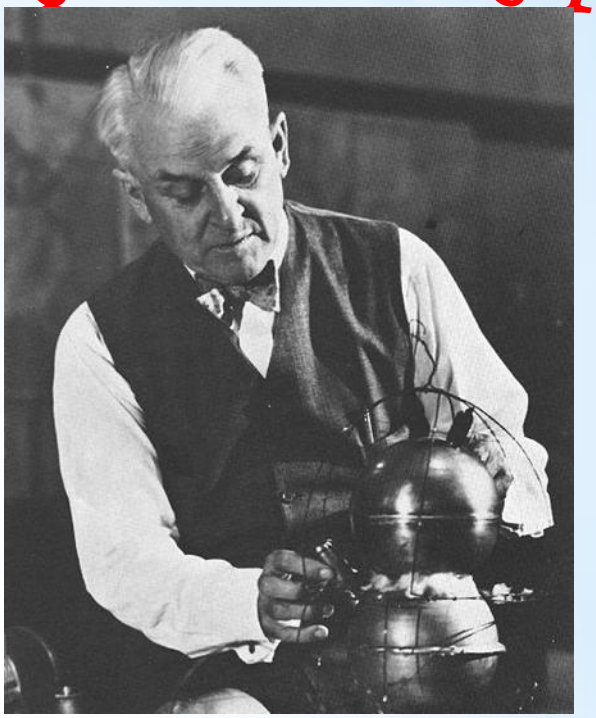


Все вещества состоят из мельчайших, неделимых частичек- атомов

Открытие электрона

М. Фарадей -1833 г

Д.Д. Томсон- 1897 г.

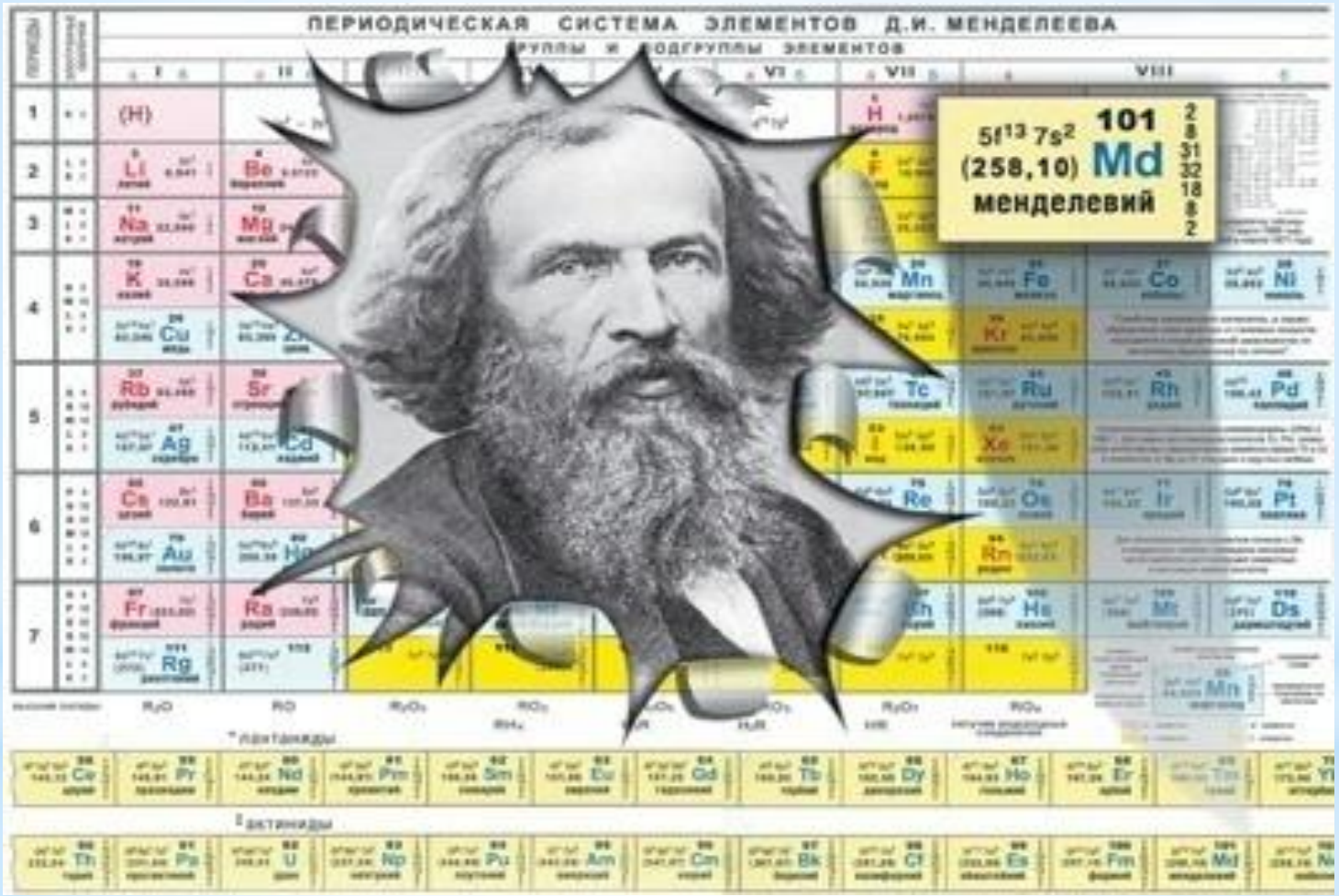


Р. Милликен - 1909 г.

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}\text{Кл}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}\text{кг}$$

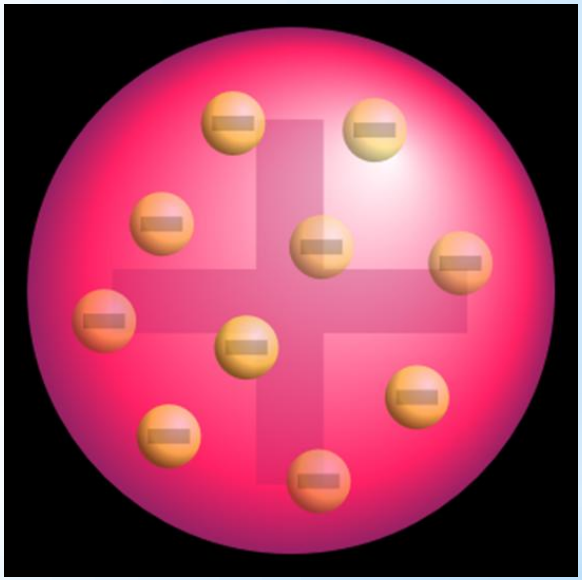
Периодический закон химических элементов



Д.И. Менделеев – 1869 г.

Модель атома Томсона – 1903 г.

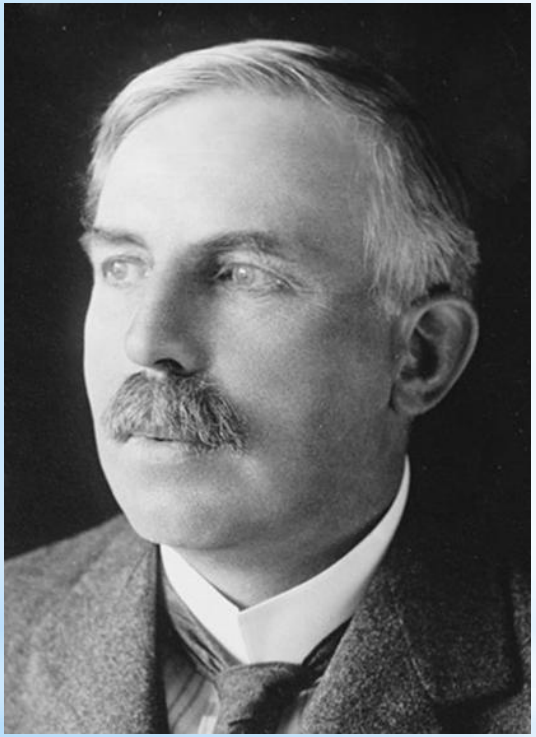
«Кекс»

