

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.06.2023 09:47:46  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ed1b735f608

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика атомного ядра и элементарных частиц**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н. Шуклов А.Д.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **Цель и задачи дисциплины**

**Целью** освоения дисциплины является:

создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение других разделов физики и специализированных курсов.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

1. изучение основных принципов физики ядра и явлений, происходящих в мире элементарных частиц;
2. установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений;
3. постановка и анализ задачи, применение различных методов решения.

### **Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика атомного ядра и элементарных частиц» входит в Блок 1. Дисциплины обязательной части учебного плана ООП.

Общий курс «Физика атомного ядра и элементарных частиц» ставит своей целью познакомить студентов с основами экспериментальной и теоретической ядерной физики с тем, чтобы выпускник физико-технического факультета имел достаточно полное представление об основных результатах и современных тенденциях в развитии молодой науки. Это касается в первую очередь: свойств атомных ядер; радиоактивности, ядерных реакций и экспериментов в физике низких, средних и высоких энергий; нуклон-нуклонных взаимодействий и свойств ядерных сил; модели атомных ядер; взаимодействия ядерного излучения с веществом; фундаментальных взаимодействий в природе; классификации элементарных частиц; современных астрофизических представлений.

Теоретические дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: общий физический практикум, курсы общей и теоретической физики.

Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины: иметь представление об основных понятиях и законах ядерной физики в рамках программы средней школы; знать курс общей физики и математических дисциплин в рамках программы 5-и семестров университета

**Объем дисциплины:** 3 зачетные единицы, 108 академических часа, **в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 28 часа, практические занятия 14 часа;

**самостоятельная работа:** 66 часов, в том числе контроль 27 часов.

#### **4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие; УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
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-1.1. Применяет базовые знания в области физико-математических наук для решения задач профессиональной деятельности.
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;	ОПК-2.2. Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования.

#### **5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Экзамен в 6 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Практические занятия		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
<p><b>1. Свойства атомных ядер.</b> Ядро как совокупность протонов и нейтронов. Масса и энергия ядра. Энергия связи ядра. Капельная модель, полуэмпирическая Вайцеккера для масс ядра, спин и магнитный момент ядра. Квадрупольный электрический момент, четность, магические числа, ядерные оболочки, обобщенная модель ядра.</p>	5	2		1		2
<p><b>2. Радиоактивность.</b> Радиоактивные превращения ядер. Радиоактивные семейства. Искусственная радиоактивность. Виды распада: <math>\alpha</math> - распад, механизм распада, туннельный эффект, роль центробежного барьера. Зависимость периода <math>\alpha</math> -распада от энергии <math>\alpha</math> -частиц. Правила отбора. <math>\beta</math> - распад. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Несохранение четности в <math>\beta</math> - распаде. Разрешенные и запрещенные <math>\beta</math> - переходы. <math>\gamma</math> - излучение ядер. Правила отбора. Электрические и магнитные переходы. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра. Применение эффекта</p>	6	2		1		3

Мессбауэра. Датировка событий.					
<b>3. Взаимодействие нуклонов и свойства ядерных сил.</b> Свойства ядерных сил. Система двух нуклонов. Дейтрон. Тензорный характер ядерных сил. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Обменный характер ядерных сил. Мезонная модель нуклон – нуклонного взаимодействия.	6	2		1	3
4. Модели атомных ядер. Основные экспериментальные факты. Микроскопические и коллективные модели. Модель Ферми-газа. Капельная модель ядра. Полуэмпирическая формула энергии связи ядра. Деформация ядер. Квадрупольный электрический момент. Физическое обоснование оболочечной модели. Потенциал среднего ядерного поля. Спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в ядерном потенциале. Коллективные свойства ядер. Колебательные и вращательные состояния ядер. Обобщенная модель ядра.	6	2		1	3
5. Ядерные реакции. Методы изучения ядерных реакций. Детекторы частиц. Принципы работы ускорителей. Законы сохранения в ядерных реакциях. Энергия и порог реакции. Сечения реакций. Каналы реакций. Кинематика ядерных реакций. Механизмы ядерных реакций. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Прямые ядерные реакции. Оптическая модель ядра. Взаимодействие фотонов и электронов с ядрами. Нейтронная физика. Деление ядер. Деление изотопов урана	6	2		1	3

