

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра физики

Ф И З И К А

Часть VI. ФИЗИКА АТОМА И ЯДРА

Индивидуальные задания
для расчетной работы студентов

Методические указания
для студентов всех форм обучения

Санкт-Петербург
2020

УДК 53 (075.8)

Физика. Часть VI. Физика атома и ядра: Индивидуальные задания для расчетной работы студентов: методические указания для студентов всех форм обучения/ сост. Е.А. Яшкевич, А. Л. Ашкалунин, А.В. Федоров / ВШТЭ СПбГУПТД - СПб., 2020. – 30 с.

Методические указания содержат пять тем по разделам «Физика атома» и «Физика ядра». В каждой теме - по 100 вариантов заданий, позволяющих активизировать самостоятельную работу студентов. Предназначено для студентов всех направлений дневного и вечернего отделений, изучающих физику.

Рецензент: профессор кафедры физики ВШТЭ СПбГУПТД
кан. физ.-мат. наук М.Ю. Демина.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой физики
ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 2 от 19.10.2020 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией института
энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 2 от
29.10.2020 г.).

Предисловие

Задание выполняется в отдельной тетради, каждая задача начинается с новой страницы. На обложке тетради указывается фамилия студента, номер учебной группы и номер варианта задания (дается преподавателем).

Студент выполняет по одной задаче из каждой темы.

Вторая цифра номера варианта обозначает *номер задачи*, а *первая цифра* – номер условия *данной задачи* в таблице.

Текст условия задачи должен быть отредактирован в соответствии с конкретным вариантом и содержать все численные данные с указанием единиц измерения. Если наименования величин не указаны, то они даны в системе единиц СИ. Должна быть приведена также краткая запись условия.

Решение должно быть полным. Задача, как правило, решается в общем виде с последующими числовыми расчетами. При защите задания студент должен уметь объяснить решение любой задачи, знать и понимать физические законы, знать определения и свойства физических величин, которыми он пользовался.

Тема 1. Атом водорода

Атом состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него электронов. Размер ядра намного меньше размеров атома, но в нем сосредоточена почти вся масса атома. Электроны удерживаются вблизи ядра кулоновскими силами притяжения. Ядра атомов различных элементов различаются зарядом q . Заряд ядра определяет порядковый номер элемента Z ($q=Ze$, e – заряд электрона) и число электронов в атоме.

Такая модель атома по классической теории неустойчива, так как вращающиеся электроны должны излучать электромагнитные волны и упасть на ядро. Устойчивость атома впервые объяснил Бор, добавив к классической теории три постулата.

Постулат 1. В атоме существуют стационарные состояния (орбиты), в которых атом не излучает энергию.

Постулат 2. Стационарными являются орбиты, для которых момент импульса электрона кратен $h/2\pi$, где h – постоянная Планка,

$$mvr = n \frac{h}{2\pi}, \quad (1)$$

n – квантовое число, любое целое положительное число (1, 2, 3....).

m , v , r – масса, скорость и радиус орбиты электрона.

Постулат 3. Атом излучает или поглощает электромагнитные волны при переходе из одного стационарного состояния в другое, при этом излучается или поглощается квант, энергия которого

$$h\nu = E_n - E_k. \quad (2)$$

Для излучения E_n – энергия начального стационарного состояния с квантовым числом n , а E_k – энергия конечного стационарного состояния с квантовым числом k .

Таким образом, спектр атома определяется энергией стационарных состояний атома E_n .

Для атома водорода и водородоподобных ионов радиусы стационарных орбит и скорость электрона на них определяются вторым законом Ньютона $ma_n = F_k$, где a_n – нормальное ускорение, а F_k – кулоновская сила притяжения электрона к ядру. Подставляя выражения для них, получим:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (3)$$

Полная энергия электрона в атоме складывается из кинетической и потенциальной энергии:

$$E = T + U = \frac{mv^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (4)$$

Сократив равенство (3) на r , получим соотношения между кинетической, потенциальной и полной энергией: $U = -2T = 2E$ и $T = -U/2 = -E$.

Решая совместно уравнения (1) и (3), можно найти радиусы орбит, скорость и энергию электрона в стационарных состояниях.

$$r_n = n^2 \frac{r_B}{Z}, \quad v_n = Z \frac{v_B}{n}, \quad E_n = -Z^2 \frac{E_{\text{ион}}}{n^2}. \quad (5)$$

Здесь $r_B = 0,53 \text{ \AA}$ – радиус первой боровской орбиты в атоме водорода, $v_B = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ – скорость электрона на первой боровской орбите в атоме водорода, $E_{\text{ион}} = 13,6 \text{ эВ}$ – энергия ионизации атома водорода. Для расчета спектра излучения выражение для энергии удобно записать в виде:

$$E_n = -Z^2 \frac{Rch}{n^2}, \quad (6)$$

где $R=1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга, c – скорость света.

Подставляя формулу (6) в равенство (2) и сокращая, получим:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) . \quad (7)$$

Формула (7) очень точно описывает спектр водорода и водородоподобных ионов. Длина волны излучаемых линий в большей степени определяется квантовым числом конечного уровня k , и линии с одним значением k образуют группу сравнительно близких линий.

Спектральные серии. К одной серии относят линии с одним значением k и разными значениями $n > k$.

1-я серия, серия Лаймана: $k=1, n=2,3,4,\dots$. Лежит в ультрафиолетовой области спектра.

2-я серия, серия Бальмера: $k=2, n=3,4,5,\dots$. Лежит в видимой области спектра.

3-я серия, серия Пашена: $k=3, n=4,5,6, \dots$. Лежит в инфракрасной области спектра.

Аналогично определяются серии для водородоподобных ионов.

Состояние атома с наименьшей энергией называется *основным* состоянием. Из него атом может быть выведен только внешним воздействием. Остальные стационарные состояния называются *возбужденными*. Из возбужденного состояния атом переходит в состояние с меньшей энергией, испуская квант света.

Энергия ионизации атома – это наименьшая энергия, которую надо сообщить атому в основном состоянии, чтобы удалить электрон на бесконечность. Энергия ионизации атома равна энергии основного состояния с противоположным знаком.

Если световой квант выбивает электрон из атома (фотоионизация), то выполняется уравнение, аналогичное уравнению Эйнштейна для фотоэффекта.