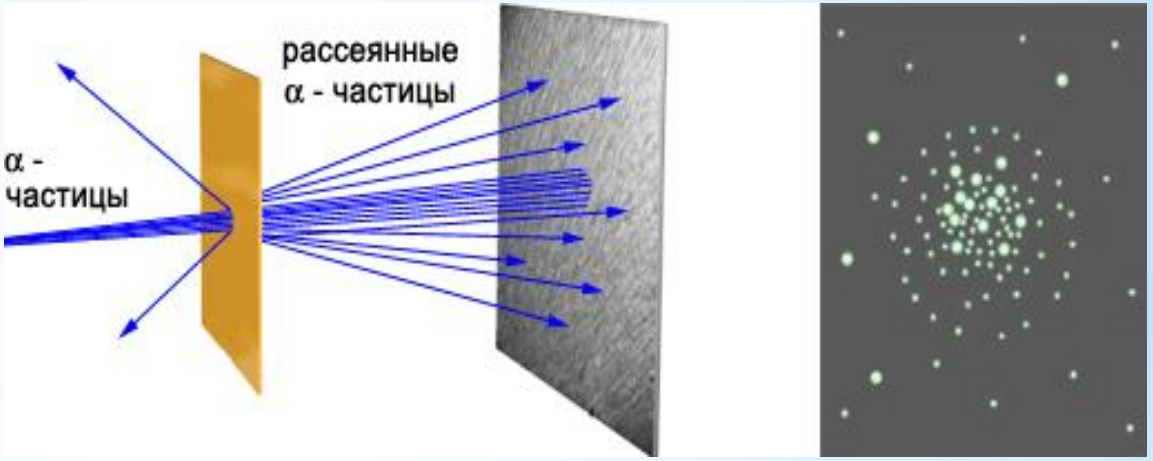


$^{*}R_{\text{атома}} \cong 10^{-10}\,\text{м}$

Опыт Резерфорда

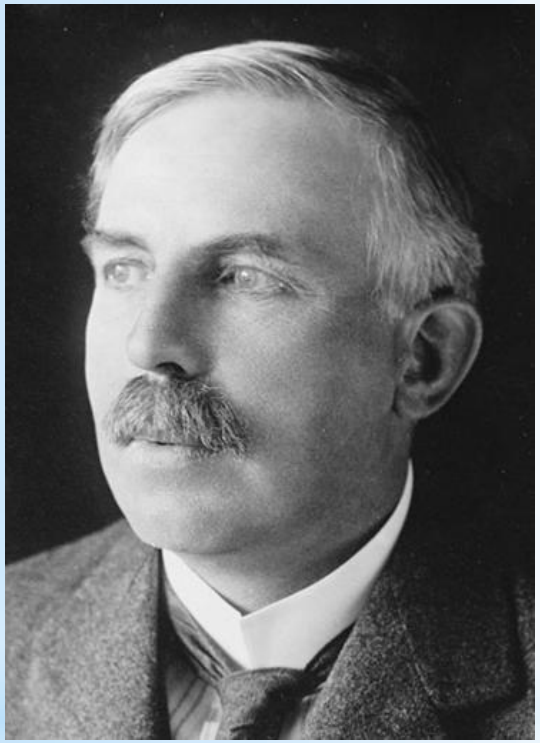
(рассеяние α-частиц на золотой фольге)