нейтронами. Цепная реакция деления. Ядерные взрывы. Ядерные реакторы. Теория подкритичного ядерного реактора. Реакции синтеза легких ядер. Термоядерная энергия. Трансурановые элементы.					
6. Взаимодействие ядерного излучения с веществом. Взаимодействие заряженных частиц со средой. Тяжелые и легкие частицы. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Радиационные потери. Пробеги заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Прохождение $\gamma$ -излучения через вещество: фотоэффект, Комптон – эффект, рождение электрон-позитронных пар. Эффект Вавилова – Черенкова. Дозиметрия. Биологическое действие излучения и защита от него.	6	2		1	3
7. Частицы и взаимодействия. Четыре типа фундаментальных взаимодействия. Константы и радиусы взаимодействия. Принципы описания взаимодействия частиц в квантовой теории поля. Переносчики взаимодействия. Понятие о диаграммах Фейнмана. Основные характеристики частиц. Классификация частиц. Фотон, лептоны, мезоны и барионы. Калибровочные бозоны. Фундаментальные частицы. Квантовые числа частиц и законы сохранения. Античастицы. Возбужденные состояния адронов. Резонансы. Странные частицы. Античастицы. Нейтральные частицы.	5	2		1	2
8. Эксперименты в физике высоких энергий. Экспериментальные методы в физике высоких энергий.	6	2		1	3

Ускорители. Встречные пучки. Пучки вторичных частиц. Детекторы. Реакции с частицами. Взаимодействия и распады частиц.						
<b>9. Электромагнитные взаимодействия.</b> Основные свойства электромагнитного взаимодействия. Испускание и поглощение фотонов. Электромагнитное рассеяние лептонов. Взаимодействие фотонов с адронами. Векторные мезоны. Упругое рассеяние электронов. Формула Мотта. Форм-факторы нуклонов и частиц.	5	2		1		2
<b>10. Сильные взаимодействия.</b> Классификация адронов. Барионы и мезоны. Супермультиплеты адронов. Странность и другие адронные квантовые числа. Адронные свойства фотона. Глубоконеупругие процессы. Кварки. Глюоны. Кварковая модель адронов. Тяжелые кварки $c$ , $b$ , $t$ . Цвет кварков и глюонов. Потенциал сильного взаимодействия. Асимптотическая свобода и невылетание кварков (конфайнмент).	6	2		1		3
<b>11. Слабые взаимодействия.</b> Основные характеристики слабого взаимодействия. Распады мюона и $\tau$ -лептона. Лептоны и лептонные квантовые числа. Промежуточные бозоны $W^+$ , $W^-$ , $Z$ . Законы сохранения в слабых взаимодействиях. Слабые распады лептонов и кварков. Нейтрино и антинейтрино. Взаимодействие нейтрино с веществом. Масса нейтрино.	6	2		1		3
<b>12. Дискретные симметрии.</b> Симметрии и законы сохранения. Пространственная инверсия. Зарядовое сопряжение. Обращение	6	2		1		3

времени. Несохранение пространственной и зарядовой четности в слабых взаимодействиях. СРТ- инвариантность. Экспериментальная проверка инвариантности различных типов фундаментальных взаимодействий. СР-преобразование. $K^0$ -мезоны. Нарушение СР-симметрии в распаде $K^0$ -мезонов.						
13. Объединение взаимодействий. Экранировка заряда в квантовой электродинамике. Зависимость констант взаимодействия от переданного импульса. Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий. Великое объединение. Поиск нестабильности протона.	6	2		1		3
14. <b>Современные астрофизические представления.</b> Вещество астрофизических объектов в экстремальных условиях (сверхвысокие давления и температуры). Представление о нейтронных звездах, пульсарах, черных дырах. Космические лучи. Гипотезы о происхождении космических лучей.	6	2		1		3
<b>ЭКЗАМЕН</b>	27					27
<b>Итого</b>	108	28		14		66

