Атомная и ядерная физика

Подготовка к ЕГЭ по классическому курсу «ФИЗИКА»

11 класс

авторы Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин.

§74-77 Примеры решения задач по теме «Атомная физика» – **8** задач

Задачи для самостоятельного решения – **7** задач

ЕГЭ – часть **2** – **3** задачи

§80-81 Примеры решения задач по теме «Энергия связи атомных ядер» – **5** задач

Задачи для самостоятельного решения – **6** задач

ЕГЭ – часть **1 – 3** вопроса

§ 82-85 Радиоактивность

Примеры решения задач – **5**

Задачи для самостоятельного решения – **5**

ЕГЭ – часть **2 – 2**

§87-91 Ядерные реакции

Примеры решения задач – **3**

Задачи для самостоятельного решения – **3**

ЕГЭ часть 2-4

Свойства атомов. Модели атомов

Начало XX века

Основные свойства атома

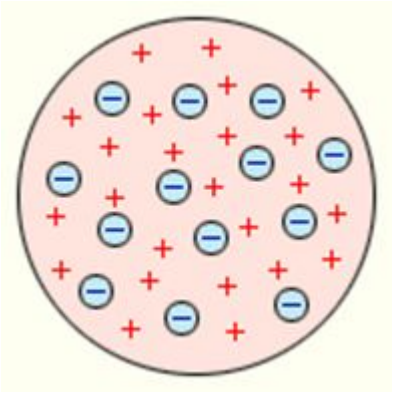
1) атом электронейтрален

2) атом устойчив

3) в состав атома входят электроны

4) спектр атома линейчатый

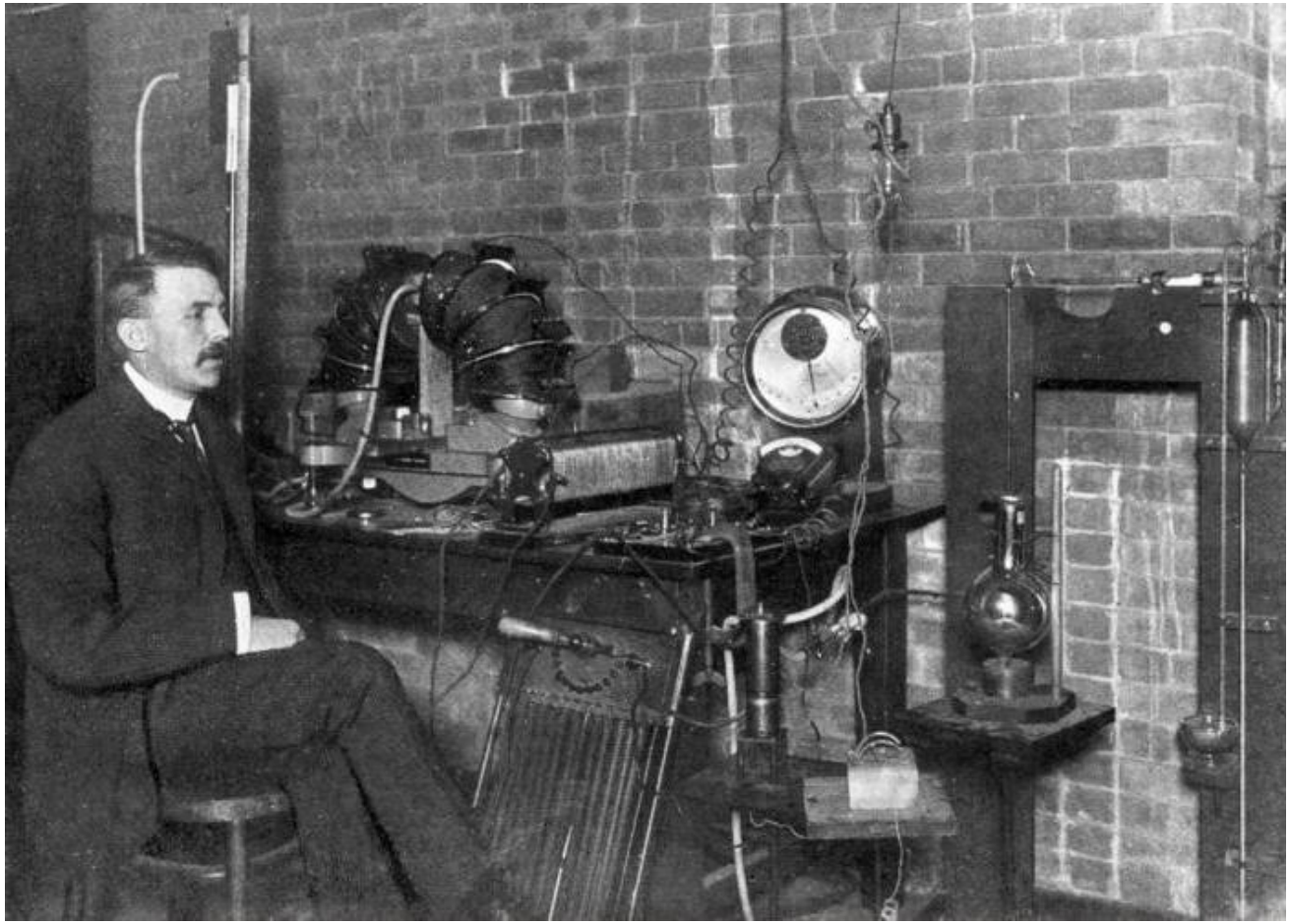
Первая модель атома (1897 год) – Дж. Дж. Томсон положительный заряд занимает весь объем атома ($r_{ат} \sim 10^{-8}$ м), внутри этого объема находятся электроны.

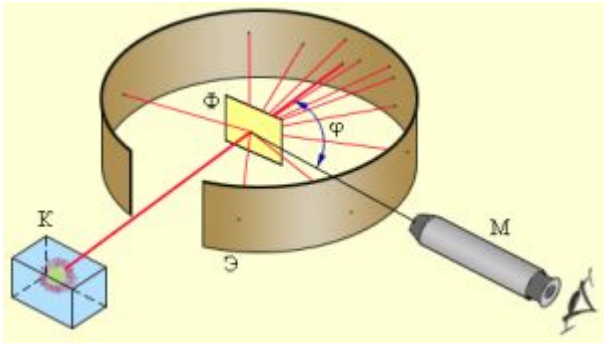


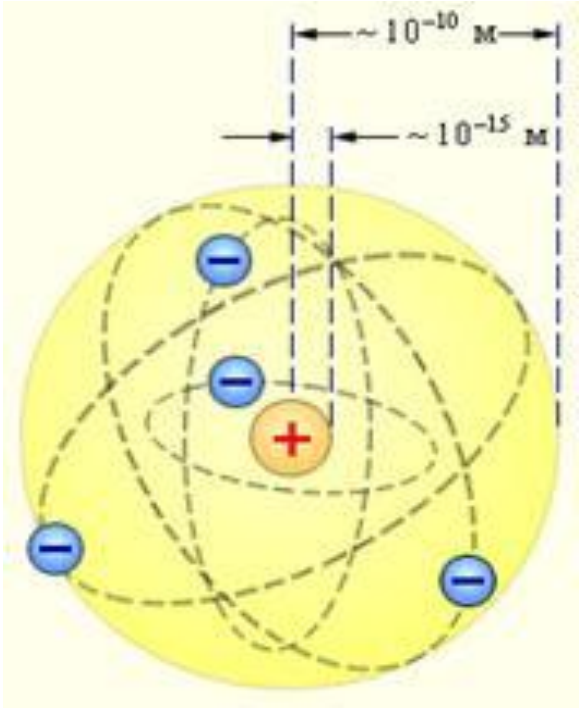
Согласно теореме Ирншоу, система электрических зарядов не может находиться в состоянии устойчивого равновесия лишь под действием кулоновских сил, поэтому атом такой структуры должен быть **неустойчивым и распадаться.**

