


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

 Титова Л. В.  
16.06.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.О.19 Ядерная физика**

**1. Код и наименование специальности:**

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**2. Специализация:**

Проектирование и эксплуатация атомных станций

**3. Квалификация выпускника:** инженер – физик

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

д.ф.м.н., профессор, Кадменский Станислав Георгиевич, к.ф.м.н., доцент, Титова Лариса  
Витальевна

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 14.06.2023 г.

**8. Учебный год:** 2025/2026

**Семестр(ы):** 4

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- изложить основы, базовые понятия и методики, применяемые в ядерной физике, которые потребуются для дальнейшего освоения специальности.

*Задачи учебной дисциплины:*

- освоить законы и теоремы, знания основных методов решения практических и модельных задач по ядерной физике;

- приобретение умений практически применять соответствующий математический аппарат к решению задач ядерной физики;

- овладение системой понятий и основных положений ядерной физики; знаниями, необходимыми для решения различных задач ядерной физики.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Ядерная физика относится к обязательной части Блока 1.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ОПК-1.5	Оценивает численные значения величин, характерных для различных разделов естествознания	Знать: строение атомного ядра; виды и закономерности радиоактивного распада; эффективные сечения и способы их измерений; закономерности прохождения излучения через вещество; механизмы протекания ядерных реакций и их типы; физические основы использования свойств ядер и ядерных излучений в науке и технике; основные закономерности деления и синтеза ядер
		ОПК-1.8	Владеет методами аналитического и численного решения алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений математической физики	
ОПК-2	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач в сфере ядерной энергетики и технологий	ОПК-2.1	Знает основные научные направления развития науки и техники в области ядерной физики, энергетики и технологий	Уметь: использовать полученные знания в практической деятельности; проводить оценочные и инженерные расчеты результатов ядерных превращений; работать с ядерно-физической аппаратурой.  Владеть: навыками работы с технической литературой, научно-техническими отчетами, справочниками и другими информационными источниками.
		ОПК-2.2	Знает методы выбора и создания критериев оценки исследований в области ядерной физики, распространения и взаимодействия излучения с веществом	

ПК-8	Способен выполнять индивидуальный дозиметрический контроль облучения персонала организации атомной отрасли, обрабатывать результаты радиационного контроля организации атомной отрасли	ПК-8.3	Знает теорию радиоактивного излучения и радиоактивного распада, взаимодействия излучения с веществом, спектров ионизирующих излучений
		ПК-8.5	Интерпретирует различные спектры радиоактивных излучений, анализирует радиационную обстановку

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 6/216.**

**Форма промежуточной аттестации – экзамен, зачет**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		4 семестр
Аудиторные занятия	136	136
в том числе:	лекции	34
	практические	34
	лабораторные	68
Самостоятельная работа	44	44
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации	36	Экзамен (36 ч)
Итого:	216	216

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Развитие представлений о строении атома.	Модель атома Дж. Томсона. Опыты Э. Резерфорда по рассеянию $\alpha$ -частиц. Формула Резерфорда. Планетарная (ядерная) модель атома. Противоречия ядерной модели. Закономерности спектра атома водорода. Формула Бальмера. Спектральные термы. Спектральные серии атома водорода.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.2	Теория Н. Бора	Теория Н. Бора для атома водорода и водородоподобных ионов. Постулаты Бора. Формулы для радиусов стационарных орбит и скорости электронов. Квантованные значения энергии электрона для атома водорода и водородоподобных ионов. Опыты Франка и Герца. Затруднения теории Бора. Гипотеза Д' Бройля. Формула Д' Бройля. Опыты по дифракции электронов, нейтронов и т.п.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.3	Волновая функция	Уравнение Шрёдингера. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Статистический смысл волновой функции. Соотношения	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>

		неопределенностей Гейзенберга. Квантово механическое описание движения частиц. Принцип причинности. Границы применимости классической механики.	
1.4	Решение уравнения Шрёдингера	Решение уравнения Шрёдингера для электрона в потенциальном ящике. Квантованные значения энергии электрона в потенциальном ящике, главное квантовое число. Принцип соответствия Бора. Потенциальный барьер. Понятие о туннельном эффекте. Квантовая теория атома водорода. Решение уравнения Шрёдингера для атома водорода в основном состоянии. Квантованные значения орбитального механического момента электрона, орбитальное квантовое число.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.5	Пространственное квантование, магнитное квантовое число.	Опыты Штерна и Герлаха, магнетон Бора. Спин электрона, спиновое квантовое число, магнитное спиновое квантовое число. Принцип Паули. Число электронов в атоме. Элементарная теория периодической системы элементов Менделеева. Рентгеновские лучи. Сплошной и характеристический рентгеновские спектры. Рентгеновские спектральные серии. Закон Мозли. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Рентгеновская дефектоскопия. Понятие о рентгеновском спектральном анализе.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.6	Развитие представлений о строении атомного ядра.	Капельная и оболочечная модели ядра. Пространственно-временные масштабы атомных ядер. Основные характеристики атомных ядер: масса, заряд, спин, магнитный момент, четность. Физические основы масс-спектрометрии. Определение масс атомных ядер массспектрографом Астона и Масс-спектрометром Демпстера. Изотопы и изобары.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.7	Сверхтонкая структура спектральных линий атомов.	Механический и магнитный моменты ядер. Ядерный магнетон. Магнитнорезонансные методы определения магнитных моментов. Аномальные значения магнитных моментов протона и нейтрона. Массы протона и нейтрона. Нуклоны. Протонно-нейтронная структура атомных ядер по Иваненко и Гейзенбергу. N-2 диаграмма атомных ядер. Стабильные и радиоактивные ядра. Размеры ядер. Плотность ядерного вещества. Энергия связи ядер. Формула Вайцзеккера. Периодичность характеристик атомных ядер. Магические числа нейтронов и протонов в атомных ядрах. Зависимость удельной энергии связи от массового числа. Способы выделения энергии ядер.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.8	Понятие о ядерных силах и их основные свойства	Понятие о ядерных силах и их основные свойства: короткодействие, зарядовая независимость, зависимость от ориентации спинов и орбитальных моментов нуклонов, свойство насыщения, нецентральный и обменный характер. Взаимопревращаемость нуклонов. Нейтрино. Мезоны. Обменное взаимодействие нуклонов в ядре. Основные схемы обмена виртуальными мезонами между нуклонами в ядре. Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Постоянная распада, период полураспада, время жизни радиоактивного вещества.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.9	Правила смещения для альфа- и бета-распада.	Альфа-распад. Энергетическое условие и энергия $\alpha$ -распада. Энергетический спектр $\alpha$ -излучения. Квантовая модель $\alpha$ -распада, прохождение $\alpha$ -частицы через потенциальный барьер. Связь	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>

