

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Артеменков Михаил Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 07.10.2026 12:25:58
Уникальный программный ключ:
a63b74166e8f4fc17bd1e0462725f79e393bdfd9

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

«Утверждаю»
Проректор по учебно-методической
деятельности
_____ Устименко Ю.А..
«25» декабря 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины
Б1.О.06.09 Основы теоретической физики**

Направление подготовки **44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)**

Направленность (профиль) **Математика, Физика и Информатика**

Форма обучения: очная

Курс – 4-5

Семестр – 8-10

Всего зачетных единиц – 10, часов – 360

Форма отчетности: зачет – 7,9 семестр
экзамен – 8, 10 семестр

Программу разработали: кандидат технических наук, доцент Аршиненко И.А.,
кандидат педагогических наук, доцент Дюндин А.В., старший преподаватель
Семенкович И.М.

Одобрена на заседании кафедры
«20» ноября 2025 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой _____ Дюндин А.В.

Смоленск
2025

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Основы теоретической физики» включена в обязательную часть основной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование(с двумя профилями подготовки), направленность (профиль) образовательной программы: «Математика, Физика и Информатика».

Для освоения дисциплины «Основы теоретической физики» студент должен обладать базовыми знаниями и умениями, полученными в ходе изучения таких дисциплин, как «Общая и экспериментальная физика», «Математический анализ», «Линейная алгебра» и «Аналитическая геометрия».

В результате изучения дисциплины «Основы теоретической физики» студент приобретает знания и умения, необходимые для освоения дисциплин «Астрономия», «Основы физики атома и элементарных частиц».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ОПК-8. Способен осуществлять педагогическую деятельность на основе специальных научных знаний	Знать: объект, предмет, основные категории, принципы, закономерности, структуру педагогической науки; сущность, структуру, динамику целостного педагогического процесса; состояние и тенденции развития отечественных и международных педагогических и психологических исследований; методологию педагогического исследования; особенности, логику, закономерности, формы, методы и средства процесса обучения и воспитания; основы психологии личности, основные теоретические подходы к пониманию феномена личности; познавательные процессы, их свойства, закономерности и роль в интеллектуальной и творческой деятельности; общетеоретические основы методики преподавания предмета в объеме, необходимом для осуществления педагогической деятельности; строение и функции организма, основные закономерности развития человека; общие закономерности и возрастные особенности функционирования основных систем организма учащихся; гигиенические требования к организации образовательного процесса и гигиену учебного процесса; инструментальные средства информационных технологий. Уметь: применять теоретические знания в решении педагогических задач; планировать, проектировать и осуществлять педагогический процесс в различных типах образовательных учреждений; определять структуру и методологию проведения педагогического исследования; адекватно целям выстраивать учебный и воспитательный процесс, выбирая соответствующие формы, методы и средства его осуществления; использовать в педагогической деятельности и межличностном взаимодействии современные достижения психологической науки; учитывать возрастные физиологические особенности учащихся в педагогическом процессе; использовать информационные технологии для решения профессиональных задач. Владеть: категориальным аппаратом педагогической науки; навыками решения педагогических задач; способами планирования и осуществления образовательного процесса; способами проведения педагогического эксперимента; формами

	и методами осуществления учебной и воспитательной работы; приемами и методами психодиагностики личности, изучения особенностей профессиональной деятельности; навыками организации педагогической деятельности с позиций сохранения здоровья; методами профилактики нарушений физического развития и повышения адаптационных резервов организма; методами оказания первой доврачебной помощи; методами применения информационно-коммуникационных технологий в образовательном процессе.
ПК-7. Способен использовать научные знания в предметной области (физика) в процессе формирования предметной компетенции обучающихся в рамках реализации основной общеобразовательной программы	Знать: современное состояние и перспективы развития физики как учебной дисциплины, направления развития школьного физического образования, теоретические основы обучения физике, принципы построения методической системы обучения физике, основные линии школьного курса физики, их структуру, содержание и роль, этапы формирования физических понятий, методические подходы к изучению основных тем школьного курса физики; Уметь: анализировать и интерпретировать содержание физических понятий, теорем, задач, разрабатывать фрагменты уроков, организовывать образовательный процесс обучения физике, конструировать методику введения понятий, изучения теорем, решения задач; Владеть: основными приемами организации деятельности школьников по изучению физики, навыками разработки методики изучения частных вопросов обучения физики, исследовательскими методами в профессиональной деятельности.

3. Содержание дисциплины

7 семестр

Механика Ньютона. Классическая механика как фундаментальный раздел курса теоретической физики. Кинематика частицы. Кинематика абсолютно твердого тела. Динамика частицы и системы частиц.

Основы аналитической механики. Связи, число степеней свободы, виртуальные перемещения. Уравнение Даламбера – Лагранжа. Принцип виртуальных перемещений. Уравнения движения в обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа. Теорема Кёнига. Применение уравнений Лагранжа. Равновесие потенциальной механической системы.

Законы сохранения. Энергия. Закон сохранения энергии. Импульс. Закон сохранения импульса. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Использование сохраняющихся величин при описании одномерного движения.

Движение в центральном поле. Задача двух тел. Общие закономерности движения частицы в центральном поле. Задача Кеплера.

Малые колебания механических систем. Свободные одномерные колебания консервативной системы. Вынужденные одномерные колебания при наличии диссипативных сил. Колебания систем с несколькими степенями свободы.

Уравнения Гамильтона и иные законы эволюции. Уравнения Гамильтона. Интегралы движения. Скобки Пуассона. Функционал и его вариация. Уравнение Эйлера. Принцип наименьшего действия. Уравнения Гамильтона – Якоби.

Движение в неинерциальной системе отсчета. Кинематика частицы в произвольно движущейся системе отсчета. Динамика частицы в неинерциальной системе отсчета. Теорема Лармора. Проявление неинерциальности системы отсчета, связанной с Землей.

Элементы специальной теории относительности. Постулаты СТО. Преобразования Лоренца. Следствия преобразований Лоренца. Элементы релятивистской динамики.

8 семестр

Экспериментальные основы электродинамики. Закон Кулона. Законы Ампера и Био-Савара. Сила взаимодействия двух проводников с током. Сила Лоренца. Принципы построения системы единиц. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Система уравнений Максвелла, как отражение опытных данных. Закон сохранения заряда. Теорема о граничном условии.

Электростатическое поле в вакууме. Уравнения электростатики. Скалярный потенциал. Потенциал системы точечных, поверхностно и объемно распределенных зарядов. Энергия системы покоящихся зарядов. Уравнение Пуассона и его общее решение для электростатики.

Электростатическое поле в веществе. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Решение системы уравнений Максвелла в среде. Энергия электрического поля.

Магнитостатическое поле. Законы Ома и Джоуля-Ленца. ЭДС. Вихревой характер магнитного поля. Вектор намагничивания. Напряженность магнитного поля в однородном магнетике. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.

Основные уравнения электродинамики поля. Гипотеза Максвелла о токах смещения. Калибровочная инвариантность полей. Система уравнений Максвелла в вакууме.

Специальная теория относительности. Экспериментальные основы СТО. Пространство-время и системы отсчета СТО. Преобразования Лоренца и следствия из них.

9 семестр

Законы термодинамики. Термодинамическая система. Термодинамический процесс. Постулаты термодинамики. Термодинамические потенциалы и их свойства. Термодинамические методы. Дифференциальные уравнения термодинамики для систем закрытого типа. Условие устойчивости закрытой однородной термодинамической системы

Основные утверждения статистической физики. Статистическое описание макросистемы, обобщенные координаты. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Получение термодинамических потенциалов из распределения Гиббса. Флуктуации. Броуновское движение.

Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц. Принцип тождественности частиц. Квантовые статистики Ферми – Дирака и Бозе – Эйнштейна.

Вырожденный газ, критерий вырождения. Вырожденный электронный газ, вырожденный Бозе-газ, фотонный газ.

Свойства реальных газов. Основы кинетики. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса, уравнение Ван-дер-Ваальса, изменение внутренней энергии и энтропии, теплоемкость. Методы охлаждения газов.

Термодинамические силы и потоки, локальное равновесие, принцип детального равновесия. Теорема Онсагера. Столкновение частиц, кинетическое уравнение и теорема Больцмана.

Системы с переменным числом частиц. Термодинамика открытых систем, термодинамические потенциалы, химический потенциал, омега-потенциал. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Статистическое распределение в системах с переменным числом частиц

Фазовые переходы. Образование новой фазы. Условия равновесия фаз. Фазовые переходы первого рода, кривые фазового равновесия. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы второго рода, скачок теплоемкости. Химические равновесия в газовой среде. Закон действующих масс. Тепловая диссоциация атомов.

10 семестр

Геометрическая теория кристаллической решетки. Предмет исследования. Кристаллизация и затвердевание. Представление о кристаллической решётке. Ячейка Браве. Решётки Браве. Индексы Миллера. Симметрия твёрдых тел. Анизотропия кристаллов. Сопоставление различных типов связи частиц в кристаллах. Сингонии. Типы связей частиц. Дефекты кристаллов.

Динамика кристаллической решетки. Теория Дебая для идеального изотропного кристалла. Модель Дебая; акустические волны в идеальном кристалле. Дисперсия акустических волн в идеальном кристалле. Распределение частот в идеальном кристалле, частота Дебая. Акустические волны в реальном кристалле. Оптические волны в идеальном кристалле. Энергия кристалла, энергия структурных частиц кристалла. Фононы и их энергия. Нулевое движение и его энергия. Квантование энергии, температура Дебая. Внутренняя энергия идеального кристалла по теории Дебая.

Тепловые свойства кристаллической решетки. Теплоёмкость кристалла. Решёточная теплоёмкость изотропных кристаллов по теории Дебая. Решёточная теплоёмкость анизотропных кристаллов по теории Эйнштейна. Электронная теплоёмкость металлов по классической теории Друде – Лоренца. Электронная теплоёмкость металлов по теории Зоммерфельда. Теплопроводность кристалла, закон Фурье. Решёточная теплопроводность. Электронная теплопроводность.

Зонная теория. Постановка задачи. Образование энергетических зон в кристалле. Энергия изолированного атома. Потенциальный барьер между атомами кристалла. Расщепление энергетических уровней в кристаллах. Структура энергетических зон. Энергия электронных волн. Условие Вульфа – Брэгга. Число подуровней в разрешенной энергетической зоне. Заселенность электронами энергетических зон и классификация кристаллов. Валентная зона и зона проводимости. Проводники. Диэлектрики. Полупроводники собственные. Возникновение локальных энергетических уровней. Уровни в запрещённых зонах. Полупроводники с акцепторными примесями. Полупроводники с донорными примесями.

Электрические свойства твердых тел. Электрическая проводимость кристалла. Электропроводность металлов. Электропроводность собственных полупроводников. Электропроводность примесных полупроводников. Контактные явления. Граница металл-вакуум. Граница металл-металл. Граница металл-полупроводник. Граница ПП р-типа – ПП n-типа. Типы электронной эмиссии. Термоэлектрические явления.

Сверхпроводимость. Экспериментальное открытие сверхпроводимости. Классификация сверхпроводников. Классические сверхпроводники. Высокотемпературные сверхпроводники. Действие магнитного поля на СП. СП в слабых магнитных полях. СП в сильных магнитных полях. СП первого рода. СП второго рода. Теория сверхпроводимости БКШ. Модель СП. Основные утверждения теории БКШ. Следствия из теории БКШ. Применение сверхпроводимости.

Свойства диэлектриков. Диэлектрик во внешнем электрическом поле. Электропроводность диэлектриков. Диполь в электростатическом поле, вектор поляризации. Типы поляризации. Электрическое поле в диэлектрике, электрическое смещение. Классификация диэлектриков. Пьезоэлектрики. Пироэлектрики. Сегнетоэлектрики, явление диэлектрического гистерезиса. Применение диэлектриков. Условия на границе раздела двух диэлектриков.

Свойства магнетиков. Намагничивание, вектор намагничивания. Связь магнитной проницаемости и магнитной восприимчивости. Классификация магнетиков. Диамагнетики. Парамагнетики. Ферромагнетики, явление магнитного гистерезиса. Применение магнетиков. Условия на границе раздела двух магнетиков.

4. Тематический план 7 семестр

№ п/ п	Разделы и темы	Всего о часов	Формы занятий		
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа
1	Механика Ньютона	14	4	4	6
2	Основы аналитической механики	16	4	6	6
3	Законы сохранения	18	6	6	6
4	Движение в центральном поле	10	2	4	4
5	Малые колебания механических систем	14	4	4	6
6	Уравнения Гамильтона и иные законы эволюции	14	4	4	6
7	Движение в неинерциальной системе отсчета	12	4	2	6
8	Элементы специальной теории относительности	10	4	2	4
Итого за 7 семестр		108	32	32	44

8 семестр

№ п/ п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа
1	Экспериментальные основы электродинамики	4	2	2	0
2	Электростатическое поле в вакууме	9	4	4	1
3	Электростатическое поле в веществе	7	2	4	1
4	Магнитостатическое поле	9	4	4	1
5	Основные уравнения электромагнитного поля	7	4	2	1
6	Релятивистская электродинамика	5	4	4	1
	Экзамен	27			27
Итого за 8 семестр		72	20	20	32

9 семестр

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа
1	Законы термодинамики	14	4	6	4
2	Основные утверждения статистической физики	14	4	6	4
3	Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц	12	4	4	4
4	Свойства реальных газов.	12	4	4	4

	Основы кинетики				
5	Системы с переменным числом частиц	10	4	2	4
6	Фазовые переходы	10	4	2	4
Итого за 9 семестр		72	24	24	24

10 семестр

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа
1.	Геометрическая теория кристаллической решетки	8	2	4	2
2.	Динамика кристаллической решетки	11	4	4	3
3.	Тепловые свойства кристаллической решетки	11	4	4	3
4.	Зонная теория кристаллов	12	4	4	4
5.	Электрические свойства кристаллов	14	6	4	4
6.	Магнитные свойства кристаллов	10	4	4	2
7.	Сверхпроводимость кристаллов	10	4	4	2
8.	Оптические свойства кристаллов	5	2	2	1
9.	Экзамен	27			27
Итого за 10 семестр		108	30	30	48

5. Виды учебной деятельности

Лекции

7 семестр

Лекция №1,2. Механика Ньютона. Классическая механика как фундаментальный раздел курса теоретической физики. Кинематика частицы. Кинематика абсолютно твердого тела. Динамика частицы и системы частиц.

