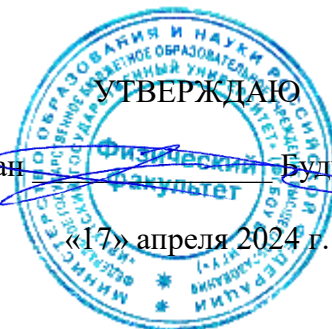




**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра радиофизики и радиоэлектроники**



УТВЕРЖДАЮ

Декан ~~Буднев Н.М.~~ Буднев Н.М.

«17» апреля 2024 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля) Б1.О.12.05 Атомная и ядерная физика

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки Радиофизика: радиоэлектронные устройства, обработка сигналов и автоматизация

Квалификация выпускника - бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель ~~Буднев Н.М.~~ Буднев Н.М.

Рекомендовано кафедрой радиофизики и радиоэлектроники:

Протокол № 8 от «08» апреля 2024 г.

И.О. зав. кафедрой ~~Колесник С.Н.~~ Колесник С.Н.

Иркутск 2024 г.

## Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля): .....	3
II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО .....	3
III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ..	3
IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ .....	5
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	5
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы ( в том числе КСР) обучающихся по дисциплине.....	6
4.3. Содержание учебного материала .....	7
IV.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	9
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	9
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	10
V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).....	11
VI.МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).....	12
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	12
6.2. Программное обеспечение:.....	12
6.3. Технические и электронные средства:.....	13
VII.ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	13
VIII.ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....	13

## I. 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.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина является дисциплиной профессионального цикла. Код учебного цикла. Для усвоение 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".

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенции ОПК-3 в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) 03.03.03 Радиофизика

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ИДК Понимает принципы построения атома и ядра, влияние физики элементарных частиц на системы связи и работу оборудования, и использует их для решения профессиональной деятельности в области физики и радиофизики	Знать: основные принципы построения атомной физики, физики атомного ядра и элементарных частиц. Уметь: использовать базовые знания в области атомной физики, физики атомного ядра и элементарных частиц; Владеть: навыками сравнения и оценки различного оборудования, где используются принципы атомной и ядерной физики (способен читать и понимать спецификации оборудования).

**ОПК-2**

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

**ИДК**

Понимает принципы построения атома и ядра, влияние физики элементарных частиц на системы связи и работу оборудования, и использует их для

**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;

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 288 часов,  
 Форма промежуточной аттестации: экзамен

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа (в том числе, внеаудиторная СР, КСР)	
					Лекция	лабораторное занятие	Консульта ция		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T1. Введение.	5	29		3,4	5		10	Опрос
2	T2. Основные свойства атомных ядер.	5	29		3,4	5		10	Опрос
3	T3. Радиоактивность	5	29		3,4	5		10	Опрос
4	T4. Модели атомных ядер	5	29		3,4	5		10	Опрос
5	T5. Взаимодействие излучения с веществом	5	29		3,4	5		10	Опрос
6	T6. Экспериментальные методы в физике высоких энергий.	5	29		3,4	5		10	Опрос
7	T7. Общие свойства элементарных частиц	5	29		3,4	5		10	Опрос
8	T8. Космические лучи.	5	29		3,4	5		10	Опрос
9	T9. Ядерная астрофизика	5	29	5	3,4			10	Опрос

10	Т10. Экзамен. Обобщение, повторение материала.	5	29	5	3,4	10	0,2	10	Опрос
----	--	---	----	---	-----	----	-----	----	-------

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы ( в том числе КСР) обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Т1. Введение.	Работа с учебником, справочной литературой, конспектом	2-3 нед.	10	Опрос	Конспект, рекомендуемая литература
2	Т2. Основные свойства атомных ядер.		2-3 нед.	10		
3	Т3. Радиоактивность		2-3 нед.	10		
4	Т4. Модели атомных ядер		2-3 нед.	10		
5	Т5. Взаимодействие излучения с веществом		2-3 нед.	10		
6	Т6. Экспериментальные методы в физике высоких энергий.		2-3 нед.	10		
7	Т7. Общие свойства элементарных частиц		2-3 нед.	10		
8	Т8. Космические лучи.		2-3 нед.	10		
9	Т9. Ядерная астрофизика		2-3 нед.	10		
10	Т10. Экзамен. Обобщение, повторение материала.		2-3 нед.	10		
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час) 49				<b>100</b>		
Из них объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час)				<b>0</b>		

### 4.3. Содержание учебного материала

**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. Опыты 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 CP-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.