		периода полураспада и энергии $\alpha$ -частицы. Закон Гейгера- Неттола. бета- распад. Схемы и энергетические условия бета-распада. Нейтрино. Энергия $\rho$ -распада. Энегетический спектр. Энергетический спектр компонентов $e^-$ - захвата.	
1.10	Время жизни возбужденных состояний атомных ядер.	Способы возбуждения ядер. Гамма-излучение. Энергетический спектр $\gamma$ - лучей. Примеры $uvf\gamma$ -излучения $\alpha$ - и ( $\beta$ -радиоактивных ядер. Механизм взаимодействия $\gamma$ -излучения с веществом: фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние, рождение электрон - позитронных пар. Закон ослабления интенсивности $\gamma$ -излучения. Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Понятие о гамма-дефектоскопии. Эффект Мёссбауэра.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.11	Ядерные реакции	Реакции с образованием, $\beta$ промежуточного (компаунд) ядра. Прямые ядерные реакции. Эффективное сечение ядерной реакции. Реакции на протонах и нейтронах. Деление атомных ядер, цепная реакция деления, коэффициент размножения нейтронов. Примеры ядерных реакций деления. Тепловой выход реакции деления. Физические принципы работы ядерных энергетических установок и устройств. Реакция синтеза легких ядер. Тепловой выход реакции. Физические принципы функционирования термоядерных энергетических установок и устройств.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
1.12	Основы физики элементарных частиц.	Частицы и античастицы. Характеристики и свойства лептонов. Основные пути распада нестабильных лептонов. Кварки, их физические характеристики, Адроны, Кварковая модель адронов. Характеристики и свойства Мезонов, кварковая структура и основные пути распада мезонов. Свойства и характеристики Барионов. Кварковый состав и основные пути распада барионов. Заключение. Некоторые современные научные данные об истории развития Вселенной и возможных механизмах рождения ядер различных химических элементов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Развитие представлений о строении атома.	Модель атома Дж. Томсона. Опыты Э. Резерфорда по рассеянию $\alpha$ -частиц. Формула Резерфорда. Планетарная (ядерная) модель атома. Противоречия ядерной модели. Закономерности спектра атома водорода. Формула Бальмера. Спектральные термы. Спектральные серии атома водорода.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.2	Теория Н. Бора	Теория Н. Бора для атома водорода и водородоподобных ионов. Постулаты Бора. Формулы для радиусов стационарных орбит и скорости электронов. Квантованные значения энергии электрона для атома водорода и водородоподобных ионов. Опыты Франка и Герца. Затруднения теории Бора. Гипотеза Д' Бройля. Формула Д' Бройля. Опыты по дифракции электронов, нейтронов и т.п.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.3	Волновая функция	Уравнение Шрёдингера. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Статистический смысл волновой функции. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Квантово механическое описание движения частиц. Принцип причинности. Границы применимости классической механики.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>

2.4	Решение уравнения Шрёдингера	Решение уравнения Шрёдингера для электрона в потенциальном ящике. Квантованные значения энергии электрона в потенциальном ящике, главное квантовое число. Принцип соответствия Бора. Потенциальный барьер. Понятие о туннельном эффекте. Квантовая теория атома водорода. Решение уравнения Шрёдингера для атома водорода в основном состоянии. Квантованные значения орбитального механического момента электрона, орбитальное квантовое число.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.5	Пространственное квантование, магнитное квантовое число.	Опыты Штерна и Герлаха, магнетон Бора. Спин электрона, спиновое квантовое число, магнитное спиновое квантовое число. Принцип Паули. Число электронов в атоме. Элементарная теория периодической системы элементов Менделеева. Рентгеновские лучи. Сплошной и характеристический рентгеновские спектры. Рентгеновские спектральные серии. Закон Мозли. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Рентгеновская дефектоскопия. Понятие о рентгеновском спектральном анализе.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.6	Развитие представлений о строении атомного ядра.	Капельная и оболочечная модели ядра. Пространственно-временные масштабы атомных ядер. Основные характеристики атомных ядер: масса, заряд, спин, магнитный момент, четность. Физические основы масс-спектрометрии. Определение масс атомных ядер массспектрографом Астона и Масс-спектрометром Демпстера. Изотопы и изобары.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.7	Сверхтонкая структура спектральных линий атомов.	Механический и магнитный моменты ядер. Ядерный магнетон. Магнитнорезонансные методы определения магнитных моментов. Аномальные значения магнитных моментов протона и нейтрона. Массы протона и нейтрона. Нуклоны. Протонно-нейтронная структура атомных ядер по Иваненко и Гейзенбергу. N-2 диаграмма атомных ядер. Стабильные и радиоактивные ядра. Размеры ядер. Плотность ядерного вещества. Энергия связи ядер. Формула Вайцзеккера. Периодичность характеристик атомных ядер. Магические числа нейтронов и протонов в атомных ядрах. Зависимость удельной энергии связи от массового числа. Способы выделения энергии ядер.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.8	Понятие о ядерных силах и их основные свойства	Понятие о ядерных силах и их основные свойства: короткодействие, зарядовая независимость, зависимость от ориентации спинов и орбитальных моментов нуклонов, свойство насыщения, нецентральный и обменный характер. Взаимопревращаемость нуклонов. Нейтрино. Мезоны. Обменное взаимодействие нуклонов в ядре. Основные схемы обмена виртуальными мезонами между нуклонами в ядре. Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Постоянная распада, период полураспада, время жизни радиоактивного вещества.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.9	Правила смещения для альфа-и бета-распада.	Альфа-распад. Энергетическое условие и энергия $\alpha$ -распада. Энергетический спектр $\alpha$ -излучения. Квантовая модель $\alpha$ -распада, прохождение $\alpha$ -частицы через потенциальный барьер. Связь периода полураспада и энергии $\alpha$ -частицы. Закон Гейгера-Неттола. бета-распад. Схемы и энергетические условия бета-распада. Нейтрино. Энергия $\beta$ -распада. Энергетический спектр.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>

		Энергетический спектр компонентов $e^-$ - захвата.	
2.10	Время жизни возбужденных состояний атомных ядер.	Способы возбуждения ядер. Гамма-излучение. Энергетический спектр $\gamma$ - лучей. Примеры излучения $\alpha$ - и $\beta$ -радиоактивных ядер. Механизм взаимодействия $\gamma$ -излучения с веществом: фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние, рождение электрон - позитронных пар. Закон ослабления интенсивности $\gamma$ -излучения. Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Понятие о гамма-дефектоскопии. Эффект Мёссбауэра.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.11	Ядерные реакции	Реакции с образованием, $b$ промежуточного (компаунд) ядра. Прямые ядерные реакции. Эффективное сечение ядерной реакции. Реакции на протонах и нейтронах. Деление атомных ядер, цепная реакция деления, коэффициент размножения нейтронов. Примеры ядерных реакций деления. Тепловой выход реакции деления. Физические принципы работы ядерных энергетических установок и устройств. Реакция синтеза легких ядер. Тепловой выход реакции. Физические принципы функционирования термоядерных энергетических установок и устройств.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
2.12	Основы физики элементарных частиц.	Частицы и античастицы. Характеристики и свойства лептонов. Основные пути распада нестабильных лептонов. Кварки, их физические характеристики, Адроны, Кварковая модель адронов. Характеристики и свойства Мезонов, кварковая структура и основные пути распада мезонов. Свойства и характеристики Барионов. Кварковый состав и основные пути распада барионов. Заключение. Некоторые современные научные данные об истории развития Вселенной и возможных механизмах рождения ядер различных химических элементов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1	Время жизни возбужденных состояний атомных ядер	Детектирование ядерных излучений 1. Газонаполненные детекторы; 2. Сцинтилляционные детекторы; 3. Полупроводниковые детекторы 4. Другие типы детекторов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
3.2	Правила смещения для альфа-и бета-распада.	Радиоактивный распад 1. Распределение вероятностей случайных величин, наблюдаемых в ядерно-физических экспериментах, и оценка их параметров; 2. Определение периодов полураспада искусственных радиоактивных нуклидов; 3. Определение периодов полураспада смеси двух изотопов. 4. Ядерная изомерия. Определение периодов полураспада изомеров родия;	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
3.3	Правила смещения для альфа-и бета-распада.	1. Определение бета-активности тонких препаратов известного радионуклида с помощью торцевого счетчика (абсолютным и относительным методом); 2. Измерение бета-активности толстого препарата известного радионуклида с помощью торцевого счетчика; 3. Определение максимальной энергии бета спектра; 4. Измерение спектра электронов бета-распад	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>
3.4	Правила смещения для альфа-и бета-распада.	1. Измерение энергетического спектра альфа-частиц от источника; 2. Определение энергии альфа-частиц по их	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>

		пробегу в воздухе;	
3.5	Время жизни возбужденных состояний атомных ядер.	1. Определение энергии гамма-излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра; 2. Определение энергии гамма-излучения методом поглощения.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4169</a>

### 13.2. Темы (разделы)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Развитие представлений о строении атома.	2	2		2	6
2.	Теория Н. Бора	2	2		2	6
3.	Волновая функция	2	2		4	8
4.	Решение уравнения Шрёдингера	4	4		4	12
5.	Пространственное квантование, магнитное квантовое число.	2	2		4	8
6.	Развитие представлений о строении атомного ядра.	2	2		4	14
7.	Сверхтонкая структура спектральных линий атомов.	2	2		4	8
8.	Понятие о ядерных силах и их основные свойства	2	2		4	18
9.	Правила смещения для альфа-и бета-распада.	4	4	34	4	46
10.	Время жизни возбужденных состояний атомных ядер.	4	4	34	4	46
11.	Ядерные реакции	4	4		4	12
12.	Основы физики элементарных частиц.	4	4		4	12
	Итого:	34	34	68	44	216

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь продемонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.



## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц/ И.М.Капитонов. – Издательство "Физматлит", ISBN: 978-5-9221-1250-5, 2010.– 512 с. // Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система. – URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2189">https://e.lanbook.com/book/2189</a>
2.	Ишханов Б. С. Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" для студ. вузов, обуч. по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атом. ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007 .— 581 с.
3.	Гончарова, Н. Г. Частицы и атомные ядра. Задачи с решениями и комментариями: учебно-методическое пособие / Н. Г. Гончарова, Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 448 с. — ISBN 978-5-9221-1459-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/59636">https://e.lanbook.com/book/59636</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник: в 3 томах / К. Н. Мухин. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022 — Том 2: Физика ядерных реакций — 2022. — 326 с. — ISBN 978-5-8114-0740-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/210311">https://e.lanbook.com/book/210311</a>
5.	Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 3-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020 — Том 5: Атомная и ядерная физика — 2020. — 784 с. — ISBN 978-5-9221-0645-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/185730">https://e.lanbook.com/book/185730</a>
6.	Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: для вузов. В 10 т. Т. IV: учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 4-е, изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 720 с. — ISBN 978-5-9221-0058-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/59268">https://e.lanbook.com/book/59268</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
7.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
8.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ
9.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Сивухин, Д. В. Сборник задач: учебное пособие / Д. В. Сивухин, И. А. Яковлев. — 5-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 5: Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц — 2006. — 184 с. — ISBN 5-9221-0606-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2318">https://e.lanbook.com/book/2318</a>

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;

– разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам.

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - [www.lib.vsu.ru](http://www.lib.vsu.ru) - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской

Специализированная мебель, ноутбук, проектор, экран для проектора

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

Лаборатория им. Л.Н. Сухотина

Установка для регистрации альфа-излучения различных источников (измерений скорости счета альфа-частиц в воздухе лаборатории при нормальных условиях), установка для регистрации космического излучения, установка для измерения бета-излучения.

Компьютерный класс, помещение для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Развитие представлений о строении атома.	ОПК-1 ОПК-2 ПК-8	ОПК-1.5 ОПК-1.8 ОПК-2.1 ОПК-2.2 ПК-8.3 ПК-8.5	Вопросы п. 21 ФОС, контрольные работы, собеседование по вопросам к экзамену
2.	Теория Н. Бора			
3.	Волновая функция			
4.	Решение уравнения Шрёдингера			
5.	Пространственное квантование, магнитное квантовое число.			
6.	Развитие представлений о строении атомного ядра.			
7.	Сверхтонкая структура спектральных линий атомов.			
8.	Понятие о ядерных силах и их основные свойства			
9.	Правила смещения для альфа-и бета-распада.			
10.	Время жизни возбужденных			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	состояний атомных ядер.			
11.	Ядерные реакции			
12.	Основы физики элементарных частиц.			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен, зачет				Перечень вопросов к экзамену Пункт 20.2

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

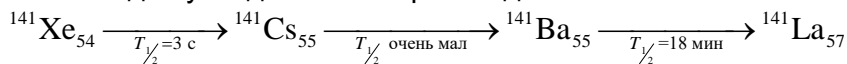
Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: контрольные работы и вопросы ФОС п. 21. Ответы на вопросы теста п. 21 ФОС оцениваются в 1 балл, тест проводится в конце семестра и считается успешно выполненным при получении не менее 25 баллов из 30. Контрольная работа зачтена в случае, если решены 4 задачи из 5.

### Контрольная работа 1

#### Вариант 1.

1. Вычислить энергию связи, приходящуюся на 1 нуклон, в ядре  ${}^4\text{He}$ .
2. Вычислить минимальную энергию, необходимую для разделения  ${}^{12}\text{C}$  на три  $\alpha$ -частицы. Удельные энергии связи  $\epsilon_{\text{св}}(\text{C})=7,68$  МэВ,  $\epsilon_{\text{св}}(\alpha)=7,06$  МэВ.
3. Определить постоянную распада радиоактивного изотопа  ${}^{55}\text{Co}$ , если известно, что число атомов этого изотопа уменьшается в час на 3,8 %. Продукт распада не радиоактивен.

4. Распаде нуклида  ${}^{141}\text{Xe}_{54}$  происходит по схеме:



Найти количество ядер бария, которые образуются за 1 час в 1 г ксенона, если в начальный момент времени препарат содержит только ксенон.

5.  $\beta^-$ -Распад ядра  ${}^{27}\text{Mg}$  происходит на возбужденные состояния дочернего ядра  ${}^{27}\text{Al}$  с энергиями 1,013 и 0,842 МэВ. Найти максимальные энергии вылетающих при распаде электронов.
6. Найти энергию отдачи ядра свинца  ${}^{206}\text{Pb}$ , полученного при  $\alpha$ -распаде  ${}^{210}\text{Po}$ , находящегося в основном состоянии.

#### Вариант 2.

1. Вычислить энергию связи, приходящуюся на 1 нуклон, в ядре  ${}^9\text{Be}$ .
2. Найти энергию, необходимую для разделения ядра  ${}^{16}\text{O}$  на 4 альфа-частицы, если известно, что энергия связи ядер  ${}^{16}\text{O}$  и  ${}^4\text{He}$  равны 127,62 и 28,3 МэВ соответственно.
3. Активность радиоактивного препарата за 24 часа уменьшилась в 8 раз. Найти период полураспада  $T$  препарата. Определить, какая часть радиоактивных ядер этого препарата распадётся за время, равное четвертой части периода полураспада?

4. Радионуклид  ${}^{138}\text{Xe}_{54}$ , образующийся с постоянной скоростью  $q=10^{10}$  ядро/с, испытывает

превращение по схеме:  ${}^{138}\text{Xe}_{54} \xrightarrow{T_{1/2}=17 \text{ мин}} {}^{138}\text{Cs}_{55} \xrightarrow{T_{1/2}=32 \text{ мин}} {}^{138}\text{Ba}_{55}$ . Вычислить активность

${}^{138}\text{Cs}_{55}$  через 60 мин после начала распада  ${}^{138}\text{Xe}_{54}$ .

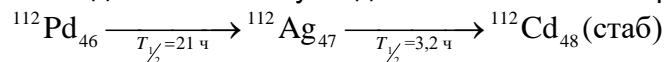
5. Определить энергию отдачи ядра  ${}^7\text{Li}$ , образующегося при К-захвате в ядре  ${}^7\text{Be}$ . Даны энергии связи ядер  $E_{\text{св}}(\text{Be})=37,6$  МэВ,  $E_{\text{св}}(\text{Li})=39,3$  МэВ.
6. Распад ядер  ${}^{226}\text{Th}$  происходит из основного состояния и сопровождается испусканием  $\alpha$ -частиц с энергиями 6,33; 6,23; 6,10; 6,03 МэВ. Рассчитать и построить схему уровней дочернего ядра.

#### Вариант 3.

1. Вычислить энергию связи, приходящуюся на 1 нуклон, в ядре  ${}^{197}\text{Au}$ .