Задачи к теме 1

1.1. При возбуждении атомов водорода и водородоподобных ионов гелия или лития ускоренными электронами излучаются k линий спектра. Найти: а) наименьшую кинетическую энергию этих электронов; б) длину волны излучаемых линий спектра и энергию

соответствующих квантов; в) энергию стационарных состояний, в которые переходит атом (ион) при излучении этих квантов. Энергию дать в электрон-вольтах.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Li	H	He	H	He	Li	H	He	Li	H
k	1	3	6	1	3	6	3	1	3	6

1.2. Квант света выбивает из атома водорода или иона гелия электрон. Энергия кванта- ε , длина волны- λ . Скорость выбитого электрона - v , его энергия - E . Атом (ион) находился в основном состоянии. Энергия дана в eВ, длина волны - в нм, скорость- в Мм/с.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	He ⁺	H	He ⁺	H	He ⁺	H	H	He ⁺	He ⁺	H
λ	20	-	-	70	-	-	60	-	-	-
ε	-	-	60	-	-	18	-	-	17	-
E	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-
v	-	1,8	-	-	-	-	-	2,2	-	2,0
Найти	v	ε	E	v	λ	E	v	ε	E	λ

1.3. Атом водорода (водородоподобный ион) находится в стационарном состоянии с квантовым числом n . Полная энергия электрона – E , кинетическая и потенциальная энергия – K и U соответственно. Радиус орбиты – r . Найти квантовое число n и длину волны фотона, испускаемого при переходе из этого состояния в основное. Энергия дана в эВ, радиусы орбит – в ангстремах.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	He ⁺	H	He ⁺	H	He ⁺	H	H	He ⁺	He ⁺	H
$-E$	13,6	-	-	3,4	-	-	1,51	-	-	-
K	-	-	6,04	-	-	0,85	-	-	2,18	-
$-U$	-	-	-	-	6,8	-	-	-	-	-
r	-	4,78	-	-	-	-	-	1,06	-	2,12

1.4. Найти длину волны и энергию кванта (в эВ) i -й линии серии спектра водорода. Серии: Б – Бальмера, Л – Лаймана, П – Пашена.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серия	Б	П	Л	П	Б	Л	Б	П	Л	Б
i	2	3	1	3	2	3	3	1	2	1

1.5. При переходе из одного стационарного состояния атома водорода (иона гелия) в другое испускается фотон. При этом энергия электрона уменьшается в k_E раз, радиус орбиты увеличивается в k_r , а скорость уменьшается в k_v раз. Определить длину волны и энергию испущенного фотона. Использовать наименьшие из возможных квантовых чисел.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	He ⁺	H	He ⁺	H	He ⁺	H	H	He ⁺	He ⁺	H
k_E	2,25	-	-	6,25	-	-	2,78	-	-	1,78
k_r	-	4		-	-	1,25	-		2,25	-
k_v	-	-	2	-	1,25	-	-	1,5	-	-

1.6. Атом водорода (водородоподобный ион) поглощает фотон с энергией ϵ , и электрон вылетает из атома (фотоионизация атома). Скорость выбитого электрона - v Мм/с. В начале атом находился в состоянии с квантовым числом n и энергией E . Энергия дана в эВ. Длина волны фотона λ дана в нм.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Li ⁺⁺	H	He ⁺	H	Li ⁺⁺	He ⁺	H	He ⁺	Li ⁺⁺	H
λ	9	-	-	138	-	14,8	20	-	-	9
ϵ	-	-	59	-	-	-	-	-	82	-
$-E$	-	1,51	-	-	30,6	-	-	-	-	3,4
n	1	-	-	2	-	3	-	2	-	-
v	-	1,5	4	-	5,3	-	1,5	1,5	4,9	0
Найти	v	ϵ	E	v	λ	v	n	λ	E	v

1.7. В атоме водорода (водородоподобном ионе) электрон переходит из состояния с квантовым числом n в состояние с энергией E эВ. Определите длину волны и энергию испущенного фотона.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	He ⁺	H	Li ⁺⁺	H	He ⁺	Li ⁺⁺	H	Li ⁺⁺	He ⁺	H
n	3	4	8	3	5	7	6	6	7	5
$-E$	13,6	3,4	7,65	13,6	13,6	30,6	0,85	13,6	2,18	0,85

1.8. Найти длину волны и энергию кванта (в эВ) i -й линии k -й серии спектра водорода (водородоподобных ионов).

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	He ⁺	H	Li ⁺⁺	H	He ⁺	Li ⁺⁺	H	Li ⁺⁺	He ⁺	H
k	1	3	2	2	3	3	1	3	2	3
i	4	3	1	3	3	3	3	4	2	5

1.9. Атом водорода поглощает фотон с длиной волны λ нм и переходит из состояния с квантовым числом n_1 в состояние с квантовым числом n_2 . Найдите n_1 и n_2 . К какой серии спектра водорода относится данный фотон?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ	485	1280	102	97	1870	433	1002	93	396	121

1.10. В атоме водорода (водородоподобном ионе) электрон поглощает квант с длиной волны λ и переходит из состояния с квантовым числом n_1 и энергией E_1 в состояние с квантовым числом n_2 и энергией E_2 (энергии в эВ). Определите энергию и квантовое число второго состояния.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	H	He ⁺	Li ⁺⁺	He ⁺	Li ⁺⁺	He ⁺	H	Li ⁺⁺	He ⁺	H
n_1	-	2	-	-	4	3	2	5	-	-
$-E_1$	3,4	-	13,6	6,0	-	-	-	-	3,4	1,51
λ нм	655	121	142	273	240	238	409	516	540	952

Тема 2. Сложные атомы. Рентгеновские лучи

В теории атома водорода Бора рассматривались только круговые орбиты, и поэтому для описания состояния электрона оказалось достаточно одного квантового числа. В общем случае орбиты электрона являются эллиптическими, и для их задания требуются три квантовых числа.

Главное квантовое число n определяет среднее расстояние электрона от ядра, принимает целые значения от 1 до ∞ . В кулоновском поле энергия зависит только от n .

Орбитальное квантовое число l принимает целые значения от 0 до $n-1$, определяет величину момента импульса электрона L ,

$L = \frac{h}{2\pi} \sqrt{l(l+1)}$. L определяет форму электронного облака, при $l=0$ облако сферически симметрично, при $l=1$ облако имеет форму гантели.

Магнитное квантовое число m принимает целые значения от $-l$ до $+l$. Определяет проекцию вектора момента импульса на некоторую ось Z , $L_z = m \frac{h}{2\pi}$. Определяет ориентацию электронного облака в пространстве.

В атоме электрическое поле сферически симметрично, и энергия электрона зависит только от n и l . Энергетические уровни, отличающиеся только значениями m , имеют одинаковую энергию. Но если внести атом в магнитное поле, то энергия электрона будет зависеть от проекции магнитного момента на направление индукции магнитного поля, которая пропорциональна L_z , т.е. будет зависеть от m .

При изучении спектров сложных атомов оказалось, что этих трех квантовых чисел недостаточно, и было введено четвертое квантовое число. Электрон обладает внутренним моментом импульса – *спином*, т.е. он как бы вращается вокруг своей оси. Величина этого внутреннего момента импульса S постоянна:

$S = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2} + 1)}$, т.е. соответствует $l=1/2$. Поэтому говорят, что спин

электрона – $\frac{1}{2}$. Проекция внутреннего момента импульса электрона на произвольную ось определяется спиновым числом S , которое для электрона может принимать только два значения $\pm\frac{1}{2}$.