### III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
1. <b>Свойства атомных ядер.</b> Ядро как совокупность протонов и нейтронов. Масса и энергия ядра. Энергия связи ядра. Капельная модель, полумпирическая Вайцеккера для масс ядра, спин и магнитный момент ядра. Квадрупольный электрический момент, четность,	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>



<p>магические числа, ядерные оболочки, обобщенная модель ядра.</p>		
<p><b>2. Радиоактивность.</b>          Радиоактивные превращения ядер. Радиоактивные семейства. Искусственная радиоактивность. Виды распада: <math>\alpha</math> - распад, механизм распада, туннельный эффект, роль центробежного барьера. Зависимость периода <math>\alpha</math> - распада от энергии <math>\alpha</math> - частиц. Правила отбора. <math>\beta</math> - распад. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Несохранение четности в <math>\beta</math> - распаде. Разрешенные и запрещенные <math>\beta</math> - переходы. <math>\gamma</math> - излучение ядер. Правила отбора. Электрические и магнитные переходы. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра. Применение эффекта Мессбауэра. Датировка событий.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание          Групповое решение задач.          Решение индивидуальных задач          Мозговой штурм</i></p>
<p><b>3. Взаимодействие нуклонов и свойства ядерных сил.</b> Свойства ядерных сил. Система двух нуклонов. Дейтрон. Тензорный характер ядерных сил. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Обменный характер ядерных сил. Мезонная модель нуклон – нуклонного взаимодействия.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание          Групповое решение задач.          Решение индивидуальных задач          Мозговой штурм</i></p>
<p><b>4. Модели атомных ядер.</b> Основные экспериментальные факты. Микроскопические и коллективные модели. Модель Ферми-газа. Капельная модель ядра. Полуэмпирическая формула энергии связи ядра. Деформация ядер. Квадрупольный электрический момент. Физическое обоснование оболочечной модели. Потенциал</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание          Групповое решение задач.          Решение индивидуальных задач          Мозговой штурм</i></p>

<p>среднего ядерного поля. Спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в ядерном потенциале. Коллективные свойства ядер. Колебательные и вращательные состояния ядер. Обобщенная модель ядра.</p>		
<p>5. Ядерные реакции. Методы изучения ядерных реакций. Детекторы частиц. Принципы работы ускорителей. Законы сохранения в ядерных реакциях. Энергия и порог реакции. Сечения реакций. Каналы реакций. Кинематика ядерных реакций. Механизмы ядерных реакций. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Прямые ядерные реакции. Оптическая модель ядра. Взаимодействие фотонов и электронов с ядрами. Нейтронная физика. Деление ядер. Деление изотопов урана нейтронами. Цепная реакция деления. Ядерные взрывы. Ядерные реакторы. Теория подкритичного ядерного реактора. Реакции синтеза легких ядер. Термоядерная энергия. Трансурановые элементы.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>
<p>6. Взаимодействие ядерного излучения с веществом. Взаимодействие заряженных частиц со средой. Тяжелые и легкие частицы. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Радиационные потери. Пробеги заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Прохождение <math>\gamma</math>-излучения через вещество: фотоэффект, Комптон – эффект,</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>

<p>рождение электрон-позитронных пар. Эффект Вавилова – Черенкова. Дозиметрия. Биологическое действие излучения и защита от него.</p>		
<p>7. Частицы и взаимодействия. Четыре типа фундаментальных взаимодействия. Константы и радиусы взаимодействия. Принципы описания взаимодействия частиц в квантовой теории поля. Переносчики взаимодействия. Понятие о диаграммах Фейнмана. Основные характеристики частиц. Классификация частиц. Фотон, лептоны, мезоны и барионы. Калибровочные бозоны. Фундаментальные частицы. Квантовые числа частиц и законы сохранения. Античастицы. Возбужденные состояния адронов. Резонансы. Странные частицы. Античастицы. Нейтральные частицы.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>
<p>8. Эксперименты в физике высоких энергий. Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Ускорители. Встречные пучки. Пучки вторичных частиц. Детекторы. Реакции с частицами. Взаимодействия и распады частиц.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>
<p><b>9. Электромагнитные взаимодействия.</b> Основные свойства электромагнитного взаимодействия. Испускание и поглощение фотонов. Электромагнитное рассеяние лептонов. Взаимодействие фотонов с адронами. Векторные мезоны. Упругое рассеяние электронов. Формула Мотта. Форм-факторы нуклонов и</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>