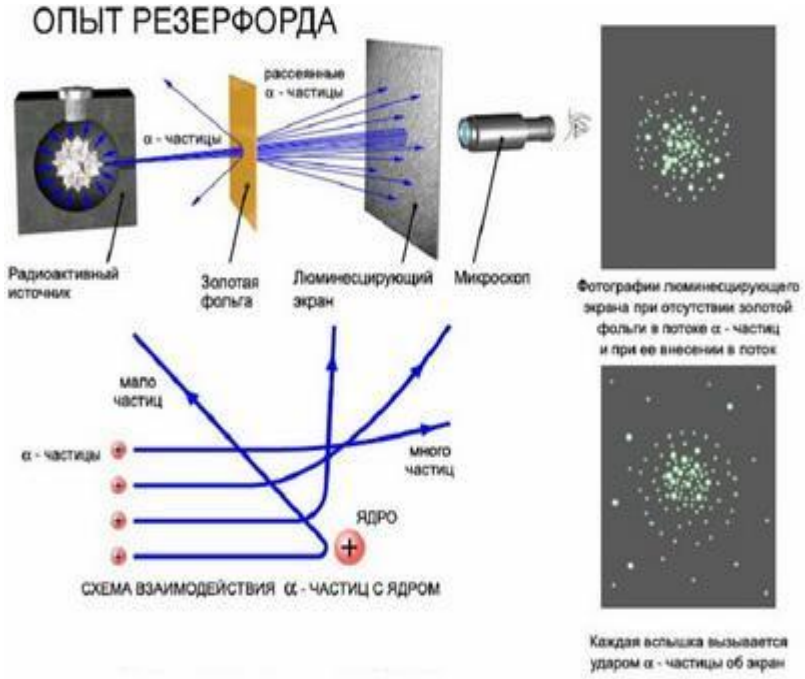
Планетарная модель атома Э. Резерфорда

Опыты по исследованию распределения положительного заряда в атоме в **1911 году** – **Э. Резерфорд** и его ученики.




Ф
φ
К
М
Э


~ 10⁻¹⁰ м
~ 10⁻¹⁵ м


ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА
рассеянные α - частицы
α - частицы
Радиоактивный источник
Золотая фольга
Люминесцирующий экран
Микроскоп
Фотографии люминесцирующего экрана при отсутствии золотой фольги в потоке α - частиц и при ее внесении в поток
мало частиц
много частиц
α - частицы
ЯДРО
СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ α - ЧАСТИЦ С ЯДРОМ
Каждая вспышка вызывается ударом α - частицы об экран

Недостатки Планетарной модели атома Э.Резерфорда

1. Согласно теории Максвелла, частицы, движущиеся с ускорением, излучают электромагнитные волны и, благодаря этому, непрерывно теряют энергию.

Поэтому электрон, начинающий вращаться вокруг ядра, как показали расчеты, за время, равное 10^{-8} с, должен упасть на ядро.

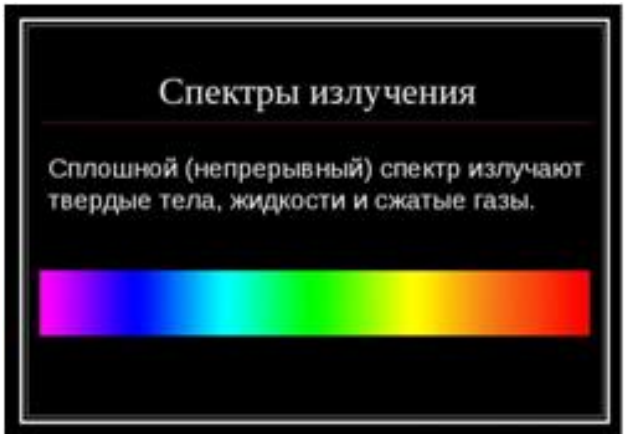
Однако, атомы в невозбужденном состоянии энергию не излучают и существуют бесконечно долго.

2. Электрон, двигаясь вокруг ядра по орбите все меньшего радиуса, непрерывно излучает энергию, следовательно, спектр излучения атомов должен быть непрерывным. Из опытов известно, что спектр излучения атома состоит из отдельных цветных линий, разделенных темными полосами, это означает, что спектр атома линейчатый.

Спектры излучения

Излучение, как правило, по своему составу сложное, в спектре представлены волны разной длины. Вид спектра определится излучателем. Спектры излучения могут быть **линейчатыми**, **сплошными**, **полосатыми**.

Нагретые твердые тела, а также жидкости – сплошной спектр.

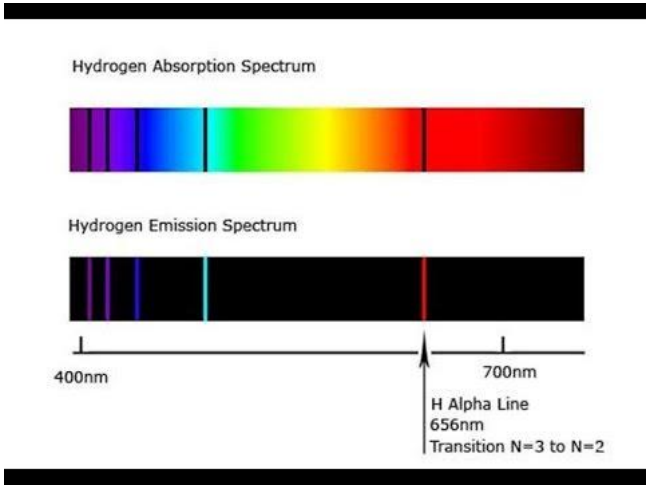


Атомы излучают линейчатые спектры. Каждый атом – свой спектр излучения.

Это утверждение лежит в основе спектрального анализа.

Спектр вещества зависит только от свойств атомов данного вещества и не зависит от способа возбуждения свечения атома.

Молекулы имеют **полосатый спектр**, он состоит из ярких полос, разделенных темными промежутками. Полоса в свою очередь представляет собой набор ярких линий, расположенных очень близко друг к другу.



Наиболее простой спектр излучения у атома водорода.

Атом водорода состоит из ядра, вокруг которого обращается один электрон. В видимой части спектра атом водорода излучает 4 линии, соответствующие длинам волн 656 нм, 486 нм, 434нм и 410 нм.

Дж. Бальмер показал, что эти линии можно описать формулой:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2}\right)$$, где $k = 3,\ 4,\ 5,\ 6.$

R – постоянная Ридберга, равная $R = 1{,}097 \cdot 10^7$ м$^{-1}$. Спектральные линии серии Бальмера в ультрафиолетовой части спектра при $n > 6$.

Серия Лаймана ($k = 2, 3, 4, \ldots$) – ультрафиолетовая часть спектра

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

Серия Пашена (k = 4, 5, 6, …) – инфракрасная часть спектра

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

Модель атома Бора (1912 год)

Два постулата Н. Бора

1. В атоме существуют орбиты, называемые стационарными,

двигаясь по которым электрон не излучает.

2. Излучение и поглощение энергии атомом происходит

при переходе с одной стационарной орбиты на другую.

Энергия испускаемого (поглощаемого) фотона равна
$h\nu = E_2 - E_1$,где h – постоянная Планка, $h = 6{,}626176 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с,
ν – частота испускаемого (поглощаемого) фотона.

Условие стационарности n-ой орбиты по Бору:
$mv_n r_n = n\,\hbar$, n – положительное число, называемое *главным квантовым числом*. Оно указывает номер орбиты, по которой может обращаться электрон.

Расчет радиусов электронных орбит

$$F_k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Zq_e^2}{r_n^2} \qquad \frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Zq_e^2}{r_n^2} \qquad r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2 n^2}{\pi m Z q_e^2}$$

Радиус первой орбиты электрона в атоме водорода равен:

$r_1 = 0{,}529 \cdot 10^{-10}$ м, а радиус n – ой орбиты $r_n = r_1 \cdot n^2$.