Спином обладают все частицы: спин протона и нейтрона – $\frac{1}{2}$, спин фотона – 1. Частицы с полуцелым спином называются *фермионами*, а частицы с целым спином – бозонами. Их свойства существенно различаются.

Для электронов (фермионов) справедлив *принцип Паули*: в одном состоянии может находиться не более одного электрона, т.е. в атоме не может быть двух электронов со всеми четырьмя одинаковыми квантовыми числами.

Принцип Паули определяет заполнение энергетических состояний в атоме: каждый следующий электрон занимает свободное состояние с наименьшей энергией.

Электронные оболочки определяются значениями квантовых чисел n и l . Энергия состояний увеличивается в первую очередь с ростом n , а затем l , но при больших l такой порядок уровней может нарушаться.

При описании структуры оболочек атома значение квантового числа l обозначают малой латинской буквой s, p, d, f и т.д., которым соответствуют значения 0, 1, 2 и т.д. Цифра, стоящая перед буквой, обозначает главное квантовое число n , а правый индекс у буквы – число электронов в данной оболочке. Например: $4d^5$ означает, что в атоме в оболочке с $n=4$ и $l=2$ имеется 5 электронов.

Оболочки с квантовым числом $n=0, 1, 2, 3, \dots$ обозначают большими латинскими буквами K, L, M, N и т.д.

Химические свойства элемента определяются в основном структурой внешней, валентной оболочки. По мере роста числа электронов в атоме внешняя оболочка заполняется и начинает заполняться следующая, при этом строение внешней оболочки периодически повторяется, как и химические свойства элемента. Например: элементы с одним s – электроном во внешней оболочке являются щелочными металлами, а элементы с полностью заполненной s и p – оболочкой являются инертными газами. Номер периода в таблице Менделеева определяется главным квантовым

числом внешней оболочки. Начиная с 4-го периода, последовательность заполнения орбиталей по n для некоторых элементов нарушается. Так ${}_{20}\text{Ca}$ имеет внешнюю оболочку $4s^2$, но в следующем элементе ${}_{21}\text{Sc}$ электрон занимает не состояние $4p$, а состояние $3d$, и это продолжается до полного заполнения оболочки $3d$. Эти элементы образуют побочные группы. Аналогичный порядок заполнения орбиталей и в следующих периодах. В 6-м периоде после начала заполнения орбиталей $5d$ в ${}_{57}\text{La}$ (внешняя оболочка $6s^2$) начинает заполняться оболочка $4f$, при этом химические свойства мало изменяются и их помещают в одну клетку таблицы Менделеева. Их называют лантаноиды. Аналогичный порядок заполнения орбиталей и в 7-м периоде для актиноидов, к которым относятся важные для атомной энергетики торий, уран и плутоний.

Рентгеновские лучи – это электромагнитные волны, излучаемые при процессах во внутренних электронных оболочках атомов. Они излучаются при бомбардировке атомов и молекул быстрыми электронами с энергией от 10 кВ до 1 МВ.

Для получения рентгеновских лучей используют рентгеновские трубки, которые представляют собой высоковольтный вакуумный диод. Спектр излучаемых трубкой рентгеновских лучей состоит из сплошного спектра, на который накладывается линейчатый спектр. Вид сплошного спектра зависит только от анодного напряжения, и он обрывается при некоторой минимальной длине волны λ_{\min} . Рентгеновское излучение со сплошным спектром называют *тормозным*, так как оно излучается при торможении быстрых электронов внутри атома, при этом электроны теряют энергию, последовательно излучая кванты рентгеновских лучей. Максимальная энергия излучаемых квантов равна кинетической энергии электронов, это и определяет коротковолновую границу сплошного спектра,

$$\frac{hc}{\lambda_{\min}} = \frac{mv^2}{2} = eU_A. \quad (1)$$

Линейчатый спектр называется *характеристическим*, так как положение линий спектра определяется материалом анода. В

сложных атомах все внутренние оболочки заполнены, и состояние атома устойчиво. Но если налетающий быстрый электрон выбивает один из внутренних электронов, то на освободившееся место может перейти электрон с более удаленной оболочки. При этом по третьему постулату Бора он излучает квант рентгеновского излучения. Энергия электронов внутренних оболочек зависит в основном от главного квантового числа и описывается формулой, аналогичной (6) из темы 1,

$$E_n = - (Z - b)^2 \frac{Rch}{n^2}. \quad (2)$$

Здесь $(Z-b)$ полный заряд, который действует на данный электрон, т.е. заряд ядра и электронов, находящихся ближе к ядру; b - постоянная экранирования, она зависит от оболочки.

Подставляя формулу (2) в 3-й постулат Бора, получим закон Мозли, описывающий рентгеновские спектры,

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - b)^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (3)$$

где постоянная экранирования взята одинаковой для конечной и начальной оболочки и зависит только от квантового числа конечной оболочки k .

Рентгеновские спектры по структуре очень похожи на спектр водорода, но длина волн в сотни раз меньше. Они также состоят из относительно близких групп линий – *спектральных серий*. К одной серии относятся все линии, излучаемые при переходах в одну конечную оболочку, т.е. им соответствует одно и то же k . Серии называются по имени конечной оболочки: K – серия, L – серия, M – серия и т.д.

Задачи по теме 2

2.1. Напишите электронную конфигурацию для указанного атома. Укажите значения квантовых чисел для заполненных электронных состояний.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	N	K	P	Cu	Al	Cl	Zn	O	Mg	Ar

2.2. Сколько различных состояний в указанной оболочке? Значениями каких квантовых чисел они отличаются?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оболочка	3d	2p	4f	5d	3s	4d	5f	4s	3p	5p

2.3. Определите длину волны k -й линии для соответствующей серии характеристического рентгеновского излучения указанного элемента. При каком минимальном напряжении на аноде рентгеновской трубки появится эта линия? Постоянная экранирования для K -серии равна 1, а для L -серии – 5,5.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Ge	W	Mo	Rb	Ba	In	Sr	Zn	Mn	Cu
k	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1
серия	K	L	K	L	K	L	L	K	K	L

2.4. Напряжение на аноде рентгеновской трубки - U , скорость электронов - v , коротковолновая граница сплошного спектра - λ_{\min} . Дана одна из этих величин, найдите остальные. Как изменятся остальные величины, если заданную величину увеличить в 2 раза?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U , кВ	-	100	-	-	200	-	-	70	-	-
v , Мм/с	-	-	7,5	-	-	9	-	-	12	-
λ_{\min} , Å	4,8	-	-	3	-	-	2,5	-	-	1,5

2.5. Напишите электронную конфигурацию для указанных атомов. Укажите значения квантовых чисел для заполненных электронных состояний. К каким группам таблицы Менделеева относятся эти атомы и почему?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом 1	Li	B	Sc	Cl	Br	Ar	V	Fe	Cu	Cl
Атом 2	Na	Si	Ga	F	Cr	K	As	Co	Zn	Ar