частиц.		
<p>10. <b>Сильные взаимодействия.</b> Классификация адронов. Барионы и мезоны. Супермультиплеты адронов. Странность и другие адронные квантовые числа. Адронные свойства фотона. Глубоконеупругие процессы. Кварки. Глюоны. Кварковая модель адронов. Тяжелые кварки <math>s</math>, <math>b</math>, <math>t</math>. Цвет кварков и глюонов. Потенциал сильного взаимодействия. Асимптотическая свобода и невылетание кварков (конфайнмент).</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>
<p>11. <b>Слабые взаимодействия.</b> Основные характеристики слабого взаимодействия. Распады мюона и <math>\tau</math>-лептона. Лептоны и лептонные квантовые числа. Промежуточные бозоны <math>W^+</math>, <math>W^-</math>, <math>Z</math>. Законы сохранения в слабых взаимодействиях. Слабые распады лептонов и кварков. Нейтрино и антинейтрино. Взаимодействие нейтрино с веществом. Масса нейтрино.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>
<p>12. <b>Дискретные симметрии.</b> Симметрии и законы сохранения. Пространственная инверсия. Зарядовое сопряжение. Обращение времени. Несохранение пространственной и зарядовой четности в слабых взаимодействиях. СРТ-инвариантность. Экспериментальная проверка инвариантности различных типов фундаментальных взаимодействий. СР-преобразование. <math>K^0</math>-мезоны. Нарушение СР-симметрии в распаде <math>K^0</math>-мезонов.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>

<p>13. Объединение взаимодействий. Экранировка заряда в квантовой электродинамике. Зависимость констант взаимодействия от переданного импульса. Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий. Великое объединение. Поиск неустойчивости протона.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>
<p>14. <b>Современные астрофизические представления.</b> Вещество астрофизических объектов в экстремальных условиях (сверхвысокие давления и температуры). Представление о нейтронных звездах, пульсарах, черных дырах. Космические лучи. Гипотезы о происхождении космических лучей.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i></p>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

**Форма проведения экзамена:** студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:**

УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

**Задание:**

Решить задачу: Во сколько раз число распадов ядер радиоактивного иода  $^{131}\text{I}$  в течение первых суток больше числа распадов в течение вторых суток? Период полураспада изотопа  $^{131}\text{I}$  равен 193 часам.

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

- *Высокий уровень (3 балла):* Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- *Средний уровень (2 балла):* Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- *Низкий уровень (1 балл):* Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

**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-1.1. Применяет базовые знания в области физико-математических наук для решения задач профессиональной деятельности.

**Задание:**

Решите задачу: Определить в лабораторной системе координат кинетическую энергию ядра  $^9\text{Be}$ , образующегося при пороговом значении энергии нейтрона в реакции  $^{12}\text{C}(n, \alpha)^9\text{Be}$ .

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

**ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;**

ОПК-2.2. Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования

**Задание:**

1. Решить задачу: Вычислить удельную энергию связи для ядра  $^{12}\text{C}$

2. Решите задачу: Определить кинетические энергии  $\alpha$ -частицы и конечного ядра при  $\alpha$ -распаде  $^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{208}_{81}\text{Tl} + \alpha$ .

