

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
  
Артемонова М.В.  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

**направление подготовки / специальность**

**44.03.05 – Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)**  
(код и наименование направления подготовки (специальности))

**направленность (профиль) подготовки**

**Физика. Математика**

(направленность (профиль) подготовки))

г. Владимир

2021 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Основы теоретической физики» являются:

1. Формировать физическое мышление у студентов;
2. Дать научные знания на уровне высшей школы, достаточные для освоения соответствующих разделов теоретической физики, а также для понимания и изучения технических дисциплин;
3. Дать основные знания и умения, которые будут необходимы при работе в средней школе в качестве учителя физики;
4. Развить навыки самостоятельной работы студентов.

Задачи дисциплины:

1. овладение знаниями:
  - 1) теоретических основ науки, терминологии, истории становления,
  - 2) методов экспериментальных и теоретических исследований,
  - 3) предмета и объекта исследований данной науки,
2. овладение навыками:
  - 1) решения расчетных задач,
  - 2) работы с учебной и научной литературой,
  - 3) овладение умением решения творческих и нестандартных задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Основы теоретической физики относится к обязательной части блока «Дисциплины (модули)».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации. УК-1.2. Умеет соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности. УК-1.3. Владеет навыками научного поиска и практической работы с информационными источниками; методами принятия решений.	Знает: - социальную значимость астрономии как науки и своей будущей профессии учителя физики; - место астрономии в системе естественных наук и в жизни человеческого общества, тесную взаимосвязь астрономии с другими естественными науками; - основные понятия астрономии: астрономические объекты и явления, а так же их характеристик – физических величин.	Тестовые вопросы Практические задачи

		<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах и использовать основные законы физики в профессиональной деятельности;</li> <li>- применять физические законы для решения практических задач.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологией организации, планирования, проведения измерений и обработки результатов экспериментальных исследований, в том числе с использованием специализированного программного обеспечения.</li> </ul>	
<p>ОПК-8. Способен осуществлять педагогическую деятельность на основе специальных научных знаний</p>	<p>ОПК-8.1. Демонстрирует специальные научные знания в своей предметной области;</p> <p>ОПК-8.2. Осуществляет урочную и внеурочную деятельность в соответствии с предметной областью согласно освоенному профилю (профилям) подготовки;</p> <p>ОПК-8.3. Владеет методами научно-педагогического исследования в предметной области и методами анализа педагогической ситуации на основе специальных научных знаний.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- предмет и объект астрономии как науки;</li> <li>- теоретические основы и природу основных астрономических явлений;</li> <li>- фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной астрономии;</li> <li>- основные достижения астрономии в практической жизни;</li> <li>- возможности специализированного программного обеспечения по астрономии.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах и использовать основные законы физики в профессиональной деятельности;</li> <li>- применять физические законы для решения практических задач;</li> <li>- применять цифровые технологий в работе с астрономическими данными.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с научной литературой разного уровня (научно-</li> </ul>	<p>Тестовые вопросы</p> <p>Практические задачи</p> <p>Индивидуальные проектные задания</p>

		популярные издания, периодические журналы, монографии, учебники, справочники); -навыками работы с астрономическим оборудованием, в том числе специализированным ПО; -навыками оценки результатов научного эксперимента или исследования.	
ПК-4. Способен формировать развивающую образовательную среду для достижения личностных, предметных и метапредметных результатов обучения средствами преподаваемых учебных предметов	ПК.4.1. Формулирует личностные, предметные и метапредметные результаты обучения по своему учебному предмету ПК.4.2. Применяет современные методы формирования развивающей образовательной среды ПК.4.3. Создает педагогические условия для формирования развивающей образовательной среды	Знает: -возможности инновационной образовательной среды для достижения личностных, метапредметных и предметных результатов, закономерности становления способности к межкультурной коммуникации как средства воспитания поликультурной личности. Умеет: -обеспечить высокое качество учебно-воспитательного процесса средствами преподаваемого предмета, применять инновационные методики и технологии обучения физике на разных уровнях и стадиях. Владеет: инновационными методами и технологиями обучения (физике), новыми информационными и телекоммуникационными технологиями в обучении физике.	Тестовые вопросы Практические задачи Индивидуальные проектные задания
ПК-6. Способен проектировать содержание образовательных программ и их элементов	ПК.6.1. Способен формировать и реализовывать программы развития универсальных учебных действий ПК.6.2. Демонстрирует знание содержания образовательных программ по своей дисциплине ПК.6.3. Способен проектировать образовательные	Знает: - основы и этапы педагогического проектирования; - принципы проектирования новых образовательных программ и разработки инновационных методик организации образовательного процесса. Умеет: - осваивать ресурсы образовательных систем и	

	<p>программы различных уровней и элементы образовательных программ в своей предметной области</p>	<p>проектировать их развитие;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проектировать образовательную среду, образовательные программы</li> <li>- применять знания для организации образовательного процесса;</li> <li>- адаптировать современные достижения науки и наукоемких технологий к образовательному процессу.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой педагогического проектирования.</li> </ul>	
<p>ПК-7. Способен проектировать индивидуальные образовательные маршруты обучающихся по преподаваемым учебным предметам</p>	<p>ПК.7.1. Совместно с обучающимися определяет индивидуальный образовательный маршрут</p> <p>ПК.7.2. Определяет содержание и требования к результатам индивидуальной образовательной траектории</p> <p>ПК.7.3. Владеет методами проектирования индивидуальных образовательных маршрутов в своей предметной области с учетом образовательных потребностей обучающихся</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современные методы диагностирования учебных достижений обучающихся, определение психолого-педагогических основ их индивидуальных образовательных маршрутов.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-проводить диагностику учебных достижений обучающихся, выявлять психолого-педагогические основы их индивидуальных образовательных маршрутов.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью использовать результаты диагностики достижений обучающихся при проектировании их индивидуальных образовательных маршрутов.</li> </ul>	

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 25 зачетных единиц, 900 часов

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия <sup>1</sup>	Лабораторные работы	в форме практической подготовки <sup>2</sup>		
1.	Введение в ОКМ. Кинематика.	5	1	2	6		2	9	
2.	Основы динамики Ньютона.	5	2-3	2	6		2	9	
3.	Динамика криволинейного движения точки.	5	4-5	2	6		2	9	РК-1
4.	Общие теоремы динамики и законы сохранения.	5	6-7	2	6		2	9	
5.	Законы изменения момента импульса и кинетической энергии.	5	8	2	6		2	9	
6.	Поля. Закон сохранения механической энергии.	5	9	2	6		2	9	РК-2
7.	Динамика НИСО. Задача двух тел.	5	10	2	6		1	9	
8.	Аналитическая механики. Принципы.	5	11	2	6		1	9	
9.	Уравнения Лагранжа и Гамильтона.	5	12-18	2	6		1	9	РК-3
<b>Итого в 5 семестре</b>				<b>18</b>	<b>54</b>			<b>81</b>	<b>Экзамен (27)</b>
1.	Введение. Исторический обзор. Электростатическое поле, его силовые и энергетические характеристики	6	1-2	2	10		4	8	
2.	Электромагнитное поле в диэлектриках. Уравнение электромагнитного поля.	6	3-4	4	10		4	8	РК-1
3.	Постоянный электрический ток.	6	5-6	2	10		2	8	
4.	Стационарное магнитное поле и его характеристики. Квазистационарное электромагнитное поле.	6	7-8	4	10		2	8	
5.	Переменное электромагнитное поле.	6	9-10	2	10		2	8	РК-2
6.	Электромагнитные волны. Излучение электромагнитных волн.	6	11-12	2	10		2	8	
7.	Основы электронной теории Лоренца	6	13-14	2	12		2	6	РК-3
<b>Итого в 6 семестре</b>				<b>18</b>	<b>72</b>			<b>54</b>	<b>Зачет оценкой</b>

<sup>1</sup> Распределение общего числа часов, указанных на практические занятия в УП, с учетом часов на КП/КР

<sup>2</sup> Данный пункт включается в рабочую программу только при формировании профессиональных компетенций.

1.	Трудности классической физики, приведшие к созданию квантовой механики. Модели строения атома.	7	1-2	2	6		2	5	
2.	Математический аппарат квантовой механики.	7	3-4	2	6		2	5	
3.	Основные положения квантовой механики.	7	5-6	2	6		2	5	РК-1
4.	Линейный гармонический квантовый осциллятор.	7	7-8	2	6		2	5	
5.	Частица в одномерном и трехмерном потенциальном ящике. Преодоление частицей потенциального барьера.	7	9-10	2	6		2	5	
6.	Квантовая теория атома водорода.	7	11-12	2	6		2	5	РК-2
7.	Многочастичные квантовые системы. Строение электронных оболочек.	7	13-14	2	6		1	5	
8.	Атомные и молекулярные орбитали. Теория ЛКАО	7	15-16	2	6		1	5	
9.	Основы теории представлений.	7	17-18	2	6		1	5	РК-3
<b>Итого в 7 семестре</b>				<b>18</b>	<b>54</b>			<b>45</b>	<b>Экзамен (27)</b>
1.	Фазовое пространство в термодинамике.	8	11	2	4			13	
2.	Классическая теория идеального газа.	8	12	2	4		2	13	
3.	Основы квантовой статистики.	8	13	2	4			13	РК-1
4.	Общие понятия термодинамики	8	14	2	4		2	13	
5.	Уравнение состояния термодинамической системы. Первое начало термодинамики.	8	15	2	4		2	13	
6.	Второе начало термодинамики.	8	16	2	4		2	13	РК-2
7.	Состояние вещества. Фазовые переходы.	8	17	2	4		2	13	
8.	Каноническое распределение Гиббса.	8	18	2	4			14	РК-3
<b>Итого в 8 семестре</b>				<b>16</b>	<b>32</b>			<b>105</b>	<b>Экзамен (27)</b>
1.	Введение. Типы межатомных связей	9	11	2	4		1	10	
2.	Симметрия кристаллов	9	12	2	4		1	10	
3.	Рентгеновский структурный анализ. Методы определения кристаллических структур	9	13	2	4		1	10	РК-1
4.	Тепловые свойства твердых тел	9	14	2	2		1	8	
5.	Элементы зонной теории твердых тел	9	15	2	2		1	10	
6.	Электропроводность металлов	9	16	2	4		1	10	РК-2
7.	Дефекты в кристаллах	9	17	2	2		1	9	
8.	Магнитные свойства твердых тел	9	18	2	2		1	10	РК-3
<b>Итого в 9 семестре</b>				<b>16</b>	<b>24</b>			<b>77</b>	<b>Экзамен (27)</b>
1.	Введение. Исторический обзор	10	1	2	2		1	5	
2.	Модели атомного ядра.	10	2	2	2		1	5	
3.	Ядерные силы.	10	3	2	2		1	5	РК-1
4.	Ядерные реакции.	10	4	2	2		1	5	
5.	Радиоактивные превращения.	10	5	2	2		1	5	
6.	Ядерная энергетика.	10	6	2	2		1	5	РК-2
7.	Античастицы.	10	7	2	2		1	5	

8.	Элементарные частицы.	10	8	2	2			5	
9.	Четыре типа фундаментальных взаимодействия.	10	9	2	2			5	РК-3
<b>Итого в 10 семестре</b>				<b>18</b>	<b>18</b>			<b>45</b>	<b>Экзамен (27)</b>
Итого по дисциплине				104	254			407	Экзамен (27) Зачет с оценкой Экзамен (27) Экзамен (27) Экзамен (27) Экзамен (27)

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### 5 семестр

##### **Тема 1. Введение в ОКМ. Кинематика.**

Основные понятия классической механики. Предмет классической механики. Объекты изучения классической механики. Пространство и время классической механики. Системы отсчета. Разделы классической механики. Способы задания движения материальной точки. Векторный способ задания движения. Естественный способ задания движения. Координатный способ задания движения. Связь между разными способами задания движения точки. Кинематика. Кинематические характеристики абсолютного движения точки. Векторный способ задания движения. Координатный способ задания движения. Естественный способ задания движения.

Кинематические характеристики движения твердого тела и выражение кинематических характеристик его точек. Задание движения свободного твердого тела и его точек. Частные случаи движения твердого тела. Кинематические характеристики вращательного движения тела вокруг неподвижной оси. Выражение кинематических характеристик точек твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Выражение кинематических характеристик точек твердого тела при вращении тела вокруг неподвижной точки и в общем случае движения тела.

Формулы Пуассона. Кинематические характеристики относительного движения материальной точки (Кинематика сложного движения точки). Задание движения подвижной системы отсчета и движения точки. Определения. Соотношение между абсолютным и относительным движением точки. Теорема о сложении скоростей точки. Теорема о сложении ускорений точки.

##### **Тема 2. Основы динамики Ньютона.**

Основы механики Ньютона. Законы Ньютона. Сила и *масса*. Первый закон Ньютона — закон инерции. Второй закон Ньютона — основной закон механики. Третий закон Ньютона — закон равенства действия и противодействия. Принцип независимости действия сил. Основная задача механики. Дифференциальные уравнения движения точки.

Первая задача динамики — определение силы по заданному движению. Вторая задача динамики - определение движения по заданным силам (основная задача механики). Начальные условия. Принцип причинности классической механики (принцип причинности Лапласа). Общий путь решения основной задачи механики. Примеры решения основной задачи механики для прямолинейного движения материальной точки. Условие прямолинейности движения точки. Случай постоянной силы. Случай силы, зависящей от скорости движения точки. Случай силы, зависящей от положения точки. Решение основной задачи механики для «криволинейного движения точки под действием постоянной силы».

##### **Тема 3. Динамика криволинейного движения точки.**

Решение основной задачи механики для криволинейного движения точки под действием центральной силы. Определение центральной силы. Движение точки под действием центральной силы всегда плоское. Как движется точка под действием центральной



силы. Траектория точки, движущейся под действием центральной силы. Траектория точки для случая силы обратно пропорциональной квадрату расстояния.

#### **Тема 4. Общие теоремы динамики и законы сохранения.**

Общие теоремы динамики и законы сохранения. Интегралы дифференциальных уравнений движения. Общие теоремы динамики, или законы изменения в механике. Определение величин, характеризующих движение. Определение величин, характеризующих действие сил.

#### **Тема 5. Законы изменения момента импульса и кинетической энергии.**

Универсальность законов изменения и законов сохранения. Закон изменения импульса и закон сохранения импульса. Закон изменения импульса. Закон сохранения импульса. Сохранение импульса в некотором направлении. Центр масс системы точек. Положение центра масс системы точек. Теорема о движении центра масс системы точек.

Закон изменения момента импульса и закон сохранения момента импульса. Закон изменения момента импульса. Закон сохранения момента импульса. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси.

#### **Тема 6. Поля. Закон сохранения механической энергии.**

Закон изменения кинетической энергии и закон сохранения механической энергии. Закон изменения кинетической энергии для материальной точки. Закон изменения кинетической энергии для системы точек. Выражение кинетической энергии системы точек через центр масс (теорема Кёнига).

Силовое поле. Потенциальное силовое поле. Элементарная работа потенциальной силы. Нахождение потенциала силы. Виды сил. Примеры потенциальных полей. Физический смысл потенциала. Потенциальная энергия материальной точки в потенциальном силовом поле. Механическая энергия материальной точки. Внутренняя потенциальная энергия системы точек.

Внешняя потенциальная энергия системы точек. Механическая энергия системы точек. Закон сохранения механической энергии точки. Закон сохранения механической энергии системы точек. Применение законов изменения к движению точки в центральном поле. Четыре первых интеграла движения. Три вторых интеграла движения.

#### **Тема 7. Динамика НИСО. Задача двух тел.**

Движение точки в неинерциальной системе отсчета (Динамика относительного движения точки). Дифференциальные уравнения относительного движения точки. Силы инерции. Условия, при которых подвижная система  $K'$  является инерциальной. Принцип относительности Галилея.

Задача двух тел (Кеплерова задача). Дифференциальные уравнения абсолютного движения в задаче двух тел. Дифференциальные уравнения относительного движения в задаче двух тел. Интеграл кинетической энергии. Космические скорости. О решении основной задачи механики для системы  $n$  точек. Задача  $n$  тел и трех тел. О решении основной задачи механики для несвободной системы точек.

#### **Тема 8. Аналитическая механика. Принципы.**

Основы аналитической механики. Основные определения. Несвободная система точек. Виды связей. Перемещения точек. Число степеней свободы. Постулат идеальных связей. Принципы механики. Принцип виртуальных перемещений.

Принцип Даламбера-Лагранжа. Дифференциальные уравнения для несвободной системы точек. Обобщенные координаты, обобщенные силы и обобщенные скорости. Уравнения Лагранжа. Примеры применения уравнений Лагранжа. Порядок составления уравнений Лагранжа. Уравнения Лагранжа для потенциальных сил.

#### **Тема 9. Уравнения Лагранжа и Гамильтона.**

Уравнения Лагранжа для систем с диссипативными силами. Вопросы интегрирования уравнений Лагранжа. Обобщенные импульсы. Закон сохранения энергии. Канонические уравнения Гамильтона.

Канонические переменные. Дифференциальные уравнения в канонических переменных. **Вопросы интегрирования уравнений Гамильтона.** Циклические интегралы. Интеграл энергии. Принцип Гамильтона-Остроградского.

### 6 семестр

#### **Тема 1. Введение. Исторический обзор. Электростатическое поле, его силовые и энергетические характеристики.**

Постановка задач электродинамики. Микро и макроэлектродинамика. Физически бесконечно малые объем, площадка, отрезок.