2.6. Длина волны i -й линии K -(L -) серии в рентгеновском спектре элемента равна λ . Определить, какой это элемент. Постоянная экранирования для K -серии равна 0,5, а для L -серии – 5,5.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda, \text{Å}$	4,07	1,2	4,91	0,69	0,45	4,59	9,32	1,26	3,64	0,40
i	2	1	1	2	3	2	1	2	2	3
серия	L	K	L	K	K	L	L	K	L	K

2.7. Напряжение на аноде рентгеновской трубки - U , скорость электронов - v , коротковолновая граница сплошного спектра - λ_{\min} . Дана одна из этих величин, найдите остальные. Как изменятся остальные величины, если заданную величину увеличить в 1,4 раза?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, \text{кВ}$	150	-	-	80	-	-	120	-	180	-
$v, \text{Мм/с}$	-	5,0	-	-	12	-	-	-	-	8,0
$\lambda_{\min}, \text{Å}$	-	-	4,0	-	-	3,0	-	2,2	-	-

2.8. Сколько различных состояний в указанной подоболочке? Значениями каких квантовых чисел они отличаются?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оболочка	$3p$	$2s$	$4d$	$5f$	$3p$	$5f$	$5d$	$4p$	$3s$	$5d$

2.9. В атоме электрон переходит из L, M, N слоя на K или L слой, и при этом испускается квант рентгеновского излучения. Найдите энергию и длину волны кванта. При каком минимальном напряжении на аноде рентгеновской трубки появляется эта линия спектра? Энергию кванта привести в МэВ, а длину волны – в Å . Постоянная экранирования для K -серии равна 1, а для L -серии – 5,5.

Физ. величины	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Ti	Mo	Zr	In	V	Mn	Ag	Sn	Te	Ni
1-й слой	L	N	M	M	N	M	M	N	L	M
2-й слой	K	L	K	L	K	L	K	L	K	L

2.10. Напишите электронную конфигурацию для указанных атомов. Укажите значения квантовых чисел для заполненных электронных состояний. К каким группам таблицы Менделеева относятся эти атомы и почему?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом 1	Be	C	Si	O	Ag	Mg	Cr	Ge	Rb	Kr
Атом 2	Ca	N	S	Se	Cs	Ga	Fe	Zr	Sr	Ni

Тема 3. Атомное ядро. Энергия связи ядра

Ядро атома состоит из нуклонов. Существуют две разновидности нуклонов: протон – положительно заряженный нуклон и нейтрон – нейтральный нуклон. Их масса почти одинакова: $m_p=1,00728$ а. е. м. $=1,673 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_n=1,00867$ а. е. м. $=1,675 \cdot 10^{-27}$ кг. Число протонов в ядре Z определяет заряд ядра и порядковый номер элемента в таблице Менделеева. Число нейтронов влияет только на массу ядра. Ядра с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов принадлежат изотопам одного элемента. Ядра различных изотопов обычно обозначают ${}_Z X^A$, где X – символ химического элемента, Z – число протонов, A – полное число нуклонов в ядре, называемое *массовым числом*.

В ядре – три вида взаимодействия: сильное, электромагнитное и слабое. Сильное взаимодействие приводит к появлению ядерных сил притяжения между нуклонами, которые обеспечивают стабильность ядра. Ядерные силы короткодействующие, нуклоны сильно взаимодействуют только на расстояниях порядка их диаметра. Ядерные силы не зависят от заряда нуклонов. Из-за их короткодействия наиболее сильно взаимодействуют четыре

нуклона, два протона и два нейтрона. Это проявляется в особой стабильности ядра ${}^4_2\text{He}$. Энергия сильного взаимодействия нуклонов в ядре растет приблизительно пропорционально числу нуклонов в ядре, так как каждый нуклон взаимодействует только с ближайшими соседями.

Электромагнитное взаимодействие в 100 раз слабее сильного и проявляется в силах кулоновского отталкивания между протонами, уменьшая стабильность ядер. Его энергия растет пропорционально числу протонов, так как каждый протон взаимодействует со всеми остальными. Поэтому влияние кулоновских сил растет к концу таблицы Менделеева. Это влияние частично компенсируется увеличением доли нейтронов в ядре, но, тем не менее, приводит к нестабильности элементов после ${}_{84}\text{Po}$. Трансурановые элементы в природе не встречаются и получены искусственным путем.

Слабое взаимодействие в 10^{10} раз слабее сильного, и его вкладом в энергию ядра можно пренебречь, но оно ответственно за β – распад ядер. За счет него нейтрон может превращаться в протон и наоборот: ${}_0n^1 = {}_1p^1 + {}_{-1}e^0 + {}_0\nu^0$, ${}_1p^1 = {}_0n^1 + {}_1e^0 + {}_0\nu^0$. Здесь верхний индекс 0 означает, что частица не является нуклоном. Нижний индекс указывает заряд частицы. Знак $\bar{}$ означает, что это античастица. Каждая частица имеет античастицу с той же массой, но все ее заряды имеют противоположный знак. Так антиэлектрон ${}_{-1}e^0$ (позитрон) имеет положительный заряд и лептонное число -1. ${}_0\nu^0$ – нейтрино, особая частица, участвующая только в слабом взаимодействии. Ее масса покоя очень мала. Электрон и нейтрино относятся к классу лептонов, и число лептонов при любых процессах сохраняется.

Энергия связи ядра – это минимальная энергия, которую надо затратить, для того чтобы разделить ядро на отдельные нуклоны. При образовании ядра выделяется энергия связи.

По соотношению Эйнштейна между массой и энергией $E=mc^2$ любое изменение энергии приводит к изменению массы системы. Поэтому масса ядра всегда меньше суммы масс нуклонов, из которых оно состоит. Дефект массы ядра – это разность между суммой масс нуклонов в ядре и массой ядра:

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{ядра}} = Z m_H + (A - Z) m_n - m_{\text{ат}}.$$

Во второй части формулы к массе протона добавлен электрон и к массе ядра добавлены Z масс электронов. Это удобно, так как в большинстве таблиц приведена масса чистых изотопов нейтральных атомов.

Таким образом, $E_{св} = c^2 \Delta m$.

Энергию связи ядер принято выражать в МэВ а масса атомов приводится в а. е. м. Если перевести а. е. м. в кг, а Дж в МэВ, то получим, что 1 а. е. м. соответствует 931 МэВ.

Энергия связи определяет стабильность ядер с одинаковым числом нуклонов. Для сравнения стабильности ядер с разным числом нуклонов используется удельная энергия связи – энергия связи, приходящаяся на один нуклон, $\varepsilon = \frac{E_{св}}{A}$. В таблице Менделеева удельная энергия связи возрастает к середине таблицы, достигая максимума в районе железа, и затем падает к концу таблицы. Для большинства элементов $\varepsilon = 6 - 8$ МэВ.

Задание по теме 3

Найдите энергию связи и удельную энергию связи ядра указанного изотопа. Данные берутся из таблицы. Первая цифра варианта указывает номер строки, вторая цифра – номер столбца. Масса нейтральных атомов изотопов приведена в приложении.