Энергия электрона на n-й орбите равна сумме его потенциальной и кинетической энергий:

$$E_n = E_{\text{пот } n} + E_{\text{кин } n} = -\frac{Zq_e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n} + \frac{mv_n^2}{2}$$

$$\frac{mv_n^2}{2} = \frac{Zq_e^2}{4\pi\varepsilon_0 2r_n} \qquad E_n = -\frac{Zq_e^2}{4\pi\varepsilon_0 2r_n}$$

Полная энергия электрона, движущегося по n-ой боровской орбите

$$E_n = -\frac{Zq_e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^2}\frac{1}{n^2}, \text{ где } n = 1,\ 2,\ 3,\ldots$$

Полная энергия электрона, движущегося по первой боровской орбите

$E_1 = -2{,}17 \cdot 10^{-18}$ Дж $= -13{,}6$ эВ

При переходе электрона с k-ой орбиты на n-ю будет излучаться фотон, энергия которого $h\nu$ равна

$$h\nu = E_k - E_n = -\left(\frac{Z^2 q_e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^2}\right)\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Длина волны излучения определяется соотношением

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{Z^2 q_e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$$

$$R = \frac{q_e^4 \cdot m}{8\varepsilon_0 \cdot h^3 \cdot c} = 1{,}0974 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

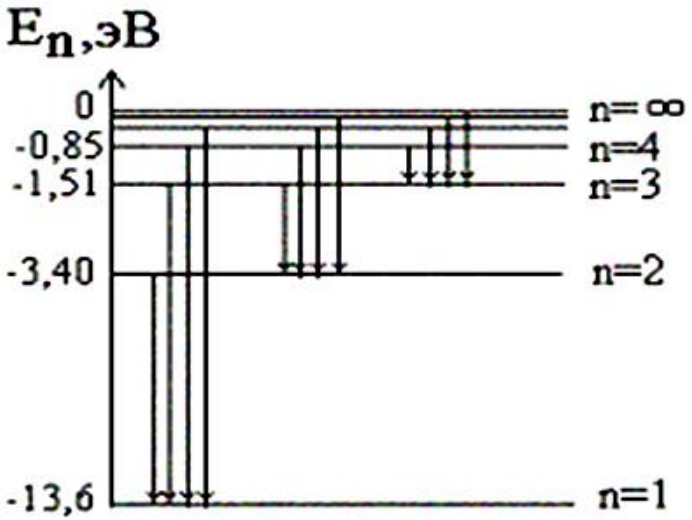
Квантовое число, определяющее номер орбиты, по которой движется электрон, определяет так называемые *энергетические уровни.*

Низший энергетический уровень атома водорода соответствует значению энергии

$$E_1 = -\frac{Zq_e^4 \cdot m}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2} = -13{,}6 \text{ эВ}$$

Для второго и последующих энергетических уровней значения энергии будут равны

$$E_2 = E_1 / 2^2 \qquad E_3 = E_1 / 3^2$$



$$\Delta E = E_{\infty} - E_1 = - E_1$$

Эта энергия называется *энергией ионизации*.

Из эксперимента – энергия ионизации водорода 13,6 эВ.

Достоинства теории атома Н.Бора:

Атом Бора устойчив, объяснение линейчатого характера излучения атома, выведена постоянная Ридберга, модель излучения и поглощения атома, определена энергия ионизации атома водорода.

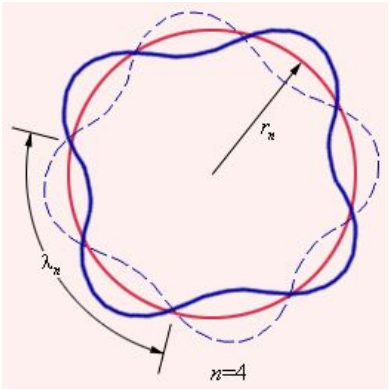
Недостатки: невозможность объяснения спектров сложных атомов, тонкой структуры спектра, состава спектров излучения и т.д.

Изучение микромира требует совершенно новых подходов – создание **квантовой механики**.

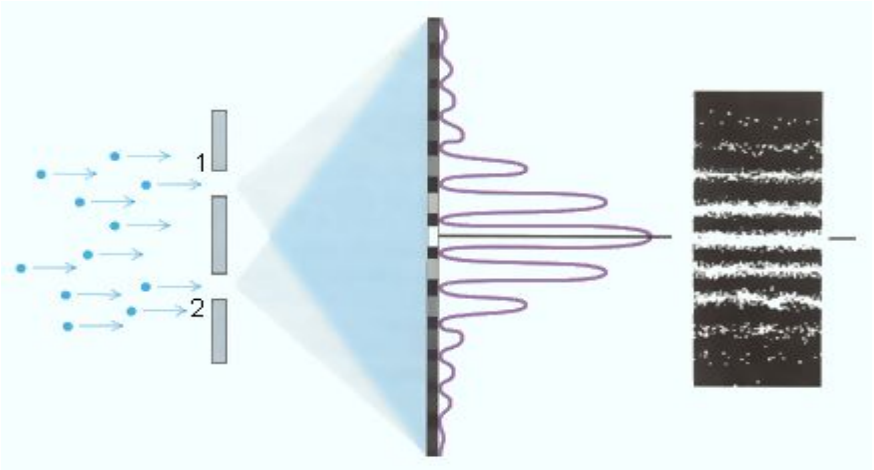
Волны де Бройля (1923 г.)

Дуализм волна-частица

$$p = \frac{h}{\lambda}$$



Дифракции электронов (1927 г.)

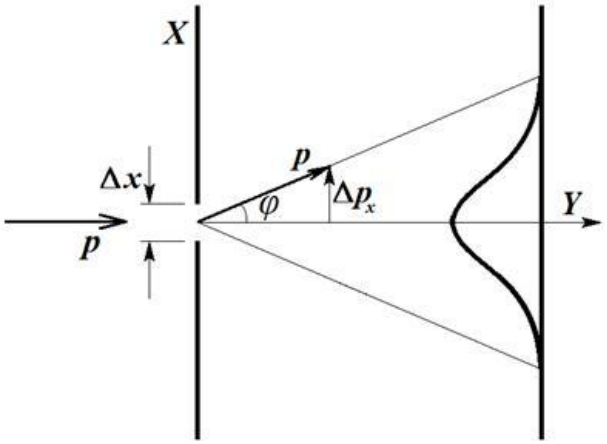


Принцип неопределенности Гайзенберга (1927 г.)

Согласно принципу неопределенности одновременно одинаково точно измерить импульс и координату частицы, что противоречит основным понятиям классической механики.

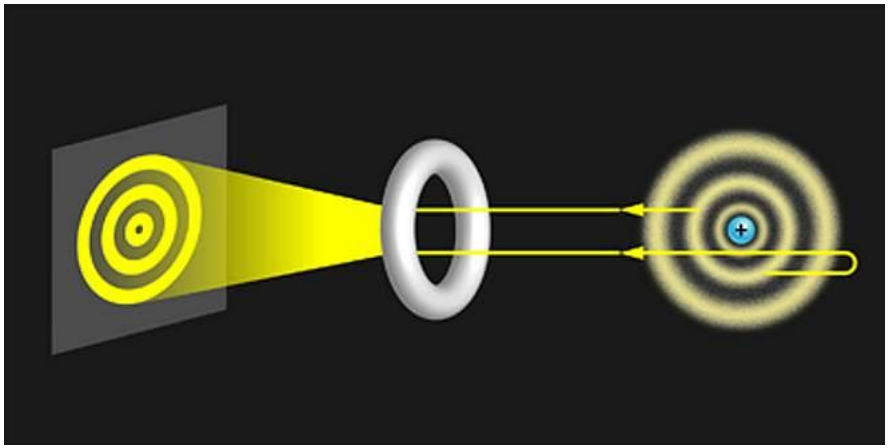
Математически этот принцип записывается так:

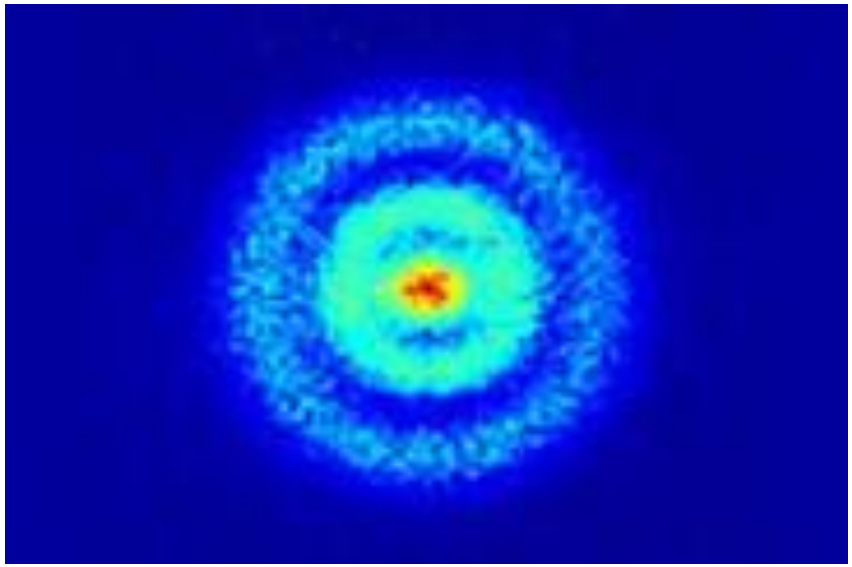
$$\Delta x \Delta p \geq h / 2\pi$$



Фотографии атома (2014 г.)