Закон Кулона. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции. Поле распределенных зарядов. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гауса. Потенциальный характер электростатического поля, циркуляция вектора напряженности. Потенциал. Градиент потенциала и напряженность поля. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Проводник в электрическом поле. Энергия заряженного проводника и заряженного конденсатора.

#### **Тема 2. Электромагнитное поле в диэлектриках. Уравнение электромагнитного поля.**

Поляризация диэлектриков. Вектор электрической индукции. Диполь в электрическом поле. Электрическое поле в диэлектрике. Уравнения Максвелла и граничные условия в электростатическом поле. Уравнения Пуассона-Лапласа.

#### **Тема 3. Постоянный электрический ток**

Основные положения. Закон Ома в дифференциальной форме. Другие законы постоянного тока в дифференциальной форме.

#### **Тема 4. Стационарное магнитное поле и его характеристики. Квазистационарное электромагнитное поле.**

Магнитное поле линейных постоянных токов. Законы Ампера и Био-Савар-Лапласа. Магнитное поле объемных и поверхностных токов. Закон полного тока. Дифференциальное уравнение магнитного поля постоянных токов. Векторный потенциал стационарных магнитных полей. Уравнение Пуассона-Лапласа для векторного потенциала в отсутствие магнетиков. Магнитное поле постоянных токов в однородных магнетиках. Вектор магнитной индукции. Полная система уравнений Максвелла для стационарного магнитного поля в однородных магнетиках. Граничные условия.

Условие квазистационарности. Уравнение электромагнитной индукции в дифференциальной форме. Энергия взаимодействия токов. Коэффициент взаимной индукции. Коэффициент самоиндукции. Энергия системы токов.

#### **Тема 5. Переменное электромагнитное поле.**

Полная система уравнений электромагнитного поля. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга. Единственность решения уравнений электродинамики. Импульс электромагнитного поля. Давление света. Решение уравнений Максвелла методом электродинамических потенциалов. Уравнение Деламбера.

#### **Тема 6. Электромагнитные волны. Излучение электромагнитных волн.**

Запаздывающие потенциалы. Условие квазистационарности поля. Гармонический осциллятор и его излучение.

#### **Тема 7. Основы электронной теории Лоренца**

Ограниченность макроскопической электродинамики. Введение в микроскопическую электродинамику. Уравнения Максвелла-Лоренца. Усреднение уравнений Лоренца. Силы Лоренца. Электронная теория ориентационного механизма поляризации. Основы классической теории излучения. Электронная теория намагничивания пара- и диамагнетиков.

### 7 семестр

#### **Тема 1. Трудности классической физики, приведшие к созданию квантовой механики. Модели строения атома.**

1. Модель абсолютно черного тела.
2. Формула Рэлея-Джинса. Формула Вина.

3. Формула Планка, гипотеза Планка.
4. Успехи гипотезы Планка
5. Строение атома – ключевая проблема.
6. Атом атома Томсона.
7. Опыты Резерфорда.
8. Модель атома Бора.
9. Опыты Франка-Герца.

**Тема 2. Математический аппарат квантовой механики.**

1. Пространство состояний и пространственное квантование.
2. Соотношение неопределенности Гейзенберга.
3. Операторы и их свойства.
4. Принципы построения математического аппарата квантовой механики.

**Тема 3. Основные положения квантовой механики.**

1. Соотношение неопределенности и измерения физических величин в микромире.
2. Функция состояния и ее физический смысл. Основные положения квантовой механики.
3. Операторы импульса и энергии.
4. Нестационарное и стационарное уравнения Шредингера.

**Тема 4. Линейный гармонический квантовый осциллятор.**

1. Уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора.
2. Вывод волновой функции.
3. Квантование состояний и энергии.

**Тема 5. Частица в одномерном и трехмерном потенциальном ящике. Преодоление частицей потенциального барьера.**

1. Постановка задачи частицы в одномерном потенциальном ящике.
2. Уравнение Шредингера и его решение.
3. Функция плотности вероятности для квантового и классического случаев.
4. Трехмерный потенциальный ящик.
5. Уравнение Шредингера и метод разделения переменных.

**Тема 6. Квантовая теория атома водорода.**

1. Уравнение Шредингера для электрона в центральном поле протона.
2. Разделение переменных.
3. Триада уравнений.
4. Квантование проекции момента импульса и модуля момента импульса.
5. Функция состояния атома водорода.
6. Пространственное квантование.
7. Квантование энергии.

**Тема 7. Многоэлектронные квантовые системы. Строение электронных оболочек.**

1. Взаимодействие орбитального магнитного момента с магнитным полем.
2. Нормальный эффект Зеемана.
3. Аномальный эффект Зеемана. Спин электрона. Опыты Штерна-Герлаха.
4. Электронные оболочки и слои. Электронная структура атомов.
5. Периодическая система элементов.

**Тема 8. Атомные и молекулярные орбитали. Теория ЛКАО**

1. Атомная орбиталь – функция плотности вероятности атомного электрона.
2. Визуализация атомных орбиталей. Симметрия s-, p-, d-орбиталей.
3. Взаимодействие атомных орбиталей. Связывающие и разрыхляющие молекулярные орбитали.
4. Молекула воды. Гибридизация орбиталей.
5.  $sp^3$ -гибридизация, молекула метана.
6.  $sp^2$ -гибридизация, молекула этилена.
7.  $sp$ -гибридизация, молекула ацетилена.

**Тема 9. Основы теории представлений.**

1. Разложение функций состояния по собственным функциям оператора.
2. Евклидово  $n$ -мерное пространство.
3. Обозначения Дирака.
4. Основные положения квантовой механики.  
Примеры различных представлений.

### 8 семестр

#### **Тема 1. Фазовое пространство в термодинамике**

Термодинамическая система. Структурный подход. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества. Системный (феноменологический) подход. Термодинамика. Понятие фазового пространства. Фазовая траектория. Гидродинамическая аналогия. Теорема Леувиля. Статистический ансамбль. Термодинамическая вероятность. Теорема Маркова.

#### **Тема 2. Классическая теория идеального газа**

Распределение Пуассона. Распределение Максвелла по проекциям скоростей молекул. Распределение Максвелла по модулям скоростей и по энергиям. Распределение Максвелла-Больцмана. Статистика Максвелла-Больцмана. Формула Торичелли.

#### **Тема 3. Основы квантовой статистики**

Квантовые системы и их свойства. Распределение вероятностей по энергиям в пространстве. Статистика бозонов. Распределение Бозе-Эйнштейна. Статистика фермионов. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Поверхность Ферми.

#### **Тема 4. Общие понятия термодинамики**

Термодинамическая температура. Нулевое начало термодинамики. Термодинамическая система. Равновесные и неравновесные состояния. Квазистатические процессы. Число степеней свободы термодинамической системы.

**Тема 5. Уравнение состояния термодинамической системы. Первое начало термодинамики.**

Параметры, уравнения и функции состояния термодинамической системы. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термодинамические коэффициенты и теплоемкость. Первое начало термодинамики. Связь  $C_p$  и  $C_v$ . Адиабатический процесс.

#### **Тема 6. Второе начало термодинамики**

Тепловые двигатели. Цикл Карно. Энтропия как функции состояния. Энтропия адиабатических процессов. Энтропия идеального газа. Расширение идеального газа в пустоту. Термодинамические функции.

#### **Тема 7. Состояние вещества Фазовые переходы**

Изотермы Ван-дер-Ваальса Фазовые переходы первого и второго рода. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Диаграмма состояния. Тройная точка вещества. Жидкое состояние. Поверхностное натяжение. Формула Лапласа. Капиллярное явление.

#### **Тема 8. Каноническое распределение Гиббса.**

Распределение Гиббса. Формула Больцмана для энтропии. Статистический смысл энтропии. Второе начало термодинамики и энтропия. Третье начало термодинамики.

### 9 семестр

#### **Тема 1. Введение. Типы межатомных связей**

- 1) Кристаллические и аморфные тела.
- 2) Ковалентная связь.
- 3) Ван-дер-ваальсово взаимодействие.
- 4) Ионная связь.
- 5) Водородная связь.
- 6) Металлическая связь.

#### **Тема 2. Симметрия кристаллов**

- 1) Операции симметрии конечных объектов.
- 2) 32 класса точечной симметрии.
- 3) Кристаллическая решётка. 14 типов решёток Браве.
- 4) Симметрия кристаллических структур. 230 пространственных групп симметрии.

### **Тема 3. Рентгеновский структурный анализ. Методы определения кристаллических структур**

- 1) Основы теории дифракции.
- 2) Условие Лауэ.
- 3) Обратная решётка.
- 4) Метод Лауэ.
- 5) Метод вращения.
- 6) Рентгенография поликристаллов.
- 7) Фазовая проблема РСА.
- 8) Прямые методы расшифровки.
- 9) Паттерсоновские методы расшифровки.
- 10) Методы систематического поиска.

### **Тема 4. Тепловые свойства твердых тел**

- 1) Волны в одномерном одноатомном кристалле.
- 2) Фононная модель тепловых колебаний.
- 3) Тепловое расширение.
- 4) Теплопроводность твёрдых тел.
- 5) Теплоёмкость твёрдых тел.

### **Тема 5. Элементы зонной теории твердых тел**

- 1) Одноэлектронная модель кристалла.
- 2) Энергетические зоны кристалла.
- 3) Образование энергетических зон в упрощённой модели кристалла.
- 4) Зонная теория проводимости.

### **Тема 6. Электропроводность металлов**

- 1) Классическая электронная теория металлов.
- 2) Квантовая статистика электронов в металле.
- 3) Сверхпроводимость.

### **Тема 7. Дефекты в кристаллах**

- 1) Точечные дефекты. Вакансии и междоузлия. Механизм возникновения собственных дефектов.
- 2) Линейные дефекты. Краевая и винтовая дислокации

### **Тема 8. Магнитные свойства твердых тел**

- 1) Диамагнетизм. Механизм диамагнетизма.
- 2) Парамагнетизм. Механизм парамагнетизма.
- 3) Ферромагнетизм. Механизм ферромагнетизма.

## **10 семестр**

### **Тема 1. Введение**

1. Исторический обзор физики ядра и элементарных частиц
2. Источники элементарных частиц. Ускорители
3. Детекторы частиц
4. Метод рассеяния

### **Тема 2. Модели атомного ядра.**

1. Составные элементы ядра
2. Ядерная «зоология»
3. Капельная модель ядра. Формула Вейцзеккера
4. Оболочечная модель ядра

### **Тема 3. Ядерные силы.**

1. Основные свойства ядерных сил
2. Мезонная теория ядерных сил
3. Полевая теория ядерных сил

### **Тема 4. Ядерные реакции.**

1. Общие сведения о ядерных реакциях

2. Механизмы ядерных реакций
3. Механизм спонтанного деления тяжелых ядер
4. Деление ядер под действием нейтронов

**Тема 5. Радиоактивные превращения.**

1. Типы радиоактивности
2.  $\alpha$  – распад
3.  $\beta$  – превращение
4.  $\gamma$  – излучение
5. Закон радиоактивного распада
6. Радиоактивные ряды и трансурановые элементы

**Тема 6. Ядерная энергетика.**

1. Цепные ядерные реакции
2. Ядерный реактор
3. Реакции синтеза. Термоядерный управляемый синтез.

**Тема 7. Античастицы.**

1. Теория Дирака.
2. Пространства Минковского.
3. Симметрия пространства Минковского и античастицы.

**Тема 8. Элементарные частицы.**

1. Классификация элементарных частиц
2. Характеристики частиц
3. Законы сохранения в физике частиц
4. Мультиплеты частиц
5. Кварковая модель

**Тема 9. Четыре типа фундаментальных взаимодействий.**

1. Электромагнитное взаимодействие.
2. Слабое взаимодействие.
3. Сильное взаимодействие.
4. Теория великого объединения.

**Содержание практических занятий по дисциплине**

**5 семестр**

**Тема 1. Введение в ОКМ. Кинематика.**

Решение задач: 10.2 (1, 2, 3), 10.14, 10.18.

**Тема 2. Основы динамики Ньютона.**

Решение задач: 10.3, 11.5, 11.17., 12.13, 12.22, 12.26.

**Тема 3. Динамика криволинейного движения точки.**

Решение задач: 22.11, 22.27.

**Тема 4. Общие теоремы динамики и законы сохранения.**

Решение задач: 23.4, 23.28, 23.52.

**Тема 5. Законы изменения момента импульса и кинетической энергии.**

Решение задач: 26.13, 27.32, 27.60, 27.59.

**Тема 6. Поля. Закон сохранения механической энергии.**

Решение задач: 28.4, 37.55, 37.56., 36.9, 36.12.

**Тема 7. Динамика НИСО. Задача двух тел.**

Решение задач: 2.19, 8.25., 30.19, 31.3, 31.22, 38.4.

**Тема 8. Аналитическая механики. Принципы.**

Решение задач: 46.1, 46.15, 46.21.

**Тема 9. Уравнения Лагранжа и Гамильтона.**

Решение задач: 47.1, 47.5, 48.29, 48.13, 48.23, 48.35. 54.2, 55.4.

Задачи из «Сборника задач по теоретической механике» И.В. Мещерского 1986 года выпуска.

### 6 семестр

#### **Тема 1. Электростатическое поле, его силовые и энергетические характеристики.**

Решение задач на темы:

Закон Кулона. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции. Поле распределенных зарядов. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гауса. Потенциал. Градиент потенциала и напряженность поля. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия заряженного проводника и заряженного конденсатора.

#### **Тема 2. Электромагнитное поле в диэлектриках. Уравнение электромагнитного поля.**

Решение задач на темы:

Вектор электрической индукции. Диполь в электрическом поле. Уравнения Максвелла и граничные условия в электростатическом поле. Уравнения Пуассона-Лапласа.

#### **Тема 3. Постоянный электрический ток**

Решение задач на темы:

Закон Ома в дифференциальной форме. Другие законы постоянного тока в дифференциальной форме.

#### **Тема 4. Стационарное магнитное поле и его характеристики. Квазистационарное электромагнитное поле.**

Решение задач на темы:

Законы Ампера и Био-Савар-Лапласа. Магнитное поле объемных и поверхностных токов. Закон полного тока. Дифференциальное уравнение магнитного поля постоянных токов. Векторный потенциал стационарных магнитных полей. Вектор магнитной индукции. Полная система уравнений Максвелла для стационарного магнитного поля в однородных магнетиках. Граничные условия.

Решение задач на темы:

Условие квазистационарности. Уравнение электромагнитной индукции в дифференциальной форме. Энергия взаимодействия токов. Коэффициент взаимной индукции. Коэффициент самоиндукции. Энергия системы токов.

#### **Тема 5. Переменное электромагнитное поле.**

Решение задач на темы:

Полная система уравнений электромагнитного поля. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга. Импульс электромагнитного поля. Давление света. Решение уравнений Максвелла методом электродинамических потенциалов.

#### **Тема 6. Электромагнитные волны. Излучение электромагнитных волн.**

Решение задач на темы:

Запаздывающие потенциалы. Условие квазистационарности поля. Гармонический осциллятор и его излучение.

#### **Тема 7. Основы электронной теории Лоренца**

Решение задач на темы:

Уравнения Максвелла-Лоренца. Усреднение уравнений Лоренца. Силы Лоренца.

### 7 семестр

#### **Тема 1. Трудности классической физики, приведшие к созданию квантовой механики. Модели строения атома.**

Модель абсолютно черного тела. Формула Рэлея-Джинса. Формула Вина. Формула Планка, гипотеза Планка. Успехи гипотезы Планка

Строение атома – ключевая проблема. Атом атома Томсона. Опыты Резерфорда. Модель атома Бора. Опыты Франка-Герца.

#### **Тема 2. Математический аппарат квантовой механики.**

Пространство состояний и пространственное квантование. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Операторы и их свойства. Принципы построения математического аппарата квантовой механики.

#### **Тема 3. Основные положения квантовой механики.**

Соотношение неопределенности и измерения физических величин в микромире. Функция состояния и ее физический смысл. Основные положения квантовой механики. Операторы импульса и энергии. Нестационарные и стационарные уравнения Шредингера.

#### **Тема 4. Линейный гармонический квантовый осциллятор.**

Уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора. Вывод волновой функции. Квантование состояний и энергии.

#### **Тема 5. Частица в одномерном и трехмерном потенциальном ящике. Преодоление частицей потенциального барьера.**

Постановка задачи частицы в одномерном потенциальном ящике. Уравнение Шредингера и его решение. Функция плотности вероятности для квантового и классического случаев. Трехмерный потенциальный ящик. Уравнение Шредингера и метод разделения переменных.

#### **Тема 6. Квантовая теория атома водорода.**

Уравнение Шредингера для электрона в центральном поле протона. Разделение переменных. Триада уравнений. Квантование проекции момента импульса и модуля момента импульса. Функция состояния атома водорода. Пространственное квантование. Квантование энергии.

#### **Тема 7. Многоэлектронные квантовые системы. Строение электронных оболочек.**

Взаимодействие орбитального магнитного момента с магнитным полем. Нормальный эффект Зеемана. Аномальный эффект Зеемана. Спин электрона. Опыты Штерна-Герлаха. Спин электрона. Электронные оболочки и слои. Электронная структура атомов. Периодическая система элементов.