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	Li ⁵	B ¹⁰	F ¹⁷	Al ²⁶	C ¹²	N ¹³	Na ²¹	Si ³²	O ¹⁶	Ne ¹⁹
1	F ¹⁸	Si ²⁸	H ²	O ¹⁴	P ³¹	Ar ³⁸	S ³²	N ¹⁵	K ³⁹	Ca ⁴⁰
2	Cl ³⁵	Be ⁶	K ⁴¹	Sc ⁴⁵	Si ²⁹	Ne ²²	Mg ²⁸	Ca ⁴⁴	Li ⁶	Al ²⁷
3	Ne ²¹	Cr ⁴⁸	Cl ³⁶	B ¹¹	Mg ²⁵	Ti ⁴⁴	Mn ⁵⁴	Be ⁸	S ³⁴	V ⁴⁹
4	Ti ⁴⁷	Mg ²⁴	Ca ⁴¹	Ar ³⁷	H ³	S ³³	Fe ⁵⁴	Ti ⁴⁹	Cr ⁵²	Na ²²
5	Na ²⁴	Cu ⁶³	O ¹⁷	K ⁴⁰	Cr ⁵⁰	Co ⁵⁹	He ³	P ³²	F ²⁰	Ar ³⁹
6	Mn ⁵²	Ne ²⁰	Ge ⁷⁰	Li ⁷	Fe ⁵⁵	Br ⁷⁹	V ⁵⁰	Ar ⁴⁰	V ⁵²	Mg ²⁶
7	Co ⁶⁰	He ⁴	Rb ⁸⁵	Ca ⁴³	F ¹⁹	Cu ⁶⁵	K ⁴³	C ¹³	Fe ⁵⁷	Sc ⁴⁷
8	O ¹⁸	V ⁵¹	P ³³	Ti ⁴⁸	As ⁷⁵	Be ⁷	Sc ⁴⁶	Na ²³	Ca ⁴²	Si ³⁰
9	Al ²⁸	Ar ⁴²	C ¹⁴	S ³⁵	Cl ³⁷	Fe ⁵⁶	N ¹⁴	Ti ⁴⁶	He ⁵	Ti ⁵⁰

Тема 4. Закон радиоактивного распада

В конце XIX века Беккерелем было открыто явление радиоактивного распада: самопроизвольное испускание атомами некоторых элементов α -, β - и γ - частиц. Было установлено, что α -частицы - это ионы He, β - частицы - это быстрые электроны, а γ лучи - это коротковолновое электромагнитное излучение, похожее на рентгеновские лучи. Все эти частицы излучаются при процессах внутри ядра атома, и при α - и β - распаде ядро превращается в ядро другого элемента, а при γ - распаде ядро переходит из одного энергетического состояния в другое.

Процесс радиоактивного распада является чисто случайным, и вероятность распада ядра не зависит от времени, которое данное ядро существует. Поэтому закон радиоактивного распада для малых интервалов времени имеет простой вид:

$$dN = -\lambda N dt, \quad (1)$$

N – число радиоактивных ядер, dN – число распавшихся за время dt ядер, т.е. изменение N . Равенство (1) можно применять, если $dN \ll N$. λ - постоянная распада, зависящая от ядра.

Для больших интервалов времени

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (2)$$

Здесь N_0 – начальное число ядер радиоактивного элемента, N – число ядер, не распавшихся к моменту времени t . T – период полураспада, т.е. время, за которое распадается половина ядер радиоактивного элемента, $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$.

Количество радиоактивных ядер пропорционально массе m препарата $N = \frac{m}{\mu} N_A$; μ – молярная масса, N_A – число Авогадро.

Активность радиоактивного препарата – это число распадов за единицу времени, $A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{\ln 2}{T} N$. Активность препарата уменьшается со временем по тому же закону, что и N . В СИ единица активности - Беккерель, 1 Бк=1 расп./с. Чаще активность измеряют в Кюри, 1 Ки=3,7·10¹⁰ Бк.

Удельная активность – это активность единицы массы препарата.

Периоды полураспада некоторых изотопов

Изотоп	T	Изотоп	T	Изотоп	T
Na ²⁴	15 ч.	Au ¹⁹⁸	2,7 сут.	Sb ¹²⁴	60 сут.
Si ³¹	2,6 сут.	Po ²¹⁰	138 сут.	Ra ²²⁶	1600 лет
P ³²	14,3 сут.	Rn ²²²	3,8 сут.	Co ⁶⁰	5,2 г.
Co ⁵⁶	77 сут.	S ³⁵	87 сут.	Sr ⁹⁰	29 лет
J ¹²⁴	4,5 сут.	Ca ⁴⁵	164 сут.	H ³	12 лет
J ¹³¹	8,0 сут.	Sr ⁸⁹	51 сут.	C ¹⁴	5700 лет

Задачи по теме 4

4.1. Количество радиоактивных ядер - N_0 . За время t распадается в среднем ΔN ядер. Период полураспада - T .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	5000	7000	2000	-	8000	3000	9000	-	800	600
ΔN	3000	-	500	7000	5000	-	3000	600	200	-
T , сут.	-	7	15	50	-	40	400	7	-	12
t , сут.	5	21	-	120	30	60	-	2	10	18
Найти	T	ΔN	t	N_0	T	ΔN	t	N_0	T	ΔN

4.2. Найти активность радиоактивного препарата массой - m . Какой станет его активность через 10 суток после приготовления?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Na ²⁴	Si ³¹	Co ⁵⁶	J ¹²⁴	J ¹³¹	Rn ²²²	P ³²	Po ²¹⁰	Au ¹⁹⁸	Sr ⁸⁹
m , мкг	2	0,1	5	0,5	0,8	1,5	0,5	21	2	1

4.3. Какая часть радиоактивного препарата распадется за время t ?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t/T	5	2	3	0,5	4	6	10	0,25	1,5	8

4.4. Найдите массу распавшихся атомов радиоактивного препарата за время t после его приготовления.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Si ³¹	J ¹²⁴	Co ⁵⁶	Rn ²²²	J ¹³¹	P ³²	Ag ¹¹²	Au ¹⁹⁸	Na ²⁴	Po ²¹⁰
m , мкг	0,1	0,5	5	1,5	0,8	0,5	0,2	2	2	21
t , сут.	0,2	9	200	10	24	50	0,5	7	1	100

4.5. Активность препарата в начальный момент времени равна a_1 , а через время t равна a_2 . Период полураспада - T . Активность дана в мКи.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_1	2	-	5	10	3	-	8	6	12	10
a_2	0,5	2	-	1,25	1	5	-	2	2	-
T , сут.	8	4	18	-	60	30	2	-	8	4
t , сут.	-	8	54	32	-	15	10	20	-	10
Найти	t	a_1	a_2	T	t	a_1	a_2	T	t	a_2

4.6. Количество радиоактивных ядер - N_0 . За время t распадается в среднем ΔN ядер. Период полураспада - T .