Лекция №3,4. Основы аналитической механики. Связи, число степеней свободы, виртуальные перемещения. Уравнение Даламбера – Лагранжа. Принцип виртуальных перемещений. Уравнения движения в обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа. Теорема Кёнига. Применение уравнений Лагранжа. Равновесие потенциальной механической системы.

Лекция №5,6,7. Законы сохранения. Энергия. Закон сохранения энергии. Импульс. Закон сохранения импульса. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Использование сохраняющихся величин при описании одномерного движения.

Лекция №8. Движение в центральном поле. Задача двух тел. Общие закономерности движения частицы в центральном поле. Задача Кеплера.

Лекция №9,10. Малые колебания механических систем. Свободные одномерные колебания консервативной системы. Вынужденные одномерные колебания при наличии диссипативных сил. Колебания систем с несколькими степенями свободы.

Лекция №11,12. Уравнения Гамильтона и иные законы эволюции. Уравнения Гамильтона. Интегралы движения. Скобки Пуассона. Функционал и его вариация. Уравнение Эйлера. Принцип наименьшего действия. Уравнения Гамильтона – Якоби.

Лекция №13,14. Движение в неинерциальной системе отсчета. Кинематика частицы в произвольно движущейся системе отсчета. Динамика частицы в неинерциальной системе отсчета. Теорема Лармора. Проявление неинерциальности системы отсчета, связанной с Землей.

Лекция №15,16. Элементы специальной теории относительности. Постулаты СТО. Преобразования Лоренца. Следствия преобразований Лоренца. Элементы релятивистской динамики.

8 семестр

Лекция №1. Экспериментальные основы электродинамики. Закон Кулона. Законы Ампера и Био-Савара. Сила взаимодействия двух проводников с током. Сила Лоренца. Принципы построения системы единиц. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Система уравнений Максвелла, как отражение опытных данных. Закон сохранения заряда. Теорема о граничном условии.

Лекция №2,3. Электростатическое поле в вакууме. Уравнения электростатики. Скалярный потенциал. Потенциал системы точечных, поверхностно и объемно распределенных зарядов. Энергия системы покоящихся зарядов. Уравнение Пуассона и его общее решение для электростатики.

Лекция №4. Электростатическое поле в веществе. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Решение системы уравнений Максвелла в среде. Энергия электрического поля.

Лекция №5,6. Магнитостатическое поле. Законы Ома и Джоуля-Ленца. ЭДС. Вихревой характер магнитного поля. Вектор намагничивания. Напряженность магнитного поля в однородном магнетике. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.

Лекция №7,8. Основные уравнения электромагнитного поля. Основные уравнения электродинамики поля. Гипотеза Максвелла о токах смещения. Калибровочная инвариантность полей. Система уравнений Максвелла в вакууме.

Лекция №9,10. Релятивистская электродинамика. Релятивистская инвариантность уравнений электродинамики. Четырехмерный потенциал, четырехмерный вектор плотности тока и их преобразования. Инвариантность заряда. Относительность понятий электрического и магнитного полей в данной точке.

9 семестр

Лекция №1,2. Законы термодинамики. Термодинамическая система. Термодинамический процесс. Постулаты термодинамики. Внутренняя энергия системы. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Термодинамическое определение температуры. Максимальная работа процессов. Теорема Нернста. Термодинамические потенциалы и их свойства. Свободная энергия Гельмгольца. Термодинамический потенциал Гиббса. Тепловая энергия (энтальпия). Термодинамические методы. Метод циклов. Метод термодинамических потенциалов

(метод Гиббса). Дифференциальные уравнения термодинамики для систем закрытого типа. Соотношения взаимности Максвелла. Соотношение уравнения состояния. Теплоёмкость. Термические коэффициенты. Условие устойчивости закрытой однородной термодинамической системы.

Лекция №3,4. Основные утверждения статистической физики. Статистическое описание макросистемы. Обобщенные координаты. Фазовое пространство и его элементы. Функция распределения. Теорема Лиувилля. Статистическое распределение и законы сохранения. Микроканоническое распределение. Микроканоническое распределение в классической статистике. Микроканоническое распределение в классической статистике. Статистический вес. Энтропия. Каноническое распределение Гиббса. Канонический ансамбль Гиббса. Система в термостате, статистическая температура. Получение термодинамических потенциалов из распределения Гиббса. Флуктуации. Теоремы о флуктуациях. Роль флуктуаций. Полутермодинамическая теория флуктуаций. Броуновское движение. Флуктуации в однородной среде. Рассеяние света флуктуациями

Лекция №5,6. Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц. Принцип тождественности частиц. Квантовые статистики. Фермионы. Статистика Ферми – Дирака. Бозоны. Статистика Бозе – Эйнштейна. Вырожденный газ. Критерий вырождения. Общие свойства газов, состоящих из бозонов и фермионов. Вырожденный электронный газ. Явление конденсации в вырожденном Бозе-газе. Фотонный газ.

Лекция №7,8. Свойства реальных газов. Основы кинетики. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса и критические параметры. Изменение внутренней энергии и энтропии реального газа. Теплоемкость реального газа. Методы охлаждения газов. Метод Гей-Люссака. Метод Джоуля и Томсона. Термодинамические силы и потоки. Локальное равновесие. Принцип детального равновесия. Теорема Онсагера. Столкновение частиц. Кинетическое уравнение Больцмана. Теорема Больцмана

Лекция №9,10. Системы с переменным числом частиц. Термодинамика открытых систем. Термодинамические потенциалы и переменные открытых систем. Химический потенциал. Омега-потенциал. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Общие условия. Частные условия. Статистическое распределение в системах с переменным числом частиц.

Лекция №11,12. Фазовые переходы. Образование новой фазы. Условия равновесия фаз. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Скрытая теплота. Кривые фазового равновесия. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы второго рода. Непрерывность термодинамических потенциалов и их производных. Скачок теплоемкости. Химические равновесия в газовой среде. Закон действующих масс. Тепловая диссоциация атомов.

10 семестр

Лекция №1. Геометрическая теория кристаллической решетки. Представление о кристаллической решётке. Ячейка Браве. Элементы симметрии. Анизотропия кристаллов. Сингонии. Индексы Миллера. Типы связей частиц в кристаллах. Ковалентная связь, обменное взаимодействие. Ионная связь. Металлическая связь. Ван-дер-ваальсовские и водородные связи. Дефекты кристаллов: точечные, линейные, поверхностные, объемные.

Лекция №2,3 Динамика кристаллической решетки. Теория Дебая для идеального изотропного кристалла. Модель Дебая. Акустические волны в идеальном кристалле, их

дисперсия. Оптические волны в идеальном кристалле, их дисперсия. Энергия кристаллической решетки. Энергия структурных частиц кристалла. Фононы и их энергия. Нулевое движение и его энергия. Квантование энергии, температура Дебая. Внутренняя энергия идеального кристалла по теории Дебая. Упругие свойства твердых тел. Диаграмма деформации. Классификация деформаций. Закон Гука. Упругие гистерезис

Лекция №4,5. Тепловые свойства кристаллической решетки. Теплоемкость диэлектриков. Решёточная теплоёмкость изотропных кристаллов по теории Дебая. Решёточная теплоёмкость анизотропных кристаллов по теории Эйнштейна. Теплоемкость металлов. Электронная теплоёмкость металлов по теории Дебая. Электронная теплоёмкость металлов по теории Зоммерфельда. Теплопроводность кристаллов. Закон Фурье. Решеточная теплопроводность. Анизотропия решеточной теплопроводности. Электронная теплопроводность. Фазовые переходы рода в кристаллах. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Термодинамическая устойчивость однофазного состояния вещества. Уравнения Эренфеста.

Лекция №6,7. Зонная теория кристаллов. Образование энергетических зон в кристалле. Возникновение потенциального барьера. Расщепление энергетических уровней. Структура энергетических зон. Энергия электронных волн, условие Вульфа-Брэгга. Число подуровней в разрешенной энергетической зоне. Уровень Ферми. Квантовые переходы электронов и классификация кристаллов. Заселенность энергетических зон, валентная зона и зона проводимости. Проводники. Диэлектрики. Полупроводники собственные. Полупроводники примесные, локальные энергетические подуровни

Лекция №8,9,10. Электрические свойства кристаллов. Электропроводность металлов. Классическая теория электропроводности и ее недостатки. Зонная теория электропроводности. Электропроводность полупроводников. Электропроводность собственных полупроводников. Электропроводность примесных полупроводников. Электропроводность диэлектриков. Поляризация. Пьезоэлектрики. Пирозэлектрики. Сегнетоэлектрики, диэлектрический гистерезис. Условия на границе раздела двух диэлектриков. Контактные явления. Контакт металл-вакуум. Контакт металл-металл, законы Вольты. Контакт металл-полупроводник. Контакт полупроводников р- и n-типа. Электронная эмиссия. Термоэлектронная эмиссия. Автоэлектронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия. Вторичная электронная эмиссия. Электрооптические явления. Эффект Керра. Эффект Поккельса.

Лекция №11,12. Магнитные свойства кристаллов. Намагничивание твердых тел. Диамагнетики. Парамагнетики. Ферромагнетики и другие сильные магнетики, магнитный гистерезис. Магнитострикция. Сверхтонкие взаимодействия (СТВ): электрическое монопольное, электрическое квадрупольное, магнитное сверхтонкое. Методы изучения СТВ, эффект Мессбауэра.

Лекция №13,14. Сверхпроводимость кристаллов. Экспериментальное открытие сверхпроводимости. Классификация сверхпроводников. Классические сверхпроводники (СП). Высокотемпературные сверхпроводники. Действие магнитного поля на сверхпроводники. Эффект Мейсснера–Оксенфельда. СП в слабых магнитных полях. СП в сильных магнитных полях. Свободная поверхностная энергия сверхпроводников: СП первого рода, СП второго рода. Теория сверхпроводимости БКШ: модель сверхпроводника, основные утверждения теории БКШ, следствия из теории БКШ. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Применение сверхпроводников

Лекция №15. Оптические свойства кристаллов. Двулучепреломление в анизотропных кристаллах. Двулучепреломление в одноосных кристаллах. Двулучепреломление в двуосных кристаллах. Электронная теория ДрUDE - Лоренца. Объяснение дисперсии. Объяснение поглощения. Цвет тела, элементы колористики

Практические занятия

7 семестр

Задания из пособия [8], теоретический материал из пособия [9] соответствующего раздела списка литературы.

Практическое занятие №1,2. Кинематика частицы. Кинематика абсолютно твердого тела. §§ 1-3.

Примеры. 1.1, 1.3, 2.1, 2.2.

Задачи: 1.1б); 1.2; 1.3; 1.5Ш; 1.6; 1.7К; 2.1; 2.3; 2.4; 2.5.

Практическое занятие №3,4. Принцип виртуальных перемещений Бернулли §§ 5, 6.

Примеры. 4.1 и 4.2.

Задачи: 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5.

Практическое занятие №5. Динамический принцип виртуальных перемещений §§ 6, 7.

Пример. 5.1. Задачи: 5.1; 5.2; 5.3; 5.4.

Практическое занятие №6,7. Уравнения Лагранжа §§ 8, 9.

Примеры. 6.1 и 6.2. Задачи: 6.1; 6.2; 6.3; 6.4; 6.5.

Практическое занятие №8. Энергия. Закон сохранения энергии § 10.

Пример. 7.1.

Задачи: 7.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5.

Практическое занятие №9. Импульс. Закон сохранения импульса. § 11.

Пример. 8.1.

Задачи: 8.1; 8.2; 8.3; 8.4; 8.5.

Практическое занятие №10. Момент импульса. Применение законов сохранения для описания одномерного движения. §§12, 13.

Пример. 9.1.

Задачи: 9.1; 9.2; 9.3; 9.4; 9.5.

Практическое занятие №11. Задача Кеплера §§ 14 – 16.

Задачи: 10.1; 10.2; 10.3; 10.4; 10.7К; 10.13К.

Практическое занятие №12,13. Линейный осциллятор. Многомерный осциллятор §§ 17-19.

Примеры. 11.1 и 11.2.

Задачи: 11.1; 11.2; 11.7; 11.3; 11.5; 11.6. 11.6К.

Практическое занятие №14. Уравнения Гамильтона и иные законы эволюции. Принцип наименьшего действия. §§ 20 – 23.

Задачи: 12.1; 12.2; 12.3; 12.4; 12.5К; 12.7; 12.6К.

Практическое занятие №15. Движение в неинерциальных системах отсчета §§ 24 –26.

Задачи: 13.1; 13.2; 13.4; 13.5.

Практическое занятие №16. Основы специальной теории относительности.

Задачи:

- Скорость движения Земли вокруг Солнца $v=30$ км/с. Найдите сокращения диаметра Земли в системе координат, связанной с Солнцем.
- Один из близнецов в возрасте 20 лет отправляется в далекое космическое путешествие к звезде Арктур на корабле со скоростью $v=0,99c$. для жителей Земли расстояние до звезды Арктур составляет 40 св. лет (т.е. расстояние таково, что свет от звезды доходит до Земли за 40 лет). На сколько лет космический путешественник окажется моложе своего брата, оставшегося на Земле?
- Две ракеты удаляются от Земли в прямо противоположные стороны со скоростью $0,8c$ относительно Земли. Найти, с какой скоростью движется одна ракета в системе отсчета, связанной с другой ракетой.
- Найти отношение кинетической энергии электрона к его энергии покоя, если скорость электрона 150 Мм/с. Каков релятивистский импульс электрона?
- Какому изменению массы соответствует изменение энергии на 1 Дж?