#### **Тема 8. Атомные и молекулярные орбитали. Теория ЛКАО**

Атомная орбиталь – функция плотности вероятности атомного электрона. Визуализация атомных орбиталей. Симметрия s-, p-, d-орбиталей. Взаимодействие атомных орбиталей. Связывающие и разрыхляющие молекулярные орбитали. Молекула воды. Гибридизация орбиталей.  $sp^3$ -гибридизация, молекула метана.  $Sp^2$ -гибридизация, молекула этилена.  $sp$ -гибридизация, молекула ацетилена.

#### **Тема 9. Основы теории представлений.**

Разложение функций состояния по собственным функциям оператора. Евклидово  $n$ -мерное пространство. Обозначения Дирака. Основные положения квантовой механики. Примеры различных представлений.

### **8 семестр**

1.1. Частица массы  $m = 1$  движется в потенциале  $V(x) = x^4 - x^2$ . Найти точки равновесия системы и исследовать вид фазовых траекторий в окрестности этих точек. Изобразить графически потенциал и фазовые траектории системы.

1.2. То же для нелинейного осциллятора с гамильтонианом  $H = (1/2)x^2 - \omega^2 \cos x$ .

1.3. Две одинаковые частицы совершают одномерное движение в «ящике» длиной  $L$ , испытывая абсолютно упругие соударения друг с другом и со стенками. Пусть в начальный момент времени частицы расположены у противоположных стенок, а скорости их  $v_1$  и  $v_2$  направлены навстречу друг другу. Нарисовать фазовую траекторию одной из частиц для нескольких значений отношения  $v_1/v_2$  (1;2;3; ...).

1.4. Для частицы с массой  $m$ , двигающейся в кубе с ребром  $L$ , испытывая упругие соударения на стенках, найти число квантовомеханических состояний с энергиями, меньшими  $E$ , и сравнить его с соответствующим объемом фазового пространства. Показать, что последний является адиабатическим инвариантом, т.е., не меняется при медленном расширении или сжатии куба.

1.5. Найти объем фазового пространства  $\Gamma(E)$ , соответствующий энергиям, меньшим  $E$ , и число квантовомеханических состояний  $g(E)$  с энергиями, меньшими  $E$ , для линейного гармонического осциллятора.

1.6. Найти объем фазового пространства, соответствующий энергиям меньше  $E$ , для системы из  $N$  частиц с массой  $m$ , двигающихся внутри куба с ребром  $L$ , испытывая упругие соударения со стенками ящика и друг с другом.



1.7. Какова вероятность того, что при случайном измерении положения частицы, совершающей гармонические колебания по закону  $x = x_0 \cos \omega t$ , положение частицы окажется в интервале  $(x, x+dx)$ ? Вычислить  $\langle x^2 \rangle$ .

1.8. Оценить время возврата для цикла Пуанкаре макроскопической системы на примере газа, находящегося в обычных условиях ( $N \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $M_{\text{ат}} \approx 10^{-22} \text{ г}$ ,  $v \approx 2 \cdot 10^4 \text{ см/сек}$  [ $Mv^2 \sim kT$ ]). Считать, что размеры ячейки фазового пространства, в пределы которой возвращается система при движении вдоль фазовой траектории, составляют примерно  $10^7 \text{ см}$  по пространственным координатам и  $10^{-16} \text{ г.см/сек}$  по импульсам (ср. Ландсберг, 1974, зад. 27.10,11).

1.9. (Решеточный газ.) В каждом из  $N_0$  узлов решетки может находиться либо 0, либо 1 атом. Пусть  $N$  атомов случайно распределены по этим узлам. Найти число расположений  $g(N_0, N)$  атомов по узлам, вероятность  $p(R, n)$  того, что в  $R$  узлах решетки адсорбировано  $n$  атомов, среднее значение  $\langle n \rangle$  и среднее значение  $\langle (\Delta n)^2 \rangle$ , где  $\Delta n = n - \langle n \rangle$ . Убедиться, что при  $n$  малых  $p(R, n)$  переходит в распределение Пуассона.

1.10. Пусть решетка разбита на части, содержащие  $R_i$  узлов, так что  $\sum R_i = N_0$ . Найти вероятность того, что в каждой из этих частей находится, соответственно,  $n_i$  атомов ( $\sum n_i = N$ ) (обобщенное гипергеометрическое распределение). Рассмотреть предельный случай  $R_i \gg n_i$ .

1.11. Рассмотрим решетку, узлы которой могут вместить любое число «атомов». Найти в этом случае число возможных размещений  $N$  атомов по  $N_0$  узлам и вероятность того, что в  $R$  узлах решетки размещено  $n$  атомов.

1.12. Идеальный газ, состоящий из  $N$  молекул, находится в сосуде объемом  $V_0$ . Определить вероятность того, что в заданном объеме  $V$  ( $\ll V_0$ ) будет содержаться в данный момент  $n$  молекул. Найти средние значения  $\langle n \rangle$  и  $\langle (\Delta n)^2 \rangle$ . Рассмотреть предельные случаи а)  $n \ll N$ ; б)  $n \gg 1$ ,  $|\Delta n| \ll \langle n \rangle$ .

1.13. При термоэлектронной эмиссии происходит вылет электронов с поверхности металла или полупроводника. Предполагая, что вылеты электронов статистически независимые события и вероятность вылета одного электрона за бесконечно малый промежуток времени  $dt$  равна  $n_0 dt$  ( $n_0$  - постоянная), определить вероятность вылета  $n$  электронов за время  $t$ . Найти средние значения  $\langle n \rangle$  и  $\langle (\Delta n)^2 \rangle$ .

1.14. (Проблема случайных блужданий.) Частица, находящаяся в исходный момент в начале координат, делает в следующий момент скачок на единицу либо вправо, либо влево с одинаковой вероятностью. Определить вероятность  $p_n(l)$  того, что через  $n$  шагов частица окажется в точке  $l$  одномерной решетки. Рассмотреть предельный случай больших  $n$ . Полагая средний интервал времени между скачками равным  $t_0$ , переписать результат в виде вероятности попадания частицы в точку  $x$  через время  $t (= nt_0)$ . Обобщить результаты на случай блуждания по двумерной квадратной и трехмерной кубической решеткам.

1.15. Пусть в задаче о линейных блужданиях вероятность скачка вправо ( $p$ ) превышает вероятность скачка влево ( $q = 1 - p$ ), а в единицу времени частица совершает  $w$  скачков. Определить среднюю скорость перемещения частицы.

1.16. (Линейный полимер.) Полимерная цепочка состоит из  $N$  элементов длины  $\rho$ , каждый из которых может быть с одинаковой вероятностью направлен вправо или влево, так что два соседних элемента представляются либо так:  $\rightarrow\rightarrow$ , либо так:  $\leftrightarrow$ . Найти вероятность того, что длина полимера (расстояние по прямой от хвоста первого элемента до вершины  $N$ -го элемента) равна  $l\rho$ . Найти среднюю длину полимера.

1.17. Пусть углы между последовательными элементами полимера совершенно произвольны: последующий элемент с равной вероятностью может располагаться в любом элементе телесного угла. Найти средний квадрат длины молекулы в этом случае.

1.18. Пусть последовательные элементы полимерной цепочки образуют фиксированный угол  $\theta$ , но во всех остальных отношениях сочленение свободно. Показать, что при  $N \gg 1$   $\langle r^2 \rangle = N\rho^2(1 + \cos \theta)/(1 - \cos \theta)$ .

1.19. Доказать следующее свойство матрицы плотности:  $\text{Sp } \rho^2 \leq (\text{Sp } \rho)^2$ . При каком

условии имеет место равенство?

1.20. В однородном газе с плотностью  $n$  найти вероятность  $W(r)$  нахождения ближайшей частицы на расстоянии  $r$  от данной точки, средние  $\langle r \rangle$  и  $\langle \Delta r^2 \rangle$ .

2.1. Пусть  $g = CE^N$ , где  $C$  - константа. Найти энергию как функцию температуры.

2.2. Оценить относительную ошибку, возникающую при использовании  $\ln(g_1 g_2)_{\max}$  вместо  $\ln g(N, E)$  при вычислении энтропии составной спиновой системы с  $N_1 = 10^{22}$ ,  $N_2 = 10$  и  $E = 0$  ( $N = N_1 + N_2$ ).

2.3. Найти энтропию решеточного газа  $\sigma(N_0, N)$  и энтропию “неравновесного состояния” ( $N_0, N, R, n$ ) этого газа (см. задачу 1.9). При каком  $n$  энтропия  $\sigma(N_0, N, R, n)$  достигает максимума?

2.4. Найти энтропию решеточного «бозе-газа», описанного в задаче 1.11.

2.5. Найти энтропию системы  $N$  линейных осцилляторов с частотой  $\omega$ , температуру как функцию энергии, а также энергию, энтропию и химический потенциал как функцию температуры. Нарисовать соответствующие графики.

3.1. Известно, что для некоторого вещества  $(\partial p / \partial \tau)_V = A + BV + C\tau$  и  $CV = a + bV + c\tau + (1/2)dV^2 + eV\tau + (1/2)f\tau^2$ , где  $A, B, C, a, b, c, d, e, f$  - постоянные. Найти соотношения между этими постоянными. Найти наиболее общее выражение для свободной энергии, согласующееся с этими данными.

3.2. Найти термодинамический потенциал системы, если  $CV = aV\tau^3$ ,  $p = b\tau^4$ ;  $a, b$  - постоянные коэффициенты.

3.3. Доказать соотношение  $dp = -dV/(\kappa\tau V) + \alpha V d\tau/\kappa\tau$ .

3.4. Доказать, что пересечение двух квазистатических адиабат невозможно, так как это приводит к нарушению принципа Томсона.

3.5. Показать, что следующие процессы необратимы: а) свободное адиабатическое расширение газа, б) процесс Джоуля-Томсона, т.е., адиабатическое расширение газа из состояния с давлением  $p$  до  $p + dp$  ( $dp < 0$ ).

3.6. Доказать неравенства:  $(\partial \sigma / \partial p)_N < 0$ ,  $(\partial \sigma / \partial V)_E > 0$ .

3.7. Доказать следующие соотношения:

$$1) \left( \frac{\partial \tau}{\partial V} \right)_E = \frac{1}{C_V} \left( p - \tau \left( \frac{\partial p}{\partial \tau} \right)_V \right), \quad 2) \left( \frac{\partial \tau}{\partial p} \right)_\sigma = \frac{\tau}{C_p} \left( \frac{\partial V}{\partial \tau} \right)_p, \quad 3) \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_\sigma = \frac{C_V}{C_p} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_\tau$$

$$4) \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_\sigma = \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_\tau + \frac{\tau}{C_p} \left( \frac{\partial V}{\partial \tau} \right)_p^2, \quad 5) \left( \frac{\partial E}{\partial N} \right)_{\tau, V} - \mu = -\tau \left( \frac{\partial \mu}{\partial \tau} \right)_{V, N},$$

$$6) \tau \left( \frac{\partial N}{\partial \tau} \right)_{V, \mu/\tau} = \left( \frac{\partial N}{\partial \mu} \right)_{\tau, V} \left( \frac{\partial E}{\partial N} \right)_{\tau, V}, \quad 7) \left( \frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_\tau = \tau \left( \frac{\partial^2 p}{\partial \tau^2} \right)_V,$$

$$8) \left( \frac{\partial E}{\partial \tau} \right)_{V, \mu/\tau} - \left( \frac{\partial E}{\partial \tau} \right)_{V, N} = \frac{1}{\tau} \left( \frac{\partial N}{\partial \mu} \right)_{\tau, V} \left( \frac{\partial E}{\partial N} \right)_{\tau, V}^2 \geq 0, \quad 9) \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_\sigma = \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_\tau - \frac{\tau}{C_V} \left( \frac{\partial p}{\partial \tau} \right)_V^2.$$

3.8. Получить выражение для теплоемкости  $C$  в переменных  $\tau, \mu, V$ .

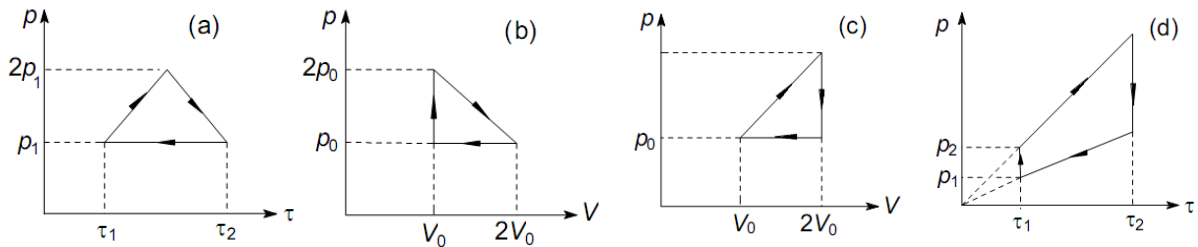
3.9. Вычислить  $\left( \frac{\partial \tau}{\partial p} \right)_V \left( \frac{\partial \sigma}{\partial V} \right)_p - \left( \frac{\partial \tau}{\partial V} \right)_p \left( \frac{\partial \sigma}{\partial p} \right)_V$ .

3.10. Показать, что а) если объем системы линейно зависит от температуры, то  $C_p$  не зависит от давления; б) если давление линейно зависит от температуры, то  $C_V$  не зависит от объема.

3.11. Найти уравнение состояния системы, для которой  $(\partial E / \partial V)_\tau = 0$ ,  $(\partial N / \partial p)_\tau = 0$ .

3.12. Найти работу, производимую над идеальным газом, и количество тепла, получаемое им, когда газ совершает круговой процесс, состоящий из: а) двух изохорных и двух

изобарных процессов, б) двух изохор и двух изотерм, в) двух изотерм и двух адиабат, г) двух изобар и двух изотерм, д) двух изобар и двух адиабат.



3.13. Вычислить КПД в процессах, изображенных на рисунках. Рабочее тело - одноатомный идеальный газ.

3.14. Два одинаковых шара с массами  $m$  и постоянной удельной теплоемкостью  $C$  имеют температуры  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Найти изменение энтропии шаров после установления теплового равновесия в результате контакта.

3.15. Рассмотреть все возможные процессы, с помощью которых тело с теплоемкостью  $C$  может охладиться путем отдачи тепла от температуры  $\tau_1$  до  $\tau_0$ . Как добиться того, чтобы работа, совершаемая при этом процессе, была максимальной? Какова эта максимальная величина?  $C$  - постоянная.

3.16. Найти максимальную работу, которую можно получить при расширении одноатомного идеального газа в пустоту от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ . В начальном состоянии энергия газа равна  $E_0$ .

3.17. Найти уравнение процесса, происходящего с одноатомным идеальным газом при постоянной теплоемкости  $C$ .

4.1. Вычислить большую статсумму для идеального газа в классическом режиме. Найти большой термодинамический потенциал, энтропию, среднее число частиц и давление газа. Показать, что дисперсия числа частиц удовлетворяет распределению Пуассона.

4.2. Найти распределение вероятностей для угловых скоростей вращения молекулы идеального газа. Кинетическая энергия вращения молекулы равна  $\epsilon_{\text{rot}} = \frac{1}{2}(I_1\omega_1^2 + I_2\omega_2^2 + I_3\omega_3^2)$ , где  $\omega_i$  - компоненты вектора угловой скорости,  $I_i$  - главные моменты инерции. Найти  $\langle \omega_i^2 \rangle$ . Вычислить вращательную статсумму нелинейной многоатомной молекулы в классическом приближении.

4.3. Найти распределение вероятностей для кинетической энергии молекулы идеального газа. Вычислить среднее и наиболее вероятное значения кинетической энергии.

4.4. Для молекул идеального газа вычислить  $\langle v^n \rangle$  а также наиболее вероятную абсолютную скорость.

4.5. Найти распределение вероятностей для скорости относительного движения двух одинаковых молекул  $\mathbf{v}' = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$ . Найти  $\langle |\mathbf{v}'| \rangle$ .

4.6. Найти распределение молекул идеального газа по скоростям  $v_{\parallel}$  (вдоль некоторой оси) и  $v_{\perp}$  (в перпендикулярном направлении). Вычислить  $\langle \Delta v_{\perp}^2 \rangle$ .

4.7. Атомы идеального газа в состоянии покоя излучают монохроматический свет с длиной волны  $\lambda_0$  и интенсивностью  $I_0$ . Найти распределение интенсивности излучения газа из  $N$  атомов при температуре  $\tau$ .

4.8. Найти число молекул идеального газа, сталкивающихся в единицу времени с единицей поверхности стенки, скорость которых в направлении нормали к стенке превышает  $v_0$ .

4.9. В молекулярном пучке, выходящем через небольшое отверстие в стенке сосуда с идеальным газом при температуре  $\tau$ , найти 1) среднюю скорость молекул  $\langle v \rangle$ , 2) среднюю энергию молекул  $\langle \epsilon \rangle$ .

4.10. Найти силу сопротивления, действующую на куб с ребром  $a$ ,двигающийся в разреженном газе при температуре  $\tau$  со скоростью  $v$ , перпендикулярной грани куба. Столкновения молекул с гранями куба считать абсолютно упругими.

