



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФГБОУ ВО «ИГУ»**

**Физический факультет**

**Кафедра общей и экспериментальной физики**



**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета

Н.М. Буднев

«17» апреля 2024 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Атомная и ядерная физика

Код дисциплины *Б1.О.12.05*

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы Прикладной бакалавриат

Профиль подготовки: Физика материалов твердотельной электроники и фотоники.

*Степень (квалификация) выпускника - бакалавр*

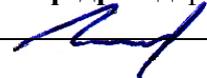
Форма обучения **очная**

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

**Председатель:** д.ф.-м.н., профессор  
 Н.М. Буднев

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и экспериментальной физики

Протокол № 7  
от «26» марта 2024 г.

**Зав. кафедрой** д.ф.-м.н., профессор  
 А.А. Гаврилюк

**Иркутск 2024 г.**

## Содержание

	Стр.
1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
5. Содержание дисциплины (модуля)	5
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	5
5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	6
5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	7
6. Перечень практических занятий.	10
6.1 План самостоятельной работы студентов.	10
6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.	14
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	15
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):	15
а) основная литература;	15
б) дополнительная литература;	15
в) программное обеспечение;	15
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	16
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).	16
10. Образовательные технологии	16
11. Оценочные средства (ОС)	16

### 1. Цели и задачи дисциплины (модуля):

- *Цель дисциплины* - дать студентам целостное в рамках существующих естественнонаучных положений представление об основных закономерностях физики атома и ядра, и элементарных частиц и методах их исследования

- *Задачи дисциплины:*

получение студентами базовых знаний по физике элементарных частиц, атома и атомного ядра; овладение представлениями о структурной организации микромира, механизме фундаментальных взаимодействий, идеями и методами этой дисциплины;

умение применять усвоенные принципы и методы для анализа отдельных явлений и процессов физики элементарных частиц; понимание роли принципов симметрии, причинности, квантовой механики, законов сохранения в физике элементарных частиц;

приобретение навыков решать конкретные физические задачи;

Являясь наукой о микромире "Физика атомного ядра и элементарных частиц" является базовой дисциплиной, формирующей знание законов природы на ядерном и субъядерном масштабных уровнях. Ее представления, понятия и методы исследования носят фундаментальный характер и лежат в основе естественнонаучной картины мира. Она играет первостепенную роль и в современном понимании эволюции Вселенной, взаимосвязи очень малого и очень большого.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина является дисциплиной профессионального цикла. Код учебного цикла. Для усвоения курса студентам необходимы знания общей физики, классической механики, основ релятивистской механики, электродинамики, принципов квантовой механики. Дисциплина "Физика атомного ядра и элементарных частиц" опирается на математическую дисциплину "Математический анализ», школьные дисциплины "Физика" и "Химия".

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

- Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1

Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

ОПК-2

Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- основные законы физики атома, ядра и элементарных частиц;
- квантово механическое описание субатомных атомных и субъядерных явлений;
- основные эксперименты и основные экспериментальные результаты физики атома, ядра и элементарных частиц.

**Уметь:**

- решать основные задачи физики атома, атомного ядра и элементарных частиц;
- оценивать пределы применимости основных методов описания явлений физики атома, атомного ядра и элементарных частиц;
- выполнять лабораторные работы практикума физики атомного ядра и элементарных частиц;

**Владеть:**

- методами обработки и оценки погрешности измерений параметров явлений физики атома, атомного ядра и элементарных частиц;
- методами квантово - механического описания простейших ядер и элементарных частиц;
- методами экспериментальных исследований параметров и характеристик явлений физики ядра и элементарных частиц;

**4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)**

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	136	
В том числе:	-	
Лекции	34	
Лабораторные	50	
Практические занятия (ПЗ)	50	
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	100	
В том числе:	-	
Самостоятельная работа	100	
Контроль самостоятельной работы		
<b>Контроль</b>	18	
В том числе		
<i>Подготовка к экзамену</i>		
<i>Экзамен</i>		
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Экзамен	Экзамен
Общая трудоемкость	часы	288
	зачетные единицы	8

**5. Содержание дисциплины (модуля)**

## 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля). Все разделы и темы нумеруются.

**1. Введение. 1.1.** Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.

1.2. Масштабы явлений микромира. Элементы квантовой теории. Строение атома. Боровская теория атома. Закономерности в атомных спектрах. Модель атома Томпсона, Резерфорда. Опыты по рассеянию альфа частиц. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Элементарная боровская теория водородного атома.