- Вычислить энергию, необходимую для разделения ядра  ${}^9\text{Be}$  на 2  $\alpha$ -частицы и нейтрон. Энергии связи, приходящиеся на 1 нуклон, в ядрах  ${}^9\text{Be}$  и  ${}^4\text{He}$  равны 6,45 МэВ и 7,06 МэВ, соответственно.
- Во сколько раз число распадов ядер радиоактивного йода  ${}^{131}\text{I}$  в течение первых суток больше числа распадов в течение вторых суток? Период полураспада изотопа  ${}^{131}\text{I}$  равен 193 часам.

4. Радиоактивный нуклид  ${}^{112}\text{Pd}_{46}$  испытывает распад по схеме:



Найти отношение активности серебра через 2 часа к первоначальной активности препарата, если в начальный момент препарат содержал только нуклид Pd.

5. а) Может ли ядро  ${}^{114}\text{In}$  испытывать  $\beta^+$ -распад? Избытки масс  $\Delta({}^{114}\text{Cd})=-90,021$  МэВ,  $\Delta({}^{114}\text{In})=-88,379$  МэВ;  $\Delta({}^{114}\text{Sn})=-90,558$  МэВ.

б) Может ли возникнуть ядро  ${}^{36}\text{Cl}_{17}$  путем позитронного распада  ${}^{36}\text{Ar}_{18}$ ?

6. Распад ядра  ${}^{210}\text{Po}$  происходит из основного состояния и сопровождается испусканием двух групп  $\alpha$ -частиц: основной - с энергией 5,3 МэВ, и слабой с энергией 4,5 МэВ. Найти энергию  $\alpha$ -распада этих ядер и энергию  $\gamma$ -квантов, испускаемых дочерними ядрами.

Вариант 4.

- Вычислить энергию связи, приходящуюся на 1 нуклон, в ядре  ${}^{27}\text{Al}$ .
- Определить энергию, выделяющуюся при образовании двух  $\alpha$ -частиц в результате синтеза ядер  ${}^2\text{H}$  и  ${}^6\text{Li}$ , если известно, что энергии связи на один нуклон в ядрах  ${}^2\text{H}$ ,  ${}^4\text{He}$  и  ${}^6\text{Li}$  равны 1,11; 7,08; 5,33 МэВ соответственно.
- Вычислить активность 1 г изотопа  ${}^{226}\text{Ra}$  и время, через которое активность упадет на 10 %, если известно, что период полураспада радия составляет 1620 лет.
- Радионуклид  ${}^{27}\text{Mg}$  образуется с постоянной скоростью  $q=5 \cdot 10^5$  ядро/с и испытывает  $\beta^-$ -распад. Определить активность препарата через 30 мин, если период полураспада  ${}^{27}\text{Mg}$  равен 8,5 мин.
- Рассчитать энергию электронов, вылетающих при распаде основного состояния ядра  ${}^{34}\text{P}_{15}$  на основное и возбужденные состояния ядра  ${}^{34}\text{S}_{16}$  с энергиями 2,13 и 4,07 МэВ. Избыток массы  ${}^{34}\text{P} = (-0,026638)$  а.е.м.
- Альфа-радиоактивный изотоп плутония  ${}^{239}\text{Pu}_{94}$  распадается по схеме  ${}^{239}\text{Pu}_{94} \rightarrow {}^{235}\text{U}_{92}^* + \alpha$ , дочернее ядро  ${}^{235}\text{U}_{92}^*$  переходит в основное состояние путем испускания  $\gamma$ -кванта с энергией 0,09 МэВ. Найти скорость  $\alpha$ -частиц, вылетающих при распаде плутония.

## Контрольная работа 2

Вариант 1

Задачи из Сборника задач «Атомная и ядерная физика», Иродов И.Е. (12.10; 12.18; 12.37)

- Сравнить удельные ионизационные потери энергии альфа-частиц с энергией 5,3 МэВ при прохождении через алюминий и свинец, плотности которых равны 2,7 и 11,3 г/см<sup>3</sup> соответственно.
- Поток электронов с энергией 100 МэВ падает на железную пластинку толщиной 1 см. Посчитать энергию электронов после прохождения пластинки, если радиационная длина электрона в железе равна 13,8 г/см<sup>2</sup>. Плотность железа 7,9 г/см<sup>3</sup>.
- Монохроматическое гамма-излучение с энергией 0,411 МэВ исследуется с помощью медного фильтра толщиной 2 см. Рассчитать линейный коэффициент ослабления, если известно, что фильтр уменьшает интенсивность первоначального потока в 5 раз. Плотность меди 8,9 г/см<sup>3</sup>.

Вариант 2

Задачи из Сборника задач «Атомная и ядерная физика», Иродов И.Е. (12.11; 12.19; 12.39)

- Сравнить удельные ионизационные потери энергии альфа-частиц с энергией 4,7 МэВ и дейтронов той же энергии при прохождении через алюминий, плотность которого равна 2,7 г/см<sup>3</sup>.
- Во сколько раз удельные радиационные потери энергии для электронов в висмуте больше, чем в железе?

3. Поток монохроматического гамма-излучения с энергией 1 МэВ проходит через алюминиевый рассеиватель толщиной  $12 \text{ г/см}^2$ . Найти толщину (в  $\text{г/см}^2$ ) пластинки из свинца, дающей такое ослабление пучка гамма-квантов.

Вариант 3

Задачи из Сборника задач «Атомная и ядерная физика», Иродов И.Е. (12.14; 12.22; 12.49)

1. Сравнить удельные ионизационные потери энергии альфа-частиц с энергией 5,3 МэВ и протонов той же энергии при прохождении через алюминий, плотность которого равна  $2,7 \text{ г/см}^3$ .
2. Во сколько раз удельные потери энергии для электронов с кинетической энергией много большей энергии покоя на тормозное излучение в висмуте больше, чем в железе? (Плотность висмута  $9,8 \text{ г/см}^3$ , алюминия –  $2,7 \text{ г/см}^3$ ).
3. Вычислить толщину слоя половинного ослабления пучка рентгеновского излучения с энергией 200 кэВ для воздуха.

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по вопросам к экзамену.

### Перечень вопросов к экзамену:

1. Основные характеристики атомных ядер
2. Масса ядра. Массовое число. Методы определения массы атомов.
3. Основные характеристики протона и нейтрона.
4. Изотопы, изобары, изогоны. Нуклид.
5. Свойства ядерных сил.
6. Дефект масс. Энергия связи атомного ядра. Единицы измерения энергии. Удельная энергия связи, зависимость от массового числа и атомного номера.
7. Спин ядра. Магнитный момент ядра. Ядерный магнетон. Зависимость магнитного момента и спина от основных состояний ядер.
8. Радиоактивный распад ядер. Виды радиоактивного распада. Стохастический характер распада. Постоянная распада, Время жизни ядер, период полураспада, ветви распада. Активность.
9. Альфа-распад. Энергетическое условие распада. Эмпирические закономерности альфа-распада. Соотношение период полураспада с энергией распада.
10. Одночастичная модель распада. Объяснение соотношения Гейгера-Неттола.
11. Какие числа нуклонов называются магическими и в чем проявляется их магичность.
13. Основные характеристики энергетических уровней ядра.
14. Форма бета-спектра. Максимальная энергия бета-спектров; как она связана с энергией бета-распада. Энергия бета-распада.
15. Основные характеристики гамма-кванта. Энергетический спектр гамма-излучения ядер. Мультипольность гамма-переходов. Правила отбора при гамма-переходах.
16. Спонтанное деление атомных ядер. Энергия распада. Распределение масс продуктов осколков. Зависимость энергии распада от удельной энергии связи и массового числа.
17. Капельная модель спонтанного деления ядер. Параметр деления. Энергия активации. Туннельный механизм деления.
18. Ядерные реакции. Эндотермические и экзотермические реакции. Каналы реакции. Прямые реакции. Механизм составного ядра. Сечение реакции.
19. Цепная ядерная реакция. Коэффициент размножения нейтронов. Зависимость от времени интенсивности потока нейтронов. Ядерный реактор.
20. Какие числа нуклонов называются магическими и в чем проявляется их магичность.
21. Основные характеристики энергетических уровней ядра.
22. Форма бета-спектра. Максимальная энергия бета-спектров как она связана с энергией бета-распада. Энергия бета-распада.
23. Основные характеристики гамма-кванта. Энергетический спектр гамма-излучения ядер. Мультипольность гамма-переходов. Правила отбора при гамма-переходах.