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### 1) Рекомендуемая литература

#### **а) основная литература:**

1. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 1. Физика атомного ядра. СПб.: Лань, 2009. 384 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=277](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=277)
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 3. Физика элементарных частиц. СПб.: Лань, 2009. 326 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=279](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=279)
3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 2. Физика ядерных реакций. СПб.: Лань, 2009. 432 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=280](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=280)
4. Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц. Москва: Физмалит, 2010. <http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75503>
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц. М.: Физматлит, 2006 Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=82991&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=82991&sr=1)

#### **б) Дополнительная литература:**

1. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спириин Г.Г. Курс общей физики 2: Электромагнетизм. Оптика. Квантовая физика. М.: Юрайт, 2013.  
<https://biblio-online.ru/book/4799958B-AF0F-448D-A362-F09211AC56C0/kurs-obschey-fiziki-v-3-kn-kniga-2-elektromagnetizm-optika-kvantovaya-fizika>
2. Ракобольская И.В. Ядерная физика. МГУ, 1971.  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=483311&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=483311&sr=1)
3. Сборник задач по общему курсу физики: Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / под ред. Д. В. Сивухина. М. : ФИЗМАТЛИТ : Лань, 2006. [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=75704&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=75704&sr=1)

### 2) Программное обеспечение



- а) Лицензионное программное обеспечение
- б) Свободно распространяемое программное обеспечение
- 3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

- 4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Ядерная физика в Интернете <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

#### **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

– планы практических (семинарских) занятий.

– сборники задач.

– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

– требования к рейтинг-контролю

– планы практических (семинарских) занятий:

**Семинар 1:** Решение задач на тему «Рассеяние элементарных частиц и размеры атомных ядер». Примеры задач:

1. Альфа-частицы с кинетической энергией  $T = 6.5$  МэВ испытывают резерфордское рассеяние на ядре золота  $^{197}\text{Au}$ . Определить: 1) параметр столкновения  $b$  для альфа-частиц, наблюдаемых под углом  $\theta = 90^\circ$ ; 2) минимальное расстояние  $r_{\min}$  сближения альфа-частиц с ядром; 3) кинетическую ( $T'$ ) и 4) потенциальную ( $E'$ ) энергии альфа-частиц в этой точке.
2. Протон с кинетической энергией  $T = 2$  МэВ налетает на неподвижное ядро  $^{197}\text{Au}$ . Определить дифференциальное сечение рассеяния  $d\sigma/d\Omega$  на угол  $\theta$

= 60°. Как изменится величина дифференциального сечения рассеяния, если в качестве рассеивающего ядра выбрать  $^{27}\text{Al}$ ?

3. Вычислить сечение рассеяния  $\alpha$ -частицы с кинетической энергией  $T = 5$  МэВ кулоновским полем ядра  $^{208}\text{Pb}$  под углами больше  $90^\circ$ .

**Семинар 2:** Решение задач на тему «Энергия связи ядер. Капельная модель ядра». Примеры задач:

1. Вычислить удельную энергию связи для ядра  $^{12}\text{C}$ .
2. Найти энергии отделения нейтрона и протона от ядра  $^{12}\text{C}$ .
3. Найти энергию отделения альфа-частицы от  $^{12}\text{C}$ .

**Семинар 3:** Решение задач на тему «Квантовые характеристики ядерных состояний». Примеры задач:

1. Определить спины и четности основных состояний изотопов кислорода  $^{15}\text{O}$ – $^{18}\text{O}$ . Ответ:  $1/2^-$ ,  $0^+$ ,  $5/2^+$ ,  $0^+$ .
2. Определить спины и четности основных состояний ядер  $^{39}_{19}\text{K}$  и  $^{41}_{20}\text{Ca}$ .  
Ответ:  $3/2^+$  и  $7/2^-$  соответственно.
3. Предсказать магнитный момент ядра  $^{41}_{21}\text{Sc}$  в основном состоянии, опираясь на одночастичную модель оболочек. Ответ:  $+5,79\mu_N$
4. Предсказать магнитный момент ядра  $^{13}_6\text{C}$  в основном состоянии, опираясь на одночастичную модель оболочек. Ответ:  $+0,64\mu_N$