Квантомеханическая теория водородного атома. Гипотеза де-Бройля (волна де-Бройля). Волновые свойства вещества. Уравнение Шрёдингера (со временем и без). Квантомеханическое описание движения микрочастиц. Свойства волновой функции.

Многоэлектронные атомы. Спектры щелочных металлов. Нормальный эффект Зеемана, аномальный эффект Зеемана. Мультиплетность спектров и спин электрона. Результирующий момент импульса многоэлектронного атома. Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням. Периодическая система Менделеева (принципы построения таблицы атомов). Рентгеновские спектры. Ширина спектральных линий. Вынужденное излучение.

Молекулы и кристаллы. Энергия молекулы. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Теплоёмкость кристаллов. Эффект Мёссбауэра. Кратко о лазерах и нелинейной оптике (уже было у вас в курсе оптики).

**2.1 Свойства атомных ядер. 2.1.1.** Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.

2.1.2. Ядро как система взаимодействующих протонов и нейтронов. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Размеры ядер. Формфактор ядра и нуклонов. Изотопы. Изобары. Энергия связи ядра. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра. Спин и магнитный момент ядра. Эксперименты по измерению магнитных моментов ядер. Ядерный магнитный резонанс. Статические мультипольные моменты ядер. Электрический квадрупольный момент ядра.

2.1.3. Квантовомеханическое описание ядерных состояний. Четность волновой функции. Свойства симметрии волновых функций для тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Статистики ядер. Изотопический спин ядра.

**2.2. Нуклон-нуклонные взаимодействия.** Дейтрон - связанное состояние в  $n$ - $p$ -системе. Основные характеристики дейтрона. Магнитный и квадрупольный моменты дейтрона. Волновая функция дейтрона. Тензорный характер ядерных сил. Рассеяние нейтронов на протонах. Спиновая и спин-орбитальная зависимости ядерных сил. Особенности рассеяния тождественных частиц. Зарядовая независимость ядерных сил. Обобщенный принцип Паули. Обменный характер ядерных сил. Двухнуклонный потенциал. Свойство насыщения ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил.

**3. Радиоактивность.** Естественная и искусственная радиоактивность. Статистический характер распада. Закон радиоактивного распада. Радиоактивные ряды.  $\alpha$ -распад. Энергетическое условие  $\alpha$ -распада. Основные экспериментальные закономерности  $\alpha$ -распада. Элементы теории  $\alpha$ -распада. Правила отбора.  $\beta$ -распад. Виды  $\beta$ -распада. Энергетические условия  $\beta$ -распадов. Спектры электронов. Характеристики нейтрино. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Элементы теории  $\beta$ -распада. Понятие о слабых взаимодействиях. Разрешенные и запрещенные  $\beta$ -переходы. Несохранение четности при  $\beta$ -распаде.  $\gamma$ -излучение ядер. Электрические и магнитные переходы. Правила отбора по моменту и четности для  $\gamma$ -переходов. Вероятности переходов. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике.

**4. Модели атомных ядер.** Классификация моделей ядра. Капельная модель ядра. Модель ферми-газа. Физическое обоснование оболочечной структуры ядра. Потенциал

усредненного ядерного поля. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в усредненном ядерном потенциале. Объяснение спинов и четностей состояний ядер в модели оболочек. Остаточное взаимодействие. Коллективные свойства ядер. Деформированные ядра. Состояние движения нуклонов в деформированном ядре. Вращательные и колебательные состояния ядер. Связь одночастичных и коллективных движений.

**5.1. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.** Сечение и амплитуда рассеяния. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Тормозное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Пробеги заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Тепловые и резонансные нейтроны. Диффузия тепловых нейтронов. Прохождение  $\gamma$ -излучения через вещество. Зависимость эффективных сечений основных механизмов взаимодействия  $\gamma$ -квантов от их энергии и от свойств вещества. Элементы дозиметрии.

**5.2. Ядерные реакции.** 5.2.1. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Сечение реакций. Каналы ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Связь между сечениями прямых и обратных реакций. Механизмы ядерных реакций. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Нерезонансные ядерные реакции через составное ядро. Прямые ядерные реакции. Использование прямых ядерных реакций для определения квантовых характеристик ядерных состояний. Особенности реакций под действием  $\gamma$ -квантов и заряженных частиц.