Квантовый микроскоп. Облучение двумя лазерными лучами, освобождение электрона, ускорение электрическим полем, попадание на экран.



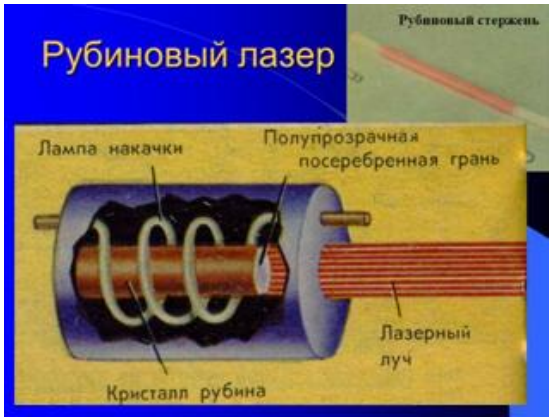


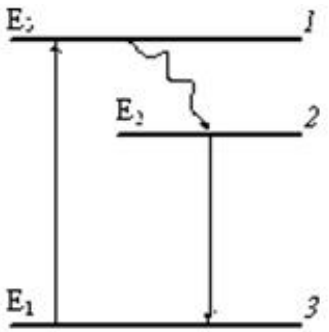
Лазеры

Лазеры – приборы, создающие узкий пучок монохроматического когерентного излучения.

Самопроизвольное и вынужденное излучения.

Рубиновый лазер





Уровень 2 – метастабильное состояние (~10^{-3} с). Переходы – линия перехода 3 → 1, а большинство в – метастабильное состояние 2. Случайный переход одного из ионов 2 → 1 сопровождается излучением фотона, который в свою очередь вызывает вынужденное излучение.

Первые лазеры позволили получить излучение мощностью 1 кВт, в настоящее время импульсная мощность достигает 10^9 Вт.

Примеры решения задач

Задача 1. Найдите энергию ионизации иона гелия He^+.

Решение.

У гелия два электрона, заряд ядра равен $Z = 2|q_e|$.
Электрон в атоме гелия, находящийся на ближайшей к ядру орбите ($n = 1$), имеет энергию

$$E_1 = \frac{Z^2 q_e^4 m \cdot 1}{8\varepsilon_0 h^2 \cdot 1^2} \quad (Z = 2)$$

$$E_{\text{и}} = 0 - E_1 = \frac{4q_e^4 m \cdot 1}{8\varepsilon_0 h^2} = 54,4 \text{ эВ}$$

Задача 2. Определите, на какую орбиту с основной (n = 1) перейдет электрон при поглощении фотона энергией $E_ф$ = 2,46 · 10^{-18} Дж.

Решение.

$$E_ф = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

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

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - R\lambda}} = \frac{1}{\sqrt{1 - Rhc / E_ф}} = 3$$

Задача 3. В результате поглощения атомом фотона электрон в атоме водорода перешел с первой боровской орбиты на вторую. Определите частоту этого фотона.

Решение.

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

$$\nu = cR\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) = 2{,}46 \cdot 10^{15}$$

Задача 4. Электрон в атоме водорода с первой орбиты переходит на орбиту, радиус которой в девять раз больше. Какую энергию ΔE должен поглотить атом?

Решение.

Радиусы разрешенных орбит $r_n = r_1 \cdot n^2$, следовательно, электрон переходит на третью боровскую орбиту. Атом при этом должен поглотить энергию

$$\Delta E = E_3 - E_1 = E_1(1/9 - 1) = (8/9)E \approx 12{,}1 \text{ эВ}$$

Задача 5. Определите максимальную и минимальную длину волны, излучаемой атомом, в серии Бальмера.

Решение.

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

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

$$max\,\lambda \to min\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} = \frac{5}{36}$$

$$min\,\lambda \to max\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \to \frac{1}{4}$$

$$\lambda_{max} = \frac{36}{5R} = \frac{36}{5 \cdot 1{,}0974 \cdot 10^7}\text{ м} = 6{,}56 \cdot 10^{-7}\text{ м} = 656\text{ нм}$$

$$\lambda_{min} = \frac{4}{R} = \frac{4}{1{,}0974 \cdot 10^7}\text{ м} = 3{,}65 \cdot 10^{-7}\text{ м} = 365\text{ м}$$

Задача 6. Определите максимальный номер орбиты, с которой может перейти электрон в атоме водорода, чтобы излучение было в видимой части спектра.

Решение.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad \lambda_{\min} = \frac{R^{-1} \cdot 4n^2}{n^2 - 4}$$

$$n^2 \cdot (\lambda_{\min} - 4R^{-1}) = 4\lambda_{\min}$$

$$n = 2\sqrt{\frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\min} - 4R^{-1}}}$$

$$n = 2\sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot 10^{-7} - \frac{4 \cdot 10^{-7}}{1,0974}}} = 6,6$$

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2}\right) = 1,0974 \cdot 10^{7} \cdot 0,2222 \text{ м}^{-1} = 2,44 \cdot 10^{6} \text{ м}^{-1}$$

$$\lambda = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 410 \text{ нм}$$

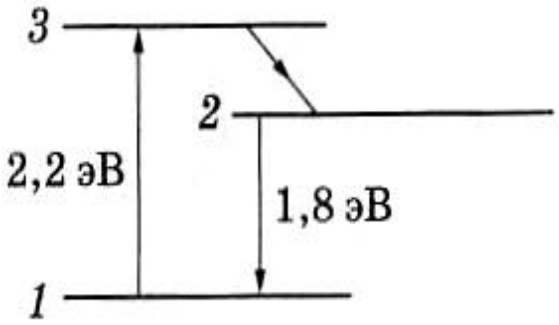
Задача 7. На рисунке представлена схема энергетических уровней атомов хрома в кристалле рубидия. Определите: 1) какой длины волны должно быть излучение для так называемой «накачки», 2) какова длина волны, излучаемой рубиновым лазером?

Решение.