**Семинар 4:** Решение задач на тему «Радиоактивность». Примеры задач:

1. Активность препарата  $^{32}\text{P}$  равна 2 мкКи. Сколько весит такой препарат? период полураспада равен 14,5 суток.
2. В результате  $\alpha$ -распада радий  $^{226}\text{Ra}$  превращается в радон  $^{222}\text{Rn}$ . Какой объем радона при нормальных условиях будет находиться в равновесии с 1 г радия? Период полураспада  $^{226}\text{Ra}$   $T_{1/2}(\text{Ra}) = 1600$  лет,  $^{222}\text{Rn}$  -  $T_{1/2}(\text{Rn}) = 3,82$  дня.
3. Удельное содержание изотопа  $^{14}\text{C}$ , усвоенного деревом при его жизни, затем уменьшается вследствие  $\beta$ -распада с периодом полураспада 5700 лет. Определить возраст деревянного предмета, обнаруженного при

раскопках, если удельная активность  $^{14}\text{C}$  этого предмета составляет 0,1 от удельной активности свежесрубленного дерева.

4. Используя формулу Вейцеккера, оценить, начиная с какого массового числа становится энергетически возможным  $\alpha$ -распад. Ответ:  $A > 150$ .
5. Оценить период полураспада радиоактивного ядра, испускающего  $\alpha$ -частицы с энергией 1 МэВ, если ядро  $^{232}_{90}\text{Th}$  имеет период полураспада  $T = 1,4 \cdot 10^{10}$  лет и испускает  $\alpha$ -частицы с энергией 4 МэВ, а для ядра  $^{212}_{84}\text{Po}$  период полураспада  $T = 3 \cdot 10^{-7}$  с и  $E_{\alpha} = 8,8$  МэВ. Ответ:  $T = 3,2 \cdot 10^{84}$  лет.

### Семинар 5: Решение задач на тему «Деление ядер. Ядерные реакции».

Примеры задач:

1. С помощью формулы Вейцеккера
  - a. Вычислите энергию, высвобождаемую при делении ядра  $^{238}\text{U}$  на два одинаковых осколка.
  - b. Найдите критическое значение  $Z^2/A$ , при котором становится энергетически возможным деление ядра на два одинаковых осколка.
2. Возможны ли реакции:
  1.  $\alpha + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^{10}\text{B} + n$ ;
  2.  $\alpha + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{14}\text{N} + d$под действием  $\alpha$ -частиц с кинетической энергией  $T_{\alpha} = 10$  МэВ?  
Ответ: 1. Возможна, 2) невозможна.
3. Вычислить порог реакции:  ${}^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}\text{O} + p$ , в двух случаях, если налетающей частицей является:
  - 1)  $\alpha$ -частица, 2) ядро  ${}^{14}\text{N}$ . Энергия реакции  $Q = 1,18$  МэВ. Объяснить результат.
4. Определить, какую минимальную энергию должен иметь протон, чтобы стала возможной реакция  
 $p + d \rightarrow p + p + n$ .

**Семинар 6:** Решение задач на тему «Элементарные частицы и их взаимодействие». Примеры задач:

1. Какая минимальная кинетическая энергия частиц каждого из сталкивающихся пучков  $p\bar{p}$  – коллайдера необходима для протекания реакций: 1)  $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Omega}^- + \Omega^-$ ; 2)  $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Sigma}^0 + \Lambda$ ; 3)  $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Lambda} + \Lambda$ ?  
Энергии покоя частиц:  $m_p c^2 = 938,27 \text{ МэВ}$ ,  $m_{\Omega^-} c^2 = 1672,43 \text{ МэВ}$ ,  
 $m_{\Sigma^0} c^2 = 1192,55 \text{ МэВ}$ ,  $m_{\Lambda} c^2 = 1115,63 \text{ МэВ}$ .
2. Найти, какие из самых тяжелых ядер и антиядер могут образоваться в реакции  $p + p$  при соударении протона с энергией  $E_p = 3 \cdot 10^{12} \text{ эВ}$  с неподвижным протоном и на встречных пучках протонов, ускоренных до такой же энергии.
3. Определить частицы  $X$ , образующиеся в следующих реакциях сильного взаимодействия: 1)  $\pi^- + p \rightarrow K^- + p + X$ ; 2)  $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^0 + X$ ; 3)  $p + \bar{p} \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + X$ .
4. Могут ли следующие реакции: 1)  $\pi^- + p \rightarrow K^- + \Xi^- + K^+$ ; 2)  $\pi^+ + p \rightarrow \Delta^{++} + \pi^0$ ; 3)  $K^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \pi^0$  происходить в результате сильного взаимодействия.