**5.2.2. Деление и синтез атомных ядер.** Основные экспериментальные данные о делении и энергетические условия деления. Элементарная теория деления. Деление изотопов урана под действием нейтронов. Энергия активации. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы. Синтез легких ядер. Критерий Лоусона. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Проблемы управляемого термоядерного синтеза.

**6.1. Экспериментальные методы в физике высоких энергий.** Понятие о современных методах получения пучков высоких энергий. Накопители частиц. Встречные пучки. Элементы релятивистской кинематики. Наблюдение процессов рождения и распадов частиц. Методы наблюдения короткоживущих частиц.

**7.1. Общие свойства элементарных частиц.** Лептоны, адроны. Частицы и античастицы. Механизмы взаимодействия в мире частиц. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Классификация взаимодействий и элементарных частиц.

**7.2.1. Электромагнитные взаимодействия.** Элементы квантовой электродинамики. Диаграммы Фейнмана.

**7.2.2. Сильные взаимодействия и структура адронов.** Классификация и квантовые характеристики адронов. Симметрия сильного взаимодействия. Кварки, глюоны и их основные характеристики. Цвет и аромат. Кварковая структура адронов. Формула Нишиджимы. Элементы квантовой хромодинамики. Цветовая симметрия сильных взаимодействий. Асимптотическая свобода и конфайнмент.

**7.2.3. Электрослабые взаимодействия.** Универсальность слабого взаимодействия. Заряженные и нейтральные токи. Переносчики слабого взаимодействия - промежуточные бозоны. Понятие о полевой теории слабых взаимодействий. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Модель Вайнберга-Салама электрослабого взаимодействия. Калибровочная инвариантность как принцип построения полевых теорий элементарных частиц. Понятие о локальной калибровочной инвариантности и о спонтанном нарушении симметрии. Дискретные симметрии С, Р, Т и СРТ-теорема. Нарушение СР-инвариантности. Проблема построения единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий.

**8.1. Космические лучи.** Первичное космическое излучение. Прохождение космического излучения через атмосферу. Гипотезы происхождения космических лучей.

**9.1. Ядерная астрофизика. 9.1.1.** Этапы развития Вселенной. Современные представления о структуре Вселенной. Барионная асимметрия Вселенной. Темная материя. Темная энергия. 9.1.2. Дозвездный нуклеосинтез. Ядерные реакции в звездах.

**5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)								
		2	3	7	9					
1.	Физика конденсированного состояния									
2.	Термодинамика и статистическая физика									
3	Квантовая теория									

**5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий**

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах			
			Лек.	ПЗ	СРС/К	Всего
1.	Введение	<p><b>1.1.</b> Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.</p> <p><b>1.2.</b> Масштабы явлений микромира. Элементы квантовой теории. Строение атома.</p> <p>Боровская теория атома. Закономерности в атомных спектрах. Модель атома Томпсона, Резерфорда. Опыты по рассеянию альфа частиц. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Элементарная боровская теория водородного атома.</p> <p>Квантомеханическая теория водородного атома. Гипотеза де-Бройля (волна де-Бройля). Волновые свойства вещества. Уравнение Шрёдингера (со временем и без). Квантомеханическое описание движения микрочастиц. Свойства волновой функции.</p> <p>Многоэлектронные атомы. Спектры щелочных металлов. Нормальный эффект Зеемана, аномальный эффект Зеемана. Мультиплетность спектров и спин электрона. Результирующий момент импульса многоэлектронного атома. Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням. Периодическая система Менделеева (принципы построения таблицы атомов). Рентгеновские спектры. Ширина спектральных линий. Вынужденное излучение.</p> <p>Молекулы и кристаллы. Энергия молекулы. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Теплоёмкость кристаллов. Эффект Мёссбауэра. Кратко о лазерах и нелинейной оптике (уже было у вас в курсе</p>	4	5	5	28