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_1} = \Delta E_1$$

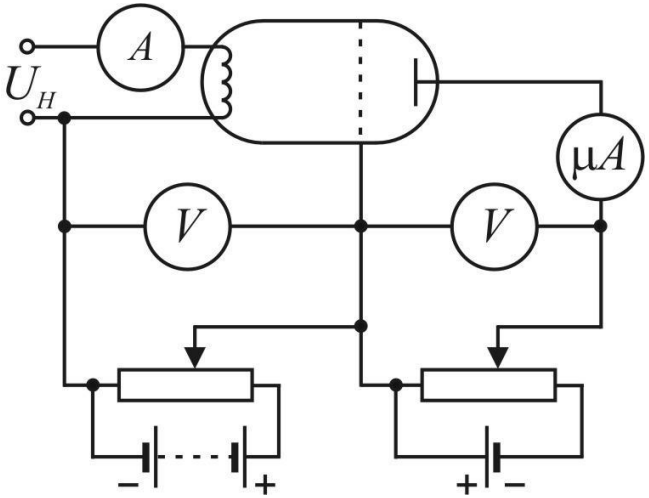
$$\lambda_1 = \frac{hc}{\Delta E_1} = 5{,}64 \cdot 10^{-7}\ \text{м}$$

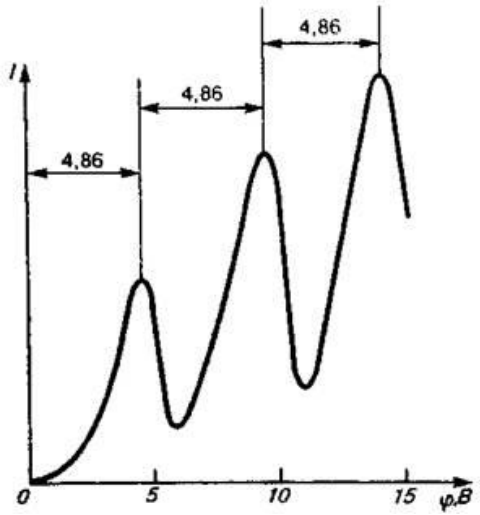
$$\lambda_2 = \frac{hc}{\Delta E_2} = 6{,}9 \cdot 10^{-7}\ \text{м}$$



Задача 8. На рисунке показана схема установки Д.Франка и Г.Герца. Стеклянный сосуд заполнен парами ртути. Источник $\mathcal{E}_1$ подключен между подогреваемым катодом и сеткой через потенциометр, регулирующий подаваемое напряжение. Между сеткой и анодом подключена небольшая ЭДС $\mathcal{E}_2$, создающая задерживающее поле. Амперметр показывает силу тока в анодной цепи. На рисунке 2 показана зависимость силы тока от напряжения между катодом и сеткой. Объясните эту зависимость, исходя из положения, что внутренняя энергия атома может принимать только дискретные значения.

Решение.





Строение атома. Опыты Резерфорда

ЕГЭ1. 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 атома со скоростью 1000 км/с. Чему равна частота поглощенного фотона. Энергию теплового движения не учитывайте.

Решение. Энергия фотона идет на ионизацию атома и сообщении вылетевшему электрону энергии.

$$h\nu = E_{\text{ион}} + E_e$$

Энергия ионизации атома равна энергии на первом энергетическом уровне.

$E_{\text{ион}} = 0 - E_1$

Энергия электрона сохраняется и равна кинетической энергии вдали от ядра атома.

$$h\nu = E_{\text{ион}} + \frac{m_e v^2}{2}$$

$$\nu = \frac{-E_1 + \frac{m_e v^2}{2}}{h} = \frac{13{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} + \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} 10^{12}}{2}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} \text{ Гц} \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

ЕГЭ2. Покоящийся атом водорода в основном состоянии ($E_1 = -13{,}6$ эВ) поглощает в вакууме фотон с длиной волны 80 нм. С какой скоростью движется от ядра электрон, вылетевший из атома в результате ионизации? Кинетическую энергию образовавшегося иона не учитывайте.

Решение. Энергия фотона идет на ионизацию атома водорода и на сообщение вылетевшему электрону кинетической энергии.

$$h\nu = E_1 + \frac{m_e v^2}{2}$$

Из этого выражения получим

$$v = \sqrt{\frac{2}{m_e}\left(h\frac{c}{\lambda} - E_1\right)} = \sqrt{\frac{2}{9{,}1\cdot 10^{-31}}\left(6{,}63\cdot 10^{-34}\frac{3\cdot 10^{8}}{80\cdot 10^{-9}} - 1{,}6\cdot 10^{-19}13{,}6\right)} = 8{,}2\cdot 10^{5}$$

ЕГЭ3. Значение энергии электрона в атоме водорода задается формулой

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

При переходе из состояния с энергией E_2 в состояние с энергией E_1 испускается фотон.

Попав на поверхность фотокатода он выбивает электрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала фотокатода 300 нм. Чему равна максимальная возможная скорость фотоэлектрона.

Решение. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m_e v_{max}^2}{2}$$

$$h\nu = E_2 - E_1 = \frac{E_1}{n^2} - E_1 = E_1\left(\frac{1}{n^2} - 1\right) = E_1\left(\frac{1}{2^2} - 1\right) = -\frac{3}{4}E_1$$

$$A_{вых} = \frac{hc}{\lambda_{max}} \Rightarrow -\frac{3}{4}E_1 = \frac{hc}{\lambda_{max}} + \frac{m_e v_{max}^2}{2}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{-2\left(\frac{3}{4}E + \frac{hc}{\lambda_{max}}\right)}{m_e}} = \sqrt{\frac{-2\left(-\frac{3}{4}13{,}6\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19} + \frac{6{,}63\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{3\cdot 10^{-7}}\right)}{9{,}1\cdot 10^{-31}}} \approx 1{,}46\cdot 10^{6}$$

Ядерная физика, явление радиоактивности, деление и синтез ядер

Состав ядра

Протоны и нейтроны

Нуклоны

Масса протона $m_p = 1{,}673 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,007276 а.е.м.,
заряд протона равен по величине заряду электрона $q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Масса нейтрона $m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,008665 а.е.м.
Нейтрон – электрически нейтральная частица.
1 атомная единица массы равна 1/12 массы атома углерода.

1 а.е.м. = $1{,}6606 \cdot 10^{-27}$ кг = 931,5 МэВ/c^2, 1 а.е.м. = 931,5 МэВ/c^2

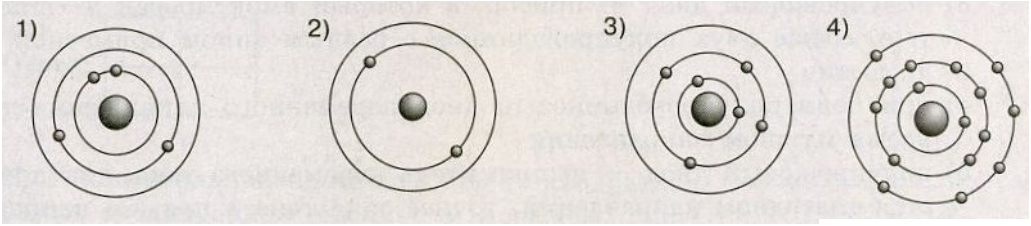
ЕГЭ часть 1

§78 Состав ядра

1. Сколько протонов и нейтронов содержит ядро $^{40}_{18}\mathrm{Ar}$?

2. Сколько электронов содержит электронная оболочка в нейтральном атоме фосфора $^{31}_{15}\mathrm{P}$?

3. Какая схема соответствует нейтральному атому $^{12}_{6}C$?



§80,81 Энергия связи атомных ядер

Вычислите энергию связи. Масса атома лития 6,015123 а.е.м.

Энергия связи ядра лития $^{6}_{3}\mathrm{Li}$

$$E_{\text{с в}} = \Delta m \cdot c^2 = [3m_p + 3\,m_n - m_{\text{я}}] \cdot c^2.$$

$$E_{\text{с в}} = [3(m_p + m_n) - m_{\text{а}}] \cdot c^2 = [3(m_p + m_n) - m_{\text{а}}] \cdot 931{,}5 \text{ МэВ}.$$

$$E_{\text{с в}} = [3(1{,}007276 + 1{,}008665) - 6{,}015123\ ] \cdot 931{,}5 \text{ МэВ} \approx 30{,}5 \text{ МэВ}.$$

Ядерные силы

Ядерные силы – короткодействующие, радиус действия – 10^{-15} – 10^{-14} м.

Общее число нуклонов в ядре равно числу целых единиц атомной массы элемента и называется массовым числом A.

Радиус ядра: $r_{я} = 1{,}3 \cdot 10^{-15} \cdot A^{1/3}$ м,

Число протонов в ядре – Z и называется *зарядовым числом*.

Число нейтронов в ядре равно $N = A - Z$

$$^{A}_{Z}X$$

Ядра одного и того же химического элемента, содержащие одинаковое число протонов, но разное число нейтронов, называются изотопами.