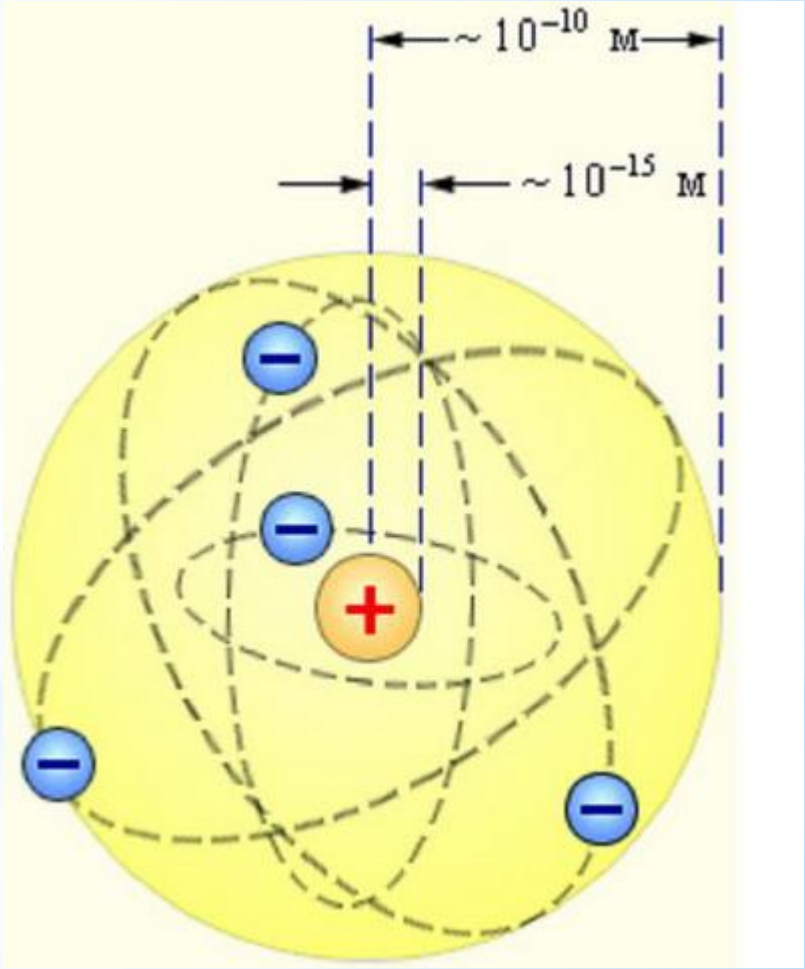


Опыт Резерфорда.mp4

Модель атома Резерфорда

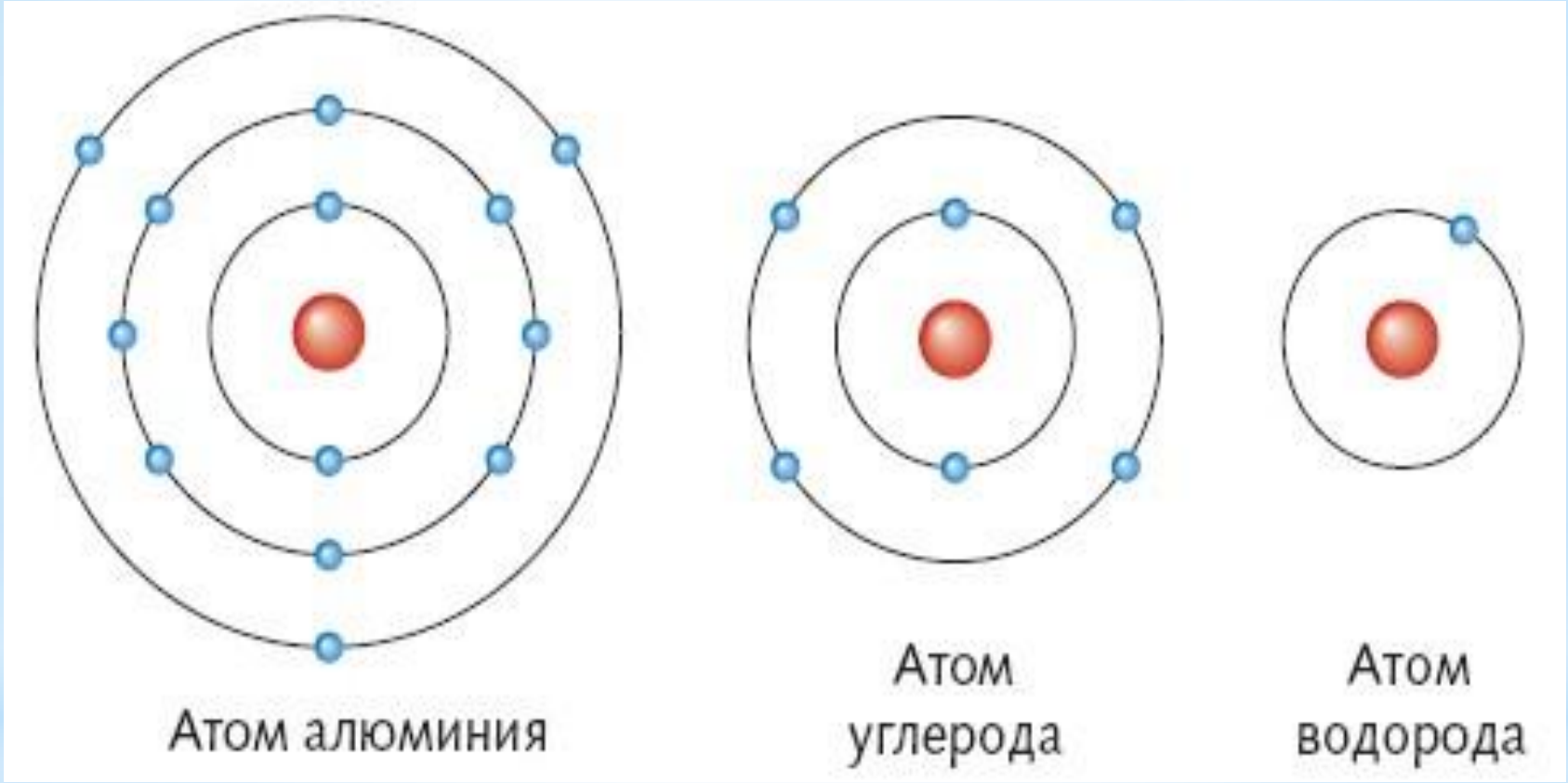


Планетарная модель

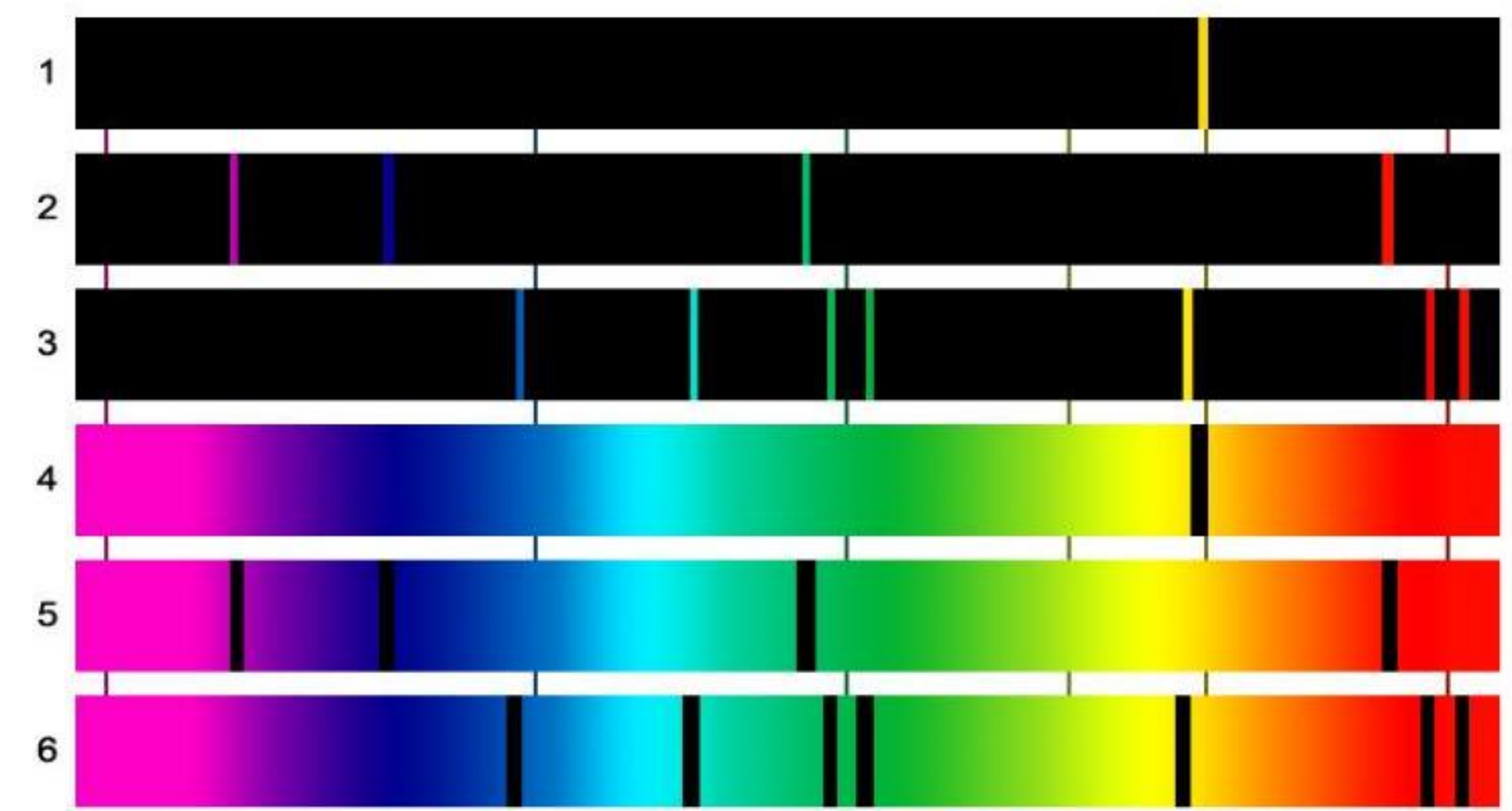


$$R_{\text{ядра}} \cong 10^{-15}\text{м}$$

Модели атомов



Линейчатые спектры атомов



Спектры испускания: 1 - натрия; 2 - водорода; 3 - гелия.
Спектры поглощения: 4 - натрия; 5 - водорода; 6 - гелия.

Постулаты Бора

Нильс Бор (1885-1962) – датский физик, лауреат Нобелевской премии

1. Существуют особые, стационарные состояния атома, находясь в которых атом не излучает энергию, при этом электроны в атоме движутся с ускорением. Каждому стационарному состоянию соответствует определенная энергия E_n

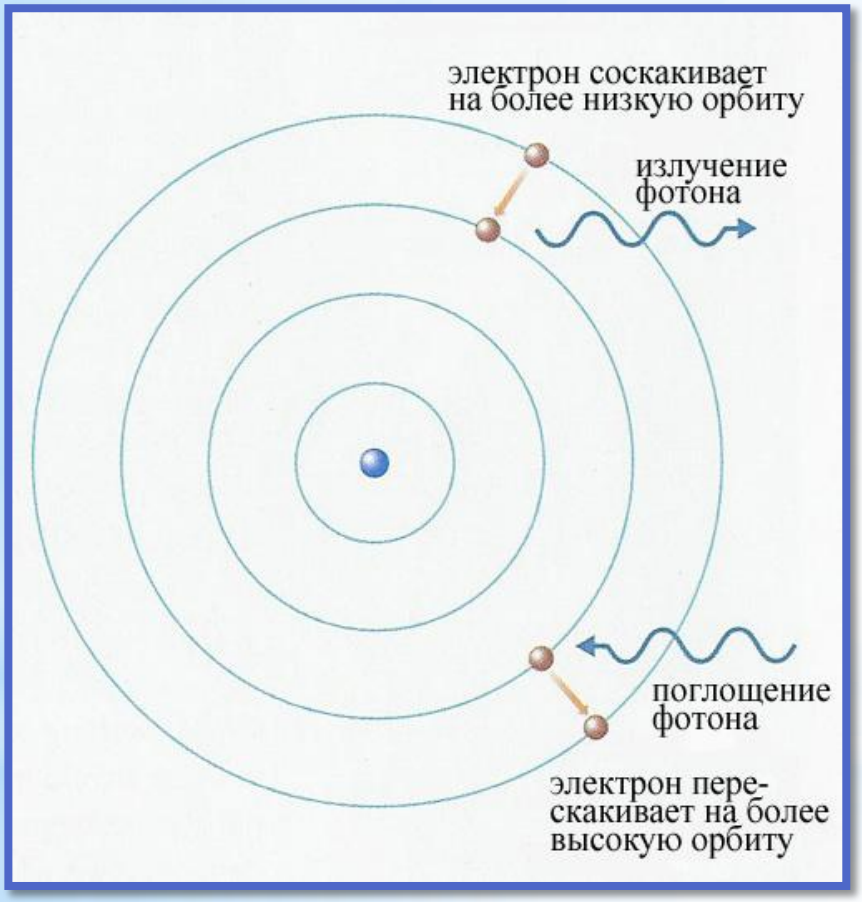
2. Излучение света (энергии) происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией $E_к$ в стационарное состояние с меньшей энергией E_n . Энергия излученного фотона (кванта) равна разности энергий стационарных состояний.