		оптики).				
2.	Основные свойства атомных ядер	<p>2.1.1. Опыт Резерфорда по рассеянию <math>\alpha</math>-частиц.</p> <p>2.1.2. Ядро как система взаимодействующих протонов и нейтронов. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Размеры ядер. Формфактор ядра и нуклонов. Изотопы. Изобары. Энергия связи ядра. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра. Спин и магнитный момент ядра. Эксперименты по измерению магнитных моментов ядер. Ядерный магнитный резонанс. Статические мультипольные моменты ядер. Электрический квадрупольный момент ядра.</p> <p>2.1.3. Квантовомеханическое описание ядерных состояний. Четность волновой функции. Свойства симметрии волновых функций для тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Статистики ядер. Изотопический спин ядра.</p> <p><b>2.2. Нуклон-нуклонные взаимодействия.</b> Дейтрон - связанное состояние в <math>n</math>-<math>p</math>-системе. Основные характеристики дейтрона. Магнитный и квадрупольный моменты дейтрона. Волновая функция дейтрона. Тензорный характер ядерных сил. Рассеяние нейтронов на протонах. Спиновая и спин-орбитальная зависимости ядерных сил. Особенности рассеяния тождественных частиц. Зарядовая независимость ядерных сил. Обобщенный принцип Паули. Обменный характер ядерных сил. Двухнуклонный потенциал. Свойство насыщения ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил.</p>	4	5	5	29
3.	Радиоактивность	<p>Естественная и искусственная радиоактивность. Статистический характер распада. Закон радиоактивного распада. Радиоактивные ряды. <math>\alpha</math>-распад. Энергетическое условие <math>\alpha</math>-распада. Основные экспериментальные закономерности <math>\alpha</math>-распада. Элементы теории <math>\alpha</math>-распада. Правила отбора. <math>\beta</math>-распад. Виды <math>\beta</math>-распада. Энергетические условия <math>\beta</math>-распадов. Спектры электронов. Характеристики нейтрино. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Элементы теории <math>\beta</math>-распада. Понятие о слабых взаимодействиях. Разрешенные и запрещенные <math>\beta</math>-переходы. Несохранение четности при <math>\beta</math>-распаде. <math>\gamma</math>-излучение ядер. Электрические и магнитные переходы. Правила отбора по моменту и четности для <math>\gamma</math>-переходов. Вероятности переходов. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике.</p>	4	5	5	29

4.	Модели атомных ядер.	Классификация моделей ядра. Капельная модель ядра. Модель ферми-газа. Физическое обоснование оболочечной структуры ядра. Потенциал усредненного ядерного поля. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в усредненном ядерном потенциале. Объяснение спинов и четностей состояний ядер в модели оболочек. Остаточное взаимодействие. Коллективные свойства ядер. Деформированные ядра. Состояние движения нуклонов в деформированном ядре. Вращательные и колебательные состояния ядер. Связь одночастичных и коллективных движений.	4	5	5	29
5.	Взаимодействие излучения с веществом.	Сечение и амплитуда рассеяния. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Тормозное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Пробеги заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Тепловые и резонансные нейтроны. Диффузия тепловых нейтронов. Прохождение $\gamma$ -излучения через вещество. Зависимость эффективных сечений основных механизмов взаимодействия $\gamma$ -квантов от их энергии и от свойств вещества. Элементы дозиметрии. <b>5.2.Ядерныереакции.</b> 5.2.1.Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Сечение реакций. Каналы ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Связь между сечениями прямых и обратных реакций. Механизмы ядерных реакций. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Нерезонансные ядерные реакции через составное ядро. Прямые ядерные реакции. Использование прямых ядерных реакций для определения квантовых характеристик ядерных состояний. Особенности реакций под действием $\gamma$ -квантов и заряженных частиц. <b>5.2.2.Деление и синтез атомных ядер.</b> Основные экспериментальные данные о делении и энергетические условия деления. Элементарная теория деления. Деление изотопов урана под действием нейтронов. Энергия активации. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы. Синтез легких ядер. Критерий Лоусона. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц.Проблемы управляемого термоядерного синтеза.	4	5	5	29
6.	Экспериментальные методы в физике высоких энергий.	Понятие о современных методах получения пучков высоких энергий. Накопители частиц. Встречные пучки. Элементы релятивистской кинематики. Наблюдение	4	5	5	29