24. Спонтанное деление атомных ядер. Энергия распада. Распределение масс продуктов осколков. Зависимость энергии распада от удельной энергии связи и массового числа.

25. Капельная модель спонтанного деления ядер. Параметр деления. Энергия активации. Туннельный механизм деления.

26. Ядерные реакции. Эндотермические и экзотермические реакции. Каналы реакции. Прямые реакции. Механизм составного ядра. Сечение реакции.

27. Цепная ядерная реакция. Коэффициент размножения нейтронов. Зависимость от времени интенсивности потока нейтронов. Ядерный реактор.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

#### Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся дает верный ответ на вопросы КИМ, имеет зачет по контрольным работам 1,2, а также выполнил тест в ходе текущей аттестации	Отлично
Обучающийся дает частично верный ответ на вопросы КИМ, имеет зачет по контрольным работам 1,2, а также выполнил тест в ходе текущей аттестации или Обучающийся дает верный ответ на вопросы КИМ, имеет зачет по контрольным работам 1,2, но не выполнил тест в ходе текущей аттестации	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неполное знание ответа на вопросы КИМ, имеет зачет по контрольным работам 1,2, не выполнил тест в ходе текущей аттестации	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует незнание ответа на вопросы КИМ и/или не имеет зачета по контрольным работам 1,2 и/или не выполнил тест в ходе текущей аттестации	Неудовлетворительно

## Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
ядерной физики  
\_\_\_\_\_ Титова Л. В.

Направление подготовки:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Дисциплина: Б1.О.19 Ядерная физика

Вид контроля: Экзамен.

### Контрольно-измерительный материал №1

1. Дефект масс. Энергия связи атомного ядра. Единицы измерения энергии. Удельная энергия связи, зависимость от массового числа и атомного номера.
2. Спонтанное деление атомных ядер. Энергия распада. Распределение масс продуктов осколков. Зависимость энергии распада от удельной энергии связи и массового числа.
3. Одночастичная модель распада. Объяснение соотношения Гейгера-Неттола.

Преподаватель \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_  
подпись расшифровка подписи

### 21. Фонд оценочных средств

#### Тест

1. Из каких частиц состоит атомное ядро:
  - 1) **Нейтронов и протонов**
  - 2) Электронов и протонов
  - 3) Протонов и антипротонов
  - 4) Позитронов и нейтронов
2. Какое основное свойство ядерных сил?
  - 1) Дальнодействующие
  - 2) Зависят от заряда взаимодействующих частиц
  - 3) **Короткодействующие**
  - 4) Действуют только между протонами
3. В каких единицах измеряется заряд атомного ядра?
  - 1) **Кл**
  - 2) А
  - 3) В
  - 4) Эрг
4. Укажите закон радиоактивного распада ядер.
  - 1)  $N = N_0 e^{-\lambda t}$
  - 2)  $I = I_0 e^{-\mu x}$

$$3) T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$4) a = \frac{dN}{dt}$$

5. Сколько нейтральных частиц в ядре  ${}^7_3\text{Li}$

- 1) 4      2) 10      3) 3      4) 7

6. Ядро  ${}^A_Z\text{X}$  претерпело радиоактивное превращение с испусканием позитрона. Каковы характеристики дочернего ядра Y.

- 1)  ${}^A_{Z-1}\text{Y}$       2)  ${}^{A-1}_{Z-1}\text{Y}$       3)  ${}^{A-2}_Z\text{Y}$       4)  ${}^{A-1}_{Z+1}\text{Y}$

7. Укажите зарядовое Z и массовое A числа частицы X, образовавшейся в ядерной реакции  ${}^{44}_{20}\text{Ca} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\text{K} + \text{X}$

- 1) **Z = 2, A = 4**      3) Z = 4, A = 2  
2) Z = 0, A = 4      4) Z = 1, A = 2

8. Активностью радиоактивного препарата называется...

- 1) **число распадов, происходящих в препарате за единицу времени**  
2) суммарная энергия частиц, излучаемых препаратом за единицу времени  
3) время, за которое распадается половина первоначального количества ядер  
4) среднее время жизни радиоактивного ядра

9. Ниже перечислены некоторые свойства известных в природе сил:

- 1 - Силы уменьшаются с расстоянием, дальнедействующие  
2 - Обладают свойством насыщения  
3 - Уменьшаются с расстоянием, короткодействующие  
4 - Центральные силы

Какие из указанных свойств присущи ядерным силам.

- 1) **2 и 3**      2) 1 и 2      3) 3 и 4      4) 1 и 4

10. Энергия связи нуклонов в ядре равна

**1) работе, которую нужно совершить, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны**

- 2) энергии связи, приходящейся на один нуклон  
3) количеству энергии, выделяющейся в ядерной реакции.  
5) разности между массой данного изотопа и его массовым числом, т.е. числом нуклонов в ядре  
6) сумме масс всех частиц, составляющих ядро

11. Какой заряд Z и массовое число A будет иметь атомное ядро, получившееся из изотопа полония  ${}^{214}_{84}\text{Po}$ , после  $\alpha$ -распада.

- 1) **Z=82, A=210**      2) Z=84, A=210      3) Z=80, A=214  
4) Z=80, A=210

12. Что называется цепной реакцией?

- 1) **Реакция, в которой частицы, вызывающие ее образуются как продукты этой**



## реакции

- 2) Реакция синтеза ядер
- 3) Реакция объединения атомов в молекулы.
- 4) Термоядерная реакция, в которой получаются изотопы ядер данного вещества
- 5) Реакция ионизации атомов.

13. С помощью счетчика Гейгера можно определить ... .

- 1) количество частиц
- 2) массу частиц
- 3) энергию частиц
- 4) скорость частиц

14. Укажите, какие из ядер имеют наибольшее отношение числа нейтронов к числу протонов.

- 1)  ${}^7_3\text{Li}$
- 2)  ${}^1_1\text{H}$
- 3)  ${}^9_4\text{Be}$
- 4)  ${}^{14}_7\text{N}$

15. Каков период полураспада радиоактивного элемента, если его активность уменьшилась в 4 раза за 8 дней?

- 1) 4 дня
- 2) 2 дня
- 3) 1 день
- 4) 6 дней

16. Определить постоянную распада изотопа радия, если период полураспада равен 0,001с  
 $\lambda$  – постоянная распада  ${}_{88}\text{Ra}^{219}$

- 1)  $693\text{c}^{-1}$
- 2)  $0.001\text{c}^{-1}$
- 3)  $1000\text{c}^{-1}$
- 4)  $10\text{c}^{-1}$

17. Укажите второй продукт ядерной реакции  ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + ?$

- 1)  $n$
- 2)  $p$
- 3)  $e$
- 4)  $\gamma$
- 5)  $\alpha$

18. Закончить термоядерную реакцию  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + X$

- 1)  $n$
- 2)  $2e$
- 3)  $2n$
- 4)  $p$

19. Как изменится полная энергия системы из двух свободных протонов и двух нейтронов при соединении их в атомное ядро гелия?

- 1) Уменьшится
- 2) Увеличится
- 3) Не изменится
- 4) Может уменьшиться или остаться неизменной

20. Какая часть атомов радиоактивного препарата распадается за время, равное двум периодам полураспада?