- 4.11. Сфера радиуса  $R$  движется со скоростью  $v$  в идеальном газе с плотностью  $\rho_0$  и температурой  $\tau$ . В предположении, что столкновения частиц газа со сферой абсолютно упругие, определить силу сопротивления, испытываемого сферой при ее движении.
- 4.12. Вычислить теплоемкость  $C_V$  бесконечно высокого столба идеального газа из  $N$  частиц массы  $m$  в поле силы тяжести. Найти высоту центра тяжести столба над поверхностью земли.
- 4.13. Найти частоту малых колебаний поршня массы  $m$  и площади  $S$ , разделяющего две части (объемы  $V_1$  и  $V_2$ ) закрытого сосуда с идеальным газом при температуре  $\tau$  и давлении  $p$ ; трение отсутствует, газ теплоизолирован.
- 4.14. Найти термодинамические характеристики ультрарелятивистского классического идеального газа (энергия частиц  $\epsilon_p = cp$ , где  $c$  - постоянная,  $p$  - абсолютная величина импульса).
- 4.15. Частицы идеального газа находятся в центральном поле с потенциалом  $U(r) = -U_0 \ln(r/a)$ ,  $r \leq a$  и  $U(r) = \infty$ ,  $r > a$ . Найти давление при  $r = a$  и теплоемкость системы.
- 4.16. Вычислить плотность состояний  $D(\epsilon)$  в случае одно- и двумерного движений свободной частицы массы  $m$ .
- 4.17. Исследовать зависимость химического потенциала от температуры для вырожденного Ферми-газа в одно- и двумерном случаях.
- 4.18. Найти химический потенциал двумерного бозе-газа. Возможна ли бозе-конденсация в этом случае?
- 4.19. Найти уравнение состояния идеального газа в классическом приближении с учетом первых поправок на начало вырождения.
- 4.20. Модель звезды "белый карлик": масса  $M \approx 10^{33}$  г, состав - гелий, плотность  $\approx 10^7$  г/см<sup>3</sup>, температура  $\approx 10^7$  К (атомы полностью ионизированы). Оценить а) температуру Ферми; б) давление электронного газа; в) собственную гравитационную энергию звезды.
- 4.21. Для вырожденного газа Ферми вычислить  $C_p - C_V$  и сжимаемость  $\kappa_T$ .
- 4.22. В электронном газе найти распределение электронов по компоненте скорости  $v_x$ . Найти  $\langle v_x^2 \rangle$  при  $\tau = 0$ .
- 4.23. Найти среднее число столкновений с единицей поверхности стенки за единицу времени в газе Ферми при  $\tau = 0$ .
- 4.24. Энергия электронов в металле равна  $\epsilon = (px^2 + py^2)/2m_1 + pz^2/2m_2$ . Найти энергию Ферми. Вычислить  $\langle v_z^2 \rangle$  при  $\tau = 0$ .
- 4.25. Показать, что в случае статистики Бозе-Эйнштейна  $(\partial \tau / \partial \mu)_N < 0$
- 4.26. Найти плотность термоэлектронного тока для металла с потенциальным барьером на поверхности  $u \gg \tau$ .
- 4.27. Найти термодинамические характеристики ультрарелятивистского сильно вырожденного газа Ферми (энергия частицы равна  $\epsilon = cp$ ,  $p$  - импульс,  $c$  - скорость света).

5.1. Найти температурную зависимость давления насыщенного пара над твердым телом (пар рассматривать как идеальный газ, теплоемкости газа и твердого тела постоянные). Энергия связи молекул в твердом теле равна  $\epsilon_0$ .

5.2. Найти температуру фазового перехода и области существования метастабильных состояний системы с термодинамическим потенциалом

$$G = G_0 + \frac{1}{2} a (\tau - \tau_0) \eta^2 + \frac{1}{4} b \eta^4 + \frac{1}{6} c \eta^6,$$

где  $a > 0$ ,  $b < 0$ ,  $c > 0$ .

5.3. Рассмотреть в рамках теории Ландау фазовый переход в системе с двухкомпонентным параметром порядка  $\eta(\eta_1, \eta_2)$ ; термодинамический потенциал системы имеет следующий вид:

$$G(\eta) = G_0 + \frac{a}{2} (\tau - \tau_c) (\eta_1^2 + \eta_2^2) + \frac{1}{4} b (\eta_1^2 - \eta_2^2)^2 + c \eta_1^2 \eta_2^2; b > c > 0.$$

- 5.4. На изотерме газа Ван-дер-Ваальса при температуре ниже критической найти точку, соответствующую давлению, при котором происходит фазовый переход («правило площадей Максвелла»).
- 5.5. Найти критические показатели для газа Ван-дер-Ваальса.
- 5.6. Найти теплоту перехода для газа Ван-дер-Ваальса а) в окрестности критической точки, б) при  $\tau \ll \tau_c$ .
- 6.1. Найти средний квадрат флуктуации энергии (взяв в качестве независимых переменных  $\tau$  и  $V$ ).
- 6.2. Найти  $\langle \Delta p \Delta \tau \rangle$ ,  $\langle \Delta p \Delta V \rangle$ ,  $\langle \Delta \sigma \Delta V \rangle$ ,  $\langle \Delta \sigma \Delta \tau \rangle$ .
- 6.3. Найти средний квадрат флуктуации энтальпии (независимые переменные  $p$  и  $\sigma$ ).
- 6.4. Найти средний квадрат флуктуации числа частиц в заданном объеме; рассмотреть случай идеального газа.
- 6.5. Найти средние квадратичные флуктуации чисел заполнения в Ферми- и Бозе-газах. 6.6. Определить средний квадрат флуктуации числа электронов проводимости в металле при температурах, малых по сравнению с температурой Ферми.
- 6.7. Найти  $\langle \Delta E \Delta N \rangle$  для системы, описываемой большим каноническим распределением.
- 6.8. Найти средний квадрат флуктуации скорости тела.
- 6.9. Найти средний квадрат флуктуации скорости электрона в полностью вырожденном электронном газе.
- 6.10. Найти средний квадрат флуктуационного отклонения от вертикали для математического маятника.
- 6.11. Найти средний квадрат флуктуационного отклонения точек натянутой струны. Сила натяжения струны равна  $F$ , длина струны  $l$ . Определить также среднее значение произведения флуктуационных смещений двух различных точек струны.
- 6.12. Вычислить среднюю квадратичную флуктуацию энергии линейного гармонического осциллятора частоты  $\omega$ . Рассмотреть классический и квантовый осцилляторы.
- 6.13. Найти средний квадрат флуктуации энергии черного излучения в заданном интервале частот.

### 9 семестр

1. Типы межатомных связей.
2. Энергия взаимодействия атомов и кристаллической решетки.
3. Постоянная Маделунга в одномерных и плоских ионных кристаллах.
4. Геометрия кристаллической решетки.
5. Межплоскостные расстояния.
6. Кристаллографические индексы узловых рядов и плоскостей. Индексы Миллера.
7. Элементы симметрии в кристаллах и их представление в матричном виде. Взаимодействие симметричных преобразований.
8. Вывод 32 классов точечной симметрии кристаллов.
9. 14 типов решеток Бравэ. Пространственные элементы симметрии.
10. Классный вывод пространственных групп симметрии. 230 федоровских групп симметрии кристаллов.
11. Теория дифракции рентгеновских лучей на кристаллах.
12. Условия Лауэ.
13. Уравнение Вульфа-Брэгга.
14. Понятие обратной решетки. Сфера отражений Эвольда.
15. Рентгенография поликристаллов.
16. Зонная теория твердых тел.
17. Динамика кристаллической решетки.
18. Теплоемкость твердых тел.
19. Теплопроводность.

20. Электронная теория металлов.
21. Электронные свойства однородных полупроводников.
22. Поляризация и дисперсия.
23. Магнитные свойства твердых тел. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм.
24. Сверхпроводимость.

### 10 семестр

#### **Тема 1. Введение. Исторический обзор.**

Опыты Резерфорда. Эффект Комптона. Открытие нейтрона

#### **Тема 2. Модели атомного ядра.**

Капельная модель ядра. Формула Вейцеккера. Оболочечная модель ядра. Энергия связи ядра. Удельная энергия связи.

#### **Тема 3. Ядерные силы.**

Основные свойства ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил. Полевая теория ядерных сил. Потенциал Юкавы. Обменное взаимодействие нуклонов в ядре.

#### **Тема 4. Ядерные реакции.**

Механизмы ядерных реакций. Механизм срыва, механизм составного ядра. Механизм спонтанного деления тяжелых ядер. Деление ядер под действием нейтронов.

#### **Тема 5. Радиоактивные превращения.**

$\alpha$  – распад.  $\beta$  – превращение.  $\gamma$  – излучение. Закон радиоактивного распада. Радиоактивные ряды и трансурановые элементы

#### **Тема 6. Ядерная энергетика.**

Цепные ядерные реакции. Реакции синтеза. Ядерные реакции в недрах звезд. Углеродно-азотный и водородный циклы на Солнце.

#### **Тема 7. Античастицы.**

Теория Дирака. Пространства Минковского. Симметрия пространства Минковского и античастицы. Четырехмерное пространство-время. Пространство Минковского. Преобразования Лоренца.

#### **Тема 8. Элементарные частицы.**

Законы сохранения в физике частиц. Мультиплеты частиц. Кварковая модель. Превращения элементарных частиц. Диаграммы Феймана.

#### **Тема 9. Четыре типа фундаментальных взаимодействия.**

Электромагнитное взаимодействие. Слабое взаимодействие. Сильное взаимодействие. Теория великого объединения.

## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### 5 семестр

#### **Рейтинг-контроль 1. Введение. Кинематика**

1. Основные понятия (пространство, время, система отсчета).
2. Объекты движения и взаимодействия (материальная точка, система точек, твердое тело).
3. Способы задания движения точки (векторный, координатный, естественный). Связь между разными способами движения точки.
4. Кинематические характеристики точки (радиус-вектор, вектор скорости, вектор ускорения), их выражение при разных способах задания движения.
5. Задание движения твердого тела, кинематические характеристики вращательного движения тела и точек тела (формула Эйлера, ускорение точек).
6. Абсолютное, относительное и переносное движения точки. Теорема о сложении скоростей.

7. Абсолютное, относительное и переносное движения точки. Теорема о сложении ускорений точки. Кориолисово ускорение.

### Рейтинг-контроль 2. Основы механики Ньютона

1. Основные понятия: сила, масса.
2. Законы Ньютона.
3. II закон Ньютона. Дифференциальные уравнения точки при различных способах задания движения.
4. Первая и вторая задачи динамики.
5. Основная задача механики для точки и системы точек. Общий путь её решения. (§7 (§7.3-7.6)).
6. Примеры решения основной задачи механики для прямолинейного движения материальной точки, в том числе для линейного осциллятора § 8, (8.4).
7. Решение основной задачи механики для криволинейного движения точки под действием постоянной силы.
8. Решение основной задачи механики для центрально-симметричного поля: центральные силы, дифференциальные уравнения движения, интеграл площадей, второй закон Кеплера.
9. Решение основной задачи механики для центрально-симметричного поля: формула Бинэ, траектория точки для случая силы  $F \sim \frac{1}{r^2}$ .
10. Задача n тел и трех тел. Задача двух тел (Кеплерова задача). Дифференциальные уравнения абсолютного и относительного движения в задаче двух тел. Законы Кеплера (сформулировать).
11. Интеграл кинетической энергии. Космические скорости. Их физический смысл.
12. Определения величин, характеризующих движение и действие сил.
13. Закон изменения импульса и закон сохранения импульса.
14. Центр масс системы точек. Положение центра масс. Теорема о движении центра масс системы точек.
15. Закон изменения момента импульса и закон сохранения момента импульса.
16. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Вывод дифференциальных уравнений движения математического и физического маятников.
17. Закон изменения кинетической энергии для материальной точки и системы материальных точек в дифференциальном и интегральном виде. Теорема Кёнига.
18. Потенциальное силовое поле. Условие потенциальности. Элементарная работа потенциальной силы. Нахождение потенциала силы (§14.7). Примеры потенциальных сил: гравитационная, сила тяжести, кулоновская, упругая. Примеры потенциальных полей.
19. Физический смысл потенциала. Потенциальная энергия точки в точке поля. Консервативная система точек. Механическая энергия материальной точки и системы точек.
20. Закон сохранения механической энергии точки и системы точек.
21. Дифференциальные уравнения относительного движения точки (в системе K'). Силы инерции: (переносная сила инерции и кориолисова сила инерции). Инерциальность системы K' (K' движется равномерно и прямолинейно относительно K и не вращается).

### Рейтинг-контроль 3. Основы аналитической механики (механики Лагранжа)

1. Решение основной задачи механики для несвободной системы точек. Основные понятия: связи, их классификация, их математическое задание, перемещения точек. Вариации координат. Число степеней свободы системы. Силы реакции связей. Постулат идеальных связей.

2. Принцип Лагранжа (принцип виртуальных перемещений (вывод по книге «Основы классической механики»)).
3. Принцип Даламбера (силы инерции Даламбера), вывод.
4. Принцип Даламбера-Лагранжа, вывод. Принцип освобождаемости связей.
5. Обобщенные координаты, обобщенные скорости, обобщенные силы (вывод по «Основы классической механики»).
6. Уравнения Лагранжа через кинетическую энергию системы точек (вывод по книге «Основы классической механики»).
7. Уравнения Лагранжа через функцию Лагранжа. Содержание функции Лагранжа (вывод по книге «Основы классической механики»).
8. Интегрирование уравнений Лагранжа. Обобщенные импульсы. Циклические координаты и циклические интегралы.
9. Обобщенная энергия. Интеграл энергии. Функция Гамильтона для стационарных связей. Закон сохранения механической энергии системы.
10. Уравнения Гамильтона (в обобщенных координатах и обобщенных импульсах) – без вывода. Об интегрировании уравнений Гамильтона (циклические интегралы и интеграл энергии).
11. Составить функцию Лагранжа и функцию Гамильтона, а также уравнения Лагранжа для следующих систем материальных точек:  
для электрона, движущегося вокруг ядра в атоме;  
для математического маятника и для физического маятника.
12. Принцип наименьшего действия (принцип Гамильтона-Остроградского).

### **6 семестр**

#### **Вопросы к рейтинг-контролю 1**

1. Уравнения Максвелла и их физическое обоснование. Сила Лоренца.
2. Закон сохранения энергии в микроскопической электродинамике. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.
3. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность. Вывод уравнений для потенциалов при калибровке Лоренца.
4. Уравнения для потенциалов статических электрического и магнитного полей и их решения.
5. Разложение потенциала электростатического поля по мультиполям (до квадрупольно включительно).
6. Электрический дипольный момент. Потенциал и напряженность поля электрического диполя в статике. Энергия диполя во внешнем поле.
7. Энергия и сила электростатического взаимодействия двух удаленных систем зарядов. Момент силы.
8. Магнитный момент токов. Векторный потенциал и поле магнитного диполя.
9. Уравнения для потенциалов и их решение в виде запаздывающих потенциалов.
10. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
11. Физические условия применимости мультипольного разложения в задаче об излучении.
12. Электрическое дипольное излучение. Полная интенсивность, угловое распределение, поляризация.
13. Магнитное дипольное излучение. Полная интенсивность, угловое распределение, поляризация.
14. Электрическое квадрупольное излучение. Угловое распределение и полная интенсивность.
15. Сила радиационного трения (в нерелятивистском приближении).
16. Рассеяние электромагнитных волн на изотропном гармоническом осцилляторе.

#### **Вопросы к рейтинг-контролю 2**

1. Преобразования Лоренца для координат - времени. Интервал.
2. Релятивистская кинематика. Преобразование промежутка времени и длины отрезка.



3. Релятивистский закон сложения скоростей. Преобразование углов.
4. Пространство Минковского. Примеры тензоров различных рангов.
5. Закон преобразования плотностей заряда и тока и его обоснование.
6. Ковариантная запись условия Лоренца и уравнений для потенциалов. Законы преобразования потенциалов.
7. Тензор электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений Максвелла для полей в вакууме.
8. Законы преобразования векторов поля  $E$  и  $H$ . Инварианты электромагнитного поля.
9. Инвариантность фазы. Законы преобразования частоты и волнового вектора.
10. Астрономическая абберация и эффект Доплера.
11. Принцип стационарного действия в электродинамике. Основные постулаты.
12. Вывод уравнений движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле в четырехмерном виде.
13. Лагранжиан для заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Уравнения Лагранжа второго рода. Интегралы движения.
14. Связь между энергией, импульсом, массой и скоростью релятивистской частицы. Закон преобразования энергии и импульса частиц.

### **Вопросы к рейтинг-контролю 3**

1. Усреднение микроскопических уравнений Максвелла. Векторы поляризации и намагничения среды, их связь с плотностью связанных зарядов и токов.
2. Материальные уравнения для полей в покоящемся веществе.
3. Уравнения для потенциалов в однородном покоящемся веществе. Калибровочная инвариантность. Решение в виде запаздывающих потенциалов.
4. Граничные условия для полей в покоящейся кусочно-однородной среде.
5. Закон сохранения энергии в электродинамике покоящихся сред.
6. Постановка задачи (основные уравнения и граничные условия) для электростатики кусочно-однородной среды.
7. Силы в электростатике диэлектриков.
8. Энергия системы проводников. Силы в электростатике проводников.
9. Постановка задачи (уравнения и граничные условия) для стационарных токов в кусочно-однородных проводниках.
10. Потенциал и магнитное поле стационарных токов.
11. Энергия магнитного поля стационарных токов. Магнитный поток. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.
12. Квазистационарное приближение. Основные уравнения. Границы применимости.
13. Проникновение периодически меняющихся полей в проводник (в квазистационарном приближении). Скин-эффект.
14. Обобщенный закон Ома для линейной цепи с индуктивностями и емкостями в квазистационарном приближении.
15. Уравнения макроскопической электродинамики в ковариантном виде.
16. Материальные уравнения для движущихся диэлектриков.
17. Закон преобразования векторов поляризации и намагничения в движущейся среде.
18. Основные уравнения магнитной гидродинамики идеально проводящей жидкости.
19. "Вмораживание" магнитного поля в движущийся идеальный проводник.
20. Дисперсия диэлектрической проницаемости для разреженных газов из нейтральных атомов или молекул.
21. Дисперсия диэлектрической проницаемости для ионизированных газов.
22. Физический смысл мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости.
23. Формулы Крамерса-Кронига.
24. Фазовая и групповая скорости света в диспергирующей среде.
25. Распространение электромагнитных волн в проводящей среде.