		процессов рождения и распадов частиц. Методы наблюдения короткоживущих частиц.				
7.	Общие свойства элементарных частиц	Лептоны, адроны. Частицы и античастицы. Механизмы взаимодействия в мире частиц. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Классификация взаимодействий и элементарных частиц. <b>7.2.1.Электромагнитные взаимодействия.</b> Элементы квантовой электродинамики. Диаграммы Фейнмана. <b>7.2.2.Сильные взаимодействия и структура адронов.</b> Классификация и квантовые характеристики адронов. Симметрия сильного взаимодействия. Кварки, глюоны и их основные характеристики. Цвет и аромат. Кварковая структура адронов. Формула Нишиджимы. Элементы квантовой хромодинамики. Цветовая симметрия сильных взаимодействий. Асимптотическая свобода и конфайнмент. <b>7.2.3.Электрослабые взаимодействия.</b> Универсальность слабого взаимодействия. Заряженные и нейтральные токи. Переносчики слабого взаимодействия - промежуточные бозоны. Понятие о полевой теории слабых взаимодействий. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Модель Вайнберга-Салама электрослабого взаимодействия. Калибровочная инвариантность как принцип построения полевых теорий элементарных частиц. Понятие о локальной калибровочной инвариантности и о спонтанном нарушении симметрии. Дискретные симметрии С, Р, Т и СРТ-теорема. Нарушение СР-инвариантности. Проблема построения единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий.	4	5	5	29
8.	Космические лучи.	Первичное космическое излучение. Прохождение космического излучения через атмосферу. Гипотезы происхождения космических лучей.	4	5	5	29
9.	Ядерная астрофизика	<b>9.1.1.</b> Этапы развития Вселенной. Современные представления о структуре Вселенной. Барионная асимметрия Вселенной. Темная материя. Темная энергия. 9.1.2.Дозвездный нуклеосинтез. Ядерные реакции в звездах.	4	5	5	29
10	Экзамен			5	5	29
<b>Всего:</b>			<b>34</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>288</b>

СРС – самостоятельная работа студента, К – контроль.

#### 6. Перечень практических занятий.

№	№ раздела и	Наименование	Трудоем-	Оценочные	Формиру-
---	-------------	--------------	----------	-----------	----------

п/п	темы дисциплины (модуля)	практических работ	количество (часы)	средства	формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 1 Разделы 1.1-1.2	Введение.	5	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-1 ОПК-2
2.	Тема 2 Разделы 2.1-2.2	Основные свойства атомных ядер. Элементы квантовой теории. Строение атома.	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
3.	Тема 3 Разделы 3.1-3.6	Радиоактивность	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
4.	Тема 4 Разделы 4.1-4.5	Модели атомных ядер	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
5.	Тема 5 Разделы 5.1-5.2.2	Взаимодействие излучения с веществом	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
6.	Тема 6 Разделы 4.13	Экспериментальные методы физики высоких энергий.	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
7.	Тема 7 Разделы 7.1-7.2.3	Основные свойства элементарных частиц.	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
8.	Тема 8 Разделы 8.1-8.4	Космические лучи.	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
9.	Тема 9 Разделы 9.1-9.2.3	Ядерная астрофизика.	5	Контрольные вопросы.	ОПК-1 ОПК-2
10.		Экзамен.	5		ОПК-1 ОПК-2

### 6.1 План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Введение	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные	Из списка основной и дополнительной литературы.	10

			вопросы.		
2	Основные свойства атомных ядер.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	10
3	Радиоактивность.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	10
4	Модели атомных ядер.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	10
5	Взаимодействие излучения с веществом.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям,	Из списка основной и дополнительной литературы.	10

			выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.		
6	Атом в магнитном поле.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	10
7	Экспериментальные методы физики высоких энергий.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	10
7.	Основные свойства элементарных частиц.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на	Из списка основной и дополнительной литературы.	10

			контрольные вопросы.		
8	Космические лучи.	Внеаудиторная работа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	Из списка основной и дополнительной литературы.	10
9	Ядерная астрофизика		Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.		10
	Подготовка к экзамену. Экзамен			Из списка основной и дополнительной литературы.	10

## 6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

### **1) Овладеть знаниями:**

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и другой справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно – методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники, Интернета и др.;

### **2) Закреплять и систематизировать знания:**

- работа с конспектом лекций;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных источников;
- тестирование и др.;

### **3) Формировать умения:**

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов(графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;
- подготовка к выпускной квалификационной работе.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1

Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

#### ОПК-2

Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

### 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы учебным планом не предусмотрены

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

#### а). Основная литература:

1. Экспериментальная ядерная физика [Электронный ресурс] : учебник : в 3 т. . - Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=277](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=277). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ.