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	8000	5000	-	5000	3000	9000	-	1800	6000	7000
ΔN	-	500	7000	50	-	3000	600	2000	-	6000
T , лет.	60	5	30	-	12	45	55	-	12	30
t , лет.	5	-	120	0,3	60	-	110	10	18	-
Найти	ΔN	t	N_0	T	ΔN	t	N_0	T	ΔN	t

4.7. Найти активность радиоактивного препарата массой m . Какой станет его активность через 200 лет после приготовления?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Ra ²²⁶	Co ⁶⁰	C ¹⁴	Sr ⁹⁰	H ³	Po ²¹⁰	Ca ⁴⁵	Sr ⁸⁹	Co ⁵⁶	S ³⁵
m , Г	2	0,1	5	0,5	0,8	0,25	0,05	0,01	0,02	0,003

4.8. Какая часть радиоактивного препарата распадется за время t ?

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	Co ⁵⁶	Rn ²²²	Si ³¹	J ¹²⁴	P ³²	Ag ¹¹²	Au ¹⁹⁸	Po ²¹⁰	Sb ¹²⁴	Sr ⁸⁹
<i>t</i> , сут.	100	8	0,5	12	50	0,3	5	300	250	170

4.9. Сколько атомов данного препарата распадётся за время *t* ?

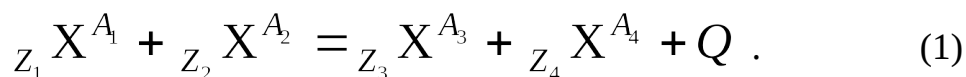
Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	S ³⁵	H ³	Po ²¹⁰	Ca ⁴⁵	Sr ⁸⁹	Co ⁵⁶	Co ⁶⁰	C ¹⁴	Sr ⁹⁰	Ra ²²⁶
<i>m</i> , мкг	0,2	0,2	0,5	0,07	0,03	0,04	0,2	3	0,25	2
<i>t</i> , с	5	14	20	25	15	30	6	7	12	3

4.10. Найдите массу распавшихся атомов радиоактивного препарата за время *t* после его приготовления.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	P ³²	Ag ¹¹²	Au ¹⁹⁸	Na ²⁴	Po ²¹⁰	Si ³¹	J ¹²⁴	Co ⁵⁶	Rn ²²²	J ¹³¹
<i>m</i> , мкг	0,5	0,2	2	0,2	15	0,2	0,3	4	0,5	0,6
<i>t</i> , сут.	20	0,3	10	1	200	0,4	6	140	9	30

Тема 5. Ядерные реакции

Ядерная реакция – это процесс превращения одних ядер в другие при их столкновении друг с другом или с какими-либо частицами. Радиоактивный распад нестабильных ядер также является разновидностью ядерных реакций. Рассмотрим случай столкновения двух ядер, в результате которого получаются два новых ядра. Вместо некоторых ядер могут быть частицы: нейтрон, электрон, γ -квант и др.



Нижние индексы обозначают заряды частиц, верхние – число нуклонов в ядре: если частица не содержит нуклонов и не является сама нуклоном, то $A=0$. X – символ элемента или частицы. В левой части обозначены сталкивающиеся частицы, в правой – продукты реакции. Q – энергия, выделившаяся при реакции.

При ядерных реакциях выполняются законы сохранения импульса, полной энергии, электрического заряда и числа нуклонов. Последние два закона позволяют определить тип одной из частиц, если известны остальные. Запишем эти законы.

Закон сохранения заряда

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \quad . \quad (2)$$

Закон сохранения числа нуклонов

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \quad . \quad (3)$$

Закон сохранения числа нуклонов – это проявление универсального закона сохранения числа барионов, т.е. тяжелых частиц с полуцелым спином, участвующих в сильном взаимодействии. Самые легкие барионы – нуклоны, более тяжелые – гипероны - при ядерных реакциях не появляются, для их рождения требуется энергия более 1 млрд эВ. Всегда сохраняется также число лептонов, легких частиц с полуцелым спином, не участвующих в сильном взаимодействии. К ним относятся электроны и нейтрино.

Рассмотрим теперь превращение энергии при ядерных реакциях. Полная энергия всегда сохраняется, но кинетическая энергия в общем случае не сохраняется, так как изменяется энергия связи ядер. Запишем закон сохранения энергии, выделив энергию покоя и кинетическую энергию:

$$c^2m_1 + c^2m_2 + E_{кин,1} = c^2m_3 + c^2m_4 + E_{кин,2} \quad . \quad (4)$$

Здесь m_i - масса покоя ядер (частиц), $E_{кин,1}$ – суммарная кинетическая энергия сталкивающихся частиц, $E_{кин,2}$ – суммарная кинетическая энергия продуктов реакции.

Энергия, выделившаяся при реакции Q – это разность кинетических энергий продуктов реакции и сталкивающихся частиц:

$$Q = E_{кин,2} - E_{кин,1} = c^2\Delta m \quad ,$$

где $\Delta m = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4)$ – дефект массы при ядерной реакции.

Если масса - в а. е. м., а энергия - в МэВ, то $Q = 931 \cdot \Delta m$.

При рождении электронов или позитронов всегда рождаются нейтрино или антинейтрино. Массой покоя нейтрино можно пренебречь и считать, что вся их энергия входит в кинетическую энергию. В задачах нейтрино не будет указываться.

В приложении даны массы нейтральных атомов изотопов. Если в реакции не участвуют электроны и позитроны, то суммарные

заряды ядер (только ядер) сохраняются и при расчете дефекта массы можно использовать массы нейтральных атомов. При рождении электронов или позитронов также целесообразно использовать массы нейтральных атомов, но при этом число электронов в атомах в левой и правой частях уравнения не совпадает и надо учитывать массы "лишних" электронов. Так при рождении электрона нейтральные атомы в правой части будут содержать один лишний электрон, и в этом случае массу родившегося электрона при расчете дефекта массы учитывать не надо. При рождении позитрона в нейтральных атомах в правой части уравнения будет не хватать одного электрона, следовательно, при расчете дефекта массы массу позитрона надо учитывать в двойном размере.

В задачах по данной теме следует написать уравнение реакции и, используя законы сохранения (2) и (3), определить неуказанную частицу.