8 семестр

Практическое занятие №1. Напряженность электрического поля.

Задача 1. Дана бесконечная нить, заряженная с поверхностной плотностью заряда τ . Точка наблюдения находится на расстоянии r от нити. Рассчитайте напряженность электрического поля в данной точке.

Задача 2. Дана бесконечная плоскость, равномерно заряженная по поверхности с плотностью заряда σ . Найдите напряженность электрического поля в точке наблюдения P , не принадлежащей плоскости. Попытайтесь выполнить решение вторым способом – с опорой на теорему о граничном условии.

Задача 3. По шару радиуса R равномерно распределен заряд с плотностью ρ . Рассчитайте напряженность электрического поля данного шара.

Задача 4. По поверхности сферы радиуса R равномерно распределен заряд с плотностью σ . Рассчитайте напряженность электрического поля данной сферы.

Задача 5.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Дана полусфера, равномерно заряженная по поверхности с плотностью заряда σ . Найдите напряженность электрического поля в центре полусферы.

Задача 2. Дана нить, равномерно заряженная по длине с линейной плотностью заряда λ . Параллельно нити на расстоянии a расположен квадрат. Сторона квадрата $2a$. Вычислите поток вектора напряженности электрического поля через поверхность данного квадрата.

Задача 3. Дана бесконечная цилиндрическая поверхность с радиусом основания a и равномерно заряженная по поверхности с плотностью заряда $+\sigma$. На расстоянии r от оси находится точка P . Вычислите напряженность электрического поля в данной точке.

Практическое занятие №2. Потенциал электрического поля.

Задача 1. Дана бесконечная нить, заряженная с поверхностной плотностью заряда τ . Точка наблюдения находится на расстоянии r от нити. Рассчитайте потенциал

электрического поля в данной точке.

Задача 2. Дана бесконечная плоскость, равномерно заряженная по поверхности с плотностью заряда σ . Найдите потенциал электрического поля в точке наблюдения P , не принадлежащей плоскости.

Задача 3. По шару радиуса R равномерно распределен заряд с плотностью ρ . Рассчитайте потенциал электрического поля данного шара.

Задача 4. По поверхности сферы радиуса R равномерно распределен заряд с плотностью σ . Рассчитайте потенциал электрического поля данной сферы.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Заряд Q равномерно распределен по объему шара радиуса R . Найдите потенциал электрического поля внутри и вне шара.

Задача 2. Бесконечно длинный цилиндр радиуса R равномерно заряжен по поверхности с плотностью σ . Определите потенциал электрического поля цилиндра.

Практическое занятие №3. Прямая и обратная задачи электростатики ч.1.

Задача 1. Дан шар радиуса a , равномерно заряженный по объему с плотностью заряда ρ . Вычислить потенциал, создаваемый шаром в точке наблюдения P при условии:

- а) точка P лежит вне шара ($R > a$);
- б) точка P лежит внутри шара ($R < a$).

Задача 2. Рассчитайте потенциал, создаваемый бесконечно длинным цилиндром радиуса a , заряженного по объему с плотностью $\rho = \text{const}$.

Задача 3. Дана бесконечная пластинка, ориентированная в пространстве перпендикулярно оси OX . Толщина пластинки $2a$, она заряжена с объемной плотностью заряда ρ . Точка наблюдения находится на расстоянии x от центра пластины. Найдите потенциал электрического поля в точке наблюдения.

Задачи для самостоятельного решения

Потенциал ϕ электрического поля в сферических координатах имеет вид $\phi = \frac{Q}{R}$ при $r \leq R$ и $\phi = \frac{Q}{r}$ при $r \geq R$, где Q и R – постоянные. Найдите распределение заряда, создавшего это поле

Практическое занятие №4. Прямая и обратная задачи электростатики ч.2.

Задача 1. В сферических координатах объемная плотность заряда внутри шара радиуса R симметрична относительно оси Z и имеет вид $\rho = \cos \theta$, где θ – полярный угол, а начало координат совпадает с центром шара. Найдите потенциал и напряженность электрического поля, создаваемого этим шаром, во всем пространстве. Учтите, что в данном случае потенциал не зависит от азимутального угла ψ .

Задача 2. Бесконечный цилиндр радиуса R заряжен равномерно по своей длине. Объемная плотность заряда $\rho = \cos \psi$, где ψ – полярный угол, а ось Z цилиндрической системы координат совпадает с осью цилиндра. Найдите потенциал и напряженность электрического поля, создаваемого этим цилиндром, во всем пространстве.

Задача 3. Найдите распределение объемной плотности ρ заряда, создавшего в пространстве электрическое поле, потенциал которого в сферических координатах имеет вид:

- $\phi = \frac{e}{2R} \left(3 + \frac{2R}{r} - \frac{r^2}{R^2} \right)$ при $r \leq R$;
- $\phi = \frac{2e}{r}$ при $r \geq R$; где e и R – некоторые постоянные.

Практическое занятие №5. Энергия заряженного тела и электрического поля.

Задача 1. Шар радиуса a равномерно заряжен по объему с плотностью заряда ρ . Рассчитайте потенциальную энергию этого шара.

Задача 2. Проверьте правильность выполнения задачи 1 с помощью формулы энергии электрического поля $W = \frac{1}{2} \int_V \vec{E} \vec{D} dV$. По какой области необходимо производить интегрирование?

Задача 3. Дан металлический шар радиуса a с зарядом Q . Вычислите потенциал электрического поля и энергию этого шара.

Задача для самостоятельного решения

Пространство между двумя концентрическими сферами с радиусами R_1 и R_2 ($R_1 < R_2$) заряжено с объемной плотностью $\rho = \frac{a}{r^2}$. Найдите полный заряд Q и потенциал электрического поля ϕ для данного тела. Рассчитайте энергию этого заряженного тела двумя способами (как энергию тела и поля).

Практическое занятие №6. Электрическая емкость уединенного проводника и системы проводников.

Задача 1. Вычислить емкость уединенной металлической сферы известного радиуса.

Задача 2. Дан плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d . Пространство между пластинами заполнено диэлектриком с проницаемостью ϵ . Рассчитайте емкость конденсатора двумя способами.

Задача 3. Дан металлический шар радиуса a , окруженный концентрическим слоем диэлектрика с проницаемостью ϵ радиусом b . Найдите емкость этого шара.

Задача 4. Вычислите емкость сферического конденсатора по данным предыдущей задачи, если вторая металлическая обкладка имеет радиус b .

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Найдите энергию, накопленную в цилиндрическом двухслойном конденсаторе на длине l . Рассчитайте его емкость. Внутренний цилиндр имеет радиус r_1 , внешний – r_2 . Диэлектрик с ϵ_1 расположен цилиндрическим слоем радиуса a , с ϵ_2 – b . Все расстояния отсчитываются от оси конденсатора.

Задача 2. Определите взаимную емкость системы, состоящей из металлического шарика радиуса a и проводящей плоскости, находящейся на расстоянии l от центра шара.

Практическое занятие №7. Индукция магнитного поля.

Задача 1. Вычислите индукцию магнитного поля B в центре кругового тока I радиусом a .

Задача 2. Дан круговой ток I радиусом a . В центре кругового тока восстановлен перпендикуляр к его плоскости. Точка наблюдения находится на расстоянии R от

плоскости тока на перпендикуляре. Найдите индукцию магнитного поля в точке наблюдения.

Задача 3. Дан прямой длинный проводник, по которому течет ток I . Найдите индукцию магнитного поля в точке наблюдения, находящейся на расстоянии r от провода, считая, что он находится в среде с магнитной проницаемостью μ .

Задача 4. Найдите индукцию магнитного поля в коаксиальном кабеле, используемом для передачи постоянного тока. Ток течет по центральной жиле и возвращается по оболочке. Радиус центральной жилы r_1 , внутренний и внешний радиусы оболочки – r_2 и r_3 . Пространство между жилой и оболочкой заполнено диэлектриком.

Задача для самостоятельного решения

Точечный заряд q движется со скоростью v . Покажите, что в произвольной точке наблюдения $\vec{B} = \frac{1}{c^2} [\vec{v} \vec{E}]$.

Практическое занятие №8. Расчет магнитных полей с помощью векторного потенциала.

Задача 1. В сферических координатах две компоненты векторного потенциала равны нулю $A_r = A_\theta = 0$, а третья имеет вид

$$A_\psi = ar \left(\frac{R^2}{3} - \frac{r^2}{5} \right) \sin \theta \quad \text{при } r \leq R \quad \text{и}$$

$$A_\psi = \frac{2aR^5}{15r^2} \sin \theta \quad \text{при } r \geq R, \text{ где } a \text{ и } R - \text{ постоянные.}$$

Найдите распределение объемной плотности тока, создавшего магнитное поле с данным потенциалом.

Задача 2. Шар радиуса R , равномерно заряженный с объемной плотностью заряда ρ , вращается вокруг своей оси симметрии с угловой скоростью ω . Найдите векторный потенциал и напряженность магнитного поля внутри и снаружи шара.

Задача 3. Объемная плотность тока в пространстве меняется от точки к точке по периодическому закону $\vec{j} = \vec{j}_0 \cos \vec{k} \vec{r}$, где векторы $\vec{k}$ и $\vec{j}_0$ удовлетворяют соотношению $\vec{k} \vec{j}_0 = 0$. Найдите векторный потенциал и напряженность магнитного поля, которые созданы этим током в неограниченном пространстве.

Задачи для самостоятельного решения

Объемная плотность тока в цилиндрических координатах имеет вид $\vec{j} = \vec{j}_0 \left(\frac{r}{R} \right)^n \cos n\psi$ при $r \leq R$ и $\vec{j} = \vec{j}_0 \left(\frac{R}{r} \right)^n \cos n\psi$ при $r \geq R$, где постоянный вектор $\vec{j}_0$ параллелен оси Z , R – постоянная, а целое положительное число n больше единицы. Найдите векторный потенциал $\vec{A}$ магнитного поля в каждой точке пространства.

Практическое занятие №9. Закон электромагнитной индукции Фарадея.

Задача 1. По длинному проводнику течет ток I . В магнитном поле этого тока находится квадратная проволочная рамка сопротивлением R и стороной a . Центр рамки находится на расстоянии r от проводника с током. Нормаль к плоскости рамки и вектор магнитной индукции составляют угол α . Какой заряд протечет в рамке за время изменения тока в проводнике от первоначального значения до 0? (Магнитным полем индукционного тока в рамке пренебречь.)

Задача 2. В магнитном поле бесконечно длинного прямого проводника с током находится прямоугольная рамка, сделанная из металлической проволоки, со сторонами a и b , причем сторона b параллельна проводу с током. Ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии l . Определите среднее значение ЭДС индукции,

возникающей в рамке, если ее удалять от проводника с током параллельно самой себе на расстояние x относительно первоначального положения со скоростью v .

Задача 3. В магнитном поле бесконечно длинного проводника с током I со скоростью v движется проводник длиной l по направлению, перпендикулярному току. Проводник во время движения остается параллельным току. Найдите ЭДС индукции в проводнике при любом законе движения? Каким должен быть закон движения проводника, чтобы ЭДС индукции оставалась постоянной?

Задача 4. Индукция магнитного поля изменяется по закону $B = B_0 \cdot 0,01t$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен площадке S , ограничивающей его магнитный поток. На расстоянии r от центра площадки находится заряженная частица с зарядом q и массой m . Определите тангенциальное ускорение этой частицы.

Задача для самостоятельного решения

Два металлических диска радиусом R , расположенные друг против друга на расстоянии l один от другого, вращаются в противоположных направлениях с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле, вектор индукции $\vec{B}$ которого перпендикулярен плоскостям дисков. Найдите заряд полученного таким образом конденсатора и силу притяжения дисков.

Практическое занятие №10. Энергия магнитного поля. Расчет индуктивности проводников.

Задача 1. Рассчитайте энергию и индуктивность соленоида, имеющего N витков, длину l , сердечник с магнитной проницаемостью μ . По соленоиду течет ток I , а площадь сечения витка S .

Задача 2. Линия состоит из двух коаксиальных тонких цилиндрических оболочек с радиусами a и b ($a < b$), пространство между ними заполнено веществом с магнитной проницаемостью μ . Найдите индуктивность единицы длины данной линии.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Найдите индуктивность единицы длины бесконечного цилиндрического соленоида с густой намоткой и с произвольной формой сечения. Площадь сечения S , число витков на единицу длины n .

Задача 2. Длинный прямой провод и кольцо радиуса a лежат в одной плоскости. Расстояние от центра кольца до провода b . Найдите коэффициент взаимной индукции L_{12} , если сила тока в проводниках равна соответственно I_1 и I_2 .

9 семестр

Практическое занятие №1. Законы термодинамики. Вычисление термодинамических потенциалов

Вопросы

1. Каков физический смысл ТД потенциалов?
2. В чем сходство ТД потенциалов с механической потенциальной энергией?
3. В чем преимущество описания системы с помощью ТД потенциалов по сравнению с уравнением состояния?
4. Вывести соотношения Гиббса-Гельмгольца в переменных: а) (V, T) ; б) (p, T) .

Задачи

1. В цилиндр объемом $V = 5$ л впускается гелий и его температура доводится до 400 К. Масса гелия 1 г. Вычислить: внутреннюю энергию U , энтальпию H , энергию (потенциал) Гиббса.

2. В условиях задачи 1 вычислить изменения внутренней энергии системы, свободной энергии и энтропии газа, если при обратимом изотермическом процессе объём газа удвоится.

3. В условиях задачи 1 вычислить изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии газа, если он при постоянном давлении протекает через систему труб и при этом его температура возрастает от 400 до 500 К.

4. В условиях задачи 1 вычислить, какую энергию необходимо сообщить газу, чтобы при постоянном объёме повысить его температуру от 400 К до 500 К. Вычислить также изменение внутренней энергии и энтропию.