Т. 1 : Физика атомного ядра / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2009. - 336 с. : ил. - ISBN 978-5-8114-0740-8. - ISBN 978-5-8114-0738-5

#### 2. Капитонов, Игорь Михайлович.

Введение в физику ядра и частиц [Текст] : [учебник] / И. М. Капитонов. - 4-е изд. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 513 с. ; нет. - Режим доступа: ЭБС "Руконт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-1250-5

#### 3. Сивухин, Дмитрий Васильевич.

Общий курс физики [Электронный ресурс] : учебное пособие. В 5 т. Т.V. Атомная и ядерная физика — 3-е изд. стер. / Д. В. Сивухин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 784 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-0645-0

#### б). Дополнительная литература:

##### 1. Иродов, Игорь Евгеньевич.

Квантовая физика [Текст] : основные законы / И.Е. Иродов. - 2-е изд., доп. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2004. - 256 с. : граф. ; 22 см. - (Технический университет). - Предм. указ.: с. 252-256. - ISBN 5-94774-058-3(28экз)

##### 2. Окунь, Лев Борисович.

Элементарное введение в физику элементарных частиц [Текст] / Л. Б. Окунь. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Физматлит, 2006. - 128 с. ; 21 см. - Библиогр.: с. 122. - Предм. указ.: с. 123-127. - ISBN 5-9221-0640-6 (3экз)

##### 3. Мухин, Константин Никифорович.

Экспериментальная ядерная физика [Текст] : в 3-х т.: учебник / К. Н. Мухин. - 6-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2009 - ; 21 см. - (Классическая учебная литература по физике) (Учебники для вузов. Специальная литература).

Т. 3 : Физика элементарных частиц. - 2008. - 412 с. - ISBN 978-5-8114-0741-5 (2экз)

#### в). Программное обеспечение

Интернет источники:

научные публикации в реферативных журналах по актуальным проблемам физики, материалы научных конференций. В частности научная электронная библиотека elibrary.ru; электронная библиотека «Труды ученых ИГУ» (<http://elib.library.isu.ru>); Электронные версии журналов: “Успехи физических наук”, “Известия вузов (серия физика)”, “Физика твердого тела”, “Физика и техника полупроводников” [www.nanodigest.ru](http://www.nanodigest.ru) – Интернет журнал о нанотехнологиях

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНТИ РАН (<http://www.viniti.ru>); электронная библиотека Томского госуниверситета (<http://ido.tsu.ru/cd-dvd/19/>).

*Сверено с № 415*

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Компьютерные презентации, программа для тестирования. Чтение лекций сопровождается демонстрацией информации (мультимедийный проектор, офисное оборудование для оперативного размножения иллюстративного и раздаточного лекционного материалов).

## 10. Образовательные технологии:

№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии
1.	Лекция	Вводная лекция, информация лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи.
2.	Практическое занятие	Занятие – решение задач.

## 11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств представлен в Приложении к программе.

\* Текущий контроль осуществляется в устной и письменной форме при выполнении студентами учебных заданий - решении задач и выполнении контрольных работ на протяжении всего курса.

\* Промежуточный контроль – устные и письменные опросы.

\* Итоговый контроль – экзамен.

### Примерный перечень вопросов к экзамену.

1. Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.

1.1 Масштабы явлений микромира.

Боровская теория атома. Закономерности в атомных спектрах. Модель атома Томпсона, Резерфорда. Опыты по рассеянию альфа частиц. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Элементарная боровская теория водородного атома.

Квантомеханическая теория водородного атома. Гипотеза де-Бройля (волна де-Бройля). Волновые свойства вещества. Уравнение Шрёдингера (со временем и без).

Квантомеханическое описание движения микрочастиц. Свойства волновой функции.

Многочастичные атомы. Спектры щелочных металлов. Нормальный эффект Зеемана, аномальный эффект Зеемана. Мультиплетность спектров и спин электрона.

Результирующий момент импульса многочастичного атома. Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням. Периодическая система Менделеева (принципы построения таблицы атомов). Рентгеновские спектры. Ширина спектральных линий.

Вынужденное излучение.

Молекулы и кристаллы. Энергия молекулы. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Теплоёмкость кристаллов. Эффект Мёссбауэра. Кратко о лазерах и нелинейной оптике (уже было у вас в курсе оптики).

2 Свойства атомных ядер. Элементы квантовой теории. Строение атома.

2.1 Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.

2.2 Ядро как система взаимодействующих протонов и нейтронов. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Размеры ядер. Формфактор ядра и нуклонов. Изотопы. Изобары. Энергия связи ядра. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра.

2.3 Спин и магнитный момент ядра. Эксперименты по измерению магнитных моментов ядер. Ядерный магнитный резонанс. Статические мультипольные моменты ядер. Электрический квадрупольный момент ядра.