### IV.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы) *
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	T1	T1. Введение.	5		Опрос	ОПК-1, ОПК-2
2	T2	T2. Основные свойства атомных ядер.	5		Опрос	
3	T3	T3. Радиоактивность	5		Опрос	
4	T4	T4. Модели атомных ядер	5		Опрос	
5	T5	T5. Взаимодействие излучения с веществом	5		Опрос	
6	T6	T6. Экспериментальные методы в физике высоких энергий.	5		Опрос	
7	T7	T7. Общие свойства элементарных частиц	5		Опрос	
8	T8	T8. Космические лучи.	5		Опрос	
9	T9	T9. Ядерная астрофизика				
10	T10	T10. Экзамен. Обобщение, повторение материала.	5		Опрос	

### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	T1	T1. Введение.	ОПК-1, ОПК-2	ИДК
2	T2	T2. Основные свойства атомных ядер.		
3	T3	T3. Радиоактивность		
4	T4	T4. Модели атомных ядер		

5	T5	T5. Взаимодействие излучения с веществом		
6	T6	T6.Экспериментальные методы в физике высоких энергий.		
7	T7	T7.Общие свойства элементарных частиц		
8	T8	T8.Космические лучи.		
9	T9	T9.Ядерная астрофизика		
10	T10	T10.Экзамен. Обобщение, повторение материала.		

#### 4.4. 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;

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы по темам дисциплины:

- T1. Введение.
- T2. Основные свойства атомных ядер.
- T3. Радиоактивность
- T4. Модели атомных ядер
- T5. Взаимодействие излучения с веществом
- T6. Экспериментальные методы в физике высоких энергий.
- T7. Общие свойства элементарных частиц
- T8. Космические лучи.
- T9. Ядерная астрофизика
- T10. Экзамен. Обобщение, повторение материала.

#### **IV.4. Примерная тематика курсовых работ (проектов) не предусмотрено**

### **V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Электронная информационно-образовательная среда университета обеспечивает доступ к электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочей программе дисциплины (модуля).

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий на одного обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

Обучающимся обеспечен доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей).

#### **а) перечень литературы**

##### **а). Основная литература:**

- 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. :

##### **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". -

Н  
е  
о  
г  
р

### **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,

#### **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 рситет). - 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)

##### **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)

*Сверено с №5 415 (В)*

#### **б) периодические издания**

#### **в) список авторских методических разработок:**

Методические рекомендации для выполнения лабораторных работ.

#### **г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Научная библиотека ИГУ [http://library.isu.ru/ru/resources/edu\\_resources/index.html](http://library.isu.ru/ru/resources/edu_resources/index.html)
2. БД книг и продолжающихся изданий [http://ellibnb.library.isu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.htm?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IRCAT&P21DBN=IRCAT](http://ellibnb.library.isu.ru/cgi-bin/irbis64r_15/cgiirbis_64.htm?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IRCAT&P21DBN=IRCAT)
3. Электронный читальный зал «БиблиоТех» <https://isu.bibliotech.ru/>
4. Электронная библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>
5. Электронная библиотечная система «РУКОНТ» <http://rucont.ru>

## **VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Аудитория 312 – лаборатория, оснащенная лабораторным оборудованием, в том числе, для проведения лабораторных работ по дисциплине.

### **6.2. Программное обеспечение:**

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Мультимедийный проектор, экран (по необходимости), меловая или маркерная доска.

## VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции, практики, использование метода проектного подхода в образовательной деятельности, разбор спецификаций, защита лабораторных работ.

## VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

\* 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. Опыты 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 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. К-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.

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  $C$ ,  $P$ ,  $T$  и  $CPT$  – теорема. Нарушение  $CP$ -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.

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

**Разработчик:**

 \_\_\_\_\_ доцент кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ,

к.ф.-м.н., Голыгин Е.А.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учитывает рекомендации ПООП по направлению и профилю подготовки **03.03.03 Радиофизика**.

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники «08» апреля 2024 г. протокол № 8

И.О. зав. кафедрой  \_\_\_\_\_ Колесник С.Н.

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