### Вопросы к рейтинг-контролю №1

1. В некоторый момент времени нормированная волновая функция системы имеет вид

$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{3}} \varphi_{A=1}(x) + \sqrt{\frac{2}{3}} \varphi_{A=3}(x), \text{ где } \varphi_{A=1}(x) \text{ и } \varphi_{A=3}(x) - \text{нормированные собственные функции}$$

оператора физической величины  $\hat{A}$ , отвечающие собственным значениям  $A=1$  и  $A=3$ , соответственно. Среднее значение величины физической величины  $\bar{A}$  в этот момент равно

- а.  $7/3$                       б.  $2$                       в.  $5/3$                       г.  $4/3$

2. Квантовая система описывается нормированной волновой функцией  $\Psi(x,t)$ . Физической величине  $A$  отвечает квантово-механический оператор  $\hat{A}$ . По какой формуле – а., б., в. или г. – можно вычислить среднее значение результатов многих измерений величины  $A$  над ансамблем тождественных квантовых систем?

- а.  $\int \Psi^*(x,t) \hat{A} \Psi(x,t) dx$       б.  $\int \hat{A} |\Psi(x,t)|^2 dx$       в.  $\int |\Psi(x,t)|^2 \hat{A} dx$       г.  $\hat{A} \int |\Psi(x,t)|^2 dx$

3. Физическая величина  $A$  имеет в состоянии с волновой функцией  $\Psi(x,t)$  определенное значение, если

а.  $\Psi$  не зависит от времени

б.  $\Psi(x,t)$  совпадает с одной из собственных функций оператора этой физической величины  $\hat{A}$

в.  $\Psi(x,t)$  является собственной функцией оператора Гамильтона системы

г.  $\Psi$  не зависит от координат

4. Собственные значения и отвечающие им нормированные собственные функции оператора некоторой физической величины  $A$  равны:  $a_1 = 1$  и  $f_1(x) = B \sin(x/a)$  (первое собственное значение и отвечающая ему собственная функция),  $a_2 = 2$  и  $f_2(x) = B \sin(2x/a)$ ,  $a_3 = 3$  и  $f_3(x) = B \sin(3x/a)$ , .... (где  $a$  и  $B$  - некоторые числа, одинаковые для всех функций). Волновая функция частицы в некоторый момент времени равна  $\Psi(x) = C \sin(2x/a) \cos(5x/a)$ . Какие значения величины  $A$  можно обнаружить при измерениях в этот момент времени?

- а.  $1$  и  $2$                       б. любое целое положительное число                      в.  $2$  и  $5$                       г.  $3$  и  $7$

5. Собственные значения и отвечающие им нормированные собственные функции оператора некоторой физической величины  $A$  равны:  $a_1 = 1$  и  $f_1(x) = B \sin(x/a)$  (первое собственное значение и отвечающая ему собственная функция),  $a_2 = 2$  и  $f_2(x) = B \sin(2x/a)$ ,  $a_3 = 3$  и  $f_3(x) = B \sin(3x/a)$ , .... (где  $a$  и  $B$  - некоторые числа, одинаковые для всех функций). Волновая функция частицы в некоторый момент времени равна  $\Psi(x) = C \sin(2x/a) \cos(5x/a)$ . Чему равно среднее значение величины  $A$  в этот момент времени?

- а.  $5$                       б.  $6$                       в.  $7$                       г.  $8$

### Вопросы к рейтинг-контролю №2

1. Какой формулой определяются собственные функции гамильтониана гармонического осциллятора массой  $m$  и частотой  $\omega$  ( $x = \sqrt{\hbar/m\omega}$  - безразмерная координата осциллятора)?

- а.  $P_n(x) \exp(-x^2/2)$  ( $P_n$  - полиномы Лежандра)      б.  $L_n(x) \exp(-x^2/2)$  ( $L_n$  - полиномы Лагерра)  
в.  $P_n^{|m|}(x) \exp(-x^2/2)$  ( $P_n^{|m|}$  - присоединенные полиномы Лежандра)  
г.  $H_n(x) \exp(-x^2/2)$  ( $H_n$  - полиномы Эрмита), ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ).

2. Какой формулой определяются собственные функции гамильтониана гармонического осциллятора массой  $m$  и частотой  $\omega$  ( $x = \sqrt{\hbar/m\omega}$  - безразмерная координата осциллятора)?

- а.  $H_n(x) \exp(-x^2/2)$       б.  $H_n(x) \exp(-x^4/2)$       в.  $H_n(x) \exp(-x/2)$   
г.  $H_n(x) \exp(-x^2)$  ( $H_n$  - полиномы Эрмита,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ).

3. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени имеет вид  $(1 + 2x)\exp(-x^2/2)$  ( $x = \sqrt{\hbar/m\omega}$  - безразмерная координата осциллятора). Какие значения энергии осциллятора могут быть обнаружены при измерениях?

а.  $\hbar\omega/2$  и  $3\hbar\omega/2$       б.  $3\hbar\omega/2$  и  $5\hbar\omega/2$       в. только  $3\hbar\omega/2$       г. только  $\hbar\omega/2$

4. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени является четной функцией координаты. Можно ли при измерениях энергии осциллятора в этом состоянии обнаружить значение  $3\hbar\omega/2$ ?

а. да      б. нет      в. зависит от способа измерения      г. зависит от волновой функции

5. При измерении энергии осциллятора были обнаружены два значения  $\hbar\omega/2$  с вероятностью  $1/4$  и  $3\hbar\omega/2$  с вероятностью  $3/4$ . Средняя энергия осциллятора в этом состоянии равна

а.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/2$  б.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/4$  в.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/3$  г.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/6$

### Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. Будет ли гамильтониан частицы, движущейся в центральном поле, коммутировать с оператором проекции момента на ось  $x$ ?

а. да      б. нет      в. зависит от поля      г. зависит от состояния, в котором находится частица

2. Что можно сказать о зависимости волновой функции стационарных состояний частицы от полярного  $\vartheta$  и азимутального  $\varphi$  углов в некотором центрально-симметричном поле.

а. не зависят от углов  $\vartheta$  и  $\varphi$

б. зависимость от углов  $\vartheta$  и  $\varphi$  всегда сводится к некоторой сферической функции

в. эти функции можно выбрать так, что их зависимость от углов  $\vartheta$  и  $\varphi$  сводится к некоторой сферической функции

г. это зависит от вида поля

3. Что можно сказать об интеграле  $\int_0^\infty \chi_1(r)\chi_2(r)dr$ , где  $\chi_1(r)$  и  $\chi_2(r)$  - радиальные волновые

функции ( $\chi(r) = rR(r)$ ) стационарных состояний дискретного спектра

а. он равен нулю, если эти функции отвечают разным радиальным квантовым числам и разным моментам

б. он равен нулю, если эти функции отвечают разным радиальным квантовым числам, но одинаковому моменту

в. он равен нулю, если эти функции отвечают одинаковым радиальным квантовым числам, но разным моментам

г. он равен нулю, если эти функции отвечают одинаковым радиальным квантовым числам и одинаковым моментам

4. Что такое вырождение уровней энергии частицы в центрально-симметричном поле по проекции момента?

а. совпадение проекций момента у состояний с разными энергиями

б. совпадение проекций у состояний с разными моментами

в. совпадение моментов у состояний с разными проекциями

г. совпадение энергий у состояний с разными проекциями момента

5. Что такое «случайное» вырождение уровней энергии в центрально-симметричном поле?

а. Совпадение энергий у частиц, движущихся в разных потенциалах

б. совпадение энергий у состояний с разными моментами

в. случайное столкновение частиц, имеющих одинаковые энергии

г. совпадение моментов у состояний с разными энергиями

### 8 семестр

#### Вопросы к рейтинг-контролю 1

1. Возможно ли самопересечение фазовой траектории консервативной механической системы?

2. Найти фазовую траекторию а) свободной материальной частицы; б) частицы,

- свободно падающей с высоты  $h$ . Как изменится траектория при учете сопротивления движению со стороны среды (а)? при учете неупругости соударения частицы с поверхностью Земли (б)?
3. Качественно изобразить движение первоначально круглой фазовой капли для одномерного свободного движения материальной частицы.
  4. Как выглядит спектр системы пяти невзаимодействующих спинов  $S = 1/2$ ? трех осцилляторов с заданной частотой  $\omega$ ?
  5. Что такое статистический вес макроскопического состояния?
  6. Привести примеры неполного термодинамического равновесия.
  7. Что такое  $\mu$  - пространство?  $\Gamma$ -пространство?
  8. Можно ли диагонализировать матрицу плотности системы в неравновесном состоянии?
  9. Какова размерность матрицы плотности системы пяти спинов  $S = 1/2$ ?
  10. В чем заключается парадоксальность циклов Пуанкаре?
  11. Как понимать обратимость уравнения Лиувилля? В чем заключается парадоксальность обратимости?
  12. Какие системы называются эргодическими?
  13. Проиллюстрировать закон возрастания энтропии на примере контакта двух спиновых систем  $S=1/2$  с начальной конфигурацией  $\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow\downarrow\downarrow\downarrow\downarrow$ .
  14. Какая отрицательная температура является наиболее горячей?
  15. Написать большое каноническое распределение и большую статсумму с использованием обозначения  $\lambda$  для абсолютной активности.
  16. Как выглядит большое каноническое распределение для двухкомпонентной системы?
  17. Чему равно значение  $f(\epsilon)$  на уровне Ферми?
  18. Пусть имеются три двукратно вырожденных уровня энергии. Сколько существует способов размещения на них трех электронов?
  19. Почему малы вероятности больших флуктуаций?
  20. В чем заключается аномальный характер спиновой системы?
  21. Чему равно значение энтропии на один спин  $S=1$  в пределе бесконечно больших температур?
  22. Перечислите свойства химпотенциала.
  23. В чем состоит принцип эквивалентности равновесных ансамблей?
  24. Какие величины не флуктуируют в микроканоническом ансамбле?

#### **Вопросы к рейтинг-контролю 2**

1. Приведите примеры обратимых и необратимых процессов.
2. Почему при квазистатическом изменении внешних параметров не меняется энтропия системы?
3. Напишите основное уравнение термодинамики для квазистатических процессов.
4. Приведите примеры величин, не являющихся функциями состояния системы.
5. Какие системы называют термостатами?
6. Сформулируйте теоремы Карно.
7. Что такое нулевой закон термодинамики?
8. Приведите различные формулировки первого закона термодинамики.
9. Приведите различные формулировки второго закона термодинамики.
10. Сформулируйте третий закон термодинамики.
11. Какие термодинамические потенциалы вы знаете?
12. Найдите связь между внутренней энергией системы и ее большим потенциалом.
13. Какие параметры называются экстенсивными и интенсивными?
14. Обобщите соотношение  $G = \mu N$  на двухкомпонентную систему.
15. Как связаны свободная энергия и статсумма? большой потенциал и большая статсумма?

#### **Вопросы к рейтинг-контролю 3**

1. Приведите примеры соотношений Максвелла, исходя из выражения  $d\sigma(E, V, N)$ .
2. Сформулируйте принцип максимальной работы.
3. Приведите самый общий вид дифференциального уравнения обратимого адиабатического процесса.
4. Перепишите в виде якобиана выражение  $(\partial E / \partial \tau)_{V, N}$ .
5. Укажите условия равновесия двух фаз для двухкомпонентной системы.
6. Каков примерный вид изобар в плоскости  $V - \tau$  для систем, изотермы которых изображены на рис. 6.1 ?
7. Что такое тройная точка? фазовые диаграммы?
8. Изобразите изотермы газа Ван-дер-Ваальса в плоскости  $p - V$ .
9. Как возникают зародыши новой фазы при фазовых превращениях?
10. Что такое молекулярное поле в магнитных веществах?
11. Приведите примеры параметров порядка при фазовых переходах второго рода.
12. Напишите условие химического равновесия для реакции горения водорода.

### 9 семестр

#### Вопросы к рейтинг-контролю №1

1. Укажите, в каких решетках два угла являются прямыми, а третий отличен от  $90^\circ$ ?
 

а) гексагональной и моноклинной;	в) тригональной и ромбической;
б) ромбической и моноклинной;	г) тетрагональной и ромбической.
2. Если какая-либо плоскость не пересекает ось X, то ее индекс Миллера по этой оси равен:
 

а) нулю;	в) единице;
б) бесконечности;	г) не указывается.
3. Если вещество может существовать в разных кристаллических модификациях, то при этом:
 

а) меняется плотность упаковки и координационное число;	в) меняется координационное число;
б) меняется плотность упаковки;	г) ничего не меняется.
4. Наиболее слабой является:
 

а) ионная связь;	в) молекулярная связь;
б) ковалентная связь;	г) металлическая связь.
5. Энергия оптической ветви колебаний атомов в решетке, состоящей из атомов двух сортов:
 

а) всегда больше энергии акустических колебаний;	в) всегда меньше энергии акустических колебаний;
б) всегда меньше энергии акустических колебаний;	г) может быть как больше, так и меньше энергии акустических колебаний;
в) может быть как больше, так и меньше энергии акустических колебаний;	г) больше или равна энергии акустических колебаний.
6. Частота колебаний цепочки одинаковых атомов зависит от волнового числа:
 

а) линейно;	в) экспоненциально;
б) синусоидально;	г) это более сложная зависимость.
7. По модели Эйнштейна теплоемкость вблизи нуля зависит от температуры:
 

а) линейно;	в) кубически;
б) экспоненциально;	г) не зависит.
8. По закону Дюлонга-Пти теплоемкость вблизи нуля зависит от температуры:
 

а) линейно;	в) кубически;
б) экспоненциально;	г) не зависит.
9. Модель Дебая для теплоемкости введена с учетом следующих предположений:
 

а) непрерывности среды и идентичности продольных и поперечных колебаний;	в) существования температуры Дебая;
б) минимальности энергии системы;	г) существования распределения Больцмана.
в) существования температуры Дебая;	
г) существования распределения Больцмана.	
10. Фононы:

- а) описываются статистикой Бозе-Эйнштейна;
  - б) являются коллективными колебаниями кристаллической решетки;
  - в) являются носителями энергии;
  - г) являются носителями заряда.
11. Теория Друде-Лоренца:
- а) неправильно описывает зависимость электропроводности от температуры;
  - б) неправильно описывает зависимость теплопроводности от температуры;
  - в) неправильно описывает электронную теплоемкость;
  - г) неправильно описывает зависимость электронной теплоемкости от температуры.

### Вопросы к рейтинг-контролю №2

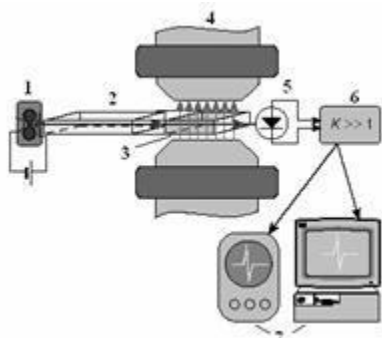
1. По закону Видемана-Франца-Лоренца:
- а) отношение между тепло- и электропроводностью пропорционально температуре;
  - б) отношение между тепло- и электропроводностью обратно пропорционально температуре;
  - в) отношение между тепло- и электропроводностью пропорционально квадрату температуры;
  - г) отношение между тепло- и электропроводностью обратно пропорционально квадрату температуры.
2. Подвижность носителей заряда - это:
- а) скорость упорядоченного движения носителей заряда в поле единичной напряженности;
  - б) скорость движения носителей заряда в поле единичной напряженности;
  - в) скорость теплового движения носителей заряда в поле единичной напряженности;
  - г) скорость упорядоченного движения носителей заряда при единичном сопротивлении.
3. Спектр электрона в кристалле является:
- а) сплошным;
  - б) дискретным;
  - в) зонным;
  - г) полосатым.
4. Ширина разрешенной зоны в кристалле с ростом энергии:
- а) растет;
  - б) уменьшается;
  - в) не изменяется;
  - г) зона исчезает.
5. Эффективная масса носителей заряда:
- а) равна инерционной массе;
  - б) равна гравитационной массе;
  - в) является коэффициентом пропорциональности при описании движения носителя заряда в поле кристаллической решетки;
  - г) является постоянным коэффициентом пропорциональности при описании движения носителя заряда в поле кристаллической решетки.
6. В сверхпроводящем состоянии равно нулю:
- а) сопротивление в проводнике;
  - б) проводимость в проводнике;
  - в) магнитное поле внутри проводника;
  - г) все вышеперечисленное.
7. При переходе из сверхпроводящего состояния в обычное свойства проводника меняются мгновенно:
- а) в сверхпроводниках 1 рода;
  - б) в сверхпроводниках 2 рода;
  - в) во всех сверхпроводниках;
  - г) ни в одном из перечисленных типов сверхпроводников.
8. Первый закон Фика формулируется следующим образом:
- а)  $J = -D(dc/dx)$ ;
  - б)  $J = D(dc/dx)$ ;
  - в)  $J = -D(dc/dt)$ ;
  - г)  $J = -D(dc/dt)$ .
9. Второй закон Фика формулируется следующим образом:
- а)  $dc/dt = D(d^2 c/dx^2)$ ;
  - б)  $dc/dt = -D(d^2 c/dx^2)$ ;
  - в)  $dc/dt = D(dc/dx)$ ;
  - г)  $dc/dt = -D(dc/dx)$ .
10. В соответствии с законом Дюлонга и Пти теплоемкость пропорциональна:

- а) 3R;
- б) 5R;
- в) 2R;

- г) 1R;
- д) 4R.