Например, водород имеет три изотопа:

$$^{1}_{1}H, \; ^{2}_{1}H, \; ^{3}_{1}H$$

Дефект масс и энергия связи

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$$

$$E_{с\,в} = \Delta m \cdot c^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_я] \cdot c^2$$

$$E_{с\,в} = c^2 \cdot \{[Zm_p + (A - Z)m_n - m_я] - m_a\}$$

Удельная энергия связи – это полная энергия связи ядра, деленная на число нуклонов в ядре A.

Удельная энергия связи для ядра гелия $^4_2\mathrm{He}$

$m = 4{,}002603$

$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$

$\Delta m = 2 \cdot 1{,}007825 + 2 \cdot 1{,}008665 - 4{,}002603 = 0{,}030377$ а.е.м.

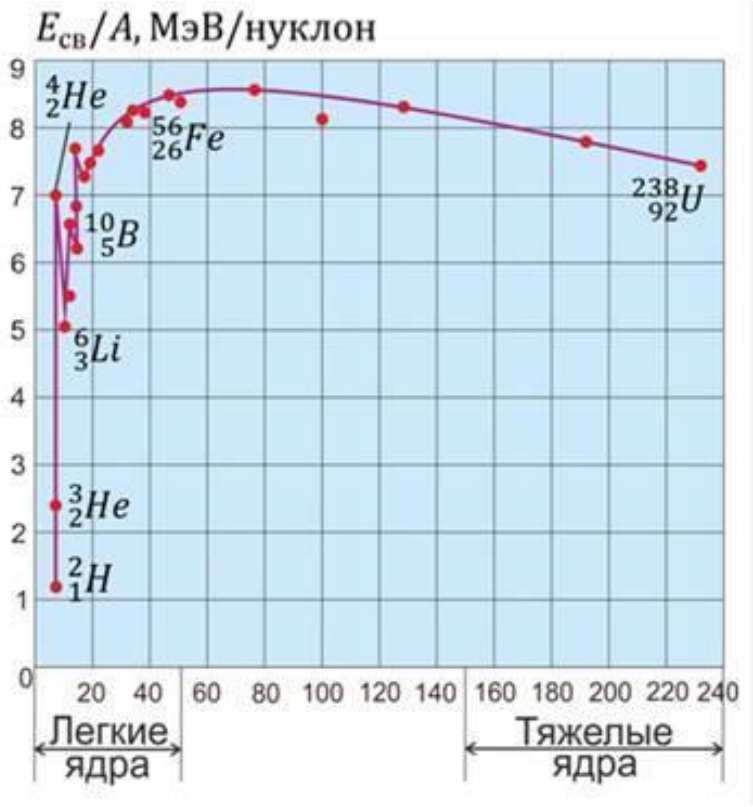
Энергия связи равна

$E_{св} = \Delta mc^2 = 0{,}030377 \cdot 931{,}5$ МэВ $= 28{,}3$ МэВ

Удельная энергия связи в ядре He

$E_{св.уд} = E_{св}$ /A $= 28{,}3/4 = 7{,}1$ МэВ

График зависимости удельной энергии связи от массового числа



Явление радиоактивности

Естественная радиоактивность

Явление радиоактивности – открыто в 1896 году А. Беккерелем.

Пьер и Мария Кюри выделили из солей урана два химических элемента, которые также давали сильное излучение – полоний и радий. Источник радиоактивного излучения – нестабильное ядро атома.

Три вида радиоактивного излучения: α-, β-, γ-излучение.

При всех ядерных превращениях сохраняются массовые и зарядовые числа, выполняются все известные **законы сохранения**: энергии, импульса, момента импульса, заряда, а также закон сохранения нуклонов.

α-распад

Пример – превращение радия в радон:

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\mathrm{Rn} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \qquad ^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y} + ^{4}_{2}\mathrm{He}$$

β-распад

Пример β-распада – распад ядра углерода:

$$^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow ^{14}_{7}\mathrm{N} + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu} \qquad ^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow ^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + ^{0}_{-1}e + \tilde{\nu}$$

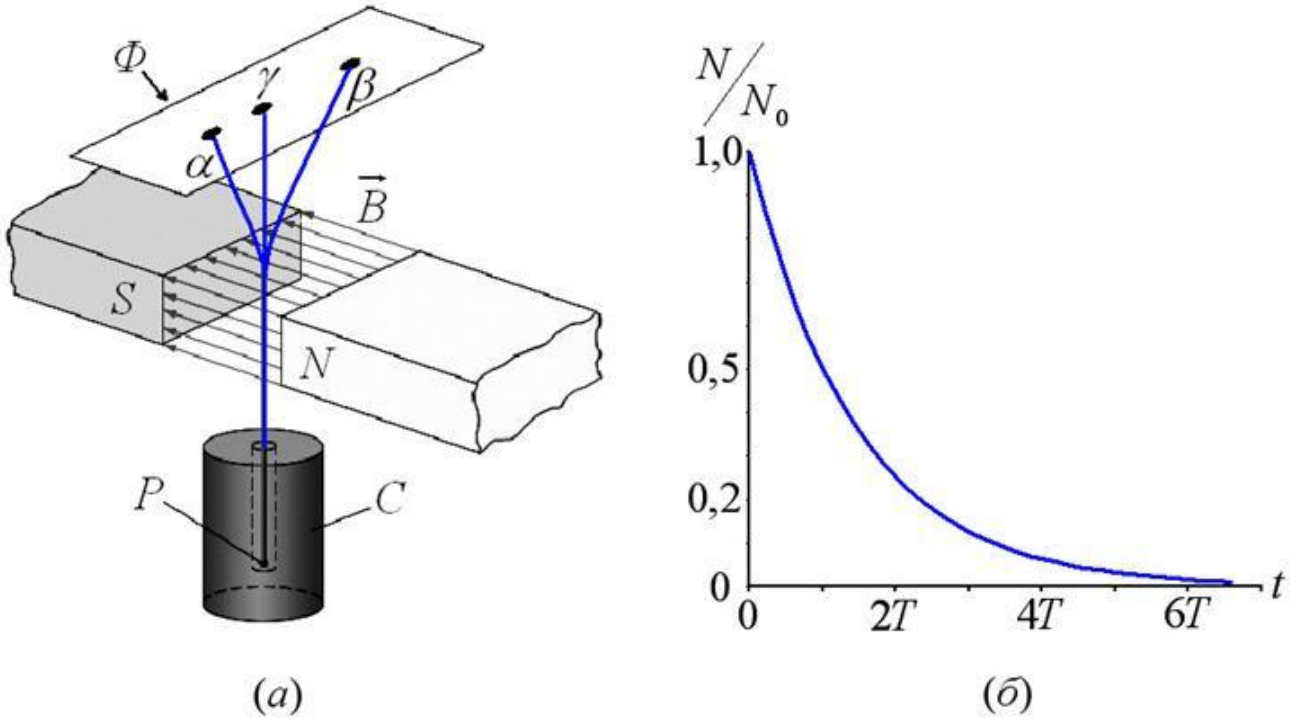
$$^{13}_{7}\mathrm{N} \rightarrow ^{14}_{6}\mathrm{C} + ^{0}_{+1}e + \nu$$

Может сопровождаться γ-излучением.

γ-лучи – электромагнитные волны, длины которых от 10^{-13} до 10^{-10} м.

Излучение возбужденных ядер.

Схема установки для наблюдения радиоактивного излучения (распада)



Правила смещения

Искусственная радиоактивность

В 1932 году – Ирен и Фредериком Жолио-Кюри.

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}n$$

$$^{30}_{15}\mathrm{P} \rightarrow ^{30}_{14}\mathrm{Si} + ^{0}_{1}e$$

Закон радиоактивного распада

Период полураспада – промежуток времени, за который распадется половина имеющихся радиоактивных ядер.

Радон – $T \cong 3{,}8$ суток, радий – 1600 лет, уран – 5730 лет.

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T} \qquad N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

§ 82-85 Радиоактивность

Примеры решения задач – 5

Задачи для самостоятельного решения – 4

ЕГЭ часть 2

Препарат активностью $1{,}7\cdot10^{11}$частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. На сколько градусов (К) повысилась температура контейнера за 1 час, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает α – частицы энергией 5,3 МэВ? Считайте, что энергия всех частиц переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Удельная теплоемкость меди 380 Дж/(кг·К).