2.4 Квантовомеханическое описание ядерных состояний. Суперпозиция состояний – один из основных принципов квантовой механики. Четность волновой функции. Свойства симметрии волновых функций для тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Статистики ядер. Изотопический спин ядра.

2.5. Нуклон-нуклонные взаимодействия. Дейтрон - связанное состояние в  $n$ - $p$ -системе. Основные характеристики дейтрона. Магнитный и квадрупольный моменты дейтрона. Волновая функция дейтрона. Тензорный характер ядерных сил. Рассеяние нейтронов на протонах. Спиновая и спин-орбитальная зависимости ядерных сил. Особенности рассеяния тождественных частиц. Зарядовая независимость ядерных сил. Обобщенный принцип Паули. Обменный характер ядерных сил. Двухнуклонный потенциал. Свойство насыщения ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил.

3. Радиоактивность. Естественная и искусственная радиоактивность. Статистический характер распада. Закон радиоактивного распада. Активность.  $N$ - $P$  диаграмма. Магические числа. Острова стабильности.

3.1 Радиоактивные ряды.  $\alpha$ -распад. Энергетическое условие  $\alpha$ -распада. Основные экспериментальные закономерности  $\alpha$ -распада. Элементы теории  $\alpha$ -распада. Закон Гейгера-Нэттола.

3.2 Кластерный распад.

Спонтанный распад.

Протонный распад.

Нейтронный распад.

3.3  $\beta$ -распад. Виды  $\beta$ -распада. Правила отбора. Энергетические условия  $\beta$ -распадов. Спектры электронов. Характеристики нейтрино. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Элементы теории  $\beta$ -распада.  $K$ -захват и  $\beta^+$ -распад. Понятие о слабых взаимодействиях. Разрешенные и запрещенные  $\beta$ -переходы. Несохранение четности при  $\beta$ -распаде. Двойной  $\beta$ -распад.

3.4  $\gamma$ -излучение ядер. Электрические и магнитные переходы. Правила отбора по моменту и четности для  $\gamma$ -переходов. Вероятности переходов. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике.

4. Модели атомных ядер. Классификация моделей ядра.

4.1 Капельная модель ядра. Модель ферми-газа. Распределение ядерной плотности.

4.2 Физическое обоснование оболочечной структуры ядра. Потенциал усредненного ядерного поля. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в усредненном ядерном потенциале. Объяснение спинов и четностей состояний ядер в модели оболочек. Остаточное взаимодействие.

4.3 Обобщенная модель ядра. Дипольный и квадрупольный момент ядра.

Коллективные свойства ядер. Деформированные ядра. Состояние движения нуклонов в деформированном ядре. Вращательные и колебательные состояния ядер. Связь одночастичных и коллективных движений.

5. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.

5.1 Поперечное сечение и амплитуда рассеяния. Закон ослабления узкого пучка.

Дифференциальное поперечное сечение. Точное решение задачи рассеяния. Рассеяние в кулоновском поле. Формула Резерфорда.