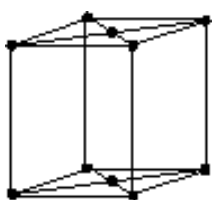
### Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. На данной схеме позицией 3 отмечен:



- а) усилитель;
- б) резонатор;
- в) магнит;
- г) генератор;
- д) детектор.

2. На рисунке изображена:



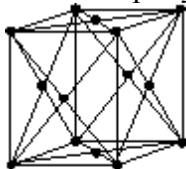
- а) *F*-решетка;
- б) *R*-решетка;
- в) *C*-решетка;
- г) *P*-решетка;
- д) *I*-решетка.

3. На рисунке изображен разрез структуры алмаза:



- а) нормально к сеткам (110);
- б) нормально к сеткам (111);
- в) нормально к сеткам (100).

4. На рисунке изображена:

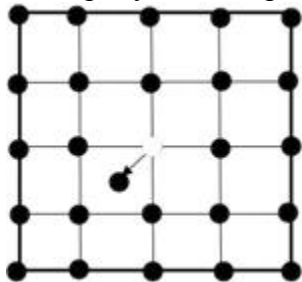


- а) *F*-решетка;
- б) *P*-решетка;
- в) *C*-решетка;
- г) *P*-решетка;
- д) *I*-решетка.

5. Ширина запрещенной зоны в кристалле с ростом энергии:

- а) зона исчезает;
- б) уменьшается;
- в) растет;
- г) не изменяется.

6. На рисунке изображен дефект:



- а) по Шотки;
- б) примеси;
- в) по Френкелю.

7. Коэффициент теплопроводности в СИ имеет размерность:

- а) Дж/(мК);
- б) Вт/(мК);
- в) Вт/(кгК).

8. В уравнении колебания однородной струны частота колебаний зависит от волнового числа:
- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| а) линейно;       | в) экспоненциально; |
| б) синусоидально; | г) не зависит.      |
9. Гиромагнитное отношение электрона оказалось в два раза больше рассчитанного из-за:
- |                           |  |
|---------------------------|--|
| а) ошибки в расчетах;     | г) существования магнитного момента электрона. |
| б) погрешности измерений; |  |
| в) существования спина;   |  |

### 10 семестр

#### Вопросы к рейтинг-контролю №1

1. Зная число Авогадро, найти массу нейтрального изотопа углерода  $C^{12}$ .
2. Природный хлор представляет собой смесь изотопов: с относительными массами 34,969 (75,4%) и 36,969 (24,6%). Определить относительную атомную массу химического элемента хлора.
3. Относительная масса химического элемента бора – 10,811. Природный бор является смесью изотопов с относительными атомными массами 10,013 и 11,009. Найти процентное содержание этих изотопов в природном боре.
4. Найти атомные номера и массовые числа, если в ядрах  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^7_4\text{Be}$ ,  ${}^{15}_8\text{O}$  нейтроны заменить протонами, а протоны – нейтронами.
5. Какую долю от массы нейтрального атома  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  составляет масса его электронной оболочки?
6. Оценить плотность ядерного вещества.
7. Записать реакции  $\alpha$  - распада изотопов:  ${}^{176}_{77}\text{Ir}$ ,  ${}^{211}_{87}\text{Fr}$ ,  ${}^{176}_{102}\text{Nb}$ .
8. Записать реакции  $\beta^-$  - распада изотопов:  ${}^{24}_{11}\text{Na}$ ,  ${}^7_9\text{F}$ ,  ${}^{71}_{30}\text{Zn}$ .
9. Записать реакции  $\beta^+$  - распада изотопов:  ${}^{22}_{11}\text{Na}$ ,  ${}^{59}_{29}\text{Cu}$ ,  ${}^{53}_{26}\text{Fe}$ .
10. Записать реакции К- захвата для изотопов:  ${}^{37}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}^{51}_{24}\text{Cr}$ ,  ${}^{83}_{37}\text{Rb}$ .
11. Какой изотоп получается в результате цепочки трех  $\alpha$  - распадов и двух  $\beta^-$  - распадов изотопа  ${}^{232}_{90}\text{Th}$ ?
12. Определить вероятность распада данного атома в образце радиоактивного изотопа  $\text{I}^{131}$  в течение ближайшей секунды?
13. Найти постоянные распада изотопов радия  ${}^{219}_{88}\text{Ra}$  и  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ .
14. Определить постоянную распада некоторого радиоактивного вещества, если известно, что за час интенсивность испускаемого им  $\beta^-$  - излучения уменьшилась на 10%. Продукт распада не радиоактивен.
15. Найти постоянную распада радона, если известно, что число атомов радона уменьшается за сутки на 18,2%.
16. Вычислить период полураспада изотопа рубидия, если постоянная распада равна  $0,00077 \text{ c}^{-1}$ .
17. Найти долю распадающихся атомов в образце радиоактивного тория  $\text{Th}^{229}$  за год.
18. Найти долю не распавшихся атомов в образце радиоактивного актиния  $\text{Ac}^{225}$  в течение 10 дней.
19. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в 4 раза. Во сколько раз оно уменьшится за 5 лет?
20. Период полураспада некоторого изотопа 20 часов. За какое время распадется четверть первоначального количества ядер данного изотопа?
21. За восемь дней распалось 75% первоначального количества ядер некоторого изотопа. Вычислить период полураспада данного изотопа.
22. Определить период полураспада  $\text{Po}^{210}$ , если известно, что 2 г этого изотопа образуют в год  $179 \text{ см}^3$  гелия при нормальных условиях.
23. Определить среднюю продолжительность жизни некоторого изотопа, если известно, что его период полураспада 1 год.



24. Какая доля начального количества некоторого радиоактивного изотопа распадется за время, равное средней продолжительности его жизни?
25. Активность радиоактивного препарата 2,71 мкКюри. Сколько атомов распадается в образце за 2 секунды?
26. Найти массу радона, активность которого равна 1 Кюри.
27. За какое время, выраженное в периодах полураспада, активность радиоактивного препарата уменьшается в: 25 раз, 250 раз?
28. Найти период полураспада радиоактивного изотопа, если его активность за 24 час уменьшилась от 3,2 Кюри до 0,2 Кюри.
29. На сколько процентов уменьшится активность препарата иридия  $\text{Ir}^{92}$  через сутки, месяц, год?
30. Через сколько лет активность препарата стронция  $\text{Sr}^{90}$  уменьшится в 10, 100, 1000 раз?
31. Счетчик Гейгера, установленный вблизи препарата радиоактивного изотопа серебра, при первом измерении регистрировал 5200  $\beta$ -частиц в минуту, а через сутки только 1300. Определить период полураспада данного изотопа.
32. Ионизационные счетчики Гейгера и в отсутствие радиоактивного препарата имеют определенный фон. Присутствие фона может быть вызвано космическим излучением или радиоактивными загрязнениями. Какому количеству радона соответствует фон, дающий один импульс за 5 секунд?

#### Вопросы к рейтинг-контролю №2

1. Вычислить активность 1 мг препарата фосфора  $\text{P}^{32}$ .
2. Определить удельную активность изотопа  $\text{Co}^{60}$ .
3. Во сколько раз отличаются удельные активности изотопов  $\text{P}^{32}$  и  $\text{Sr}^{90}$ ?
4. Какое количество  $\text{Ra}^{226}$  имеет такую же активность, как и 1 мг  $\text{P}^{32}$ ?
5. Чему равна активность радона, образовавшегося из 1 г радия за 1 час?
6. В настоящее время в природном уране содержится 99,28%  $\text{U}^{238}$  и 0,72%  $\text{U}^{235}$ . Какое соотношение было между ними в момент образования Земли? Возраст Земли принять равным 4 млрд. лет.
7. Какое количество слоев половинного ослабления требуется, чтобы уменьшить интенсивность узкого пучка  $\gamma$ -лучей в 100 раз?
8. Какова доля молекул, содержащихся в 1 см<sup>3</sup> воздуха при нормальных условиях ионизируется рентгеновскими лучами при экспозиционной дозе 2 р?
9. Какое количество тепла выделяется радон, обладающий активностью в 1 Кюри в сутки, если кинетическая энергия вылетающих частиц составляет 5,5 МэВ?
10. Вычислить массу нейтрального атома гелия, если известно, что масса  $\alpha$  – частицы равна 4,00150 у.е.
11. Исходя из знания масс нейтральных атомов  ${}^1_1\text{H}^1$ ,  ${}^2_1\text{H}^2$ ,  ${}^{12}_6\text{C}^{12}$  и электрона, вычислить массы протона, дейтрона и ядра  ${}^{12}_6\text{C}^{12}$ .
12. Исходя из знания массы нейтрального атома лития  ${}^7_3\text{Li}^7$ , вычислить массы однократно, двукратно и трехкратно ионизированного лития.
13. Найти дефект массы ядра атома дейтерия.
14. Найти дефект массы и энергию связи ядра трития.
15. Вычислить удельную энергию связи ядер  ${}^{14}_7\text{N}^{14}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}^{16}$ .
16. Зная энергию связи изотопа  ${}^3_2\text{He}^3$  – 7,72 МэВ, определить массу соответствующего нейтрального атома.
17. Энергия связи ядра, состоящего из трех протонов и двух нейтронов, 26,3 МэВ. Найти массу соответствующего нейтрального атома.
18. Вычислить энергию связи ядра, если известно, что оно распалось на отдельные нуклоны с суммарной кинетической энергией 0,4 МэВ, в результате поглощения  $\gamma$  – кванта с длиной волны  $4,7 \cdot 10^{-4}$  нм.
19. Какую энергию необходимо затратить, чтобы разделить на отдельные нуклоны ядро  ${}^6_4\text{Be}^6$ ?

20. Какую энергию необходимо затратить, чтобы разделить на отдельные нуклоны изобарные ядра  ${}^7_4\text{Be}$  и  ${}^7_3\text{Li}$ ? Почему эти энергии различны?
21. Какая энергия выделится при образовании 1 г трития из отдельных нуклонов?
22. Вычислить энергию, необходимую для удаления одного нейтрона из ядра  ${}^{16}_8\text{O}$ .
23. Какую наименьшую энергию нужно затратить, чтобы разделить  $\alpha$ -частицу пополам?
24. Найти энергию, необходимую для того, что бы разделить ядро  ${}^{12}_6\text{C}$  на три одинаковых части.
25. В задачах 57 – 62 вместо X указать необходимый изотоп или частицу.
26.  ${}^{27}_{13}\text{Al} (n, \alpha) X$ .
27.  ${}^{19}_9\text{F} (p, X) {}^{16}_8\text{O}$ .
28.  ${}^{55}_{25}\text{Mn} (X, n) {}^{55}_{26}\text{Fe}$ .
29.  ${}^{14}_7\text{N} (n, X) {}^{14}_6\text{C}$ .
30.  ${}^{27}_{13}\text{Al} (\alpha, p) X$
31.  $X (p, \alpha) {}^{22}_{11}\text{Na}$ .

### Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. Какой изотоп образуется из  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  четырех  $\alpha$  - распадов и двух  $\beta$  - распадов?
  2. Какой изотоп образуется из  ${}^{238}_{92}\text{U}$  после трех  $\alpha$  - распадов и двух  $\beta$  – распадов?
  3. Какой изотоп образуется из  ${}^{239}_{92}\text{U}$  после двух  $\beta$  – распадов и одного  $\alpha$  – распада?
  4. Какой изотоп образуется из  ${}^8_3\text{Li}$  после одного  $\beta$  – распада и одного  $\alpha$  – распада?
  5. 67. Какой изотоп образуется из  ${}^{133}_{51}\text{Sb}$  после четырех  $\beta$  – распадов?
- В задачах 6-14 найти энергии ядерных реакций.
6.  ${}^9_4\text{Be} + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^{10}_4\text{B} + {}^1_0\text{n}$ .
  7.  ${}^6_3\text{Li} + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ .
  8.  ${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$ .
  9.  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^7_4\text{B} + {}^1_0\text{n}$ .
  10.  ${}^{44}_{20}\text{Ca} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\text{K} + {}^4_2\text{He}$ .
  11.  $\text{H}^3 (p, \gamma) \text{He}^4$ .
  12.  $\text{H}^2 (d, \gamma) \text{He}^4$ .
  13.  $\text{H}^2 (n, \gamma) \text{H}^3$ .
  14.  $\text{F}^{19} (p, \alpha) \text{O}^{16}$ .
  15. Определить энергию реакции  ${}^9_4\text{Be} (n, \gamma) {}^{10}_4\text{Be}$ , если известно, что энергия связи ядра  ${}^{10}_4\text{Be}$  составляет 64,98 МэВ, а ядра  ${}^9_4\text{Be}$  – 58,16 МэВ.
  16. В реакции  $\text{Li}^6(d, p) \text{Li}^7$  выделяется энергия 5,028 МэВ. Найти массу  $\text{Li}^6$ .
  17. Найти энергию  $\alpha$  – распада ядра  ${}^{210}_{84}\text{Po}$ .
  18. Найти энергию  $\beta$  – распада ядра  ${}^{14}_6\text{C}$ .
  19. Найти энергию распада ядра  ${}^{10}_6\text{C}$ , в результате выброса позитрона и нейтрино.
  20. Оценить скорость и кинетическую энергию теплового нейтрона при температуре 300 К.
  21. При упругом центральном столкновении нейтрона с неподвижным ядром замедляющего вещества кинетическая энергия нейтрона уменьшилась в 1,4 раза. Найти массу ядер замедляющего вещества.
  22. Показать невозможность аннигиляции позитрона и электрона с образованием одного  $\gamma$  – кванта.
  23. Какова наименьшая частота излучения, способного вызвать рождение пары электрон-позитрон?
  24.  $\pi^0$  – мезон распадается на два одинаковых  $\gamma$  – кванта. В пренебрежение кинетической энергией мезона и его импульса, найти энергию  $\gamma$  – кванта.
  25. Показать, что свободный электрон не может испустить  $\gamma$  – квант.
  26. Привести примеры реакций, запрещенных законами сохранения электрического заряда.
  27. Привести примеры реакций, запрещенных законами сохранения барионного заряда.
  28. Привести примеры реакций, запрещенных законами сохранения лептонного заряда.
  29. Указать кварковую структуру: нейтрона, антинейтрона, протона, антипротона, бариона  $\Sigma^0$ .
  30. Указать кварковую структуру  $\pi$  и  $K$  – мезонов.

31. Энергия дейтронов, ускоренных синхротроном, равна 200 МэВ. Найти для этих дейтронов скорость, а также отношение  $M/M_0$ , где  $M$  – масса движущегося дейтрона,  $M_0$  – масса покоя дейтрона.
32. Энергия жестких мезонов в космических лучах приблизительно равна 3 ГэВ. Энергия покоя мезона 100 МэВ. Какое расстояние в атмосфере Земли может пройти этот мезон за время его жизни по лабораторным часам? Собственное время жизни мезона 2 мкс.
33. Какую доля энергии покоя ядра  $U^{235}$  составляет выделившаяся энергия в результате его деления?
34. Найти энергии, выделившуюся при распаде 1г, 1 кг  $U^{235}$ .
35. Какое количество ядер урана должно делиться в 1 секунду, что бы тепловая мощность ядерного реактора составляла 1 МВт?
36. К.п.д. атомной электростанции 25 %. Найти ее мощность, если известно, что она в сутки расходует 100 г  $U^{235}$ .
37. Сравнить величины электростатических и гравитационных сил, действующих между двумя протонами.
38. Какие скорости имеют позитрон, протон с энергией 1 МэВ?

## 5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

### 5 семестр

#### Вопросы к экзамену

1. Кинематика материальной точки. Описание механического движения.
2. Понятие кинематической относительности. Пример: кинематика взрыва.
3. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея.
4. Второй закон Ньютона. Основная задача механики. Ограничения мира Ньютона.
5. Кинетическая энергия материальной точки. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки.
6. Потенциальные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения полной механической энергии.
7. Импульс и момент импульса материальной точки. Уравнения движения, законы сохранения.
8. Импульс системы материальных точек. Уравнение движения, закон сохранения.
9. Момент импульса системы материальных точек. Уравнение движения, закон сохранения.
10. Теорема об изменении кинетической энергии системы материальных точек.
11. Классификация связей. Обобщенные координаты. Голономность.
12. Уравнение Лагранжа в обобщенных координатах. Метод Лагранжа.
13. Диссипативная функция.
14. Принцип наименьшего действия.
15. Симметрия пространства-времени и законы сохранения. Теорема Нётер.
16. Линейный гармонический осциллятор. Малые колебания.
17. Гармонический осциллятор с трением.
18. Вынужденные колебания. Зависимость амплитуды от частоты вынуждающей силы. Резонанс.
19. Анализ одномерного движения.
20. Задача двух тел. Постановка и сведение к системе квазичастиц. Виды траекторий.
21. Задача Кеплера.
22. Движение в неинерциальных системах отсчета. Силы инерции. Принцип эквивалентности.
23. Тензор инерции. Система главных осей. Классификация твердых тел. Момент инерции.