Решение. Активность радиоактивного вещества определяется скоростью распада, то есть числом распадов в секунду.

За 1 час излучается N частиц, имеющих энергию E_0.

$E = At\,E_0$.

Эта энергия по условию задачи идет на нагрев контейнера

$E = Q,\ cm\Delta T = At\,E_0$.

$$\Delta T = \frac{A\cdot t\cdot E_0}{cm} = \frac{1{,}7\cdot10^{11}\cdot3600\cdot5{,}3\cdot10^{6}\cdot1{,}6\cdot10^{-19}}{380\cdot0{,}5}\,\text{К} \approx 2{,}7\text{К}.$$

Ядерные реакции

1. Реакции деления

Деление ядер урана – 1938 год – О. Ган и Ф. Штрассман.

Объяснение дано О. Фришем и Л. Майтнер.

Ядро урана, поглотившее нейтрон, становится неустойчивым и распадается на два осколка, так называемые осколки деления.

Удельная энергия связи ядра урана – 7,6 Мэв/нуклон

Массы осколков меньше массы распавшегося ядра на 8,5 – 7,6 Мэв/нуклон.

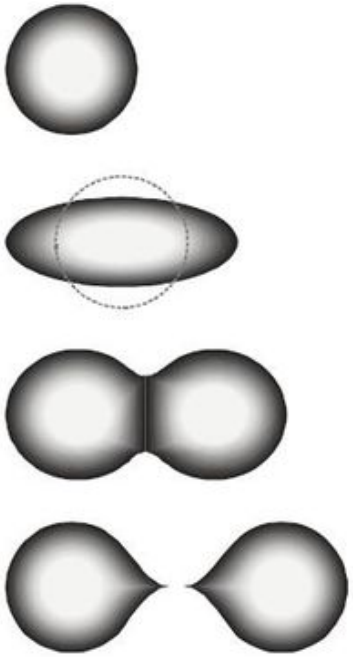
В процессе деления участвуют 236 нуклонов ядра урана, то энергия, выделяющаяся при делении только одного ядра, ~ 200 МэВ.

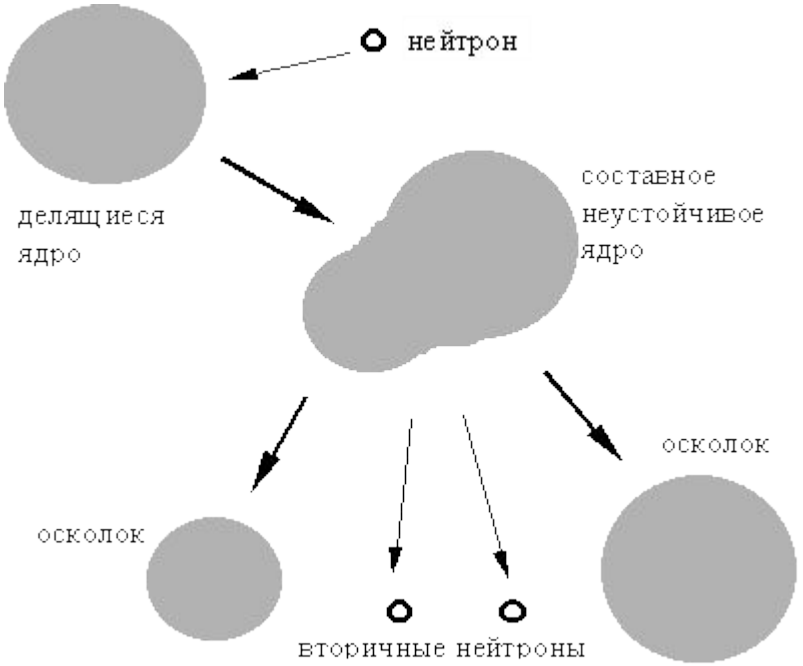
$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3\,{}^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + 2\,{}^{1}_{0}n$$

Цепная реакция деления

Капельная модель ядра и распада

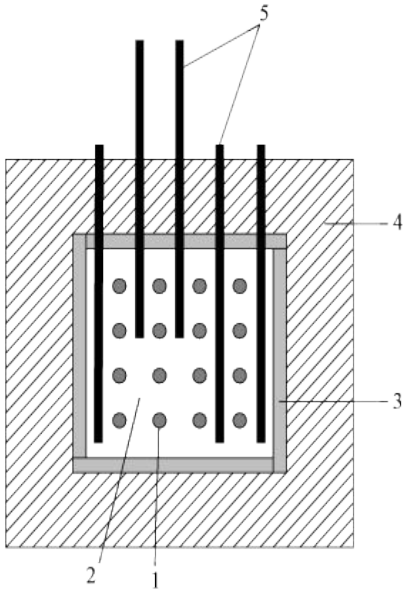




Природный уран содержит 92,27% изотопа ^{238}U

0,72% ^{235}U, 0,01% ^{234}U

Управляемая реакция деления – реактор



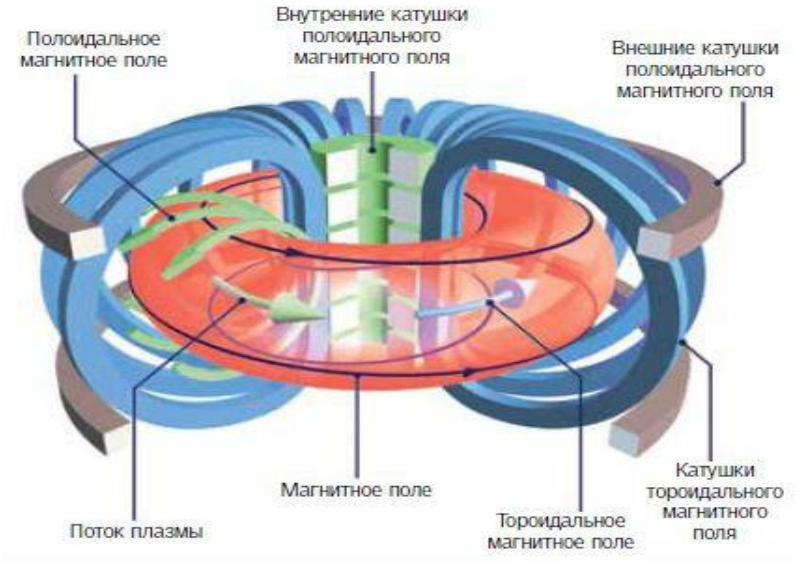
Первый ядерный реактор создан в 1942 году под руководством Э. Ферми в Чикаго.

Реактор на быстрых нейтронах

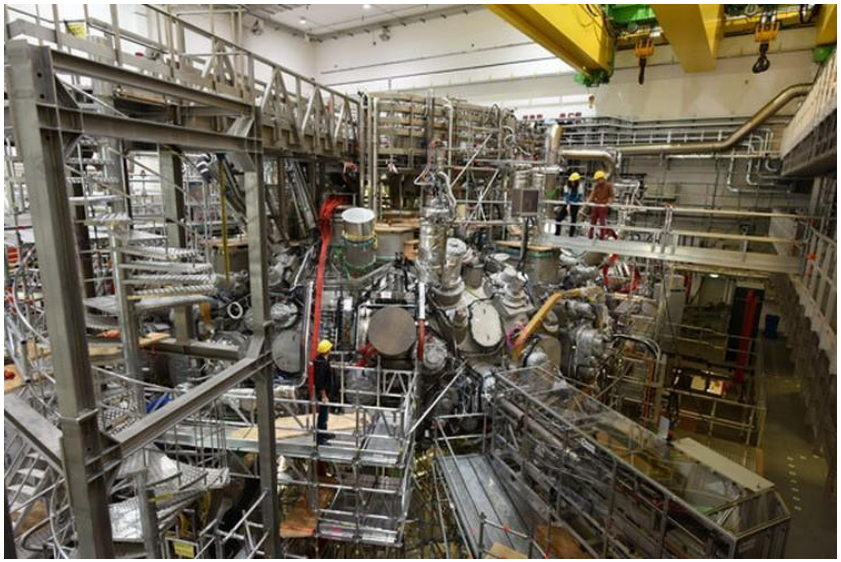
$$^{238}_{92}\mathrm{U} + \mathrm{n} \rightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U} + \gamma \rightarrow {}^{239}_{93}\mathrm{Np} + \mathrm{e}^{-} \rightarrow {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + \mathrm{e}^{-}$$