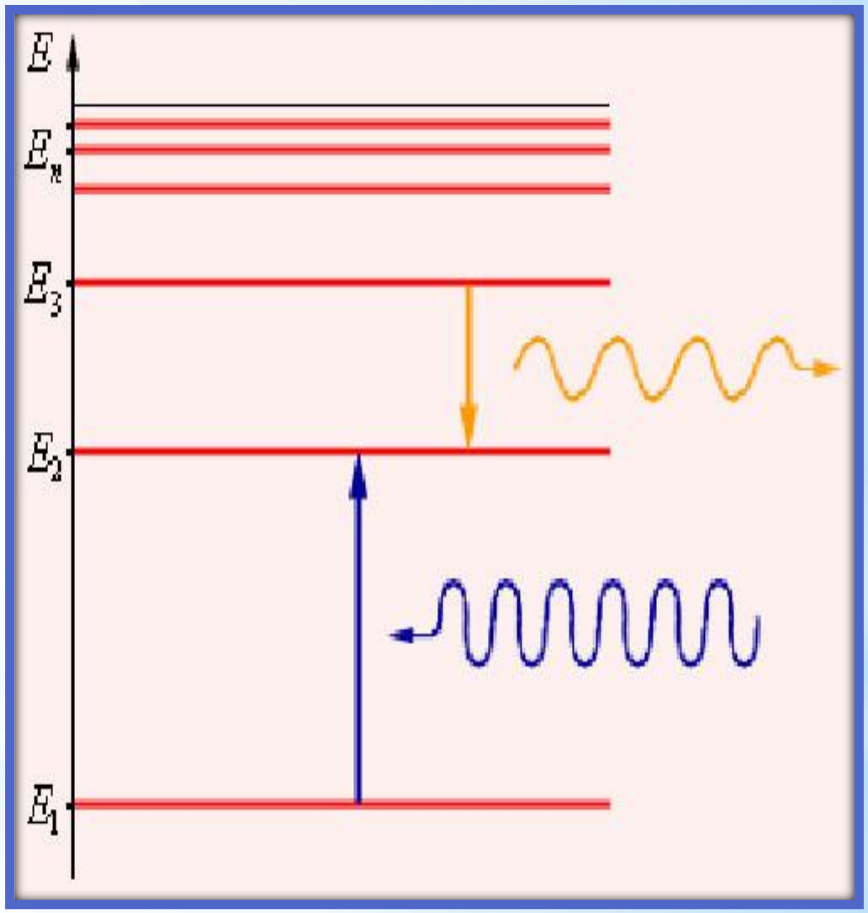
$$E_ф = E_к - E_n$$

$$h\nu_{kh} = E_к - E_n$$

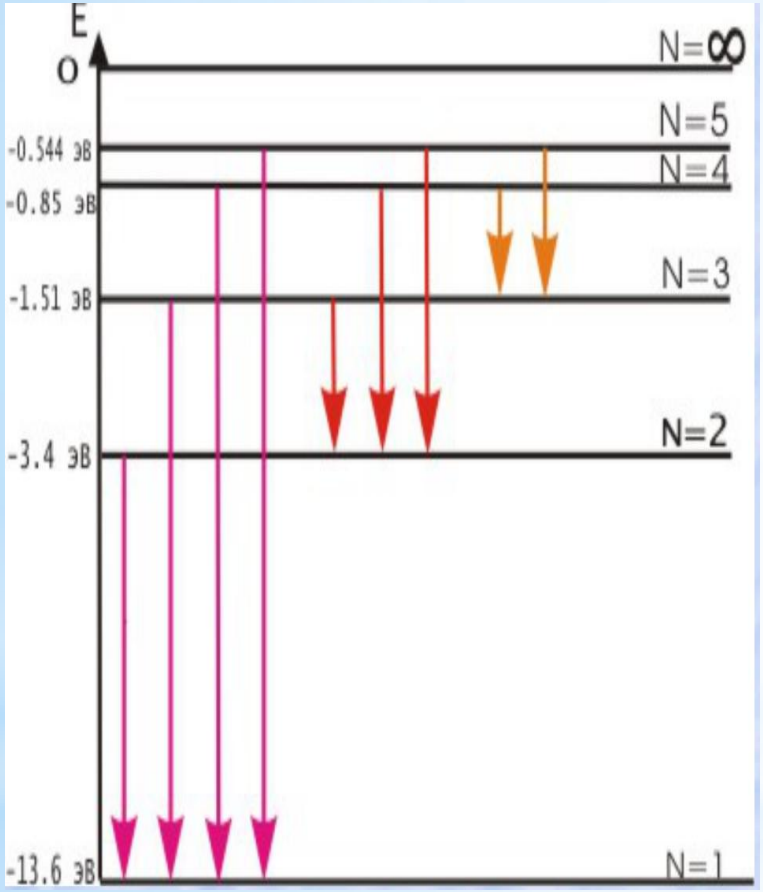
$$\nu_{kn} = \frac{E_к - E_n}{h}$$

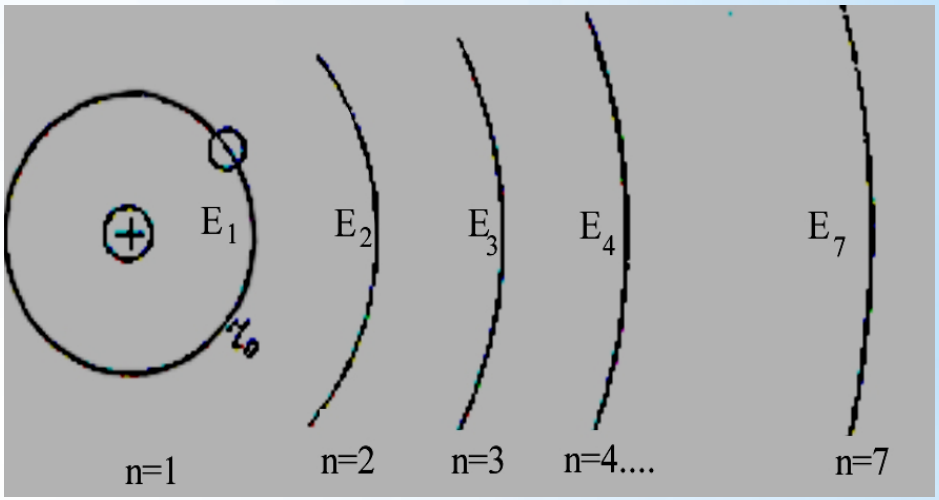
Переходы электрона в атоме (энергетические диаграммы)





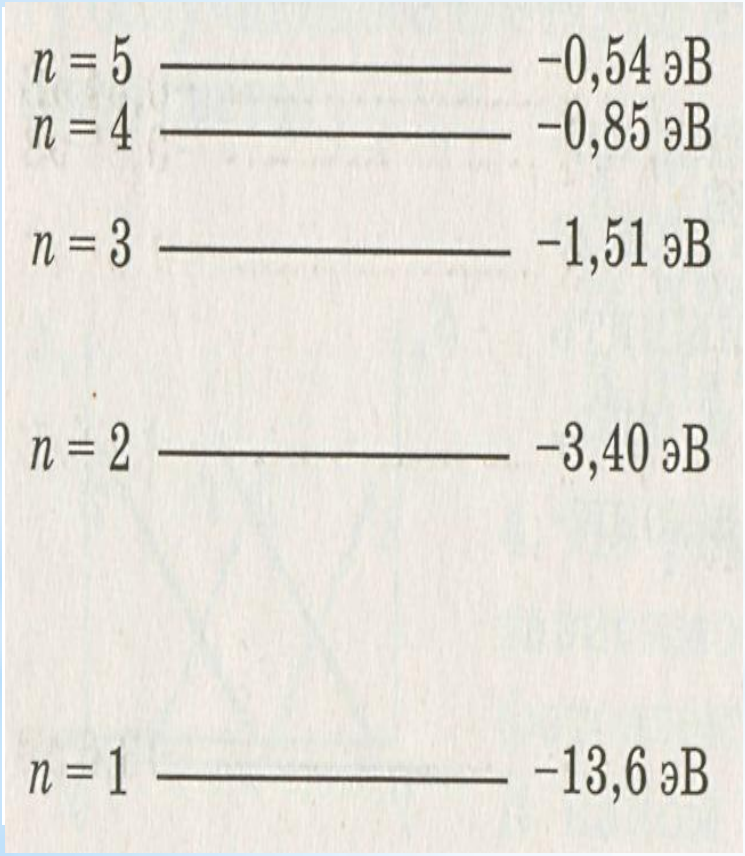
Модель атома водорода по Бору





Модель атома водорода по Бору

Диаграмма энергетических уровней электрона в атоме водорода



Энергия электрона на n –уровне

$$E_n = \frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \varepsilon_o^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

где $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг;

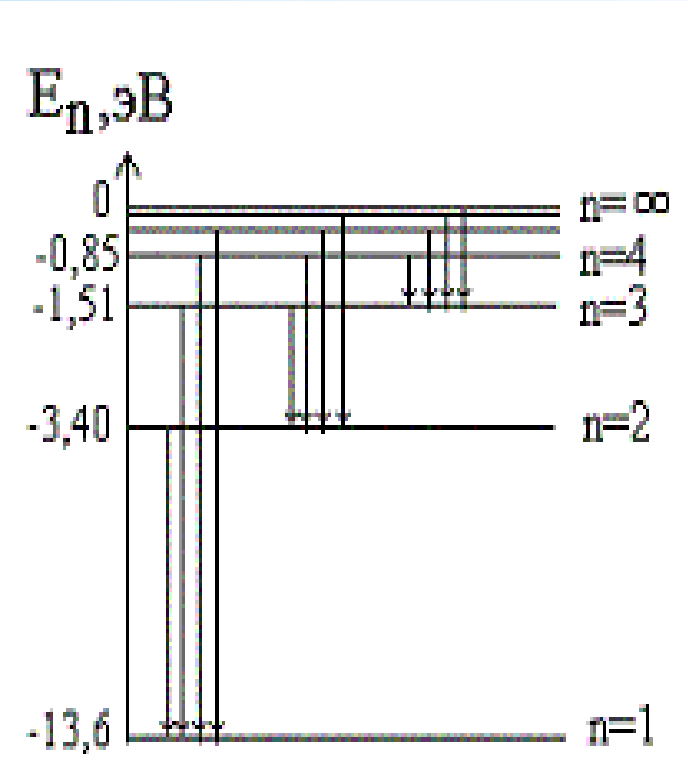
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