Практическое занятие №2. Законы термодинамики. Вычисление внутренней энергии и теплоёмкости

Вопросы

1. Записать 1 НТД в дифференциальном виде.
2. Связь внутренней энергии с термодинамическим потенциалом: а) Гиббса, б) энтальпия.
3. Определение теплоёмкости.
4. Разность изобарной и изохорной теплоёмкости, выраженная через естественные переменные.
5. Разность изобарной и изохорной теплоёмкости, выраженная через ТД потенциалы.

Задачи

1. Вычислить внутреннюю энергию твердого тела (с помощью распределения Гиббса) для 1 кг углерода при 1200 К. Сравнить полученный результат с энергией сгорания (8093 ккал/кг). Относительная атомная масса углерода равна 12,01.

2. Зная внутреннюю энергию твердого тела, вычислить удельную теплоёмкость: а) железа, алюминия, бериллия. Относительные атомные массы углерода этих металлов соответственно равны $A(\text{Fe}) = 55,85$, $A(\text{Al}) = 26,98$, $A(\text{Be}) = 9,01$. Сравнить теоретические результаты с экспериментальными значениями.

3. Исходя из классического закона равнораспределения, вычислить молярную теплоёмкость идеального газа при постоянном объёме. Сравнить результат теоретического расчёта с экспериментальными значениями.

4. Для одно и двухатомных идеальных газов определить молярную изобарную теплоёмкость и вывести формулу её связи с изохорной теплоёмкостью. Найти также показатель адиабаты для идеальных газов

5. При расширении 6 л гелия, имевшего температуру 350 К, давление падает от 40 до 1 ат. Расширение происходит адиабатически, т. е. газ не отдает и не получает тепла. Вычислить объём и температуру в конечном состоянии и сравнить их с результатами, которые получаются при изотермическом расширении.

Практическое занятие №3. Законы термодинамики. Применение дифференциальных уравнений термодинамики

Вопросы

1. Соотношения взаимности Максвелла и их физический смысл.
2. Вывести выражение для объёма: а) в изотермическом процессе, б) в адиабатическом процессе.
3. Вывести выражение для температуры: а) в изохорном процессе, б) в изобарном процессе.
4. Вывести выражения для давления.
5. Коэффициент теплового расширения.
6. Коэффициент сжатия.
7. Коэффициент давления.

Задачи

1. Вычислить значение выражения $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V \cdot \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_p - \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p \cdot \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_V$
2. Выяснить, как меняется энтропия однородной системы при её квазистатическом расширении при постоянном давлении. Зависит ли характер изменения энтропии от коэффициента теплового расширения $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$?
3. Найти разность $C_p - C_v$ теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме для системы с неизменным числом частиц, применяя основное тождество термодинамики.
4. Выяснить, у каких систем теплоемкость при постоянном объеме C_v не зависит от объема системы.
5. Найти уравнение состояния системы, для которой выполняются условия $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$ и $\left(\frac{\partial W}{\partial p}\right)_T = 0$.
6. Доказать тождество $\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_s = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T + \frac{T}{C_p} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p^2$

Практическое занятие №4. Законы термодинамики. Адиабатический процесс

Вопросы

1. Изменение внутренней энергии при адиабатическом процессе.
2. Изменение свободной энергии Гельмгольца при адиабатическом процессе.
3. Изменение свободной энергии Гиббса при адиабатическом процессе.
4. Изменение общей энергии (энтальпии) при адиабатическом процессе.

Задачи

1. Доказать, что при адиабатическом процессе естественными переменными адиабатического потенциала служат энтропия и объём.
2. При распространении звуковых волн в воздухе периодические изменения давления воздуха происходят столь быстро, что за период одного колебания практически нет передачи энергии. Поэтому можно считать, что в первом приближении распространении звука (без затухания) не связано с изменением энтропии. Исходя из такой точки зрения, выразить показатель адиабаты для воздуха через скорость звука. Вычислить показатель адиабаты, если расстояния между узлами пылевых фигур в трубке Кундта равно 6,8 см. Частота звука равна 2500 Гц. Температура воздуха 12 °C, а его молярная масса 29 г/моль.
3. Вычислить работу, совершаемую идеальным газом при изотермическом и адиабатическом изменении его объёма.
4. Цилиндр с теплоизолирующими (адиабатными) стенками разделен на три отделения A_1 , A_2 , A_3 теплоизолирующим поршнем B_1 и теплопроницаемым поршнем B_2 . Поршни могут без трения скользить вдоль цилиндра. В каждой из частей находится по N молекул двухатомного газа. Первоначально во всех трех частях давление было p_0 , температура T_0 . Затем в отделении A_1 газ нагревают до тех пор, пока в отделении A_3 температура станет равной T_3 . Найти давление, температуру и объём в каждом отделении в конечном состоянии.
5. Вывести зависимость скорости звука в жидкости (или газе): а) от температуры, б) от давления. (Примечание: распространение звука можно рассматривать как адиабатический, т. е. изоэнтропный процесс)

Практическое занятие №5. Основные утверждения статистической физики. Применение статистических распределений для вычисления ТД потенциалов

Вопросы

1. Система канонических уравнений Гамильтона.
2. Функция Гамильтона.
3. Как вычислить среднее значение энергии системы частиц с использованием функции Гамильтона?
4. Как определить среднеквадратичное отклонение (флуктуацию) и относительную флуктуацию?
5. Уравнение состояния, выраженное через производные от фазового объема.
6. Что такое статистическая сумма? Каково для неё выражение?
7. Какова связь стат. суммы с со свободной энергией?
8. Получить выражение для статистической суммы атомарного идеального газа.

Задачи

1. В цилиндр объёмом $V = 5$ л впускается гелий и его температура доводится до 400 К. Масса гелия 1 г. Вычислить: свободную энергию F (с помощью статистической суммы Z), энтропию S .
 2. Вычислить внутреннюю энергию с помощью распределения Гиббса для 1 кг углерода при 1200 К. Сравнить полученный результат с энергией сгорания (8093 ккал/кг). Относительная атомная масса углерода равна 12,01.
 3. Получить уравнение «движения» фазового объёма и доказать с его помощью уравнение непрерывности, тем самым доказывая справедливость этого уравнения только для консервативной системы.
- Найти уравнение состояния, внутреннюю энергию и теплоёмкость для ультрарелятивистского газа с законом дисперсии $\varepsilon(\vec{p}) = c|\vec{p}|$ (где c – скорость света), рассматривая его статистическую сумму в каноническом ансамбле

Практическое занятие №6. Основные утверждения статистической физики. Флуктуации

Вопросы

1. Понятие и роль флуктуаций, случаи их проявления.
2. Вывод формулы среднеквадратичной флуктуации.
3. Доказательство теоремы об относительной флуктуации.

Задачи

1. Энергия системы с двумя уровнями равна

$$E = k \cdot T^2 \cdot \frac{\partial \ln Z}{\partial T} = N \cdot \varepsilon_0 + \frac{N \cdot g_1 \cdot \Delta \varepsilon \cdot e^{-\frac{\Delta \varepsilon}{k \cdot T}}}{g_0 \cdot \left(1 + \frac{g_1}{g_0} \cdot e^{-\frac{\Delta \varepsilon}{k \cdot T}} \right)}.$$

Вычислить флуктуации энергии при $T \rightarrow 0$.

2. Найти вероятность флуктуации давления в однородной системе, находящейся в среде, и доказать, что для устойчивости состояний системы необходимо выполнение

неравенства: $\left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_S < 0$.

3. Флуктуация энергии в произвольной системе
4. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов и возникновение помех.
5. Определить среднеквадратичный угол поворота подвешенного зеркала.

Практическое занятие №7. Основные утверждения статистической физики. Флуктуации

Вопросы

1. Вывод формулы относительной флуктуации энергии.
2. Вывод формулы для вероятности малых флуктуаций в квазизамкнутой подсистеме с постоянной температурой, работа как мера вероятности малых флуктуаций.

3. Вывод формулы для вероятности малых флуктуаций (распределение Гаусса).
4. Доказать, что вероятность флуктуаций уменьшается с понижением температуры.

Задачи

1. Определить предельную массу, измеряемую пружинными весами.
2. Определить минимально измеряемое изменение температуры газовым термометром.
3. Определить среднеквадратичную амплитуду флуктуационного напряжения в электрическом контуре (дробовой эффект).
4. Эффект хаотического (теплого) движения электронов в возникновении флуктуационных токов. Вывод формулы Найквиста.

Практическое занятие №8. Основные утверждения статистической физики. Флуктуации

Вопросы

1. Формула связи среднеквадратичного смещения броуновской частицы с коэффициентом диффузии и временем наблюдения.
2. Вывод формулы для коэффициента диффузии сферической броуновской частицы.
3. Формула Эйнштейна – Смолуховского для броуновской частицы.

Задачи

1. Показать с помощью уравнения Ланжевена, что $\tau = B \cdot m$ есть время, в течение которого средняя скорость частиц $\langle v(t) \rangle$ уменьшается в e раз по сравнению с начальной скоростью v_0 . Найти $\langle v^2(t) \rangle$.
2. Пользуясь уравнения Ланжевена, определить характер зависимости координаты броуновской частицы от времени.
3. Какую среднюю тепловую скорость броуновской частицы мы обнаружим при визуальном измерении за промежуток времени $\tau = 0,1$ с? Масса частицы $m \sim 10^{-12}$ г, линейный размер $R \sim 10^{-4}$ см, температура среды $T \sim 3 \cdot 10^{-12}$ К, вязкость среды $\eta \sim 10^{-2}$ г/(см·с).

Практическое занятие №9. Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц

Вопросы

1. Сформулировать принцип тождественности частиц
2. Отличие тождественности классических частиц от тождественности квантовых частиц
3. Какие частицы называют: а) бозонами, б) фермионами?
4. Сформулировать принцип Паули.
5. Вывести распределение Ферми - Дирака
6. Вывести распределение Бозе – Эйнштейна.
7. Вывести выражение для критерия вырождения

Задачи

1. Вычислить энергию Ферми для серебра, полагая эффективную массу электронов серебра равной массе свободного электрона. Концентрация свободных электронов в металлическом серебре равна $n = 5 \cdot 10^{22}$ см⁻³.
2. Какова вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на 0,01 эВ ниже уровня Ферми, при температуре 20 К.
3. Оценить, на сколько процентов отличается энергия Ферми металлического натрия при $T = 300$ К от энергии Ферми при $T = 0$, если концентрация свободных электронов натрия равна $2,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³.

Практическое занятие №10. Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц

Вопросы

1. Определить свободную энергию и энтальпию вырожденного газа Ферми-Дирака при абсолютном нуле температуры.
2. Определить температурную зависимость энтропии S , давления p и свободной энергии F вырожденного газа Бозе-газа при $T < T_0$.

Задачи

1. Вычислить плотность состояния для нерелятивистского одноатомного ферми – бозе газа с законом дисперсии $\varepsilon = \frac{p^2}{2m}$. Для плотности состояния справедливо выражение:
$$\rho(E) = \sum_i \delta(E - E_i)$$
2. В газовом разряде концентрация электронов $n = 10^{18} \text{ м}^{-3}$, а их температура $T = 2000 \text{ К}$. Чему равно давление электронов?
3. Найти долю свободных электронов в металле (при абсолютном нуле температуры), кинетическая энергия которых больше половины максимальной энергии (энергии Ферми).
4. Определить среднюю кинетическую энергию электронов в металле при абсолютном нуле температур.
5. Бозе-газ находится при температуре $T < T_0$ (T_0 – температура конденсации). Найти число частиц газа, энергия которых равна нулю. Полное число частиц равно N .
6. Найти полную энергию E и теплоемкость C_V бозе-газа при температуре, меньшей его температуры конденсации T_0 .
7. Найти полное число фотонов в 1 м^3 равновесного излучения при температуре 2000 К .

Практическое занятие №11. Свойства реальных газов. Основы кинетики

Вопросы

1. Уравнение состояния реального газа и объяснение входящих в него физических величин.
2. Вывести формулы для критических параметров реального газа.
3. Вывод закона Дальтона для смеси двух газов с использованием представлений о фазовом объеме и свободной энергии.
4. Пользуясь уравнением Ван-дер-Ваальса, вычислить изотермическую скорость звука $v_T = \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_{T^{1/2}}$ (где ρ – плотность вещества).
5. Найти уравнение процесса в переменных (T, V) , при котором молярная теплоемкость газа меняется по закону: а) $C = C_V + \alpha \cdot T$, б) $C = C_V + \beta \cdot V$ (α и β – некоторые постоянные).

Задачи

1. Определить среднее число столкновений молекул одноатомного максвелловского газа с единичной площадью поверхности сосуда, в котором газ находится, за единицу времени.
2. Найти внутреннюю энергию, свободную энергию и молярную изохорную теплоемкость столба идеального одноатомного газа из N молекул в трубе высотой h_0 и площадью сечения S , находящегося в однородном поле силы тяжести напряженностью g .
Определить эту теплоемкость в предельных случаях: $\frac{mgh_0}{kT} \ll 1$, $\frac{mgh_0}{kT} \gg 1$.
3. Найти распределение плотности молекул газа в вертикальном цилиндре радиуса R и высотой H , находящемся в однородном поле силы тяжести и вращающемся вокруг своей оси с угловой скоростью ω . В цилиндре находится N молекул.

4. Газ при температуре T , содержащий N молекул, находится в однородном поле силы тяжести с ускорением g . Газ занимает объем цилиндра бесконечной высоты с площадью основания σ . Вычислить свободную энергию газа.

5. Найти теплоемкость системы, состоящей из N независимых двумерных гармонических осцилляторов с энергетическим спектром $\varepsilon = h\nu(n+1)$, где $n = 0, 1, 2, \dots$. Каждый энергетический уровень $(n+1)$ -кратно вырожден.