## 24. Общие характеристики свободного движения асимметричного волчка.

**6 семестр****Вопросы к экзамену**

1. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность.
2. Теорема Гаусса. Применение т. Гаусса для расчета электрических полей.
3. Работа сил электрического поля. Циркуляция вектора напряженности. Потенциал и разность потенциалов. Электрического поля.
4. Связь между потенциалом и напряженностью. Потенциалы некоторых полей.
5. Диэлектрики в электрическом поле. Типы диэлектриков. Вектор поляризации. Электрическое смещение. Теорема Гаусса для диэлектриков. Закон Кулона для диэлектриков.
6. Электрическое поле заряженного проводника. Проводники в электрическом поле.
7. Емкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля.
8. Электрический ток. Плотность и сила тока. Закон Ома, 3-н Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме.
9. ЭДС, закон Ома для замкнутой цепи. Работа и мощность в цепи постоянного тока. КПД источника тока. Правила Кирхгофа.
10. Классификация твердых тел (проводники, полупроводники и диэлектрики). Природа тока в металлах. Опыты Манделъштама и Попалекси, Толмена и Стюарта. Классическая теория электропроводности металлов и вывод из нее законов Ома и Джоуля-Ленца.
11. Трудности классической теории. Понятие о низкой и высокотемпературной сверхпроводимости.
12. Электролиты, 3-н Ома для электролитов. Законы электролиза.
13. Процессы ионизации и рекомбинации. Несамостоятельный и самостоятельный газовый разряды. Вольтамперная характеристика газового разряда.
14. Виды разряда (тлеющий, искровой и коронный). Молния. Понятие о плазме.
15. Опыты Эрстеда и Ампера. Виток с током в магнитном поле. Магнитный момент витка. Индукция и напряженность магнитного поля.
16. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле движущегося заряда.
17. Магнитное поле прямого и кругового токов.
18. Циркуляция вектора индукции магнитного поля. Закон полного тока. Магнитное поле соленоидального тока.
19. Сила Ампера и сила Лоренца. Определение удельного заряда электрона. Циклические ускорители.
20. Эффект Холла.
21. Относительный характер электрического и магнитного полей.
22. Опыты Фарадея. Закон Фарадея и правило Ленца.
23. Физическая природа электродвижущей силы индукции. Вихревое электрическое поле. Вихревые токи. Поверхностный эффект.
24. Самоиндукция. Индуктивность. Электродвижущая сила самоиндукции.
25. Энергия магнитного поля токов. Энергия и плотность энергии магнитного поля.
26. Атом в магнитном поле. Вектор намагничивания. Классификация магнетиков.
27. Ток смещения.
28. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Их физический смысл.
29. Принцип получения переменной ЭДС. Виды сопротивлений в цепи переменного тока. Закон Ома. Резонанс напряжений.
30. Мощность в цепи переменного тока.
31. Электрический колебательный контур. Собственные колебания, формула Томсона.
32. Затухающие и вынужденные колебания в контуре. Резонанс.
33. Плоские волны в однородном пространстве, скорость их распространения. Излучение электромагнитных волн. Опыты Герца.

34. Объемная плотность энергии электромагнитного поля. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга. Шкала электромагнитных волн.

### 7 семестр

#### **Вопросы к экзамену**

1. Трудности классической физики при объяснении спектра излучения твердого тела. Формула Рэлея-Джинса. Формула Планка.
2. Квантовая гипотеза Планка. Основы квантовой теории света. Фотоэффект. Эффект Комптона.
3. Квантовая гипотеза Планка. Давление света.
4. Модель атома Томсона. Рассеяние  $\alpha$ -частиц электроном.
5. Модель атома Томсона. Рассеяние  $\alpha$ -частиц равномерно распределенным шарообразным положительным зарядом.
6. Опыт Резерфорда. Рассеяние  $\alpha$ -частиц массивным положительным ядром атома Резерфорда.
7. Модель атома Резерфорда. Формула рассеяния Резерфорда.
8. Модель атома водорода по Бору. Гипотеза Де Бройля. Квантование радиуса орбит электрона.
9. Экспериментальные подтверждения модели атома Бора. Опыт Франка и Герца.
10. Теория Бора-Зоммерфельда. Пространственное квантование.
11. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Объяснение соотношения неопределенности на примере дифракции электронов.
12. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Объяснение соотношения неопределенности на основе взаимодействия микрочастицы с фотоном при измерении.
13. Волновой пакет - модель фотона. Соотношение неопределенности в волновом пакете.
14. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Естественная ширина спектральных линий.
15. Математический аппарат квантовой механики: Операторы и их свойства.
16. Волновая функция – функция состояния. Среднее значение величины в квантовой механике.
17. Волновая функция – функция состояния. Вывод оператора проекции импульса. Оператор кинетической энергии.
18. Оператор полной энергии – гамильтониан - в квантовой механике. Стационарное и нестационарное уравнения Шредингера.
19. Основные принципы квантовой механики. Самосопряженность операторов в квантовой механике.
20. Соответствие классических и квантово-механических величин и понятий. Отношение коммутативности операторов и его физический смысл.
21. Одномерный бесконечно глубокий "потенциальный ящик". Квантование состояний и энергии.
22. Трехмерный бесконечно глубокий "потенциальный ящик". Квантование состояний и энергии.
23. Квантово-механический гармонический линейный осциллятор. Решение уравнения Шредингера.
24. Квантово-механический гармонический линейный осциллятор. Квантование энергии и состояний. Сравнение с классическим гармоническим осциллятором.
25. Преодоление микрочастицей потенциального барьера бесконечной ширины.
26. Преодоление микрочастицей потенциального барьера конечной ширины. Туннельный эффект.
27. Квантовая модель атома водорода. Уравнение Шредингера в сферической системе координат. Триада уравнений.
28. Квантовая модель атома водорода. Квантование проекции момента импульса и модуля момента импульса.
29. Атом водорода. Квантовые числа. Нормальный эффект Зеемана.
30. Многоэлектронные атомы. Спин электрона. Опыт Штерна и Герлаха. Аномальный эффект Зеемана.

31. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Строение электронных оболочек атомов. Периодическая система элементов.
32. Атомные орбитали. Взаимодействие атомных орбиталей. Молекулярные орбитали на примере молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ .
33.  $sp^3$ -гибридизация атома углерода. Молекула метана.
34.  $sp^2$ -гибридизация атома углерода. Молекула этилена.
35.  $sp$ -гибридизация атома углерода. Молекула ацетилена.

### **8 семестр**

#### **Вопросы к экзамену**

1. Фазовые пространства. Теорема Леувилля.
2. Термодинамическая вероятность. Теорема Маркова.
3. Распределение Пуассона.
4. Распределение Максвелла по проекциям скоростей.
5. Распределение Максвелла по модулям скоростей и по энергиям.
6. Распределение Максвелла-Больцмана. Барометрическая формула Торричелли.
7. Квантовые системы и их свойства.
8. Распределение состояний по энергиям в фазовом пространстве.
9. Статистика бозонов. Распределение Бозе-Эйнштейна.
10. Статистика фермионов. Статистика Ферми-Дирака.
11. Вывод распределения Гиббса.
12. Статистический смысл энтропии. Энтропия и вероятность.
13. Статистический характер второго начала термодинамики.
14. Нулевое начало термодинамики.
15. Равновесные состояния термодинамической системы. Параметры состояния термодинамической системы.
16. Уравнения и функции состояния.
17. Термодинамические коэффициенты и теплоемкости.
18. Первое начало термодинамики.
19. Связь  $c_p$  и  $c_v$ .
20. Адиабатический процесс.
21. Политропический процесс.
22. Тепловые двигатели. Цикл Карно.
23. Энтропия – функция состояния.
24. Энтропия адиабатических процессов.
25. Энтропия идеального газа. Расширение идеального газа в пустоту.
26. Возрастание энтропии при смешивании двух идеальных газов.
27. Термодинамические функции.
28. Изотермы Ван-дер-Ваальса для реальных газов.
29. Фазовые переходы. Формула Клапейрона-Клаузиуса.
30. Силы поверхностного натяжения. Капиллярное явление.

### **9 семестр**

#### **Вопросы к экзамену**

1. Кристаллические и аморфные тела.
2. Ковалентная связь.
3. Ван-дер-Ваальсово взаимодействие.
4. Ионная связь. Постоянная Маделунга.
5. Водородная и металлическая связи.
6. Операции точечной симметрии (центр инверсии, плоскость симметрии).
7. Операции точечной симметрии (поворотные и инверсионные оси).

8. Взаимодействие операций симметрии. 32 класса точечной симметрии.
9. Решетка трансляций кристаллов. 14 типов решеток Бравэ.
10. Операции пространственной симметрии. 230 пространственных групп симметрии.
11. Основы теории дифракции рентгеновского излучения на кристалле.
12. Условия Лауэ.
13. Понятие обратной решетки.
14. Методы Лауэ и вращения.
15. Рентгенография поликристаллов.
16. Продольные волны в одномерном одноатомном кристалле.
17. Фононная модель тепловых колебаний. Температура Дебая.
18. Тепловое расширение и теплопроводность твердых тел.
19. Теплоемкость твердых тел.
20. Фазовая проблема РСА.
21. Прямые методы расшифровки кристаллических структур.
22. Паттерсоновские методы расшифровки кристаллических структур.
23. Принцип плотной упаковки. Плотнейшие упаковки шаров.
24. Метод дискретного моделирования упаковок молекул в кристаллах.
25. Энергетические зоны кристалла.
26. Образование энергетических зон в упрощенной модели кристалла.
27. Зонная теория проводимости (проводники и диэлектрики)
28. Зонная теория проводимости (полупроводники)
29. Классическая электронная теория проводимости металлов.
30. Квантовая статистика электронов проводимости.
31. Сверхпроводимость.
32. Диамагнетизм и парамагнетизм.
33. Ферромагнетизм.
34. Кристаллические и аморфные тела.

### 10 семестр

#### **Вопросы к экзамену**

1. Изотопы и их свойства. Дефект масс. Энергия связи.
2. Капельная модель ядра. Формула Вейцеккера.
3. Оболочная модель ядра.
4. Свойства ядерных сил.
5. Мезонная теория ядерных сил.
6. Полевая теория ядерных сил.
7. Радиоактивность.  $\alpha$ -распад.
8. Радиоактивность.  $\beta$ -распад.
9. Радиоактивность.  $\gamma$ -излучение.
10. Закон радиоактивного распада.
11. Общие сведения о ядерных реакциях.
12. Механизмы ядерных реакций.
13. Механизм спонтанного деления ядер.
14. Деление ядер под действием нейтронов.
15. Цепная ядерная реакция.
16. Ядерный реактор
17. Реакции синтеза в природе. Углеродный цикл.
18. Реакции синтеза в природе. Водородный цикл.
19. Управляемый термоядерный синтез.
20. Источники элементарных частиц. Типы ускорителей.
21. Детекторы частиц.
22. Метод рассеяния. Эффект Комптона.

23. Метод рассеяния. Опыты Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.
24. Метод рассеяния. Открытие нейтрона.
25. Составные элементы ядра.
26. Классификация элементарных частиц.
27. Основные характеристики элементарных частиц.
28. Законы сохранения в физике частиц.
29. Мультиплеты в пространствах  $T_3$  и  $T_3 - Y$ .
30. Кварковая модель адронов. Барионный октет.
31. Кварковая модель адронов. Барионный декуплет.
32. Кварковая модель адронов. Мезонный октет.
33. Электромагнитное взаимодействие в физике частиц.
34. Слабое взаимодействие в физике частиц.
35. Сильное взаимодействие в физике частиц.
36. Теория великого объединения.
37. Примеры диаграмм Феймана превращений с участием слабого взаимодействия.
38. Примеры диаграмм Феймана превращений с участием сильного взаимодействия.

**5.3. Самостоятельная работа обучающегося.** Приводятся виды самостоятельной работы обучающегося, порядок их выполнения и контроля, дается учебно-методическое обеспечение (возможно в виде ссылок) самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.

Указываются темы эссе, рефератов, курсовых проектов (работ) и др.

**Текущая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений включает:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса, выполнение домашних заданий, контрольных работ, изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- подготовку к практическим и семинарским занятиям;
- подготовка к контрольной работе, к зачету, экзамену.

**Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)**, ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов включает следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

### Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине

#### 5 семестр

#### **Задания для самостоятельной работы студентов:**

1. По заданным уравнениям движения точки найти закон движения точки по траектории, отсчитывая расстояние от начального положения точки, а также модуль вектора скорости в ДСК:  $x = 4 \ln t$ ,  $y = 3 \ln t$ .
2. По заданным уравнениям движения точки в полярных координатах найти модуль скорости (полной скорости) и модуль радиального ускорения точки:  $r = \cos^2 \omega t - \sin^2 \omega t$ ,  $\varphi = \omega t$ .



3. Составить дифференциальное уравнение движения точки массой  $m$  движущейся под действием пяти сил:  $F_1, F_2, F_3, F_4$  и  $F_5$ , направленных под углами  $\alpha$  ( $0^\circ < \alpha < 45^\circ$ ),  $\alpha + 60^\circ$ ,  $\alpha + 120^\circ$ ,  $\alpha + 180^\circ$  и  $\alpha + 240^\circ$  к положительному направлению движения соответственно. Все углы отсчитываются против хода часовой стрелки.

4. По известному дифференциальному уравнению движения материальной точки, при указанных начальных условиях, определить её положение в любой момент времени:

$$\ddot{y} + \lambda \dot{y} = e^t, \quad t = t_0 = 0, \quad y = y_0 = 0, \quad \dot{y} = \dot{y}_0 = 0.$$

5. Составить функцию Лагранжа для двух зубчатых колес массами  $m_1$  и  $m_2$  и радиусами  $r_1$  и  $r_2$ , находящихся в зацепе и расположенных в горизонтальной плоскости.

### 6 семестр

#### **Темы рефератов для самостоятельной работы**

1. Атмосферное электричество.
2. Электрические свойства кристаллов.
3. Методы расчета электрических полей, созданных заряженными проводниками.
4. Методы расчёт электрических цепей постоянного тока.
5. Открытие сверхпроводимости.
6. Низкотемпературная сверхпроводимость.
7. Современные электроизмерительные приборы, используемые для изучения электрических и магнитных полей.
8. Эффект Холла и его использование в техник.
9. Виды циклических ускорителей заряженных частиц.
10. Опыты Герца по изучению электромагнитных волн.
11. Методы по определению удельного заряда частиц.
12. Методы повышения коэффициента мощности в цепи переменного тока.

#### **Проектная деятельность**

1. Создание школьных виртуальных лабораторных работ по электричеству.
2. Создания виртуальной установки циклотрона.
3. Создание виртуальной установки масс-спектрографа.
4. Компьютерное моделирование поляризации диэлектриков.
5. Компьютерное моделирование движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
6. Компьютерное моделирование эффекта Холла.
7. Компьютерное моделирование явления гистерезиса в ферромагнетиках.

### 7 семестр

#### **Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине**

1. Получить уравнение, определяющее энергетические уровни дискретного спектра для частицы в потенциальной яме

$$U(x) = \begin{cases} -u_0, & |x| < a \\ 0, & |x| > a \end{cases}$$

где  $u_0 > 0$ . Каково условие появления новых состояний дискретного спектра при углублении ямы? Найти энергетические уровни нижней части спектра в случае глубокой ямы  $u_0 \gg \hbar^2 / ma^2$ . Рассмотреть яму малой глубины  $u_0 \approx \hbar^2 / ma^2$ . Показать, что в такой яме имеется один уровень дискретного спектра.

2. Бесконечно глубокая яма шириной  $a$  занимает положение от  $-a/2$  до  $a/2$ . Частица находится в состоянии, в котором ее энергия может принимать значения  $E_1 = \pi^2 \hbar^2 / 2ma^2$  с вероятностью  $1/4$ ,  $E_2 = 4\pi^2 \hbar^2 / 2ma^2$  с вероятностью  $1/2$  и  $E_3 = 9\pi^2 \hbar^2 / 2ma^2$ , с вероятностью  $1/4$ . Чему равно среднее значение оператора четности в указанном состоянии? Как эта величина зависит от времени?

3. В момент времени  $t = 0$  нормированная волновая функция одномерного осциллятора имеет вид

$$\Psi(x, t = 0) = \frac{2}{\sqrt{5\pi^{1/4}}} (x + x^2) \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad x = \frac{x}{\sqrt{\hbar/m\omega}}$$

Какие значения может принимать энергия осциллятора в момент времени  $t$  и с какими вероятностями? Найти среднюю энергию частицы как функцию времени. Какова средняя четность указанного состояния? Как средняя четность зависит от времени?

4. В момент времени  $t = 0$  нормированная волновая функция одномерного осциллятора имеет вид

$$\Psi(x, t = 0) = \sqrt{\frac{2}{3\pi^{1/2}}} (1 - x) \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad x = \frac{x}{\sqrt{\hbar/m\omega}}$$

Найти среднюю координату осциллятора в этом состоянии как функцию времени. Найти также поток вероятности при  $x = 0$  как функцию времени. Дать физическую интерпретацию полученных результатов.