$\varepsilon_o = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Кл^2/Н·м^2;

$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

$$E_n = -13{,}6 \cdot \frac{1}{n^2}, \ эВ$$

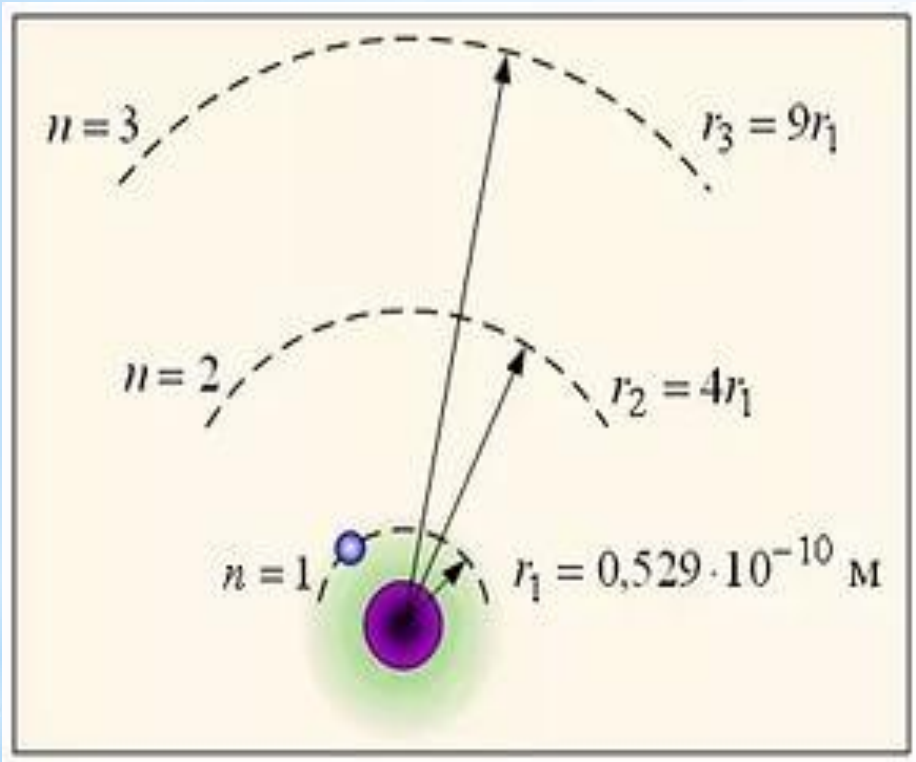
Модель атома водорода по Бору



Энергия возбуждения $E_{воз}$ – это энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы он из основного состояния (n = 1) перешел в возбужденное. перевода электрона на уровень с большей энергией . Например, $E_{воз}$ = 10,2 эВ – энергия, необходимая для перехода электрона в состояние, соответствующее n = 2 (первое возбужденное состояние).

Энергия ионизации $E_{ион}$ – энергия, необходимая для отрыва электрона, находящегося в основном состоянии (n = 1), от ядра, т.е. для $n = \infty$. Для атома водорода энергия ионизации равна 13,6 эВ.

Радиусы орбит электрона в атоме водорода



$$r_n = \frac{\varepsilon_0 \cdot h^2}{\pi \cdot m_e \cdot e^2} \cdot n^2$$

Радиус первой орбиты электрона (n=1) называют ***Боровским радиусом***

r_1= 0,529 A^o = 0,529·10^{-10} м

$$r_n = 0{,}529 \cdot 10^{-10} \cdot n^2, \ м$$

Движение электрона в атоме

Правило квантования:

Моменты импульса электрона кратны целому числу *h*

$$m_e \cdot \upsilon \cdot r_n = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

$$m_e \cdot \upsilon \cdot r_n = n \cdot \hbar$$

где υ - скорость электрона,

$\hbar = h/2\pi = 1{,}056 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

$$\upsilon_n^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o \cdot m_e \cdot r_n}$$

Скорость электрона на орбите радиуса r_n

$$E_{полная} = E_к + E_p = \frac{m_e \upsilon^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o r}$$

Полная механическая энергия системы: ядро-электрон

Спектр излучений в атоме водорода (серия Бальмера)