- 1) 0,75
- 2) 0,35
- 3) 0,5
- 4) 1,04

21. Определить активность радиоактивного препарата, если за 10 секунд в нем распалось  $10^6$  ядер радиоактивного изотопа. Считать активность постоянной в течение данного промежутка времени.

- 1)  $10^5 \text{ Бк}$
- 2) 1 Бк
- 3)  $10^{-5} \text{ Бк}$
- 4)  $10^6 \text{ Бк}$

22. Чему равен заряд ядра элемента фтора?  ${}^{19}_9\text{F}$  заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$

- 1) 9 e
- 2) 10 e
- 3) 19 e
- 4) 28 e

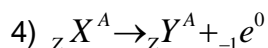
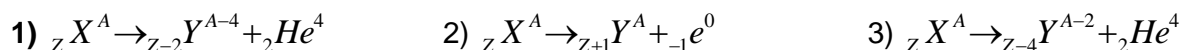
23. Правило смещения при радиоактивном альфа-распаде имеет вид...

${}_Z X^A$  – материнское ядро

$Y$  – символ дочернего ядра

${}_2 He^4$  – ядро гелия

${}_{-1} e^0$  – символ электрона



24. Ядро состоит из 90 протонов и 144 нейтронов. После испускания двух бета-частиц и одной альфа-частицы, это ядро будет иметь ... .

- 1) 90 протонов и 140 нейтронов      2) 85 протонов и 140 нейтронов  
3) 87 протонов и 140 нейтронов      4) 90 протонов и 142 нейтронов

25. В результате ряда радиоактивных превращений ядро урана превратилось в ядро свинца. Укажите число альфа- и бета-распадов, в результате которых это произошло.  ${}_{92} U^{235} \rightarrow {}_{82} Pb^{207}$

- 1)  $7\alpha$  – и  $4\beta$  – распадов      3)  $4\alpha$  – и  $7\beta$  – распадов  
2)  $7\alpha$  – и  $3\beta$  – распадов      4)  $8\alpha$  – и  $3\beta$  – распадов

26. При поглощении ядром марганца одного протона образовалось другое ядро и нейтрон. Какое это ядро?  ${}_{25} Mn^{55}$

- 1)  ${}_{26} Fe^{55}$       2)  ${}_{25} Mn^{56}$       3)  ${}_{24} Cr^{34}$       4)  ${}_{25} Mn^{54}$

27. Какое взаимодействие носит универсальный характер:

- 1) ядерное  
2) электромагнитное  
3) **гравитационное**  
4) слабое

28. Реальность превращения вещества в электромагнитное поле:

- 1) подтверждается на опыте аннигиляции электрона и протона  
2) подтверждается на опыте аннигиляции протона и нейтрона  
3) **подтверждается на опыте аннигиляции электрона и позитрона**  
4) все варианты верны

29. Частица и античастица имеют:

- 1) разный по модулю заряд  
2) **одинаковый по модулю заряд**  
3) одинаковое время жизни в вакууме  
4) разные массы покоя

30. Какие элементарные частицы называют стабильными:

- 1) частицы, которые не могут существовать в свободном состоянии неограниченное время
- 2) частицы, которые могут существовать в свободном состоянии ограниченное время
- 3) **частицы, которые могут существовать в свободном состоянии неограниченное время**
- 4) частицы, которые имеют большие времена жизни

#### Вопросы

1. Какие основные параметры характеризуют атомное ядро?  
*Ответ:* заряд, массовое число, число протонов и нейтронов в ядре, радиус ядра, спин ядра, четность

2. Какие ядра называются изотопами?

*Ответ:* ядра, с одинаковым зарядом, но разным числом нейтронов (массовым числом)

3. Дайте определение энергии связи ядра.

*Ответ:* Энергия связи ядра определяется разностью суммы энергий покоя входящих в ядро протонов  $m_p c^2$  и нейтронов  $m_n c^2$  и энергии покоя  $M_{\text{ядра}}(A, Z)c^2$  самого атомного ядра

4. Определить энергию, выделяющуюся при образовании двух  $\alpha$ -частиц в результате синтеза ядер  ${}^2\text{H}$  и  ${}^6\text{Li}$ , если известно, что энергии связи на один нуклон в ядрах  ${}^2\text{H}$ ,  ${}^4\text{He}$  и  ${}^6\text{Li}$  равны соответственно 1,11; 7,08 и 5,33 МэВ. 9: 22,44 МэВ

5. Найти энергию связи ядра  ${}^{16}_8\text{O}$ :

$$E_{\text{св}}({}^{16}_8\text{O}) = [8\Delta_{\text{H}} + 8\Delta_{\text{n}} - \Delta({}^{16}_8\text{O})]u = \\ = [8 \cdot 7,289 + 8 \cdot 8,071 - (-4,737)] = 127,617 \text{ МэВ},$$

6. Из сравнения энергий связи зеркальных ядер  ${}^{11}_5\text{B}$  и  ${}^{11}_6\text{C}$  оценить радиусы этих ядер. Зеркальными называются ядра изобар, у которых число протонов в одном из ядер равно числу нейтронов в другом.

Решение. Энергии связи двух ядер-изобар  $E_{\text{св}}(A, Z)$  и  $E_{\text{св}}(A, Z + 1)$  отличаются кулоновскими энергиями отталкивания протонов в этих ядрах  $E_{\text{кул}}(A, Z)$  и  $E_{\text{кул}}(A, Z + 1)$ . В ядре  $(A, Z + 1)$  она ниже из-за более сильного отталкивания:

$$\Delta E_{\text{св}} = E_{\text{св}}(A, Z) - E_{\text{св}}(A, Z + 1), \Delta E_{\text{кул}} = E_{\text{кул}}(A, Z + 1) - E_{\text{кул}}(A, Z), \Delta E_{\text{св}} = \Delta E_{\text{кул}}.$$

Для однородно заряженной сферы радиуса  $R$ , состоящей из  $Z$  единичных зарядов  $e$ , кулоновская энергия имеет вид:

$$E_{\text{кул}} = \frac{3}{5} e^2 \frac{Z(Z-1)}{R}$$

Тогда разность кулоновских энергий ядер-изобар равна:

$$\Delta E_{\text{кул}} = E_{\text{кул}}(A, Z+1) - E_{\text{кул}}(A, Z) = \frac{6}{5} e^2 \frac{Z}{R} = \Delta E_{\text{св}}.$$

Учитывая, что  $\Delta E_{\text{св}} \approx 2,8 \text{ МэВ}$ , получаем оценку радиуса ядра  $R$ :

$$R = \frac{6}{5} e^2 \frac{Z}{\Delta E_{\text{св}}} = \frac{6}{5} e^2 \frac{Z \hbar c}{\Delta E_{\text{св}} \hbar c} = \frac{6 \cdot 197,5 \text{ МэВ} \times \Phi_{\text{М}} \cdot 5}{5 \cdot 137 \cdot 2,8 \text{ МэВ}} \approx 3,0 \text{ ФМ}.$$

7. Найти возможные значения полного момента  $j$  нейтрона с орбитальным моментом  $l = 3$ .  
Определить для каждого значения полного момента все возможные значения проекции на выделенную ось.

Решение.

$$\vec{j} = \vec{l} + \vec{i} = \vec{3} + \frac{\vec{i}}{2} = \frac{\vec{5}}{2} \text{ или } \frac{\vec{7}}{2}.$$

Для  $j = \frac{5}{2}$  имеем  $m_j = -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{3}{2}, +\frac{5}{2}$  (всего шесть значений:  $6 = \left(2 \cdot \frac{5}{2} + 1\right)$ ).

Для  $j = \frac{7}{2}$  имеем  $m_j = -\frac{7}{2}, -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{3}{2}, +\frac{5}{2}, +\frac{7}{2}$ , т.е. всего восемь значений:  $8 = \left(2 \cdot \frac{7}{2} + 1\right)$ .