– **сборники задач:**

1. Сборник задач по общему курсу физики. Ч.3 Атомная и ядерная физика. Строение вещества./Под ред. В.А. Овчинкина. М.: Физматкнига, 2009.-512 с.
2. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб.: Лань, 2005.-288с.
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2001. – 432с.
4. Сборник задач по общему курсу физики. В 5 т. Кн. V. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / Под ред. Д. В. Сивухина. М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2006. - 184 с.

**– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

**Требования к рейтинг-контролю.** В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
- 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/misc/questions.htm>):
  1. Состав и размер ядра. N-Z диаграмма атомных ядер.
  2. Масса и энергия связи ядра. Формула Вайцзеккера.
  3. Радиоактивный распад ядер. Законы радиоактивного распада ядра.
  4. Альфа-распад. Кулоновский и центробежный барьеры.
  5. Бета-распад. Экспериментальное обнаружение (анти)нейтрино.
  6. Гамма-переходы в ядрах. Электрические и магнитные гамма-переходы.
  7. Дейтрон - связанное состояние нейтрона и протона.
  8. Свойства нуклон-нуклонного взаимодействия.
  9. Мезонная теория ядерных сил.
  10. Ядерные реакции. Законы сохранения, кинематика.
  11. Механизмы ядерных реакций. Прямые реакции. Составное ядро.
  12. Деление ядер.
  13. Модель ядерных оболочек.
  14. Одночастичные и коллективные возбуждения ядер.
  15. Фундаментальные частицы Стандартной модели
  16. Законы сохранения в физике частиц.
  17. Частицы и античастицы.

- 18.Резонансные частицы.
- 19.Электромагнитные взаимодействия. Структура нуклона.
- 20.Изоспин. Изоспиновые мультиплеты.
- 21.Странность. Рождение и распад странных частиц.
- 22.Сильные взаимодействия. Кварки. Глюоны. Цвет.
- 23.Кварковая структура адронов. Барионы. Мезоны.
- 24.Слабые взаимодействия. Промежуточные бозоны.
- 25.Слабые распады лептонов и кварков.
- 26.Пространственная инверсия. P-четность.
- 27.Зарядовое сопряжение. Зарядовая четность. CP-инверсия.
- 28.Обращение времени. CPT-теорема.
- 29.Фундаментальные взаимодействия. Объединение взаимодействий.  
Проблема нестабильности протона.
- 30.Нуклеосинтез во Вселенной. Ядерные реакции в звездах.

Космические лучи. Состав и происхождение

## VII. Материально-техническое обеспечение

<b>Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Лекционная аудитория № 226 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Микшерный пульт Yamaha MG-124C 2 Аудиокомплект (мик. пульт, акуст. усилитель, акуст. система, радиосистема) 3 Интерактивная система SMART Board 660i4 4 Мультимедийный проектор Epson EB-4850WU с потолочным креплением 5 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками 6 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками 7 Экран настенный Lumien 8 Компьютер iRU Corp 510 15-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows MS Office 365 pro plus Microsoft Windows 10 Enterprise Microsoft Visual Studio 2019 . Mozilla Firefox -бесплатно

	E220HQVB 21,5'' 9 Комплект учебной мебели на 110 посадочных мест 10 Меловая доска	
--	--	--

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики,</p> <p>Компьютерный класс физико-технического факультета.</p> <p>Компьютерная лаборатория робототехнических систем № 4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт</p> <p>2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь</p> <p>3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D</p> <p>4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</p> <p>5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</p> <p>6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»</p> <p>7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Microsoft Office Microsoft Windows 10 Enterprise Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав IC00000027 от 16.09.2011; MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012; Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Adobe Acrobat Reader DC – Russian – бесплатно Adobe Media Player – бесплатно Google Chrome – бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) – бесплатно Lazarus 1.4.0 - бесплатно LEGO MINDSTORMS EV3 – бесплатно Microsoft Expression Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно R Studio - бесплатно</p>

### VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			