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

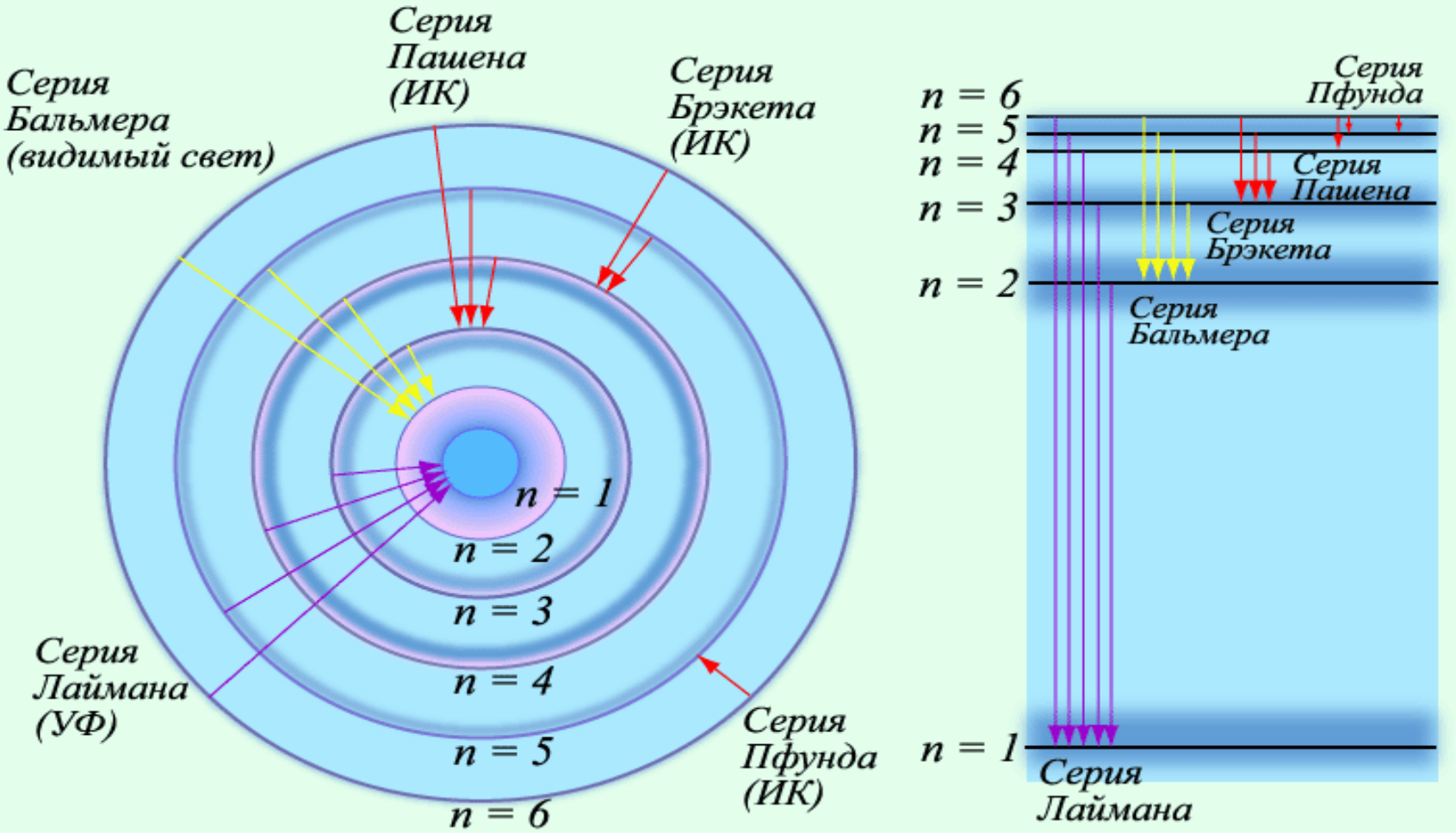
Формула Бальмера-Ридберга,

где **k< n;**

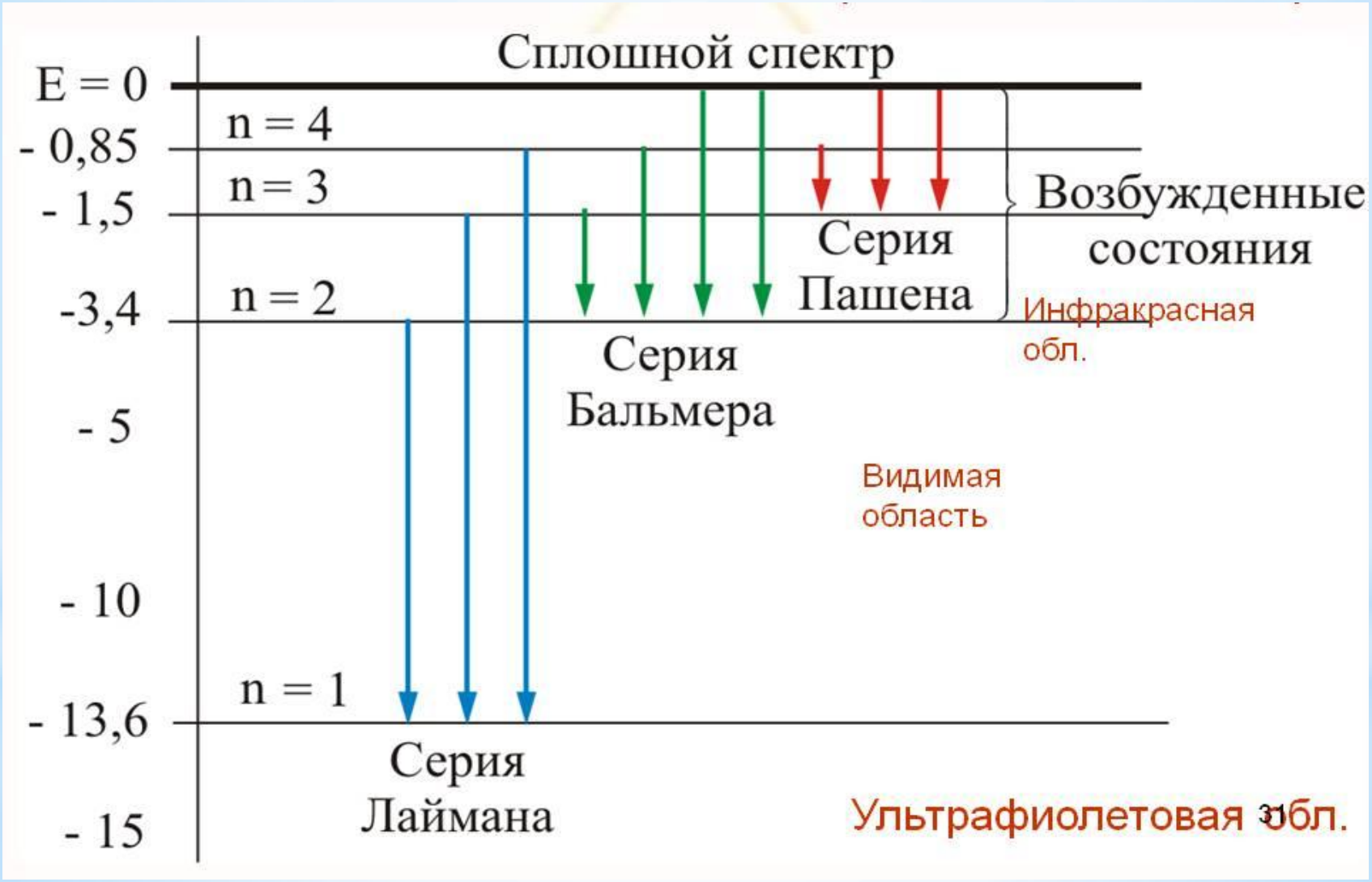
R= 3,29·10^{-15} Гц

– постоянная Ридберга

Спектры излучений в атоме водорода



Спектры излучений в атоме водорода



Серии излучений в атоме водорода

Серия Лаймана	$\nu_{n1} = R \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	k=1 n=2, 3,4 и т.д.	**Ультрафиолетовое излучение**
Серия Бальмера	$\nu_{n2} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	k=2 n= 3,4,5 и т.д.	**Видимое излучение**
Серия Пашена	$\nu_{n3} = R \cdot \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	k=3 n=4, 5, 6 и т.д.	**Инфракрасное излучение**
Серия Брэкета	$\nu_{n4} = R \cdot \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	k=4 n=5,6, 7 и т.д.	
Серия Пфунда	$\nu_{n5} = R \cdot \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	k=5 n=6,7,8 и т.д.	

Достоинства теории Бора

1. Объяснила дискретность энергетических состояний водородоподобных атомов
2. Теория Бора подошла к объяснению внутриатомных процессов с принципиально новых позиций, стала первой полуквантовой теорией атома.
3. Эвристическое значение теории Бора состоит в смелом предположении о существовании стационарных состояний и скачкообразных переходов между ними. Эти положения позднее были распространены и на другие микросистемы.
4. Объясняет границу таблицы Менделеева. Последний атом, способный существовать физически, имеет порядковый номер 137, так как, начиная со 138-го элемента 1s-электрон должен двигаться со сверхсветовой скоростью, что противоречит специальной теории относительности.

Недостатки теории Бора

1. Не смогла объяснить интенсивность спектральных линий.
2. Справедлива только для водородоподобных атомов и не работает для атомов, следующих за ним в таблице Менделеева без экспериментальных данных (энергии ионизации или других).
3. Теория Бора логически противоречива: не является ни классической, ни квантовой. В системе двух уравнений, лежащих в её основе, одно — уравнение движения электрона — классическое, другое — уравнение квантования орбит — квантовое.

Теория Бора являлась недостаточно последовательной и общей. Поэтому она в дальнейшем была заменена современной **квантовой механикой,** основанной на более общих и непротиворечивых исходных положениях. Сейчас известно, что постулаты Бора являются следствиями более общих квантовых законов. Но правила квантования широко используются и в наши дни как приближённые соотношения: их точность часто бывает очень высокой

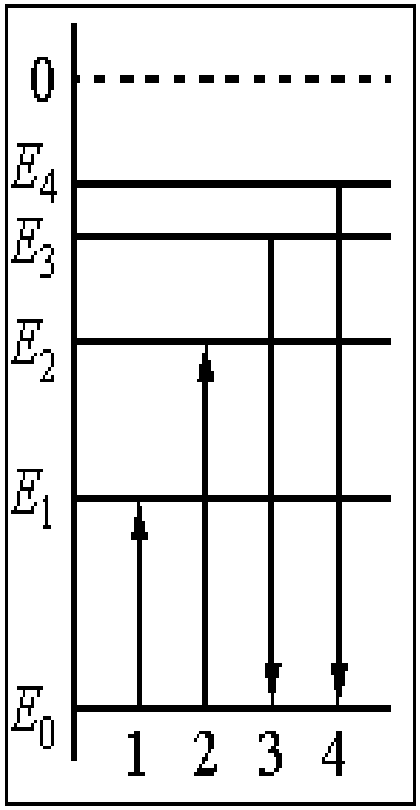
Закрепление

1. http://school-zarya.ru/metod/fizics/t_u_bor.shtml

2. http://onlinetestpad.com/ru-ru/TestView/522-Postulaty-Bora-Izluchenie-i-pogloshhenie-fotonov-pri-perekhode-atoma-s-odnogo-urovnya-energii-na-drugoj-22979/Default.aspx

Задание 1

На рисунке изображена упрощённая диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какой из этих четырёх переходов приводит к поглощению света наименьшей частоты, а какой – к излучению света наименьшей длины волны?

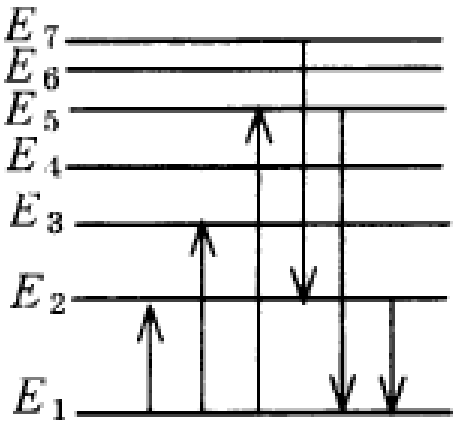


Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите
в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРОЦЕСС	ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД
А) поглощение света наименьшей частоты	1) 1
Б) излучение света наименьшей длины волны	2) 2
	3) 3
	4) 4

Задание 2

На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Установите соответствие между отмеченными стрелками переходами между энергетическими уровнями и происходящими при этом процессами.



К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРОЦЕССЫ	ПЕРЕХОДЫ
А) поглощение фотона с максимальным импульсом	1) с уровня 1 на уровень 5
Б) излучение фотона с максимальной длиной волны	2) с уровня 1 на уровень 3
	3) с уровня 7 на уровень 2
	4) с уровня 2 на уровень 1

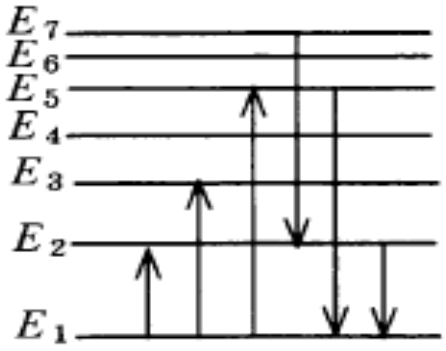
Ответ:

А	Б

Задание3

На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Установите соответствие между отмеченными стрелками переходами между энергетическими уровнями и происходящими при этом процессами.