6. Вычислить коэффициент теплового расширения и изотермическую сжимаемость газа: а) идеального, б) Ван-дер-Ваальса.

Практическое занятие №12. Фазовые переходы

Вопросы

1. Описать переход «жидкость – пар» с применением кривой фазового равновесия.
2. Вывод уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
3. Формула для скрытой теплоты фазового перехода в зависимости от парциальных химических потенциалов фаз.
4. Вывод формулы для скрытой теплоты фазового перехода в зависимости от температуры при фазовом переходе «пар – конденсированное состояние».
5. Вывод формулы зависимости давления от температуры при фазовом переходе «пар – конденсированное состояние».
6. Условия для определения положения критической точки на кривой фазового равновесия.
7. Доказательство непрерывности ТД потенциалов и их производных в точке Кюри фазовых переходов второго рода.
8. Вывод формулы разности теплоемкости в точке Кюри (скачка теплоемкости).

Задачи

1. Найти изменение температуры фазового перехода над искривленной поверхностью. Изменение температуры считать малым. Давление насыщенного пара считать равным давлению над плоской поверхностью.
2. Образование зародыша происходит в жидкости (или в паре) при давлении p_0 , которое меньше (или, соответственно, больше) равновесного давления p . Температура системы T_0 равна равновесной температуре T . Вычислить вероятность образования зародыша.
3. Вычислить с помощью формулы Гиббса – Гельмгольца количество теплоты, выделяющегося при изотермно-изобарном процессе в случае химической реакции.

10 семестр

Практическое занятие №1. Геометрическая теория кристаллической решетки

Вопросы

1. Какие сингонии кристаллических решёток существуют ? (изобразить)
2. Приведите примеры элементарных кристаллов различных сингоний.
3. Что такое индексы Миллера?
4. Как обозначают: а) направления в кристалле, б) плоскости в кристалле, в) семейства направлений, г) семейства плоскостей?
5. Методом Мёссбауэровской спектроскопии обнаружено, что в тернарном интерметаллическом соединении $\text{Er}_{0,6}\text{Dy}_{0,2}\text{Gd}_{0,2}\text{Fe}_2$ (типа фаз Лавеса RFe_2) с кубической структурой ось лёгкого намагничивания (ОЛН) направлена вдоль $[100]$ при комнатной температуре. При $117,5 \text{ K}$ в ядрах железа этого соединения происходит спин-переориентационный переход, в результате которого ОЛН ориентируется вдоль $[111]$. Изобразить направление ОЛН.
6. Какие существуют элементы симметрии кристаллической решётки?
7. Опишите особенности ковалентной связи. Приведите примера кристаллов с такой связью.

8. Опишите особенности ионной связи. Приведите примера кристаллов с такой связью.
9. Опишите особенности металлической связи. Приведите примера кристаллов с такой связью.
10. Опишите особенности ковалентной связи. Приведите примера кристаллов с такой связью.
11. Какое значение по порядку величины имеет энергия связи в каждом их перечисленных типов?

Задачи

1. В каких направлениях линейная плотность атомов максимальна: а) случай гранецентрированной кубической (ГЦК) решётки; б) случай объёмноцентрированной кубической (ОЦК) решётки?

2. Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах со структурой:

- 1) простой кубической (ПК);
- 2) объёмноцентрированной кубической (ОЦК);
- 3) гранецентрированной кубической (ГЦК);
- 4) простой гексагональной (ПГ)?

3. Кристаллы NaCl имеют кубическую структуру. Зная молярную массу $\mu = 5,844 \cdot 10^{-2}$ кг/моль и плотность $\rho = 2,167 \cdot 10^3$ кг/м³ поваренной соли, вычислить постоянную решетки.

4. Зная молярную массу кристалла AgBr (тип решетки NaCl) $\mu = 0,1878$ кг/моль и плотность $\rho = 6,5 \cdot 10^3$ кг/м³, рассчитать расстояния между кристаллографическими плоскостями $d(100)$, $d(110)$, $d(111)$.

5. Для кубического кристалла с постоянной решетки определить расстояние между соседними параллельными плоскостями, одна из которых отсекает на осях декартовой прямоугольной системы координат отрезки, измеренные в единицах.

6. Определить постоянную кристаллической решётки алюминия, элементарной ячейкой которого является гранецентрированный куб.

7. Коэффициентом компактности называют отношение объёма, занимаемого соприкасающимися шарами, центры которых находятся в узлах решетки, ко всему объёму решетки.

$$k = \frac{V_{ш}}{V_{яч}}$$

8. Кристаллы NaCl имеют кубическую структуру. Зная молярную массу $\mu = 5,844 \cdot 10^{-2}$ кг/моль и плотность $\rho = 2,167 \cdot 10^3$ кг/м³ поваренной соли, вычислить постоянную решетки. Вычислить коэффициент компактности решёток:

- 1) простой кубической;
- 2) объёмноцентрированной кубической (ОЦК);
- 3) гранецентрированной кубической (ГЦК);
- 4) плотноупакованной гексагональной.

9. Вычислить объём элементарной ячейки в кристалле гексагональной системы с постоянными a и c .

10. Узкий параллельный пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на грань кристалла с расстоянием между его атомными плоскостями $d = 0,3$ нм. Определите длину волны рентгеновского излучения, если под углом $\theta = 30^\circ$ к плоскости грани наблюдается дифракционный

Практическое занятие №2,3. Динамика кристаллической решетки

Вопросы

1. Опишите модель Дебая для кристаллов
2. В чем состоит дисперсия акустических волны в идеальном кристалле?

3. Из каких видов энергии состоит энергия кристалла?
4. В каком случае проявляется квантование энергии кристалла?
5. Каков энергетический спектр кристалла, температура которого: а) ниже его температуры Дебая; б) выше температуры Дебая?
6. Что называют нулевым движением?
7. Получить формулу для температуры Дебая
8. Приведите примеры кристаллов, температура *Дебая* которых: а) ниже комнатной, б) порядка комнатной, в) выше комнатной.
9. Выведите формулу для внутренней энергии кристалла по теории *Дебая*: а) общую; б) при низких температурах; в) при высоких температурах (по сравнению с температурой *Дебая*).
10. Что называют механическим напряжением?
11. Опишите типы деформаций кристаллов.
12. Какой вид имеет диаграмма деформации кристаллов?
13. Что такое: а) предел упругости, б) запас прочности, в) пластичность, г) хрупкость?
14. В каких единицах вычисляются и какое по порядку величины имеют модули деформации?
15. Опишите явление упругого гистерезиса.

Задачи

1. Сколько элементарных ячеек содержится в кристалле *алюминия* (кубическая гранецентрированная решётка) объёмом 2 см^3 , если в нём распространяется звук со скоростью 4 км/с ?
2. Вычислите минимальную длину волны *Дебая* в титане, если скорость распространения звука в нём 6 км/с .
3. Определить параметр решетки алмаза, если его Дебаевская температура 1860 К , а скорость звука в алмазе м/с .
4. С помощью теории *Дебая* вычислите частоту *Дебая* и температур *Дебая* фононного газа кристалла, в котором распространяются акустические волны со средней скоростью 3 км/с в модели:
 - а) линейной цепочки атомов, на единицу длины которой приходится $5 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1} \text{ частиц}$;
 - 2) плоской решётки, на единицу поверхности которой приходится $2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2} \text{ частиц}$;
 - в) простой кубической решётки, на единицу объёма которой приходится $1,25 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3} \text{ частиц}$.
5. Вычислить число нормальных колебаний в кристалле бериллия объёмом $V = 1 \text{ см}^3$ для спектра частот, соответствующих температурам $0 < T < 0,1 \Theta_D$. Температура Дебая для бериллия $\Theta_D = 1160 \text{ К}$. Скорость звука в бериллии принять равной $s = 1,2 \cdot 10^4 \text{ м/с}$
6. Определить число нормальных колебаний решетки металлического индия при температуре $T = 50 \text{ К}$ в единице объёма $V = 1 \text{ м}^3$. Плотность металлического индия $\rho_{\text{In}} = 7,31 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, температура Дебая $\Theta_D = 109 \text{ К}$.
7. Какую силу надо приложить к латунной проволоке длиной 3 м и площадь сечения 1 мм^2 для её удлинения на $1,5 \text{ мм}$?
8. Какой наибольшей высоты можно выложить башню из кирпича, предел прочности на сжатие у которого равен $6 \cdot 10^6 \text{ Па}$, если принять запас прочности равным 10 ? Плотность кирпича 1800 кг/м^3 .
9. Определить, на сколько процентов изменится межатомное расстояние в твердом теле (при нагревании его до $T = 400 \text{ К}$) по сравнению с равновесным расстоянием $r_0 = 0,3 \text{ нм}$. Отвечающим минимуму потенциальной энергии. При расчетах принять $\gamma = \beta / (2/r_0)$, модуль Юнга $E = 10 \text{ ГПа}$.
10. Показать, что если смещение частиц в кристаллической решетке твердого тела подчиняется закону Гука $F(x) = -\beta x$, то тепловое расширение отсутствует.

11. Определить коэффициент гармоничности β в уравнении колебаний частиц твердого тела, если равновесное расстояние r_0 между частицами равно 0,3 нм, модуль Юнга $E = 200$ ГПа.

Практическое занятие №4,5. Тепловые свойства кристаллической решетки

Вопросы

1. Суть теории Дебая для решёточной теплоёмкости изотропных кристаллов.
2. Какова модель кристалла в теории Эйнштейна?
3. Суть теории Эйнштейна для решёточной теплоёмкости анизотропных кристаллов.
4. Суть теории Дебая для электронной теплоёмкости металлов.
5. Что означает «вырожденный электронный газ»?
6. Суть теории Зоммерфельда электронной теплоёмкости металлов.
7. Какую долю составляет электронная теплоёмкость по сравнению с решёточной: а) при температурах выше дебаевской; б) при низких температурах?
8. Что такое теплопроводность? Какому закону подчиняется явление теплопроводности, сформулируйте его.
9. Решеточная теплопроводность и её анизотропия. Примеры.
10. От чего зависит коэффициент решёточной теплопроводности?
11. Как определить коэффициент решёточной теплопроводности неметаллов?
12. Представление об электронной теплопроводности
13. Сравните электронную и решеточную теплопроводности.

Задачи

1. Вычислить по классической теории теплоемкости теплоемкость кристалла бромида алюминия AlBr_3 объемом $1,0 \text{ м}^3$. Плотность кристалла 3000 кг/м^3 .
2. Сравните электронную и решёточную теплоёмкость 1 моля меди при: а) 10 К ; б) при комнатной температуре; в) при 1000 К .
3. При комнатной температуре (20°C) средняя длина свободного пробега фононов в кристалле вольфрама сопоставима с постоянной его решётки (ОЦК), равной $0,31647 \text{ нм}$, а молярная решёточная теплоёмкость равна $0,136 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$. Вычислите коэффициент решёточной теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём 5103 м/с .
4. Вычислите относительный вклад (в %) электронного облака в общую теплоёмкость серебра: а) 10 К ; б) при комнатной температуре; в) при 1000 К . (Считать, что на каждый атом приходится один свободный электрон.)
5. Определите температуру, при которой теплоёмкость электронного газа в литии будет равна теплоёмкости его кристаллической решётки. Характеристическая температура лития 4040 К , а концентрация свободных электронов $4,66 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.
6. Вычислить решеточную теплоемкость в объеме 1 м^3 и число нормальных колебаний в железе, возбуждаемых при 40 К (плотность железа $7,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $T_D = 467 \text{ К}$).
7. При комнатной температуре средняя длина свободного пробега фононов в кристалле хлористого натрия NaCl в 4 раза больше постоянной его решётки, равной $0,564 \text{ нм}$. Вычислите коэффициент решёточной теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём $5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.
8. При комнатной температуре (20°C) средняя длина свободного пробега фононов в кристалле вольфрама сопоставима с постоянной его решётки (ОЦК), равной $0,31647 \text{ нм}$, а молярная решёточная теплоёмкость равна $0,136 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$. Вычислите коэффициент решёточной теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём $5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.
9. Вычислите среднюю длину свободного пробега фонона в кристалле серебра при 300 К , если коэффициент теплопроводности серебра равен $418 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$, а скорость распространения звука – 3700 м/с .

Практическое занятие №6. Тепловые свойства кристаллической решетки

Вопросы

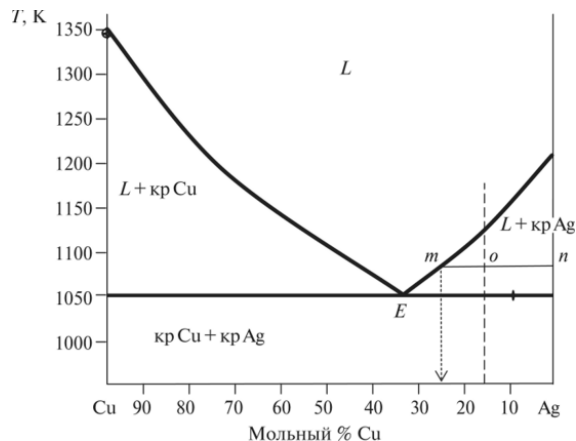
1. Что такое фаза вещества? Чем фаза отличается от агрегатного состояния?
2. Какие существуют фазовые переходы первого рода?
3. Что характерно для этих переходов?
4. Вывод уравнение Клайперона-Клаузиуса

- Объясните термодинамическую устойчивость однофазного состояния вещества
- Что называют фазовыми переходами второго рода?
- Объясните уравнения Эренфеста

Задачи

1. Нормальная (при 1 атм) точка плавления воды (льда) равна 0°C . Молярная энтальпия плавления льда при этой температуре равна $6,0024 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$, молярные объемы льда и жидкой воды в этом состоянии равны соответственно $19,6344 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$ и $18,0036 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$. Рассчитать изменение давления, которое потребуется для понижения температуры плавления льда на 1 К.