- 5.2 Взаимодействие фотонного излучения с веществом. Фотоэффект. Оже эффект. Характеристическое излучение. Комптон эффект. Комбинационное рассеяние. Образование электрон-позитронных пар. Позитроний и аннигиляция. ЭПР парадокс. Квантовая телепортация. Квантовый эффект Зенона. Прохождение  $\gamma$ -излучения через вещество. Зависимость эффективных сечений основных механизмов взаимодействия  $\gamma$ -квантов от их энергии и от свойств вещества.
- 5.3 Взаимодействие нейтронов с веществом. Классификация нейтронов по энергиям.
- 5.3.1 Упругое рассеяние ( $n, n$ ) (потенциальное упругое рассеяние, упругое рассеяние через составное ядро). Неупругое рассеяние ( $n, n'$ ) (прямое ядерное взаимодействие, через составное ядро). Рассеяние нейтронов в лабораторной системе и в системе центра масс. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Нерезонансные ядерные реакции через составное ядро. Прямые ядерные реакции. Использование прямых ядерных реакций для определения квантовых характеристик ядерных состояний.
- 5.3.2 Радиационный захват ( $n, \gamma$ ). Захват нейтрона с последующим испусканием заряженных и незаряженных частиц ( $n, \alpha$ ), ( $n, p$ ), ( $n, 2n$ ). Захват нейтрона с последующим делением ядер – вынужденное деление ( $n, f$ ).
- 5.3.3 Деление и синтез атомных ядер. Основные экспериментальные данные о делении и энергетические условия деления. Элементарная теория деления. Деление изотопов урана под действием нейтронов. Энергия активации. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы. Синтез легких ядер. Критерий Лоусона. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Проблемы управляемого термоядерного синтеза. Естественный ядерный реактор в Окло.
- 5.4 Взаимодействие заряженных частиц с веществом
- 5.4.1 Неупругое взаимодействие заряженных частиц с веществом. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов – ионизационные потери. Радиационные потери - Тормозное излучение. Формула Бете.
- 5.4.2 Упругое взаимодействие заряженных частиц с веществом. Радиационное дефектообразование
- 5.4.3 Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Использование этих эффектов для регистрации заряженных частиц.
- 5.4.4 Пробеги заряженных частиц. Треки заряженных частиц. Элементы дозиметрии.
- 5.5. Ядерные реакции.
- 5.5.1. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Сечение реакций. Каналы ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Связь между сечениями прямых и обратных реакций.
- 6.1. Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Понятие о современных методах получения пучков высоких энергий. Накопители частиц. Встречные пучки. Элементы релятивистской кинематики. Наблюдение процессов рождения и распадов частиц. Методы наблюдения короткоживущих частиц.
7. Общие свойства элементарных частиц. Лептоны, адроны. Частицы и античастицы. Механизмы взаимодействия в мире частиц. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Классификация взаимодействий и элементарных частиц.
- 7.1. Электромагнитные взаимодействия. Элементы квантовой электродинамики. Диаграммы Фейнмана.
- 7.2. Сильные взаимодействия и структура адронов. Классификация и квантовые характеристики адронов. Симметрия сильного взаимодействия. Кварки, глюоны и их основные характеристики. Цвет и аромат. Кварковая структура адронов. Формула

Нишиджимы. Элементы квантовой хромодинамики. Цветовая симметрия сильных взаимодействий. Асимптотическая свобода и конфайнмент.

7.3. Электрослабые взаимодействия. Универсальность слабого взаимодействия.

Заряженные и нейтральные токи. Переносчики слабого взаимодействия - промежуточные бозоны. Понятие о полевой теории слабых взаимодействий. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Модель Вайнберга - Салама электрослабого взаимодействия.

7.4 Калибровочная инвариантность как принцип построения полевых теорий элементарных частиц. Понятие о локальной калибровочной инвариантности и о спонтанном нарушении симметрии.

7.5 Дискретные симметрии С, Р, Т и СРТ - теорема. Нарушение СР-инвариантности. Проблема построения единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий.

8. Космические лучи. Первичное космическое излучение. Прохождение космического излучения через атмосферу. Гипотезы происхождения космических лучей.

9. Ядерная астрофизика.

9.1 Этапы развития Вселенной. Современные представления о структуре Вселенной. Барионная асимметрия Вселенной. Темная материя. Темная энергия.

9.2. Дозвездный нуклеосинтез. Ядерные реакции в звездах.

№ 1

Фермионами являются (выберете 1 вариант, должны быть фермионами все 3 частицы)

- 1) фотон, протон, электрон
- 2) пион, позитрон, нейтрон
- 3) протон, нейтрон, электрон
- 4) фотон, пион, альфа-частица

Верный ответ - 3

№ 2

Что из перечисленного не является свойством ядерных сил

- 1) малый радиус действия
- 2) обменный характер ядерного взаимодействия
- 3) зависимость от спинов взаимодействующих частиц
- 4) не зависят от взаимной ориентации спинового и орбитального моментов нуклона

Верный ответ - 4

№ 3

В рамках какой модели атомное ядро рассматривается как вырожденный Ферми-газ (нуклоны занимают нижние уровни), заключённый в потенциальной яме.

- 1) капельная модель
- 2) модель Ферми-газа
- 3) модель Бозе-конденсата
- 4) модель Дирака-Томпсона

Верный ответ - 2

№ 4

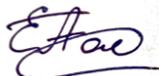
Какое из чисел не является магическим числом протонов

- 1) 8
- 2) 20
- +3) 52
- 4) 114

Верный ответ - 3

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом.

**Разработчик:**



доцент кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ,

к.ф.-м.н., Голыгин Е.А.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ

Протокол № 7 от 26. 03.2024 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_



д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**