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ПРОЦЕССЫ	ПЕРЕХОДЫ
А) поглощение фотона максимальной частоты	1) с уровня 1 на уровень 5
Б) излучение фотона минимальной частоты	2) с уровня 1 на уровень 2
	3) с уровня 5 на уровень 1
	4) с уровня 2 на уровень 1

Ответ:

А	Б

Задание 4

В таблице приведены значения энергии для четырех самых нижних энергетических уровней атома водорода.

Номер уровня	Энергия, 10^{-19} Дж
1	−21,8
2	−5,4
3	−2,4
4	−1,4

Если рассматривать переходы атома только между этими уровнями, то при переходе между какими энергетическими уровнями наблюдается излучение с наибольшей длиной волны?

Ответ: при переходе с уровня номер ____ на уровень номер ____.

Ответ запишите в виде двух цифр, не меняя порядок их следования.

Задание 5

В таблице приведены значения энергии для четырех самых нижних энергетических уровней атома водорода.

Номер уровня	Энергия, 10^{-19} Дж
1	−21,8
2	−5,4
3	−2,4
4	−1,4

Если рассматривать переходы атома только между этими уровнями, то при переходе между какими энергетическими уровнями наблюдается поглощение с наименьшей частотой?

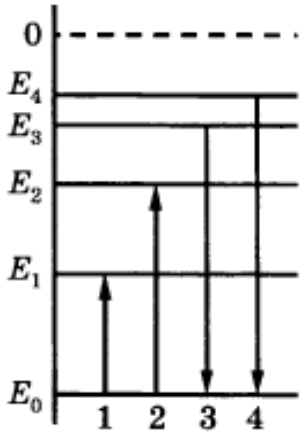
Ответ: при переходе с уровня номер _____ на уровень номер _____.

Ответ запишите в виде двух цифр, не меняя порядок их следования.

Задание 6

На рисунке изображена упрощенная диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какие из этих четырех переходов связаны с поглощением кванта света с наименьшей энергией и излучением света наименьшей длины волны?

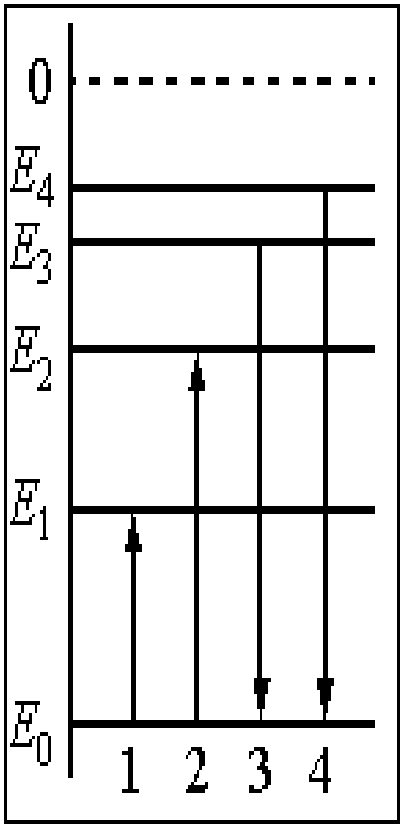
Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ПРОЦЕСС	ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД
А) поглощение кванта света с наименьшей энергией	1) 1
Б) излучение света наименьшей длины волны	2) 2
	3) 3
	4) 4

Задание 7

На рисунке изображена упрощённая диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какой из этих четырёх переходов приводит к поглощению света наибольшей частоты, а какой – к излучению света наименьшей длины волны?



Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите
в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРОЦЕСС	ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД
А) поглощение света наибольшей частоты	1) 1
Б) излучение света наименьшей длины волны	2) 2
	3) 3
	4) 4

8 Излучение фотонов происходит при переходе из возбужденных состояний с энергиями $E_1 > E_2 > E_3$ в основное состояние. Для частот соответствующих фотонов ν_1, ν_2, ν_3 справедливо соотношение

1) $\nu_1 < \nu_2 < \nu_3$
2) $\nu_2 < \nu_1 < \nu_3$
3) $\nu_2 < \nu_3 < \nu_1$
4) $\nu_1 > \nu_2 > \nu_3$

9 Будем считать, что потенциальная энергия взаимодействия протона с электроном равна нулю, если расстояние между ними неограниченно велико. Тогда энергия взаимодействия ядра и электрона в атоме водорода

1) больше нуля
2) равна нулю
3) меньше нуля
4) больше или меньше нуля в зависимости от состояния

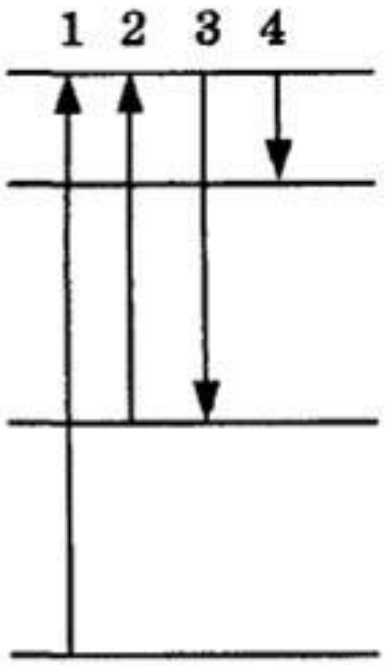
10

Атом находится в состоянии с энергией $E_1 < 0$. Минимальная энергия, необходимая для отрыва электрона от атома, равна

1) 0 2) E_1 3) $-E_1$ 4) $-\frac{E_1}{2}$

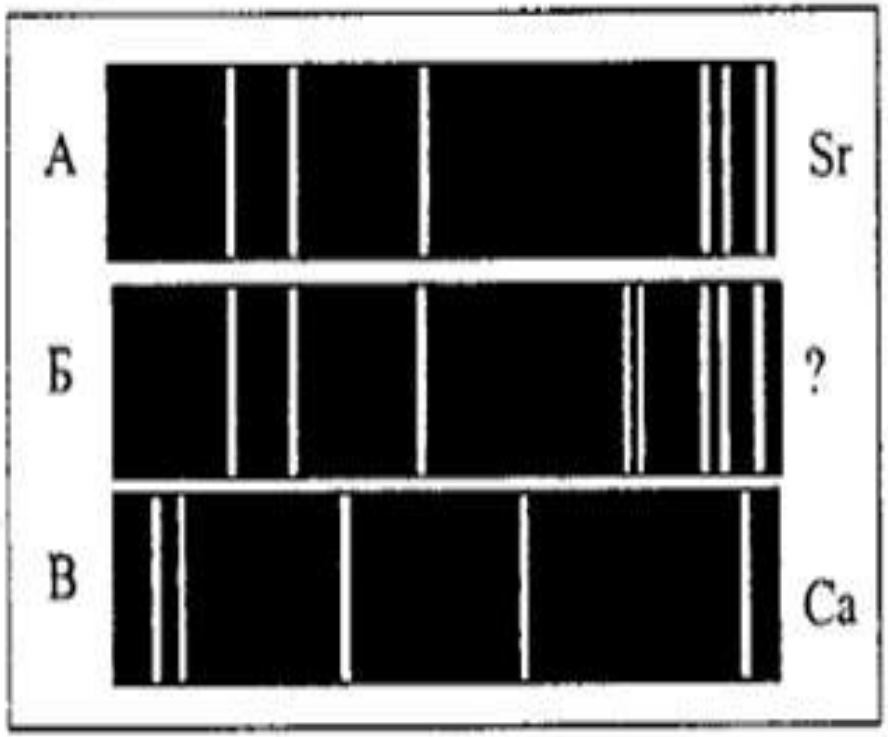
11

На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой цифрой обозначен переход, соответствующий поглощению атомом фотона самой малой частоты?



1) 1
2) 2
3) 3
4) 4

А28. На рисунках А, Б, В приведены спектры излучения паров стронция, неизвестного образца и кальция. Можно утверждать, что в образце



1) не содержится ни стронция, ни кальция
2) содержится кальций, но нет стронция
3) содержатся и стронций, и кальций
4) содержится стронций, но нет кальция

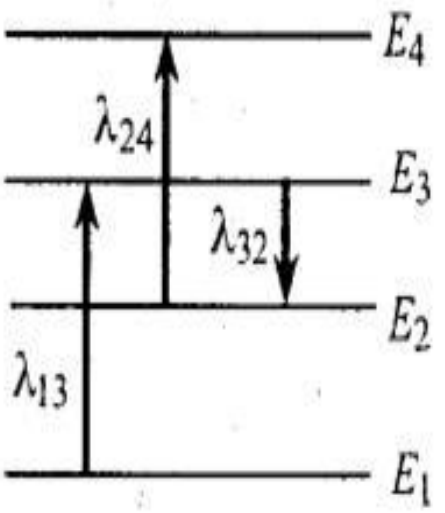
А28. Энергия фотона, поглощаемого атомом при переходе из основного состояния с энергией E_0 в возбужденное состояние с энергией E_1, равна (h – постоянная Планка)

1) $E_1 - E_0$ 2) $\frac{E_1 + E_0}{h}$ 3) $\frac{E_1 - E_0}{h}$ 4) $E_1 + E_0$

Каков спектр энергетических состояний атомного ядра и какие частицы испускает ядро при переходе из возбужденного состояния в нормальное?