Задачи по теме 5

5.1. Радиоактивный элемент испытывает серию из k_1 α – распадов и k_2 β – распадов. Определить, изотоп какого элемента образуется в результате и какая при этом выделяется энергия.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	U ²³⁹	Pa ²³³	Li ⁸	Th ²³²	U ²³⁸	U ²³⁵	U ²³⁸	Th ²³²	U ²³⁸	Th ²³²
k_1	1	2	1	2	2	3	4	6	3	3
k_2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1

5.2. Ядро-1 некоторого элемента бомбардируется частицами-1 (нейтронами, протонами, дейтронами, α – частицами). В результате образуется ядро-2 и некоторая частица-2. Определите недостающую частицу (ядро) и энергию, выделившуюся при реакции.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ядро-1	Li ⁷	N ¹⁴	Rn ²²²	Li ⁷	-	O ¹⁶	Ni ⁶⁰	Be ⁹	N ¹⁴	H ²
частица-1	-	He ⁴	нет	H ¹	H ²	H ²	-	He ⁴	₀ n ¹	-
ядро-2	He ⁴	O ¹⁷	-	-	He ⁴	-	Zn ⁶³	-	-	He ³
частица-2	He ⁴	-	He ⁴	₀ n ¹	₀ n ¹	He ⁴	₀ n ¹	₀ n ¹	H ¹	₀ n ¹

5.3. При делении ядра под действием нейтрона образуются осколки и 2 – 3 нейтрона. Определите второй осколок, если известен первый осколок и число нейтронов k . Найдите энергию, выделившуюся при делении.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ядро	U ²³⁵	Pu ²³⁹	U ²³⁸	U ²³⁵	Pu ²³⁹	U ²³⁸	U ²³⁵	Pu ²³⁹	U ²³³	U ²³⁵
осколок-1	Kr ⁸⁹	Rb ⁹⁰	Se ⁷⁹	Rb ⁹⁰	Zr ⁹³	Sn ¹²⁶	Sr ⁹⁰	Xe ¹³⁵	Ag ¹¹⁴	Ba ¹⁴⁴
k	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2

5.4. Определите недостающую частицу X при ядерной реакции. Найдите энергию, выделившуюся при реакции.

Варианты условия:

- 0) $U^{235} + n = Te^{135} + X + n$; 1) $Au^{197} + X = Au^{198} + \gamma$; 2) $H^2 + X = He^4 + \gamma$;
 3) $Li^7 + H^1 = X + \gamma$; 4) $S^{32} + n = X + H^1$; 5) $B^{10} + n = X + He^4$;
 6) $N^{15} + H^1 = X + He^4$; 7) $Al^{27} + He^4 = Si^{30} + X$; 8) $Al^{27} + He^4 = X + n$;
 9) $Li^6 + H^1 = He^3 + X$;

5.5. Радиоактивный элемент испытывает серию из k_1 α – распадов и k_2 β – распадов. Определить, изотоп какого элемента образуется в результате и какая при этом выделяется энергия.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атом	U ²³⁸	Th ²³²	U ²³⁵	Pa ²³³	U ²³⁸	U ²³⁸	Th ²³²	U ²³⁹	Pa ²³³	Th ²³²
k_1	3	2	2	2	1	4	4	2	3	3
k_2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	3

5.6. Ядро-1 некоторого элемента бомбардируется частицами-1 (нейтронами, протонами, дейтронами, α – частицами). В результате

образуется ядро-2 и частица-2. Определите недостающую частицу (ядро) и энергию, выделившуюся при реакции.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ядро-1	U^{238}	H^2	H^3	Li^6	U^{235}	S^{32}	He^3	Be^9	S^{32}	He^3
частица-1	n	H^2	-	He^3	n	He^4	He^3	H^2	H^2	H^3
ядро-2	-	He^3	He^4	He^4	-	-	-	-	-	-
частица-2	2β	-	$2n$	-	β	H^2	$2H^1$	n	He^4	H^2

5.7. При делении ядра под действием нейтрона образуются осколки и 2 – 3 нейтрона. Определите второй осколок, если известен первый осколок и число нейтронов k, и выделившуюся энергию.

Физ. велич.	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ядро	U^{235}	Pu^{239}	U^{238}	U^{235}	Pu^{239}	U^{235}	U^{233}	U^{238}	U^{233}	U^{235}
осколок-1	Kr^{87}	Rb^{89}	Sr^{90}	Zr^{97}	Zr^{91}	Nb^{97}	Sr^{90}	Xe^{135}	Ba^{142}	Ba^{142}
k	3	3	2	2	3	4	3	3	2	3

5.8. Определите недостающую частицу X и энергию, выделившуюся при ядерной реакции.

Варианты условия:

- 0) $U^{233} + n = Xe^{135} + X + 2n$; 1) $Na^{23} + X = Mg^{23} + n$; 2) $H^2 + X = He^4 + N^{14}$;
 3) $F^{19} + H^1 = X + He^4$; 4) $Si^{28} + H^2 = X + n$; 5) $B^{10} + H^1 = X + n$;
 6) $V^{51} + H^1 = n + X$; 7) $Ti^{48} + He^4 = X + H^1$; 8) $Cl^{35} + He^4 = X + H^1$;
 9) ${}_{26}Fe^{56} + He^4 = X + n$;

5.9. Радиоактивное ядро испытывает серию превращений, испуская α -, β -, β^+ - частицы. Определите, какое ядро образуется при этом, и найдите выделившуюся энергию.

Варианты условия:

- 0) $Ra^{226} = X + 2\alpha + 2\beta$; 1) $Pb^{210} = X + \alpha + 2\beta$; 2) $Si^{27} = X + \beta^+$; 3) $Te^{135} = X + 4\beta$;
 4) $H^3 = X + \beta$; 5) $Th^{232} = X + 2\alpha + 2\beta$; 6) $Bi^{212} = X + \alpha + \beta$; 7) $U^{235} = X + 3\alpha + 2\beta$;
 8) $C^{14} = X + \beta$; 9) $O^{14} = X + \beta^+$.

5.10. Определите недостающую частицу X энергию, выделившуюся при ядерной реакции.

Варианты условия:

- 0) $Mg^{23} = Ne^{22} + X + \beta^+$; 1) $Al^{28} + He^4 = P^{31} + X$; 2) $Li^7 + X = 2 \cdot He^4$
 3) $Be^9 + \gamma = X + n$; 4) $P^{31} + n = X + \gamma + \beta$; 5) $U^{238} = Np^{237} + 2n + X$;
 6) $Th^{232} = X + 2\beta$; 7) $Na^{23} + H^2 = X + He^4$; 8) $Cu^{63} + X = Zn^{63} + n$;
 9) $Pu^{239} + n = Xe^{135} + X + 2n$.

Приложение. Массы нейтральных атомов изотопов и некоторых частиц

$m_e = 5,486 \cdot 10^{-4}$ а. е. м.; $m_p = 1,00728$ а. е. м.; $m_n = 1,00867$ а. е. м.

В таблице приведены массы нейтральных атомов изотопов в а. е. м. Изотопы расположены по возрастанию порядковых номеров элементов.