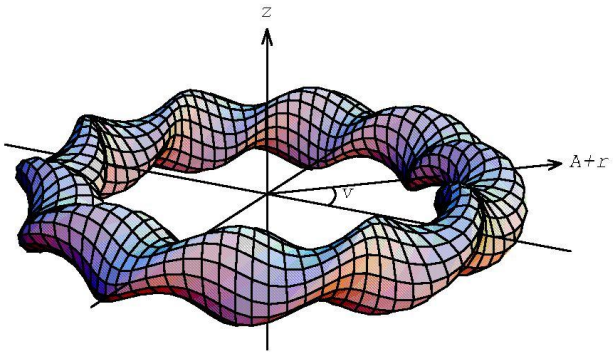
2) Реакция термоядерного синтеза (2015 г.)

$$ {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{3}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + {}_{0}^{1}\mathrm{n} $$



Токамак. *Раскаленный шнур плазмы закован в магнитные поля*





§87-91 Ядерные реакции

Примеры решения задач – 3

Задачи для самостоятельного решения – 3

ЕГЭ часть 2 – 4

1. Какая энергия выделяется при ядерной реакции $^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow 2\,{}^{4}_{2}\mathrm{He}$

Энергия покоя лития 6533,8 МэВ, водорода – 938,3 МэВ, гелия 3728,4 МэВ.

Решение.

Энергия лития 6533,8 МэВ

\+

Энергия водорода – 938,3 МэВ

Сумма 7472.1 МэВ

Энергия гелия 2· 3728,4 МэВ = 7456.8 МэВ

ΔE = 7472.1 МэВ – 7456.8 МэВ = 15,3 МэВ = 2,45 пкДж

2. Излучение Солнца обусловлено энергией, выделяющейся при термоядерной реакции превращения ядра водорода ${}_1^1\mathrm{H}$ в гелий ${}_2^4\mathrm{He}$.

При этом образование одного ядра гелия сопровождается выделением энергии $4{,}4\cdot10^{-12}$Дж. Запишите ядерную реакция образования гелия. Чему равна масса гелия, возникающего в Солнце ежесекундно, если мощность излучения Солнца составляет $4\cdot10^{-26}$Вт? Масса ядра гелия $4\cdot10^{-27}$кг. Ответ выразите в млн. тонн, округлив до десятков.

$$ {}_1^2\mathrm{H} + {}_1^2\mathrm{H} \rightarrow {}_2^4\mathrm{He} $$

Решение.

Число образовавшихся ядер гелия за одну секунду равно

$$ N = \frac{E_c}{E_p} = \frac{4\cdot10^{26}}{4{,}2\cdot10^{-12}} = 0{,}952\cdot10^{38} $$

Масса гелия

$$ m = 0{,}952\cdot10^{38}\cdot6{,}6\cdot10^{-27} = 630 \text{ кг} = 630\cdot10^{-11} \text{ млн т} $$

Примеры решения задач

Задача 1. Определите число нуклонов A и порядковый номер Z, образующихся при двух α- и двух β-превращениях урана $^{238}_{92}\mathrm{U}$.

Решение.

В результате двух α-распадов

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{234}_{90}X_1 + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{230}_{88}X_2 + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

В результате двух β-распадов

$$^{224}_{88}X_2 \rightarrow {}^{224}_{89}X_3 + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{224}_{90}X_4 + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{-1}e$$

Итак, число нуклонов в ионии $A = 224$, число протонов $Z = 90$, число нейтронов 134.

$$I^{224}_{90}$$

Задача 2. Определите, в ядро атома какого элемента превращается элемент полоний $^{218}_{84}\mathrm{Po}$ при испускании α-частицы.

Решение.

$$^{218}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{A}_{z}X$$

$$A = 218 - 4 = 214$$

$$Z = 84 - 2 = 82$$

$$^{214}_{82}\mathrm{Pb}$$

Задача 3. Определите энергию связи и удельную энергию связи в ядре атома ртути $^{200}_{80}Hg$. Масса покоя ядра 200,028 а.е.м.

Решение.

Число протонов $Z = 80$, число нейтронов – $N = 200 - 80 = 120$

Дефект масс :

$$\Delta m = 80 \cdot 1{,}007276 + 120 \cdot 1{,}008665 - 200{,}028 = 1{,}594 \text{ а.е.м.}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 931{,}5 \text{ МэВ/с}^2$$

$$\Delta E_{\text{св.}} \approx 1485 \text{ МэВ}$$

Удельная энергия связи $\Delta E_{\text{св.уд}} = \Delta E_{\text{св}} / A \approx 7{,}43$ Мэв/нуклон

Задача 4. ЕГЭ. Определите энергию, выделяющуюся при ядерной реакции ${}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow 2({}^{4}_{2}\mathrm{He})\cdot$

Удельная энергия связи у ядра атома изотопа лития 5,6 Мэв/нуклон, у гелия 7,075 Мэв/нуклон.

Решение.

Выделенная энергия разности энергий связи *Li* и *He*.

$$\Delta E = 2\frac{\Delta E_{\text{св.}He}}{A_{He}} A_{He} - \frac{\Delta E_{\text{св.}Li}}{A_{Li}} A_{Li} = (2\times 7,075\times 4 - 5,6\times 7)\ МэВ =$$

$$(56,6 - 39,2)\ МэВ = 17,4\ МэВ$$

Второй способ

Масса вступивших в реакцию ядер:

m_1 = 7,01601 а.е.м. + 1,00783 а.е.м.= 8,02384 а.е.м.

Масса образовавшихся двух ядер гелия: $m_2 = 2 \cdot 4,00260 = 8,00560$ а.е.м.

Разность масс $\Delta m = m_1 - m_2 = 0,01864$ а.е.м.

Выделенная энергия равна $\Delta E = 0,01864 \cdot 931,5$ МэВ = 17,4 МэВ.

Задача 5. Определите в какой момент времени число нераспавшихся ядер изотопа станет равным $N = 10^{11}$, если в начальный момент число ядер $N_0 = 10^{22}$? Период полураспада равен 5730 лет.

Решение.

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$t = \frac{T\, lg(N_0 / N)}{lg\, 2} \approx 2,09 \cdot 10^5 \text{ лет}$$

Задача 6. При делении одного ядра изотопа урана 235 освобождается $E_{\text{выд}}$ = 200 МэВ энергии. Определите количество энергии, выделяющееся при делении m = 20 кг урана.

Решение.

$$N = \frac{m}{M} N_A \quad M = 0{,}235 \text{ кг/моль}$$

$$E = \frac{m}{M} N_A E_{\text{выд}} = 1{,}025 \cdot 10^{27}$$

Биологические действия радиоактивных частиц

Мощность излучения источника определяется числом распадов в секунду.

Единица активности – кюри (Ки) определяется

$$1 \text{ Ки} = 3{,}7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с}.$$

1 Р – доза рентгеновского излучения (или γ-излучения), при которой одним кг воздуха поглощается энергия, равная $8{,}78 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Единица поглощенной дозы *D* в СИ является Грей (Гр). 1 Гр = 1 Дж/кг.

Биологическая эффективность воздействия поглощенной дозы характеризуется эквивалентной дозой (ЭД), определяемой произведением *D* на коэффициент качества, зависящий от типа излучения и от вещества, в которое это излучение проникает.

Единица ЭД – зиверт (Зв).

Предельно допустимая средняя ЭД равна 350 мЗв. Среднее значение ЭД поглощенного излучения за счет естественного составляет 0,2 мЗв.

Внесистемная единица ЭД – Бэр. 1 Зв = 100 Бэр.

При облучении биологической ткани 1 Бэр = 1 рентген.

Спасибо за внимание!