2. Какой компонент и в каком количестве выкристаллизуется, если 5 кг расплава, содержащего 85 моль.% Ag (диаграмма плавкости приведена на рис.), охладить до 1070K (studref.com)?



Практическое занятие №7,8. Зонная теория кристаллов

Вопросы

- Какие эффекты происходят в структуре энергетических уровней при кристаллизации?
- Объясните структур энергетических зон с применением условия Вульфа-Брэгга.
- Что такое эффективная масса электрона?
- Как вычислить число подуровней в разрешенной энергетической зоне?
- Представление об уровне Ферми
- При какой концентрации свободных электронов в кристалле температура вырождения электронного газа равна 0°C ?
- Определить, какая часть электронов проводимости в металле при 0 K имеет кинетическую энергию, большую $0,5 W_F$.
- Какова заселенность в металле энергетических зон: а) валентной, б) проводимости
- Какова заселенность в полупроводниках и диэлектриках энергетических зон: а) валентной, б) проводимости.
- Как изменится структура энергетических зон, если примесный полупроводник: а) акцепторный, б) примесный?

Задачи

- Вычислить энергию Ферми при $T = 0 \text{ K}$ для алюминия. Считать, что на каждый атом алюминия приходится 3 свободных электрона.
- Найти разницу энергий (в единицах $k_B T$) между электроном, находящимся на уровне Ферми, и электроном, находящимся на уровне, вероятность заполнения которого равна: а) $0,20$; б) $0,80$.
- Какова вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на $0,01 \text{ эВ}$ ниже уровня Ферми, при температуре $+18^{\circ}\text{C}$?

4. Как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами энергетического уровня в металле, если уровень расположен на $0,01$ эВ ниже уровня Ферми и температура меняется от 200 до 300 К?

5. Определить положение уровня Ферми, если эффективная масса электрона, эффективная масса дырок, температура 300 К, середина ширины запрещенной зоны $1,12$ эВ.

6. Концентрация атомов в металле равна n . Считая, что каждый атом отдает в зону проводимости по одному электрону, найти энергию Ферми при $T = 0$ К.

7. Кусок металла объемом 20^3 см находится при температуре 0 К. Определить число ΔN свободных электронов, импульсы которых отличаются от максимального импульса $p_{\max}$ не более чем на $0,1 p_{\max}$. Энергия Ферми 5 эВ.

8. Концентрация свободных электронов железа $8,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³, удельное сопротивление $9,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·мм. Найдите время релаксации, среднюю длину свободного пробега электронов и их подвижность при температуре 20 °С.

9. Во сколько раз изменится электропроводность чистого германия при повышении температуры от -23° С до $+27^\circ$ С? Ширина запрещенной зоны для германия равна $0,74$ эВ.

10. Как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами энергетического уровня в металле, если уровень расположен на $0,01$ эВ выше уровня Ферми и температура меняется от 1000 до 300 К?

Практическое занятие №9. Электрические свойства кристаллов

Вопросы

1. Электропроводность металлов
2. Классическая теория электропроводности и ее недостатки
3. Зонная теория электропроводности
4. Электропроводность полупроводников
5. Электропроводность собственных полупроводников
6. Электропроводность примесных полупроводников
7. Механизм поляризации диэлектриков
8. Классификация диэлектриков
9. Особенности структуры сегнетоэлектриков
10. Явление диэлектрического гистерезиса
11. Эффект Холла

Задачи

1. Вычислить суммарную кинетическую энергию электронов проводимости в 1 см³ цезия при 0 К.

2. Концентрация свободных электронов железа $8,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³, удельное сопротивление $9,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·мм. Найдите время релаксации, среднюю длину свободного пробега электронов и их подвижность при температуре 20 °С.

3. Во сколько раз изменится электропроводность чистого германия при повышении температуры от -23° С до $+27^\circ$ С? Ширина запрещенной зоны для германия равна $0,74$ эВ.

4. Определить скорость электронов в образце при $T = 300$ К, если его удельное сопротивление $0,2$ Ом·м, длина образца 3 см, приложенное напряжение 70 В, а концентрация собственных электронов $6,2 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

5. Образец из германия n-типа в виде пластины длиной $L = 10$ см и шириной $l = 3$ мм помещен в однородное магнитное поле ($B = 0,1$ Тл) перпендикулярно линиям магнитной индукции. При напряжении $U = 250$ В, приложенном к концам пластины, возникает холловская разность потенциалов $U_H = 8,8$ мВ. Определить: 1) постоянную Холла R_H ; 2) концентрацию n носителей тока. Удельную проводимость σ германия принять равной 80 См/м⁴.

6. Полупроводник в виде тонкой пластины шириной 1 см и длиной 10 см помещен в однородное магнитное поле индукцией $0,2$ Тл. Вектор магнитной индукции

перпендикулярен плоскости пластины. К концам пластины (по направлению длины) приложено постоянное напряжение 300 В. Определить Холловскую разность потенциалов на гранях пластины, если коэффициент Холла $0,1 \text{ м}^3 / \text{Кл}$, удельное сопротивление $0,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

7. Тонкая пластина из кремния (Si) шириной 2 см помещена перпендикулярно линиям магнитного поля ($B = 0,5 \text{ Тл}$). При плотности тока 2 мкА/мм^2 , направленного вдоль пластины, Холловская разность потенциалов оказалась равной 2,8 В. Определить концентрацию носителей тока.

Практическое занятие №10. Электрические свойства кристаллов

Вопросы

1. Контактные явления на границе металл-вакуум
2. Контакт металл-металл, законы Вольта
3. Контакт металл-полупроводник
4. Контакт полупроводников p- и n-типа

Задачи

1. Определить коэффициент диффузии электронов и дырок в невырожденном полупроводнике при $T = 300 \text{ К}$, если в германии подвижность электронов $3800 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$, дырок $1800 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$, а в кремнии - соответственно $1450 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$ и $500 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$

2. Удельное сопротивление n-области германиевого p-n перехода равно $2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, удельное сопротивление p-области равно $3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Определить высоту потенциального барьера p-n перехода при $T = 300 \text{ К}$, подвижности электронов $3800 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$, подвижности дырок $1800 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$, концентрации электронов в области $4,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

3. Определить дрейфовую скорость неравновесных электронов кремния при температуре 400 К в электрическом поле 100 В/см , если диффузионная длина составляет $3 \cdot 10^{-1} \text{ см}$, а время диффузии одна минута.

4. Вычислить коэффициент диффузии электронов в кремнии при температуре 300 К , если электроны осуществляют одновременно дрейф в поле с напряженностью 30 В/см на расстоянии $0,5 \text{ мкм}$ в течение 30 минут .

Практическое занятие №11. Электрические свойства кристаллов

Вопросы

1. Носители тока в полупроводниках, генерация и рекомбинация
2. Вывод формулы для равновесной концентрации.
3. Вывод формулы для удельной проводимости: а) собственных ПП, б) примесных ПП.
4. Вывод формулы для определения положения уровня Ферми: в собственных ПП, б) в примесных ПП.

Задачи

1. Определить подвижность электронов в кремнии, если концентрация неосновных носителей зарядов равна $1,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, концентрация собственных электронов равна $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, а удельное сопротивление $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

2. Определить подвижность μ свободных электронов в металле и их скорость дрейфа v_d в электрическом поле напряженности $B \text{ м}$, если время релаксации для электронов в металле равно τ . Электронный газ – вырожденный.

3. Концентрация электронов в собственном полупроводнике при температуре 300 К оказалась равной $1,38 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$. Определить величину произведения эффективных масс электронов и дырок, если ширина запрещенной зоны равна $(0,785 - 4 \cdot 10^{-4} \text{ Т}) \text{ эВ}$.

4. Определить положение середины запрещенной зоны в собственном полупроводнике, если масса электронов равна массе дырок и равна m_0 , $T = 300 \text{ К}$.

5. Определить положение уровня Ферми при температуре 300 К в кристаллах германия, содержащего $2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ атомов мышьяка и 10^{22} м^{-3} атомов галлия.

6. Найти положение уровня Ферми и температурную зависимость концентраций в собственном полупроводнике в неврожденном случае. Как изменится концентрация электронов при изменении температуры от 200 К до 300 К, если $E_g = (0,715 - \xi t)$, $\xi = 3,4 \cdot 10^{-4}$

Практическое занятие №12. Электрические свойства кристаллов

Вопросы

1. Термоэлектронная эмиссия
2. Автоэлектронная эмиссия
3. Фотоэлектронная эмиссия
4. Вторичная электронная эмиссия

Задачи

1. Определить красную границу фотоэффекта для цинка ($A = 1,9$ эВ) и максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны 250 нм.

2. На поверхность лития ($A = 2,3$ эВ) падает монохроматическое излучение. Чтобы прекратить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов U не менее 1,7 В. Определить длину волны λ падающего излучения.

3. До какого максимального потенциала зарядится удаленный от других тел медный ($A = 4,36$ эВ) шарик при облучении его электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 140$ нм?

4. При поочередном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн $\lambda_1 = 0,35$ мкм и $\lambda_2 = 0,54$ мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в $\eta = 2,0$ раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.

Практическое занятие №13. Магнитные свойства кристаллов

Вопросы

1. Какие тела называются магнетиками? Какие классы магнетиков вы знаете?
2. Чем отличаются диа-, пара- и ферромагнетики друг от друга.
3. Какой физический смысл магнитной восприимчивости χ и магнитной проницаемости μ ? Как они связаны друг с другом?
4. Как объяснить наличие остаточной намагниченности у ферромагнетиков? В каких единицах измеряют остаточную намагниченность?
5. В чем заключается сущность явления гистерезиса? Что такое петля гистерезиса?
6. Что называется коэрцитивной силой?
7. Какая температура называется точками Кюри и Нееля?
8. Сформулируйте и запишите закон Кюри-Вейсса?
9. Что такое парамагнитная температура Кюри θ и как ее определяют?

Задачи

1. Вычислить магнитный момент атома меди, наводимый внешним магнитным полем с индукцией 10 мТл, и Ларморову частоту прецессии электронов. Плотность меди составляет $8,93 \cdot 10^3$ кг/м³, молярная масса $64 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

2. Для атома платины (парамагнетик), находящегося в состоянии 1S_0 , оценить значение намагниченности насыщения, если плотность платины $\rho = 21,4 \cdot 10^3$ кг/м³, молярная масса $= 195 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

3. Оценить намагниченность электронного газа металла в слабом магнитном поле напряженностью $H = 2 \cdot 10^2$ А/м, если энергия Ферми 5 эВ, концентрация электронов 10^{28} м⁻³.

4. Оценить магнитный момент атома титана, находящегося в состоянии $^2D_{3/2}$. При больших внешних полях или низких температурах оценить величину намагниченности насыщения титана, рассматривая этот металл как парамагнетик. Плотность титана составляет $4,54 \cdot 10^3$ кг/м³, молярная масса $48 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

5. Магнитная восприимчивость марганца равна $1,21 \cdot 10^{-1}$. Вычислить намагниченность и молярную намагниченность марганца в магнитном поле напряженностью 100 кА/м. Плотность марганца считать известной.

Практическое занятие №14. Сверхпроводимость кристаллов

Вопросы

1. Классификация сверхпроводников в зависимости от критической температуры.
2. Действие магнитного поля на сверхпроводники
3. Эффект Мейсснера – Оксенфельда: а) слабых магнитных полей, б) сильных магнитных полей.
4. Классификация сверхпроводников в зависимости от свободной энергии.
5. Основные утверждения БКШ
6. Следствия из теории БКШ: а) квантование магнитного потока, б) эффект Джозефсона

Задачи

1. Пользуясь соотношением неопределенностей, оценить размер Куперовской пары, если критическая температура 4 К, скорость Ферми 10^6 м/с.
2. Определить долю электронов, которую составляют Куперовские пары в сверхпроводнике, если критическая температура 4 К, температура Ферми $4 \cdot 10^4$ К.
3. Температура перехода в сверхпроводящее состояние T_c для олова в отсутствие магнитного поля равна 3,7 К, а критическая напряженность магнитного поля H_c при температуре абсолютного нуля ($T = 0$ К) составляет $2,4 \cdot 10^4$ А/м. Рассчитать максимально допустимое значение тока при температуре $T = 2$ К для провода диаметром $d = 1$ мм, изготовленного из 102 сверхпроводящего олова. Определить для этой температуры диаметр провода, по которому может протекать ток 100 А без разрушения сверхпроводимости.
4. Индуктивностью резонансного контура ($\nu_0 = 10$ МГц) служит длинная однослойная катушка диаметром $d = 10$ мм. Насколько изменится резонансная частота контура, если внутрь катушки вставлен на всю длину сверхпроводящий цилиндр диаметром $d/2$? Концентрация сверхпроводящих электронов $n_s = 10^{28}$ м⁻³, температура $T \ll T_c$.

Практическое занятие №15. Оптические свойства кристаллов

Вопросы

1. Суть электронной теории Друде - Лоренца
2. Вывести формулу в модели Друде–Лоренца для показателя преломления диэлектрика.
3. Построить дисперсионную кривую, объяснить явления нормальной и аномальной дисперсии
4. Объяснить поглощение на основе теории Друде – Лоренца
5. Объяснить, как получаются окрашенные тела, абсолютно черные, абсолютно белые и серые тела.
6. В каких средах возможен эффект двойного лучепреломления?
7. Построить ход обыкновенного и необыкновенного лучей в положительном двулучепреломляющем анизотропном кристалле методом Гюйгенса.
8. Построить ход лучей обыкновенного и необыкновенного лучей в отрицательном двулучепреломляющем анизотропном кристалле методом Гюйгенса.
9. Какой эффект называется электрооптическим?
10. Описать электрооптический эффект Керра, вывести формулу для угла поворота плоскости поляризации света в этом эффекте
11. Описать электрооптический эффект Поккельса
12. Поясните эффект Фарадея.