5. Волновая функция частицы имеет вид  $\exp(-3i\varphi)$ . Найти вероятность того, что при измерении квадрата момента импульса частицы будут обнаружены значения  $6\hbar^2$ ,  $7\hbar^2$ .

6. Частица находится в состоянии с определенными значениями  $L^2 = 2\hbar^2$  и  $L_z = \hbar$ . Какие значения проекции момента импульса на ось  $x$  можно обнаружить в результате измерений в этом состоянии и с какими вероятностями?

7. Пусть  $E_N$  значение энергии  $N$ -го уровня энергии дискретного спектра частицы в центральном поле (для основного состояния  $N = 1$ ). Какими могут быть максимально возможные значения момента частицы для состояний этого уровня? Каким может быть максимально возможное значение кратности вырождения уровня?

8. Найти энергии и волновые функции стационарных состояний частицы в бесконечно глубокой сферической потенциальной яме радиуса  $a$ , в которых момент импульса имеет значение  $l = 0$ . Получить уравнение для энергий состояний с моментом  $l = 1$ .

9. Провести классификацию пяти нижних уровней сферического осциллятора по значениям квантовых чисел  $n_r$ ,  $l$  и  $m$ , исходя только из кратности вырождения уровней

10. В начальный момент времени сферический осциллятор находится в состоянии с «декартовыми» квантовыми числами  $n_x = 1$ ,  $n_y = 2$ ,  $n_z = 3$ . Найти вероятности различных значений четности осциллятора и среднюю четность в этом состоянии. Как эта величина зависит от времени? Какие значения может принимать момент импульса осциллятора в этом состоянии?

11. Сферический осциллятор находится в стационарном состоянии с «декартовыми» квантовыми числами  $n_x = 0$ ,  $n_y = 0$ ,  $n_z = 3$ . Найти вероятности различных значений проекции момента импульса осциллятора на ось  $z$ .

12. Построить примеры волновых функций состояний свободной частицы, в которых: а) энергия частицы, квадрат ее момента импульса имеют определенные значения, а проекция момента на ось  $z$  может принимать два различных значения; б) энергия частицы, импульс и проекция момента на ось  $z$  имеют определенные значения; в) энергия частицы и проекция момента на ось  $z$  имеют определенные значения, а импульс и квадрат момента импульса определенных значений не имеют;

13. Найти коэффициенты отражения и прохождения частицы с энергией  $E$  через прямоугольный потенциальный барьер

$$U(x) = \begin{cases} u_0, & 0 < x < a \\ 0, & x > a, \quad x < 0 \end{cases}$$

где  $u_0 > 0$ .

### Проектная деятельность

1. Создание школьных виртуальных лабораторных работ по фотоэффекту.
2. Компьютерная визуализация атомных орбиталей.
3. Компьютерное моделирование взаимодействия атомных орбиталей.

#### 8 семестр

1. Три стрелка стреляют в цель. Вероятности поражения цели 0.2, 0.5, 0.3. Определить вероятность того, что цель будет поражена; б) вероятность попадания в цель всех трех стрелков.
2. Три стрелка стреляют в цель. Вероятности поражения цели 0.2, 0.5, 0.3. Определить вероятность попадания в цель всех трех стрелков.
3. Найти среднее значение величины  $x$  при экспоненциальном распределении этой величины.
4. Определить  $\langle x \rangle$  при равномерном распределении величины  $x$  между  $a$  и  $b$ .
5. Найти среднее значение  $\overline{v}$  величины, обратной скорости молекул газа в состоянии равновесия, т.е.  $(1/V)$ .
6. Какая часть молекул имеет модуль скорости, лежащий между половиной наивероятнейшей скорости и ее удвоенным значением?
7. Распределение вероятностей для двух случайных величин имеет следующий вид:  $dW(x, y) = A(x^2 + y^2) dx dy$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ ). Найти распределение вероятности для величины  $x$ .
8. Определить и изобразить фазовую траекторию для плоского ротатора, вся масса которого сосредоточена на радиусе  $R$ .
9. Начертить фазовые траектории одномерного движения материальных точек в поле силы тяжести с ускорением  $g = \text{const}$  и проиллюстрировать справедливость теоремы Лиувилля.
10. Оценить, какая часть молекул водорода при температуре 300К обладает скоростями, лежащими в интервале от 1800 до 1810 м/с.
11. Какому значению скорости соответствует максимум функции распределения Максвелла по энергиям?
12. Найти среднюю высоту воздушного столба над поверхностью Земли.
13. Записать распределение скоростей в идеальном двумерном газе и найти его среднюю скорость.

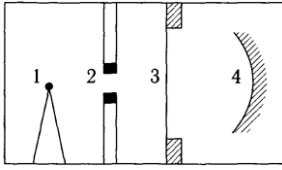
#### 9 семестр

1. Дифракция в кристаллах
2. Основные формулы кристаллографии для кубических кристаллов
3. Кристаллические структуры
4. Вакансии и междоузельные атомы.
5. Твёрдые растворы.
6. Диффузия
7. Кристаллография пластической деформации
8. Дислокации
9. Диаграммы состояния двойных металлических сплавов.
10. Разрушение материалов и испытания на ударную вязкость.
11. Основные типы связей в твердых телах
12. Динамика решетки
13. Тепловые свойства твердых тел
14. Электроны в металлах. Свободный электронный газ Ферми
15. Зонная теория твердых тел. Электрические свойства твердых тел
16. Магнитные свойства твердых тел.

#### 10 семестр

*Опыт Резерфорда. Ядерная модель атома.*

1. На рисунке представлена схема экспериментальной установки Резерфорда для изучения рассеяния  $\alpha$ -частиц. Какой цифрой на рисунке отмечена золотая фольга, в которой происходило рассеяние  $\alpha$ -частиц?



А.1.    Б.2.    В. 3.    Г. 4.

2. Сколько протонов в ядре элемента  ${}^{19}_9\text{Fe}$  ?

А.9.    Б. 10.    В. 19.    Г. 28.

3. Какие заряды имеют  $\alpha$ -частица и ядро атома?

А. Оба положительный.

Б. Оба отрицательный.

В.  $\alpha$ -частица — положительный, ядро — отрицательный.

Г.  $\alpha$ -частица — отрицательный, ядро — положительный.

4. Какова природа сил, отклоняющих частицы от прямолинейных траекторий в опыте Резерфорда?

А. Гравитационная.

Б. Кулоновская.

В. Магнитная.

Г. Ядерная.

5. Почему в опыте Резерфорда большая часть  $\alpha$ -частиц свободно проходит сквозь фольгу, испытывая малые отклонения от прямолинейных траекторий?

А. Электроны имеют малую (по сравнению с  $\alpha$ -частицей) массу.

Б. Ядро атома имеет положительный заряд.

В. Ядро атома имеет малые (по сравнению с атомом) размеры.

Г.  $\alpha$ -частицы имеют большую (по сравнению с ядрами атомов) массу.

6. Какова форма траектории  $\alpha$ -частицы в опыте Резерфорда?

А. Прямая.

Б. Эллипс.

В. Парабола.

Г. Гипербола.

#### Свойства атомного ядра. Энергия связи атомных ядер

1. В состав ядра входят...

1) ...протоны.

2) .. нейтроны.

3)... электроны.

А. Только 1.

Б. 1 и 3.

В. 1 и 2.

Г. 1, 2 и 3.

2. Сколько протонов входит в состав ядра  ${}^A_Z\text{X}$

А. Z.

Б. A.

В. A-Z.

Г. A+Z.

3. Между протонами в ядре действуют кулоновские  $F_K$ , гравитационные  $F_G$  и ядерные  $F_Y$  силы. Каково соотношение между модулями этих сил?

А.  $F_Y > F_K \gg F_G$ .

Б.  $F_Y \approx F_K \gg F_G$ .

В.  $F_K > F_Y \gg F_G$ .

Г.  $F_Y \approx F_K \approx F_G$ .

4. Сравните силы ядерного притяжения между двумя протонами  $F_{pp}$ , двумя нейтронами  $F_{nn}$ , а также между протоном и нейтроном  $F_{pn}$ .

А.  $F_{nn} > F_{pn} > F_{pp}$ .

Б.  $F_{nn} \approx F_{pn} > F_{pp}$ .

В.  $F_{nn} \approx F_{pn} \approx F_{pp}$ .

Г.  $F_{nn} < F_{pn} < F_{pp}$ .

5. Какое соотношение из приведенных ниже справедливо для полных энергий свободных протонов  $E_p$ , нейтронов  $E_n$  и атомного ядра  $E_Y$ , составленного из них?

А.  $E_Y = E_p + E_n$ .

Б.  $E_Y > E_p + E_n$ .

В.  $E_Y < E_p + E_n$ .

Г. Для стабильного ядра правильный ответ В, для радиоактивного Б.



5. Какой вид ионизирующих излучений из перечисленных ниже наиболее опасен при внутреннем облучении организма человека?

А.  $\alpha$ -излучение.      Б.  $\beta$ -излучение.      В.  $\gamma$ -излучение

Г. Все излучения опасны одинаково.

6. Какая доля радиоактивных атомов распадается через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

А. 25%.

Б. 50%.

В. 75%.

Г. Все атомы распадутся.

### Ядерная энергетика

1. Какие вещества из перечисленных ниже могут быть использованы в качестве теплоносителей?

1) Вода.

2) Жидкий натрий.

А. Только 1.      Б. Только 2.      В. 1 и 2.      Г. Ни 1, ни 2.

2. Какие вещества из перечисленных ниже могут быть использованы в ядерных реакторах в качестве замедлителей нейтронов?

1) Графит.      2) Кадмий.      3) Тяжелая вода.      4) Бор.

А. 1 и 3.      Б. 2 и 4.      В. 1 и 2.      Г. 3 и 4.

3. Для протекания цепной ядерной реакции на АЭС нужно, чтобы коэффициент размножения нейтронов был...

А. ...равен 1.      Б. ...больше 1.      В. ...меньше 1.

4. Критическая масса определяется...

1) ...типом ядерного горючего.

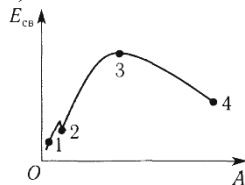
2) ...замедлителем нейтронов.

А. Только 1.

Б. Только 2.

В. 1 и 2.

Г. Ни 1, ни 2.



5. На графике представлена зависимость удельной энергии связи атомных ядер от массового числа. При синтезе каких ядер, отмеченных на кривой, выделяется наибольшая энергия на один нуклон?

А. 1 и 2.      Б. 2 и 3.      В. 3 и 4.      Г. 1 и 4.

6. При делении ядра урана освобождается большая энергия. Максимальная доля освобождающейся энергии приходится на...

А. ...энергию  $\gamma$ -квантов.

Б. ...энергию радиоактивного излучения.

В. ...кинетическую энергию осколков деления.

Г. ...кинетическую энергию свободных нейтронов.

### Элементарные частицы. Методы их регистрации.

1. В каком из перечисленных ниже приборов для регистрации ядерных излучений используется след из капель жидкости в газе при прохождении через него быстрой заряженной частицы?

А. Счетчик Гейгера.

Б. Камера Вильсона.

В. Пузырьковая камера.

Г. Ионизационная камера.

2. В каком из перечисленных ниже приборов для регистрации ядерных излучений прохождение быстрой заряженной частицы вызывает появление импульса электрического тока в газе?

А. Счетчик Гейгера.

Б. Камера Вильсона.

- В. Пузырьковая камера. Г. Толстослойная фотоэмульсия.
3. Какая энергия выделяется при аннигиляции электрона и позитрона?
- А.  $m_e c$ . Б.  $\frac{m_e c^2}{2}$ . В.  $m_e c^2$ . Г.  $2m_e c^2$ .
4. При каких ядерных процессах возникает нейтрино?
- А. При  $\alpha$ -распаде. Б. При  $\beta$ -распаде.  
В. При излучении  $\gamma$ -квантов. Г. При любых ядерных превращениях.
5. Протон состоит из...
- А. . . нейтрона, позитрона и нейтрино.  
Б. . . мезонов.  
В. . . кварков.  
Г. Протон не имеет составных частей.
- 6\*. Что было доказано опытами Дэвиссона и Джермера?
- А. Квантовый характер поглощения энергии атомами.  
Б. Квантовый характер излучения энергии атомами.  
В. Волновые свойства света.  
Г. Волновые свойства электронов.

### Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей. Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- контрольные вопросы, задаваемые при проведении практических занятий,
- вопросы для самоконтроля;
- вопросы тестирований;
- выполнение домашних работ;
- выполнение самостоятельных и контрольных работ
- вопросы, выносимые на экзамен.
- реферат с элементами проектирования;
- доклады на конференц-неделях.

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Самостоятельные работы на практических занятиях	Знание основных формул и определений
Контрольные работы на практических занятиях	Умение самостоятельно находить решение поставленной задачи
Участие студентов в научной дискуссии по подготовленным и представленным презентациям, рефератам во время проведения конференц-недели	Овладение опытом анализа информационных источников; выступлений с докладами и участия в дискуссиях; разделения научного и ненаучного знания;
Выполнение и защита индивидуальных заданий	Знание основных формул и определений. Умение самостоятельно находить решение поставленной задачи
Тестирование	Знание основных формул и определений. Умение самостоятельно находить решение поставленной задачи

Контроль со стороны преподавателя и самоконтроль осуществляется в соответствии с

рейтинг-планом дисциплины, во время практических и лабораторных занятий, коллоквиумов, защиты домашних заданий.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Никеров, В. А. Физика для вузов: механика и молекулярная физика : учебник / В. А. Никеров. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2019. - 136 с. - ISBN 978-5-394-00691-3. - Текст : электронный.	2019	URL: <a href="https://znanium.com/catalog/product/1093242">https://znanium.com/catalog/product/1093242</a>
Андреева, Н. А. Физика : часть 2. :курс лекций / Н. А. Андреева, С. В. Белокуров, Е. В. Корчагина. - Воронеж : Воронежский институт ФСИН России, 2019. - 157 с. - Текст : электронный.	2019	URL: <a href="https://znanium.com/catalog/product/1086194">https://znanium.com/catalog/product/1086194</a>
1. Кузнецов, С. И. Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики : учебное пособие / С. И. Кузнецов, А. М. Лидер. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2019. — 212 с. - ISBN 978-5-9558-0350-0. - Текст : электронный.	2019	URL: <a href="https://znanium.com/catalog/product/1002478">https://znanium.com/catalog/product/1002478</a>
Дополнительная литература		
1. Демидченко, В. И. Физика : учебник / В.И. Демидченко, И.В. Демидченко. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 581 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-010079-1. - Текст : электронный.	2020	URL: <a href="https://znanium.com/catalog/product/1541963">https://znanium.com/catalog/product/1541963</a>
2. Физика. Современный курс [Электронный ресурс] : Учеб-ник / В. А. Никеров. - М.: Даш-ков и К, 2012. - 452 с. - ISBN 978-5-394-01133-7.	2014	URL: <a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=415038">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=415038</a>
3. Антошина, Л. Г. Общая физика: Сб. задач: Учеб. пособие / Л.Г. Антошина, С.В. Павлов, Л.А. Скипетрова; Под ред. Б.А. Струкова. - Москва : ИНФРА-М, 2008. - 336 с. (Высшее образование). ISBN 5-16-002494-8. - Текст : электронный. -	2008	URL: <a href="https://znanium.com/catalog/product/141416">https://znanium.com/catalog/product/141416</a>

### 6.2. Периодические издания

- «Земля и вселенная». М.: Наука;
- «Природа» М.: Изд. РАН;
- «Физика в школе» М.: Школьная пресса;
- «Успехи физических наук» М.: Изд. РАН;
- «Физика» М.: Первое сентября

### 6.3. Интернет-ресурсы

- Физика, химия, математика студентам и школьникам <http://www.ph4s.ru/>
- Физика в анимациях <http://physics.nad.ru/>



[http://oltest.ru/tests/inzhenernye\\_discipliny/teoreticheskaya\\_mehnika](http://oltest.ru/tests/inzhenernye_discipliny/teoreticheskaya_mehnika) (онлайн тестирование)

<http://teormex.net/knigi.html> (Электронные учебники и задачки)

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического типа, занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Практические занятия проводятся в Аудит. 121-7, обеспеченной астрономическими наглядными материалами (глобусы планет и луны, модель небесной сферы, карты и атласы звездного неба, астрономические календари, теллурий) и оборудованием (портативный планетарий, телескопы рефракторы и рефлекторы). Аудитория оснащена ПК, мультимедиа проектором и интерактивной доской, доской для письма и маркерами.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: Лицензии на Microsoft Windows/Office: Microsoft Open License 49487346.

Рабочую программу составил  доцент кафедры ФМОиИТ А.А. Мокрова

Рецензент

(представитель работодателя) заместитель директора

МАОУ «СОШ № 25 г. Владимира»

Шавлинская Т.Ю. 

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФМОиИТ

Протокол № 11 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой  Ю.Ю. Евсеева

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 44.03.05 – Педагогическое образование

Протокол № 1 от 31.08 2021 года

Председатель комиссии  Артамонова М.В., директор ПИ

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

в рабочую программу дисциплины

**НАИМЕНОВАНИЕ**

образовательной программы направления подготовки код и наименование ОП, направленность:

*наименование (указать уровень подготовки)*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Подпись*

*ФИО*