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
H ¹	1,00783	Ne ¹⁹	19,00189	Cl ³⁵	34,96886	V ⁵²	51,94480
H ²	2,01410	Ne ²⁰	19,99244	Cl ³⁶	35,96831	Cr ⁴⁸	47,95693
H ³	3,01605	Ne ²¹	20,99385	Cl ³⁷	36,96590	Cr ⁵⁰	49,94605
He ³	3,01603	Ne ²²	21,99764	Ar ³⁷	36,96677	Cr ⁵²	51,94051
He ⁴	4,00260	Na ²²	21,99444	Ar ³⁸	37,96273	Mn ⁵²	51,94556
Li ⁵	5,01254	Na ²³	22,99448	Ar ³⁹	38,96371	Mn ⁵⁴	53,94036
Li ⁶	6,01513	Na ²⁴	23,99360	Ar ⁴⁰	39,96401	Fe ⁵⁴	53,93962
Li ⁷	7,01601	Mg ²³	22,99414	Ar ⁴²	41,96242	Fe ⁵⁵	54,93830
Li ⁸	8,02249	Mg ²⁴	23,98505	K ³⁹	38,96371	Fe ⁵⁶	55,93493
Be ⁶	6,01978	Mg ²⁵	24,98584	K ⁴⁰	39,96401	Fe ⁵⁷	56,93539
Be ⁷	7,01693	Mg ²⁶	25,98259	K ⁴¹	40,96451	Co ⁵⁹	58,93319
Be ⁸	8,00531	Mg ²⁸	27,98388	K ⁴³	42,96073	Co ⁶⁰	59,93381
Be ⁹	9,01219	Al ²⁶	25,99041	Ca ⁴⁰	39,96259	Ni ⁵⁹	58,93434
B ¹⁰	10,01294	Al ²⁷	26,98154	Ca ⁴¹	40,96228	Ni ⁶⁰	59,93078
B ¹¹	11,00931	Al ²⁸	27,98191	Ca ⁴²	41,95863	Cu ⁶³	62,92960
C ¹²	12,0000	Si ²⁷	26,98670	Ca ⁴³	42,95878	Cu ⁶⁵	64,92976
C ¹³	13,00335	Si ²⁸	27,97693	Ca ⁴⁴	43,95549	Zn ⁶³	62,93321
C ¹⁴	14,00324	Si ²⁹	28,97649	Sc ⁴⁵	44,95592	Ge ⁷⁰	69,92438
N ¹³	13,00574	Si ³⁰	29,97376	Sc ⁴⁶	45,95517	As ⁷⁵	74,92158
N ¹⁴	14,00324	Si ³²	31,97402	Sc ⁴⁷	46,95240	Se ⁷⁹	78,91852
N ¹⁵	15,00011	P ²⁹	28,98182	Ti ⁴⁴	43,95957	Br ⁷⁹	78,91835

O ¹⁴	14,00860	P ³¹	30,97376	Ti ⁴⁶	45,95263	Kr ⁸⁷	86,91337
O ¹⁶	15,99492	P ³²	31,97391	Ti ⁴⁷	46,95176	Kr ⁸⁹	88,91763
O ¹⁷	16,99913	P ³³	32,97173	Ti ⁴⁸	47,94795	Kr ⁹⁰	89,91952
O ¹⁸	18,00095	S ³²	31,97207	Ti ⁴⁹	48,94787	Kr ⁹¹	90,92345
F ¹⁷	17,00210	S ³³	32,97146	Ti ⁵⁰	49,94479	Rb ⁸⁹	88,91122
F ¹⁸	18,00095	S ³⁴	33,96787	V ⁴⁹	48,94852	Rb ⁹⁰	89,91492
F ¹⁹	19,99841	S ³⁵	34,96903	V ⁵⁰	49,94717	Sr ⁹⁰	89,90733
F ²⁰	19,99999	Cl ³⁴	33,97745	V ⁵¹	50,94398	Sr ¹⁰¹	100,94052

Окончание таблицы

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
Zr ⁹³	92,90608	Xe ¹⁴⁷	146,95352	Po ²¹⁶	216,00192	Ac ²³¹	231,03860
Zr ⁹⁷	96,91095	Cs ¹⁴³	142,92735	At ²²⁰	220,01541	Th ²³⁰	230,03308
Zr ¹⁰³	102,92660	Ba ¹⁴²	141,91645	At ²²²	222,02233	Th ²³²	232,03861
Nb ⁹⁷	96,907821	Ba ¹⁴⁴	143,92295	Rn ²¹⁸	218,00559	Pa ²³¹	231,03594
Mo ¹¹⁰	109,92968	Ba ¹⁴⁶	144,92763	Rn ²²²	222,01753	Pa ²³³	233,04011
Rh ¹¹⁷	116,92603	La ¹⁴⁷	146,92823	Fr ²²⁰	220,01233	U ²³³	233,03950
Ag ¹¹⁴	113,90850	La ¹⁴⁸	147,93223	Fr ²²¹	221,01418	U ²³⁴	234,04090
Sn ¹²⁶	125,90765	Ce ¹⁵⁷	156,95631	Fr ²²⁴	224,02325	U ²³⁵	235,04393
Sb ¹³⁵	134,92516	Au ¹⁹⁷	196,96655	Ra ²²¹	221,01392	U ²³⁸	238,05076
Te ¹³⁵	134,91812	Au ¹⁹⁸	197,96824	Ra ²²³	223,01857	U ²³⁹	239,05432
Te ¹³⁷	136,92532	Hg ²⁰⁸	207,98594	Ra ²²⁴	224,02022	Np ²³⁶	236,04663
Xe ¹³⁵	134,90704	Pb ²⁰⁶	205,97832	Ra ²²⁵	225,02352	Np ²³⁷	237,04817
Xe ¹⁴¹	140,92665	Pb ²⁰⁸	207,97664	Ra ²²⁶	226,02536	Pu ²³⁹	239,05216
Xe ¹⁴³	142,93512	Pb ²¹⁰	209,96418	Ac ²²⁵	225,02314		
Xe ¹⁴⁵	144,93849	Bi ²¹²	211,99127	Ac ²²⁷	227,02781		

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т.5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. СПб.: Лань, 2008. –368 с.

2. Зисман Г.А., Годес О.М. Курс общей физики. В 3 т. Т.3. Физика атомов и молекул, физика атомного ядра и микрочастиц: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2007. –512 с.

3. Кабанов, В.О., Ашкалунин А.Л., Максимов В.М. Физика. Физика ядра: учебно-методическое пособие к лабораторной работе № 3-91. СПб: СПбГТУРП, 2014. –21с.

Содержание

Предисловие.....	3
Тема 1. Атом водорода.....	3
Тема 2. Сложные атомы. Рентгеновские лучи.....	9
Тема 3. Атомное ядро. Энергия связи ядра.....	15
Тема 4. Закон радиоактивного распада.....	18
Тема 5. Ядерные реакции.....	21
Приложение. Массы нейтральных атомов изотопов и некоторых частиц.....	26
Библиографический список.....	28

Екатерина Александровна Яшкевич

Александр Леонидович Ашкалуниин

Андрей Викторович Федоров

Физика

Ч. VI. Физика атома и ядра

Индивидуальные задания для расчетной работы студентов

Методические указания

Редактор и техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2020 г., поз. 144

Подп. к печати 19.11.20. Электронное издание.

Объем 2,0 печ. л.; 2,0 уч. изд. л.

Изд. № 144.

Высшая школа технологий и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4