Задачи

1. Найти диэлектрическую проницаемость и коэффициент поглощения ионного кристалла.
2. Межатомное расстояние в кристалле NaCl составляет $a = 2,82 \text{ \AA}$, статическая диэлектрическая проницаемость и показатель преломления света равны 5,9 и 1,5, а энергия поперечных оптических фононов имеет величину $T^* = 245 \text{ К}$. Оценить область частот и длин волн инфракрасного поглощения.
3. Оценить глубину скин-слоя для меди ($\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$) для излучения с частотой $\omega = 10^{11} \text{ с}^{-1}$
4. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы: а) медь, б) натрий.
5. Определить оптическую длину пути интенсивной плоской световой волны в оптоволоконном световоде длиной $L = 1 \text{ м}$ из дигидрофосфата калия, слабонелинейного кристаллического материала с постоянным для заданной длины волны коэффициентом поглощения $\mu = 0,05 \text{ см}^{-1}$, коэффициентом преломления $n_0 = 1,49$ и рефракционным индексом $n_2 = 3,5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2 / \text{Вт}$. (Членами второго и более высоких порядков в разложении показателя преломления $n = n(I)$ пренебречь.) Начальная интенсивность $I_0 = 10^{15} \text{ Вт/см}^2$.
6. Считая известной зависимость показателя преломления оптического кристалла от длины волны излучения $n = n(\lambda)$, получить формулу для нахождения групповой скорости $v_{\text{гр}}$ световых волн в данном кристалле как функцию длины волны излучения.
7. Пластинка, вырезанная из кристалла кварца, обладает свойством двойного лучепреломления. Показатели преломления пластинки для волн, поляризованных вдоль осей x и y , различны и равны $n_x = 1,552$ и $n_y = 1,543$. Оси x и y называются главными осями двоякопреломляющей пластинки. На пластинку падает линейно поляризованный свет с длиной волны $\lambda_0 = 504 \text{ нм}$, направление колебаний электрического поля в котором составляет с осью x угол $\theta = 45^\circ$ (см. рис.). При какой минимальной толщине d пластинки свет после прохождения через пластинку окажется поляризованным по кругу?
8. Для наблюдения эффекта Фарадея была взята пластинка железа толщиной 15 мкм . Эффект измерялся в магнитном поле $H = 10^3 \text{ Э}$ на длине волны 656 мкм . Определить угол поворота плоскости поляризации.
9. Вывести формулу для фототока в продольном эффекте Керра.
10. Вывести формулу для фототока в продольном эффекте Поккельса.

Самостоятельная работа

Самостоятельная работа студента включает в себя:

- изучение теоретического материала, связанного с темой проведенных и предстоящих занятий, указанного в вопросах для самостоятельного изучения;
 - решение задач, размещенных в содержании практических занятий, в том числе и в опережающем режиме;
 - подготовку к экзамену по вопросам, приведенным в соответствующем разделе.
- Задания для работы размещены в содержании практических занятий.

Вопросы для самостоятельного изучения:

Тема 1. Экспериментальные основы электродинамики

1. Векторный оператор набл. Градиент и его физический смысл. Примеры.
2. Дивергенция и ее физический смысл. Примеры.
3. Ротор векторного поля и его физический смысл. Примеры.
4. Интегральные характеристики полей. Поток вектора. Физический смысл. Примеры.
5. Интегральные теоремы векторного анализа. Примеры использования этих теорем.
6. Принципы построения систем физических единиц:

Тема 2. Электростатическое поле в вакууме

1. Доказать, что однородное электрическое поле является безвихревым.
2. Может ли электростатическое поле иметь вид $\vec{E} = a(y\vec{i} - x\vec{j})$?
3. Может ли поле вне разноименно и однородно заряженных параллельных бесконечных плоскостей быть отличным от нуля?
4. Имеется бесконечная очень тонкая прямая нить, заряженная однородно с линейной плотностью λ . Воспользовавшись теоремой Гаусса, найти модуль напряженности поля E как функцию расстояния r от нити.

Тема 3. Электростатическое поле в веществе

1. Теорема о граничном условии.
2. В некоторой точке изотропного диэлектрика с проницаемостью ϵ электрическое смещение имеет значение $\vec{D}$. Чему равна поляризованность $\vec{P}$ в этой точке?
3. Воображаемая замкнутая поверхность S проходит частично вне пластины из изотропного диэлектрика, частично – внутри нее. Поток вектора $\vec{D}$ через эту поверхность равен нулю, поток вектора $\vec{E}$ больше нуля. Какие можно сделать из этого выводы?
4. Вблизи заземленной плоской металлической стенки находится на расстоянии a от нее точечный заряд q . Определить поверхностную плотность зарядов, индуцированных на стенке, как функцию расстояния x от основания перпендикуляра, опущенного из заряда на стенку. Вычислить суммарный индуцированный заряд, полагая размеры стенки бесконечно большими.

Тема 4. Магнитостатическое поле

1. Замкнутая цепь с током силы I включает в себя прямолинейный участок длины $2a$. Точка A лежит на расстоянии b от этого участка на перпендикуляре, проходящем через его середину. Найти ту часть магнитной индукции B в точке A , которая создается данным участком. Исследовать случай $a \rightarrow \infty$.
2. По проволоке, согнутой в виде правильного n -угольника, вписанного в окружность радиуса r , пропускается ток силы I . Найти магнитную индукцию B в центре многоугольника. Исследовать полученное выражение для случая $n \rightarrow \infty$.
3. Какое влияние на поле соленоида оказывает то обстоятельство, что переход от витка к витку сопровождается перемещением вдоль оси соленоида?
4. Что произойдет с полем бесконечного соленоида при заполнении соленоида однородным изотропным магнетиком?
5. Чему равно среднее значение модуля тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля для произвольного замкнутого контура длины l , охватывающего провод, по которому течет ток силы I ?

Тема 5. Основные уравнения электродинамики поля

1. В вакууме распространяется вдоль одной из координатных осей плоская электромагнитная волна. Написать возможные выражения (через параметры волны и орт одной из осей) для волнового вектора $\vec{k}$ в случае, если а) вектор $\vec{E}$ коллинеарен с $\vec{j}$, частота волны равна ω , б) вектор $\vec{H}$ коллинеарен с $\vec{k}$, длина волны равна λ .
2. Распространяющаяся в вакууме плоская электромагнитная волна, описываемая уравнениями $\vec{E} = \vec{E}_{max} \cos(\omega t - kx)$, $\vec{H} = \vec{H}_{max} \cos(\omega t - kx)$, отражается без потери интенсивности от плоскости, перпендикулярной к оси x . Написать уравнения, описывающие отраженную волну.
3. Плоский конденсатор с круглыми пластинами заряжается постоянным током в течение времени t до напряжения U . Зазор между пластинами равен d . Проведя между пластинами коаксиальную с ними воображаемую цилиндрическую поверхность, радиус которой r много меньше радиуса пластин, определить: а) модуль и направление вектора Пойтинга в точках поверхности; б) количество энергии W , протекающей через поверхность за время t . Сравнить W с энергией электрического поля, содержащейся в ограниченном поверхностью объеме V после окончания процесса зарядки.

Тема 6. Специальная теория относительности

1. Инвариантность электромагнитного поля.
2. Эффект Доплера.
3. Поле свободно движущегося релятивистского заряда.
4. Антисимметричные тензоры электромагнитного поля.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины (модуля)

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

Текущая аттестация выполняется по теоретическим вопросам и задачам к практическим занятиям (см. п.5), а также проверочным работам.

Перечень теоретических вопросов приведен к каждому практическому занятию (см. п.5).

Критерии оценивания ответа на теоретический вопрос

Показатель	Количество баллов
1) Полнота и глубина изложения ответа (усвоенные теории, понятия, факты)	1
2) Логика изложения материала	1
3) Примеры использования описанных явлений, теорий и устройств на практике	1
4) Использование при подготовке ответа на вопрос дополнительных источников информации	1
5) Грамотность и связность ответа	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Перечень задач для решения приведен к каждому практическому занятию (см. п.5).

Критерии оценки решения задачи на практическом занятии:

Показатель	Количество баллов
1) Приведена краткая форма условия задания, включающая перевод единиц измерения в СИ.	1
2) Выполнен рисунок к условию задачи, на котором обозначены все известные величины, а также величины, которые необходимо найти	1
3) Проведен анализ условия задания, включающий указание основных явлений, о которых идет речь в задаче, а также физических процессов, положенных в основу решения задачи	1
4) Записаны математические уравнения законов физики, используемых при формировании модели	1
5) Приведены необходимые вычисления и получен численный результат	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Проверочные работы

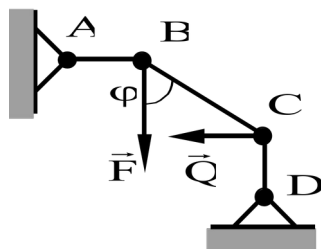
7 семестр

Задача 1. По данным уравнениям движения частицы (величины заданы в единицах СИ) найти ее траекторию в плоскости xOy и начальное положение. Нарисовать эту траекторию и указать направление движения частицы в начальный момент времени:

$$x = a + r \cos(\omega t); y = r \sin(\omega t).$$

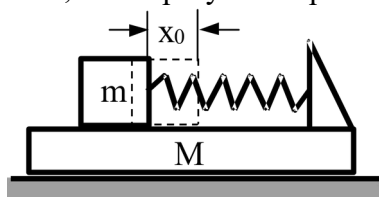
Задача 2. Колесо радиусом r катится без скольжения по неподвижному рельсу.

Зная,
что



ускорение точки касания в данный момент равно w , определить в этот момент скорость v диаметрально противоположной точки.

Задача 3. Стержни AB, BC и CD шарнирно соединены друг с другом и с неподвижными опорами. К точке B приложена сила F , направленная вертикально вниз. Какую силу Q в горизонтальном направлении нужно приложить, чтобы система оказалась в равновесии. В равновесном положении стержень AB расположен горизонтально, а CD – вертикально, BC образует с вертикалью угол φ .



Задача 4. Брусок массой m скреплен пружиной жесткостью k с доской массой M . Доска лежит на гладкой горизонтальной плоскости. Пружину сжимают на величину x_0 и отпускают. Найти зависимость деформации x пружины от времени t .

8 семестр

Задача 1. Дан шар радиуса a , равномерно заряженный по объему с плотностью заряда ρ . Вычислить потенциал, создаваемый шаром в точке наблюдения P , при условии, что точка P лежит внутри шара ($R < a$).

Задача 2. Дан прямой длинный проводник, по которому течет ток I . Найдите индукцию магнитного поля в точке наблюдения, находящейся на расстоянии r от провода, считая, что он находится в среде с магнитной проницаемостью μ .

Задача 3. Постоянное напряжение U_0 включают в цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивления R и емкости C . Найдите зависимость силы тока от времени в данной цепи.

9 семестр

Задача 1. Вычислить свободную энергию F , энтропию S , энтальпию H и энергию Гиббса G для 1 л гелия при температуре 1500 К и давлении 1 мбар.

Задача 2. Вычислить внутреннюю энергию с помощью распределения Гиббса для 500 кг углерода при 1400 К. Сравнить полученный результат с энергией сгорания (8093 ккал/кг). Относительная атомная масса углерода равна 12,01.

Задача 3. Рассматривая чистый (без примесей) газообразный азот при температуре 0 °С и давлении 745 мм ртст, найти число молекул в объеме 5 мм³, компоненты скорости которых лежат в следующих интервалах: v_x : от 300 до 302 м/с, v_y : от 500 до 505 м/с, v_z : от -300 до -298 м/с.

Задача 4. Концентрация свободных электронов в натрии равна $2,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. Определить температур вырождения и скорость электронов на уровне Ферми.

Задача 5. Двухатомный газ N_2 при высокой температуре ($2500^\circ C$ и более) диссоциирует на атомы $2N$. Считая, что $h \cdot \nu \gg k \cdot T$, вычислить постоянную закона действующих масс и тепловой эффект реакции.

10 семестр

Задача 1. Найти индексы Миллера плоскости, проходящей через узловые точки кристаллической решетки и отсекающей на осях кристалла отрезки длиной $22^\circ A$, $28^\circ A$ и $19^\circ A$, если параметры решетки составляют: $a = 2, 75^\circ A$, $b = 2, 80^\circ A$, $c = 4, 75^\circ A$.

Задача 2. Резонансная частота цилиндрического никелевого стержня длиной 10 см и диаметром 0,442 см равна 1880 Гц. Определить модуль Юнга и модуль сдвига никеля.

Задача 3. Плотность серебра равна $\rho = 10,5 \text{ г/см}^3$, а его теплоемкость составляет $C_1 = 2,02 \cdot 10^6 \text{ эрг/моль} \cdot K$ при $T_1 = 10 \text{ К}$ и $C_2 = 1,51 \cdot 10^5 \text{ эрг/моль} \cdot K$ при $T_2 = 4 \text{ К}$. Определить температуру Дебая и плотность состояний на поверхности Ферми.

Задача 4. Каковы вероятности того, что при комнатной температуре электрон в металле займет состояние, расположенное на 0,1 эВ выше (а) и ниже (б) уровня Ферми?

Задача 5. Определить время релаксации, среднюю длину свободного пробега и дрейфовую скорость электрона в электрическом поле $E = 100 \text{ В/м}$ для натрия, если его теплопроводность κ равна $150 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$.

Задача 6. Удельное сопротивление собственного германия при $27^\circ C$ равно $0,47 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Вычислить концентрацию электронов и дырок.

Задача 7. Для наблюдения эффекта Фарадея была взята пластинка железа толщиной 15 мкм. Эффект измерялся в магнитном поле $H = 10^3 \text{ Э}$ на длине волны 656 мкм. Определить угол поворота плоскости поляризации.