8. На сколько отличается энергия отделения одного нейтрона от ядра  ${}^9\text{Be}$  и удельная энергия связи этого ядра. *Ответ:* 1,67 МэВ

9. Какая доля первоначального количества ядер  ${}^{90}\text{Sr}$  останется через 10 лет. Период полураспада стронция 28 лет.

Решение.

Постоянную распада  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  определим через период полураспада. Доля оставшихся ядер  ${}^{90}\text{Sr}$  равна  $\eta_a(t_1) = \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = \exp\left(-\frac{\ln 2}{28} 10\right) = 0,78$ .

10. Какая доля первоначального количества ядер  ${}^{90}\text{Sr}$  распадется за одни сутки? Период полураспада стронция 28 лет?

Доля распавшихся ядер  ${}^{90}\text{Sr}$  равна  $\eta_b(t) = (1 - e^{-\lambda t}) = \left[1 - \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)\right]$ ;

$$\eta_b(t_1) \cong \frac{\ln 2}{28 \cdot 365,25} \cdot 1 = 6,8 \cdot 10^{-5}.$$

11. Определить массу свинца, который образуется из 1,0 кг  ${}^{238}\text{U}$  за время, равное возрасту горных пород ( $2,5 \cdot 10^9$  лет).

Решение. Ядро  ${}^{206}\text{Pb}$  является конечным и стабильным элементом в радиоактивном семействе урана, родоначальником которого является  ${}^{238}\text{U}$ . Поскольку суммарный период полураспада всех последующих звеньев семейства много меньше, чем период полураспада ядер  ${}^{238}\text{U}$ , то можно считать, что период полураспада, приводящий к образованию ядер  ${}^{206}\text{Pb}$ , равен периоду

полураспада  $^{238}\text{U}$ . Искомая масса свинца  $^{206}\text{Pb}$  будет равна  $M(^{206}\text{Pb}) = M_{\text{ат}}(^{206}\text{Pb}) \cdot N(^{206}\text{Pb}) = M_{\text{ат}}(^{206}\text{Pb}) \cdot N_{\text{р}}(^{238}\text{U})$ , где  $N_{\text{р}}(^{238}\text{U})$  - количество распавшихся ядер  $^{238}\text{U}$  за время  $t$ , которые превратились в ядра  $^{206}\text{Pb}$ . Если первоначальное количество ядер  $^{238}\text{U}$  равнялось  $N_0(^{238}\text{U}) = \frac{M(^{238}\text{U})}{M_{\text{ат}}(^{238}\text{U})}$ , то количество распавшихся ядер  $^{238}\text{U}$  за время  $t$  составит

$$N(^{238}\text{U}) = N_0(^{238}\text{U}) \cdot (1 - e^{-\lambda t}) = \frac{M(^{238}\text{U})}{M_{\text{ат}}(^{238}\text{U})} (1 - e^{-\lambda t}).$$

Получим

$$M(^{206}\text{Pb}) = M(^{238}\text{U}) \frac{M_{\text{ат}}(^{206}\text{Pb})}{M_{\text{ат}}(^{238}\text{U})} (1 - e^{-\lambda t});$$

$$M(^{206}\text{Pb}) = 1 \cdot \frac{206}{238} [1 - \exp(-1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 2,5 \cdot 10^9)] = 0,27 \text{ кг}.$$

12. Активность некоторого радионуклида уменьшается в 2,5 раза за 7 суток. Найти его период полураспада. *Ответ:* 5,3 суток

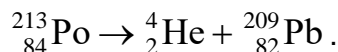
13. Чем обусловлен широкий диапазон периодов альфа-распада атомных ядер?

*Ответ:* Широкий диапазон периодов полураспада, а также большие значения этих периодов для многих  $\alpha$ -радиоактивных ядер объясняются тем, что  $\alpha$ -частица не может «мгновенно» покинуть ядро, несмотря на то, что это энергетически выгодно. Для того чтобы покинуть ядро,  $\alpha$ -частица должна преодолеть потенциальный барьер – область на границе ядра, образующуюся за счёт потенциальной энергии электростатического отталкивания  $\alpha$ -частицы и конечного ядра и сил притяжения между нуклонами. С точки зрения классической физики  $\alpha$ -частица не может преодолеть потенциальный барьер, так как не имеет необходимой для этого кинетической энергии. Однако квантовая механика допускает такую возможность –  $\alpha$ -частица имеет определённую вероятность пройти сквозь потенциальный барьер и покинуть ядро. Это квантовомеханическое явление называют «туннельным эффектом» или «туннелированием». Чем больше высота и ширина барьера, тем меньше вероятность туннелирования, а период полураспада соответственно больше. Большой диапазон периодов полураспада  $\alpha$ -излучателей объясняется различным сочетанием кинетических энергий  $\alpha$ -частиц и высот потенциальных барьеров. Если бы барьера не существовало, то  $\alpha$ -частица покинула бы ядро за характерное ядерное время  $\approx 10^{-21} - 10^{-23}$  с.

14. Покоящееся ядро  $^{213}\text{Po}$  испустило  $\alpha$ -частицу с кинетической энергией  $T_{\alpha} = 8,34$  МэВ. При этом дочернее ядро оказалось непосредственно в основном состоянии. Найти полную энергию  $Q_{\alpha}$ , освобождаемую в этом процессе. Какую долю этой энергии составляет кинетическая энергия дочернего ядра?

*Решение.*

Запишем схему  $\alpha$ -распада ядра  $^{213}\text{Po}$ :



Поскольку высвобождаемая энергия  $Q_{\alpha}$  выделяется в виде кинетической энергии продуктов распада, то при распаде покоящегося ядра  $^{213}\text{Po}$ :  $Q_{\alpha} = T_{\alpha} + T_{\text{я}}$ , закон сохранения импульса:

$\vec{P}_\alpha + \vec{P}_\text{я} = 0$ ,  $P_\alpha = P_\text{я}$ , т.к. исходное ядро покоится. Поскольку  $T_\alpha \ll m_\alpha$ , а следовательно, и  $T_\text{я} \ll m_\text{я}$ , то можно использовать классическую связь между кинетической энергией и импульсом:

$$T = \frac{p^2}{2m}. \quad \text{В этом случае} \quad T_\text{я} = T_\alpha \frac{m_\alpha}{M_\text{я}}. \quad \text{Энергия альфа-распада:}$$

$$Q_\alpha = T_\alpha \frac{m_\alpha + M_\text{я}}{M_\text{я}} = 8,34 \frac{4 + 209}{209} \cong 8,5 \text{ МэВ}. \text{ Доля кинетической энергии } T_\text{я} \text{ ядра } {}^{213}\text{Po} \text{ от пол-}$$

ной энергии  $Q_\alpha$ , высвобождаемой при  $\alpha$ -распаде ядра  ${}^{213}\text{Po}$ , составит

$$\frac{T_\text{я}}{Q_\alpha} = T_\alpha \frac{m_\alpha}{M_\text{я}} : T_\alpha \frac{m_\alpha + M_\text{я}}{M_\text{я}} = \frac{m_\alpha}{m_\alpha + M_\text{я}} = \frac{4}{4 + 209} \cong 0,02.$$

15. Возможен ли  $\alpha$ -распад полония  ${}^{210}\text{Po}$  и железа  ${}^{56}\text{Fe}$ ? (Ответ: да, нет)

16. Определить энергию, выделяющуюся при  $\alpha$ -распаде  ${}^{239}\text{Pu}$  в течение одной секунды. Количество плутония  ${}^{239}\text{Pu}$  составляет один грамм. Энергия распада 5,14 МэВ. *Ответ:*  $1,19 \cdot 10^{10}$  МэВ

17. Почему энергетический спектр электронов в бета-распаде непрерывный? Ответ: Объяснение непрерывного характера  $\beta$ -спектра было дано В. Паули, который высказал гипотезу, что при  $\beta$ -распаде вместе с электроном рождается ещё одна частица с маленькой массой, т.е.  $\beta$ -распад – трехчастичный процесс. В конечном состоянии образуется ядро  $(A, Z \pm 1)$ , электрон и лёгкая нейтральная частица – нейтрино (антинейтрино). Т.к. масса ядра  $(A, Z \pm 1)$  гораздо больше масс электрона и нейтрино, энергия  $\beta$ -распада уносится лёгкими частицами. Распределение энергии  $\beta$ -распада  $Q_\beta$  между электроном и этой нейтральной частицей приводит к непрерывному  $\beta$ -спектру электрона.