1) Спектр линейчатый, испускает гамма-кванты
2) Спектр сплошной, испускает гамма-кванты
3) Спектр сплошной, испускает бета-частицы
4) Спектр линейчатый, испускает альфа-частицы

С5. На рисунке изображены несколько энергетических уровней электронной оболочки атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Чему равна длина волны фотонов, излучаемых при переходе с уровня E_4 на уровень E_1, если $\lambda_{13} = 400$ нм, $\lambda_{24} = 500$ нм, $\lambda_{32} = 600$ нм?



Атом водорода при переходе электрона из возбужденного состояния на первую стационарную орбиту излучает электромагнитную волну, относящуюся к

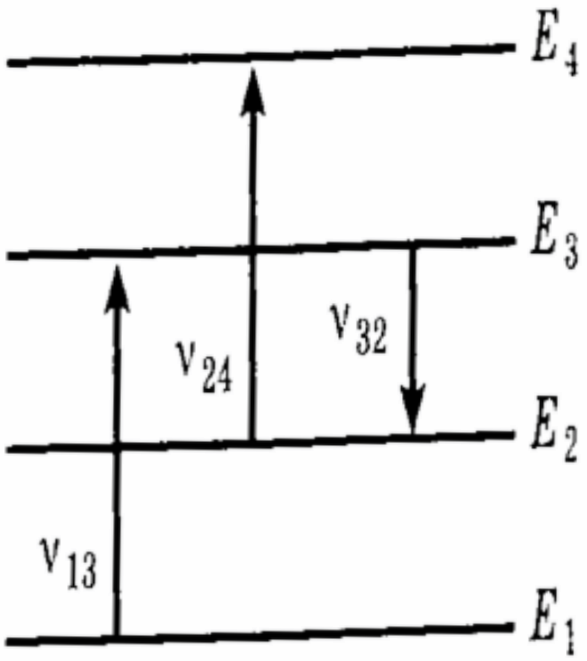
1) *инфракрасному диапазону*
2) *видимому свету*
3) *ультрафиолетовому излучению*
4) *рентгеновскому излучению*
5) *γ – излучению*

1. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии(E_1= -13,6 эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью v=1000 км/с. Какова длина волны поглощённого фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь. Ответ приведите в нм. (Отв.: 75 нм)

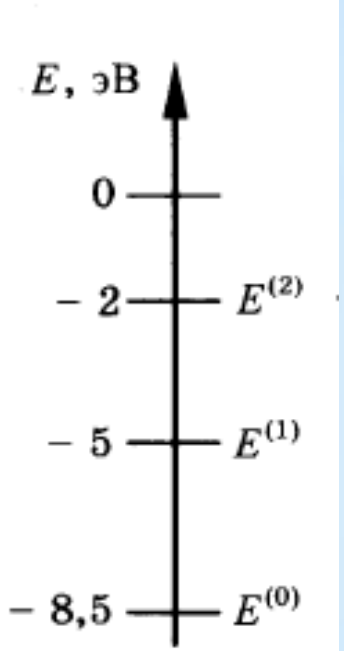
2.

В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии(E_1 = -13,6 эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра с импульсом $p=9{,}1\cdot10^{-25}$ кг·м/с. Какова энергия поглощенного фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь. Ответ приведите в эВ, округлите до десятых. (Отв.:16,4 эВ)

На рисунке представлена схема энергетических уровней электронной оболочки атома и указаны частоты фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах между этими уровнями. Какова минимальная длина волны фотонов, излучаемых атомом при любых возможных переходах между уровнями E_1, E_2, E_3 и E_4, если $\nu_{13} = 7 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{24} = 5 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц?

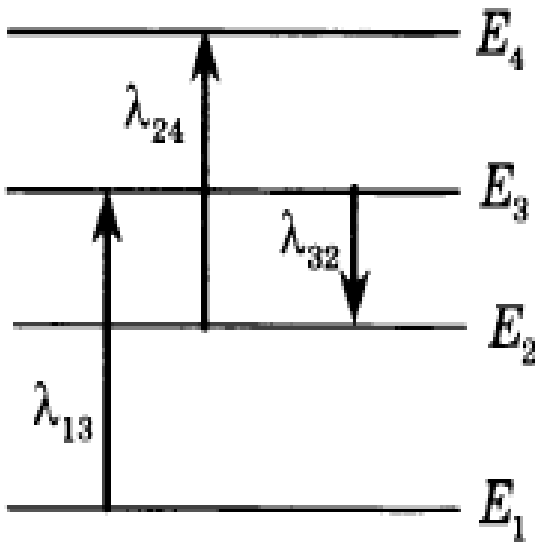


Предположим, что схема нижних энергетических уровней атомов некоего элемента имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. Электрон в результате столкновения с одним из таких атомов приобрел некоторую дополнительную энергию. Импульс электрона после столкновения с покоящимся атомом оказался равным $p_1 = 1{,}2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с. Определите кинетическую энергию E_0 электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



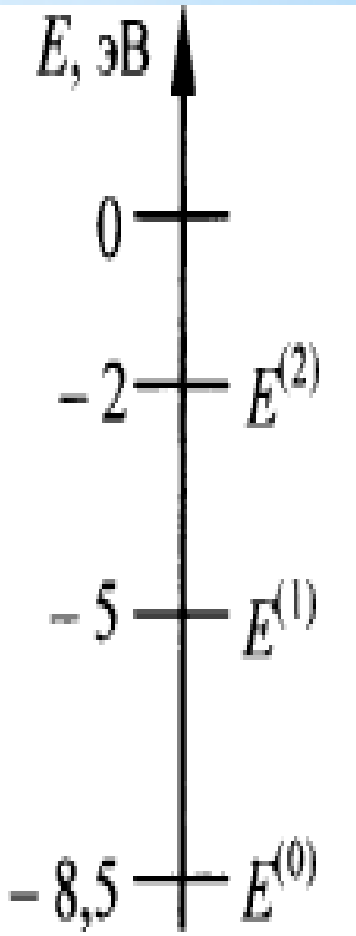
Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ, где $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\nu_{кр} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равна максимально возможная скорость фотоэлектрона?

На рисунке изображены энергетические уровни 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?



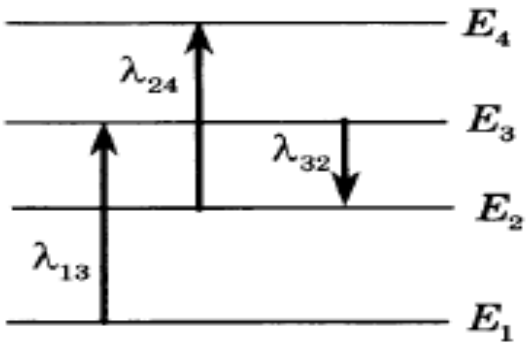
Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6\ \text{Эв}}{n^2}$, $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходе с верхнего уровня энергии на нижний атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ — серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ — серию Пашена и т.д. Найдите отношение β минимальной частоты фотона в серии Бальмера к максимальной частоте фотона в серии Пашена.

Предположим, что схема нижних энергетических уровней атомов некоего элемента имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. Электрон, движущийся с кинетической энергией $E_0 = 1{,}5$ эВ, в результате столкновения с одним из таких атомов приобрел некоторую дополнительную энергию. Определите импульс p_1 электрона после столкновения, считая, что до столкновения атом покоился. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ, где $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходе атома из состояния E_3 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\nu_{кр} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равен максимально возможный импульс фотоэлектрона?

На рисунке изображены энергетические уровни 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 $\lambda_0 = 200$ нм. Какова величина λ_{24}, если $\lambda_{32} = 500$ нм, $\lambda_{13} = 250$ нм?



Домашнее задание:

1. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии(E_1= -13,6 эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью v=1000 км/с. Какова частота поглощённого фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь. Ответ приведите в нм. (Отв.: $4 \cdot 10^{15}$ Гц)
2. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии(E_1 = -13,6 эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра с импульсом $p=9,1 \cdot 10^{-25}$ кгм/с. Какова энергия поглощенного фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь. Ответ приведите в эВ, округлите до десятых. (Отв.:16,4 эВ)