Критерии оценивания проверочной работы

Каждая задача оценивается по 5-бальной шкале, при наличии краткой записи условия задачи, вопроса, схематического рисунка (при необходимости), основных формул и их преобразования до расчётной формулы:

- если не получено решение в общем виде (отсутствует или неверное), даже при наличии оформления данных, рисунка и основных формул – оценка «2»,
- если получено решение в общем виде – оценка «3»,
- если получено решение в общем виде, выполнена проверка наименований физических величин и подстановка числовых значений, но допущены неточности в рисунке или вычислениях – оценка «4»,
- если получено решение в общем виде, выполнена проверка наименований физических величин и подстановка числовых значений без ошибок и неточностей – оценка «5».

Итоговая оценка за проверочную работу:

- если имеется две и более частных оценок «2», то итоговая оценка «2»,
- если имеется не более одной частной оценки «2», то итоговая оценка «3»,
- если имеется не более одной частной оценки «3», то итоговая оценка «4»,
- если имеется не более одной частной оценки «4», то итоговая оценка «5».

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Критерии получения зачета

Оценка «зачтено» по курсу в текущем семестре (7, 9) получает студент, который:

- не имеет задолженностей по практическим занятиям;
- выполнил проверочную работу на положительную оценку;
- продемонстрировал преподавателю результаты выполнения самостоятельной работы или ответил на дополнительные вопросы на зачетном занятии.

Во всех остальных случаях выставляется оценка «не зачтено»

Критерии экзаменационной оценки

Положительную оценку на экзамене получает студент, выполнивший контрольную работу.

На экзамене оценка **«отлично»** выставляется студенту, который:

1) глубоко и прочно усвоил программный материал в полном объеме, исчерпывающе, грамотно и логически стройно его излагает, четко формулирует основные понятия, приводит соответствующие примеры;

2) уверенно применяет теоретические знания к решению практических задач;

3) способен к самостоятельному пополнению и обновлению знаний;

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, который:

1) твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его без существенных ошибок;

2) правильно применяет теоретические положения при решении конкретных задач, не допускает существенных неточностей в процессе решения задач;

3) по ходу изложения допускает небольшие неточности, не искажающие содержания ответа.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, который не совсем твердо владеет программным материалом, знает основные теоретические положения изучаемого курса, обладает достаточными для продолжения обучения и предстоящей профессиональной деятельности, знаниями. При ответах допускает малосущественные погрешности, испытывает затруднения при решении задач.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, имеющему серьезные пробелы в знании учебного материала, в умении решать задачи; его уровень знаний недостаточен для дальнейшей учебы и будущей профессиональной деятельности.

Вопросы к экзамену

8 семестр

1. Предмет и методы электродинамики.
2. Закон Кулона и напряженность поля. Принцип суперпозиции полей.
3. Законы Ампера и Био-Савара. Взаимодействие токов.
4. Закон Био-Савара для объемных токов.
5. Принципы построения системы единиц.
6. Сила Лоренца.
7. Уравнения Максвелла, как обобщение опытных данных.
8. Закон электромагнитной индукции Фарадея.
9. Уравнение непрерывности. Закон сохранения электрического заряда.
10. Теорема о граничном условии.
11. Граничные условия для напряженности поля.
12. Уравнения электростатики. Скалярный потенциал.
13. Потенциал системы точечных поверхностных и объемных зарядов.
14. Энергия системы покоящихся зарядов.
15. Уравнение Пуассона.
16. Электростатика проводников.
17. Электрический момент системы зарядов (разложение по мультиполям).
18. Векторы $\vec{E}$, $\vec{D}$ и $\vec{P}$ в однородном диэлектрике.
19. Усреднение уравнений Лоренца в диэлектриках.
20. Уравнение Пуассона и Лапласа в сферических координатах. Примеры решения задач.
21. Уравнения Максвелла и граничные условия для вектора $\vec{D}$.
22. Решение системы уравнений Максвелла для электростатических полей.
23. Энергия электрического поля.

24. Дифференциальная форма законов Ома и Джоуля-Ленца. Сторонние ЭДС. Интегральная форма законов.
25. Вихревой характер магнитного поля. Отсутствие магнитных зарядов. Уравнения Максвелла для постоянного магнитного поля в вакууме.
26. Усреднение уравнений Лоренца в магнетиках.
27. Векторы $\vec{B}$ и $\vec{H}$. Материальные уравнения. Диа-, пара- и ферромагнетики.
28. Векторный потенциал. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.
29. Коэффициенты взаимной индукции.
30. Энергия системы квазистационарных токов.
31. Гипотеза Максвелла о токах смещения. Условия квазистационарности.
32. Система уравнений Максвелла в вакууме. Уравнения Даламбера.
33. Уравнения Максвелла-Лоренца. Система уравнений Максвелла в веществе.
34. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля.
35. Импульс электромагнитного поля.
36. Шкала электромагнитных волн. Электромагнитная природа света.
37. Электромагнитные волны.

Пример экзаменационного билета

1. Электрический момент системы зарядов (разложение по мультиполям).
2. Вихревой характер магнитного поля. Отсутствие магнитных зарядов. Уравнения Максвелла для постоянного магнитного поля в вакууме.

10 семестр

1. Кристаллическая решётка, типы, обозначение плоскостей и направлений. Отличие кристаллов от аморфных тел.
2. Симметрия твёрдых тел, элементы симметрии в разных сингониях. Аморфные тела.
3. Типы связей частиц в кристаллах и роль обменного взаимодействия.
4. Дефекты кристаллов и их роль в физических свойствах.
5. Динамика кристаллической решётки по теории Дебая. Акустические волны в идеальном кристалле, их дисперсионные кривые. Распределение частот, частота Дебая.
6. Фононный газ кристаллической решётки, энергетический спектр кристалла, температура Дебая. Влияние дефектов на динамику кристаллической решётки реальных кристаллов.
7. Теплоёмкость кристаллической решётки: а) по теории Дебая; б) по теории Эйнштейна; в) закон Дюлонга и Пти.
8. Теплоёмкость электронного газа кристаллов: а) по классической теории Друде – Лоренца; б) по квантовой теории Зоммерфельда.
9. Зонная теория кристаллов. Образование зон. Динамика электронов, их эффективная масса.
10. Структура энергетических зон, кратность, заполнение электронами: в металлах, диэлектриках и ПП. Роль дефектов. Собственные и примесные ПП.
11. Электропроводимость металлов. Температурная зависимость электропроводимости в классической и квантовой теориях. Роль дефектов и примесей в электропроводимости металлов. Связь электропроводимости и теплоёмкости.
12. Электропроводимость собственных полупроводников. Типы носителей, их подвижность, распределение и концентрация в разрешенных зонах.
13. Определение положения уровня Ферми в собственных полупроводниках. Температурная зависимость удельной электропроводимости собственных полупроводников и определение ширины запрещенной зоны.
14. Примесные полупроводники. Концентрация носителей заряда. Удельная электропроводимость, её температурная зависимость.

15. Контактные явления на границе металл – металл. Внешняя и внутренняя контактные разности потенциалов. Электрическая проводимость контакта металл – металл.

16. Контактные явления на границе металл – полупроводник.

17. Контактные явления на границе двух полупроводников разного типа: а) при отсутствии внешнего электрического поля; б) во внешнем электрическом поле.

18. Электронная эмиссия и её типы: термоэлектронная, холодная, фотоэлектронная, вторичная.

19. Термоэлектрические явления: эффект Зеебека, эффект Пельтье, эффект Томсона.

20. Поляризация диэлектриков. Классификация диэлектриков. Сегнетоэлектрики и электрический гистерезис.

21. Магнитные свойства вещества. Слабые магнетики, их кривые намагничивания, магнитные восприимчивость и проницаемость

22. Сильные магнетики. Кривая намагничивания, магнитный гистерезис.

23. Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Классификация сверхпроводников (в зависимости от критической температуры и критического магнитного поля).

24. Теория БКШ для объяснения сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Применение сверхпроводников.

Пример экзаменационного билета

1. Теплоёмкость кристаллической решётки в модели Дебая.
2. Собственный полупроводник нагревают от 0 °С до 17 °С. Во сколько раз увеличилась удельная электропроводность, если ширина запрещенной зоны 0,72 эВ ?

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

7 семестр

1. Вильке В. Г. Теоретическая механика : учебник и практикум для вузов / В. Г. Вильке. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 311 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03481-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/560841>.

2. Журавлев, Е. А. Теоретическая механика. Курс лекций : учебник для вузов / Е. А. Журавлев. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 140 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10079-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563433>.

3. Теоретическая механика. Краткий курс : учебник для вузов / В. Д. Бертяев, Л. А. Булатов, А. Г. Митяев, В. Б. Борисевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 168 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13208-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/565607>.

8 семестр

1. Вергелес С. Н. Теоретическая физика. Квантовая электродинамика : учебник для вузов / С. Н. Вергелес. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 262 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01663-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/561938>.

2. Вергелес С. Н. Теоретическая физика. Общая теория относительности : учебник для вузов / С. Н. Вергелес. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 190 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03243-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/562504>.

3. Кравченко Н. Ю. Физика : учебник и практикум для вузов / Н. Ю. Кравченко. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 322 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19224-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/560805>.

4. Никеров В. А. Физика : учебник и практикум для вузов / В. А. Никеров. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 458 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18943-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/560444>.

9 семестр

1. Бобошина С. Б. Термодинамика : учебное пособие для вузов / С. Б. Бобошина, Г. Н. Измайлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 202 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21283-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/569503>.

2. Бондарев Б. В. Курс общей физики в 3 кн. Книга 3: термодинамика, статистическая физика, строение вещества : учебник для вузов / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 369 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-1755-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/580839>.

3. Ефремов Ю. С. Статистическая физика и термодинамика : учебник для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 209 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05152-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563484>.

10 семестр

1. Емельянов В. Н. Механика сплошной среды: теория напряжений и основные модели : учебник для вузов / В. Н. Емельянов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 162 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06619-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563065>.

2. Коробейников С. Н. Механика деформируемого твердого тела. Численные методы решения одномерных задач : учебник для вузов / С. Н. Коробейников, Т. А. Ротанова, В. Д. Кургузов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 98 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20018-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/569231>.

3. Лотов К. В. Физика сплошных сред : учебник для вузов / К. В. Лотов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 135 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10208-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/565365>.

4. Халилов В. Р. Теоретическая механика: динамика классических систем : учебник для вузов / В. Р. Халилов, Г. А. Чижев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 344 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09093-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563084>.

7.2. Дополнительная литература

7 семестр

1. Гребенкин В. З. Техническая механика : учебник и практикум для вузов / В. З. Гребенкин, Р. П. Заднепровский, В. А. Летягин ; под редакцией В. З. Гребенкина, Р. П. Заднепровского. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 449 с. — (Высшее образование).

образование). — ISBN 978-5-9916-5953-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/560644>.

2. Чуркин В. М. Теоретическая механика: геометрическая статика. Решение задач : учебник для вузов / В. М. Чуркин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 227 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05060-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/562918>.

3. Чуркин В. М. Теоретическая механика в решениях задач. Кинематика : учебник для вузов / В. М. Чуркин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 386 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04644-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563455>.

4. Селюк Б.В. Задачи по классической механике / Б. В. Селюк. — Смоленск: СГПУ, 2005. — 76 с.

5. Селюк Б.В. Классическая механика. / Б.В. Селюк. — Смоленск: Издательство СмолГУ, 2007. — 69 с.

8 семестр

1. Бабецкий В. И. Прикладная физика. Механика. Электромагнетизм : учебник для вузов / В. И. Бабецкий, О. Н. Третьякова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 320 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20602-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/558455>.

2. Кравченко Н. Ю. Физика : учебник и практикум для вузов / Н. Ю. Кравченко. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 322 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19224-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/560805>.

3. Трофимова Т. И. Руководство к решению задач по физике : учебник для вузов / Т. И. Трофимова. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 265 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-3429-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/559650>.

4. Практические занятия по общему курсу физики : учебник для вузов / Г. В. Ерофеева, Ю. Ю. Крючков, Е. А. Склярова, И. П. Чернов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 517 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-16335-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/561174>.

9 семестр

1. Белов Г. В. Термодинамика : учебник и практикум для вузов / Г. В. Белов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 524 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20064-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/557515>.

2. Бобошина С. Б. Термодинамика : учебное пособие для вузов / С. Б. Бобошина, Г. Н. Измайлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 202 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21283-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/569503>.

3. Замураев В. П. Молекулярная физика. Задачи : учебник для вузов / В. П. Замураев, А. П. Калинина. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 189 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08229-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/565024>.

10 семестр

1. Кристаллография: зарождение, рост и морфология кристаллов : учебник для вузов / Н. И. Леонюк, Е. В. Копорулина, Е. А. Волкова, В. В. Мальцев. — Москва :

Издательство Юрайт, 2025. — 152 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04738-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563109>.

2. Механика твердого тела. Лабораторный практикум : учебник для вузов / под редакцией А. А. Плясова. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 171 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08877-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/565117>.

3. Суворов Э. В. Материаловедение: методы исследования структуры и состава материалов : учебник для вузов / Э. В. Суворов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 180 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06011-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/563196>.

7.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- <http://www.teoretmech.ru/> – портал с материалами по теоретической механике;
- <https://lfirmal.com/zadachi-po-teoreticheskoy-mekhanike/> – примеры решения задач по теоретической механике;
- <https://mipt.ru/online/genphys/elektrichestvo-i-magnetizm/> – курсы видеолекций по электродинамике МФТИ;
- <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/Alekseev1977ru.pdf> – задачник по теоретической электродинамике;
- <https://mipt.ru/online/molekulyarnaya-i-biologicheskaya-fizika/lektzii-po-statisticheskoy-termodynamike-kalashnikov-a-d-osen-2020.php> – видеолекции по статистической физике;
- <https://elibr.spbstu.ru/dl/2/5076.pdf/download/5076.pdf> – курс лекций по физике твердого тела.

8. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная стандартной учебной мебелью, мультимедиапроектором, ноутбуком, колонками и интерактивной доской.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная стандартной учебной мебелью.

Помещение для самостоятельной работы – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

9. Программное обеспечение

MicrosoftOpenLicense (WindowsXP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.