18. Вычислить суммарную кинетическую энергию частиц, возникающих при  $\beta$ -распаде покоящегося нейтрона.

Решение. Распад свободного (изолированного от действия ядерных сил) нейтрона происходит по схеме  $n \rightarrow p^+ + \beta^- + \bar{\nu}$ . Энергия  $Q_\beta$ , высвобождаемая при  $\beta$ -распаде нейтрона, выделяется в виде кинетической энергии образовавшихся частиц:

$$Q_\beta = T = m_n - m_p - m_e - m_\nu = m_n - m_p - m_e = , \text{ т.к. } m_\nu < 18 \text{ эВ и ей можно пренебречь.} \\ = 939,57 - 938,28 - 0,511 = 0,78 \text{ МэВ},$$

19. Энергии связи ядер  ${}^{114}_{48}\text{Cd}$ ,  ${}^{114}_{49}\text{In}$  и  ${}^{114}_{50}\text{Sn}$  равны соответственно 972,63 МэВ, 970,42 МэВ и 971,61 МэВ. Определить возможные виды  $\beta$ -распада ядра  ${}^{114}_{49}\text{In}$ . (Ответ: все виды  $\beta$ -распада возможны)

20. Для  $\gamma$ -переходов ядра  ${}^{60}_{28}\text{Ni}$  с энергиями около 1 МэВ оценить отношение радиуса ядра к приведенной длине волны.

Решение. Приведенная длина волны  $\gamma$ -кванта равна  $\lambda = \frac{\hbar c}{E_\gamma} \approx \frac{200 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}}{1 \text{ МэВ}} = 200 \text{ Фм}$ ,

$$R(^{60}\text{Ni}) = (1,0 \div 1,1) A^{1/3} \text{Фм} \approx 4 \text{ Фм}, \quad \frac{R}{\lambda} \approx 0,02.$$

21. Определить энергию  $\gamma$ -кванта и кинетическую энергию отдачи ядра при излучении  $\gamma$ -кванта ядром  $^{12}\text{C}$ , находящимся в первом возбужденном состоянии  $2^+$  с энергией  $E = 4,43 \text{ МэВ}$ .

Решение. Речь идет о распаде,  $^{12}\text{C}^* \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$ , где верхний индекс \* отмечает возбужденное ядро. Пренебрегая энергией связи ядра  $^{12}\text{C}$  получаем

$$T(^{12}\text{C}) \approx \frac{E^2}{2M(^{12}\text{C})c^2} \approx \frac{(4,43 \text{ МэВ})^2}{2(6 \cdot 938,3 + 6 \cdot 939,6) \text{ МэВ}} =$$

$$= 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ МэВ} = 0,87 \text{ кэВ}.$$

$$E_\gamma = E - T(^{12}\text{C}) \approx 4,43 \text{ МэВ} - 0,00087 \text{ МэВ}.$$

22. Какие законы сохранения выполняются в бета-распаде атомных ядер?

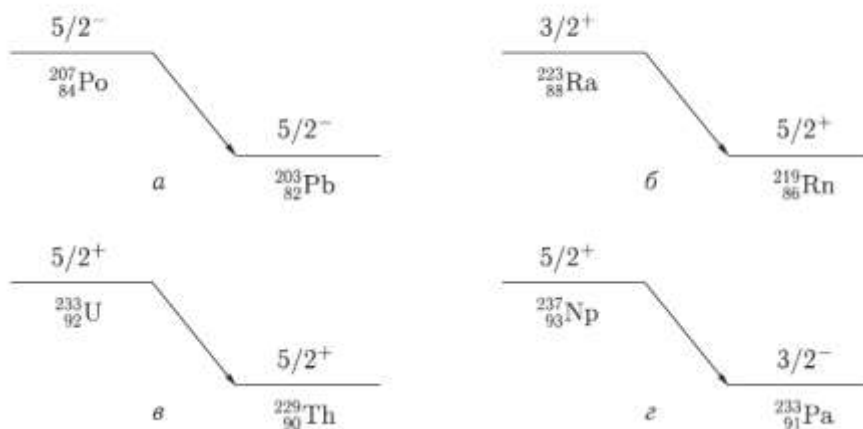
Ответ: Наряду с законами сохранения энергии, импульса, момента количества движения в процессе  $\beta$ -распада выполняются законы сохранения барионного  $B$  и электронного лептонного  $L_e$  квантовых чисел.

23. Определить кинетические энергии  $\alpha$ -частицы и конечного ядра при  $\alpha$ -распаде

$$^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{208}_{81}\text{Tl} + \alpha. \text{ Энергии связи ядер } ^{212}_{83}\text{Bi}, \quad ^{208}_{81}\text{Tl} \text{ и } ^4_2\text{He} \text{ равны } E_{\text{св}}(^{212}_{83}\text{Bi}) = 1654,37$$

$$\text{МэВ}, \quad E_{\text{св}}(^{208}_{81}\text{Tl}) = 1632,28 \text{ МэВ} \text{ и } E_{\text{св}}(^4_2\text{He}) = 28,30 \text{ МэВ}. \text{ (Ответ: } 6,09 \text{ МэВ; } 0,12 \text{ МэВ)}$$

24. При использовании законов сохранения момента количества движения и четности определить орбитальный момент  $l$ , уносимый  $\alpha$ -частицей в следующих распадах:



Ответ: а) 0, 2, 4; б) 2, 4; в) 0, 2, 4; г) 1, 3

25. Какие типы бета-распада вы знаете? Ответ: существуют три типа  $\beta$ -распада:  $\beta^-$  - распад,  $\beta^+$  - распад и  $e$  - захват:

$$\beta^- : (A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e^- + \bar{\nu}_e,$$

$$\beta^+ : (A, Z) \rightarrow (A, Z - 1) + e^+ + \nu_e,$$

$$e : (A, Z) + e^- \rightarrow (A, Z - 1) + \nu_e.$$

26. Главной особенностью  $\beta$ -распада является то, что он обусловлен слабым взаимодействием.

27. Запишите закон сохранения момента количества движения и четности в гамма-переходах в атомных ядрах. *Ответ:* Гамма-переходы происходят между ядерными состояниями, характеризующимися определенными значениями энергии, спина  $J$  и четности  $P$ . Поэтому  $\gamma$ -переходы между ними, а следовательно, и испускаемые (поглощаемые) фотоны также имеют определенные значения полного момента  $J_\gamma$  и четности  $P_\gamma$ . Из закона сохранения полного момента количества движения и четности следует  $\vec{J}_f = \vec{J}_i + \vec{J}_\gamma$  или по правилу треугольника  $|J_i - J_\gamma| \leq J_f \leq J_i + J_\gamma$ ,  $P_f = P_i P_\gamma$  или  $P_\gamma = P_i P_f$ .

28. Определить тип и мультипольность гамма-перехода  $1^- \rightarrow 0^+$  Ответ: E1

29. Определить тип и мультипольность гамма-перехода  $0^- \rightarrow 0^+$  Ответ: переход невозможен

30. Определить тип и мультипольность гамма-перехода  $2^+ \rightarrow 3^-$  Ответ: E1, M2, E3, M4, E5