

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Артеменков Михаил Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 07.10.2026 12:21:22
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 работе
_____ Ю.А. Устименко
«15» июня 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
Б1.В.01.02 Основы теоретической физики**

Направление подготовки: **44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профи-
лями подготовки)**

Направленность (профиль): **Физика, Математика**

Форма обучения: очная

Курс – 4-5

Семестр – 7-10

Всего зачетных единиц – 12, часов – 432

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

Программу разработали доценты кафедры физики и технических дисциплин Ар-
шиненко И.А., Солодченкова Т.Б., старший преподаватель Семенкович И.М.

Одобрена на заседании кафедры
«8» июня 2023 г., протокол № 14

Заведующий кафедрой _____ Дюндин А.В.

Смоленск
2023

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Основы теоретической физики» включена в формируемую участниками образовательных отношений часть блока «Дисциплины (модули)» учебного плана направления подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (профиль «Физика, математика»).

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», «Аналитическая геометрия», «Методы математической физики».

В результате изучения дисциплины «Основы теоретической физики» студент приобретает знания и умения, необходимые для освоения дисциплин «Астрономия», «Компьютерная физика», «Олимпиадные задачи по физике».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ПК-6. 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.
ПК-8 Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин и решения естественнонаучных задач	Знать: основные методы обработки, структурирования, анализа и синтеза получаемой информации, основные определения, принципы и законы физики, методы физических исследований, базовые принципы постановки и решения естественнонаучных задач. Уметь: использовать физические и математические модели при решении практических задач, осуществлять учебный эксперимент и обрабатывать его результаты, доказать утверждение, сформулировать

	результат, увидеть его следствия. Владеть: навыками методами обработки, анализа и синтеза информации, первичными навыками применения математического аппарата к решению конкретных задач в области физики.
--	---

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. 8. 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. Кантовые 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 электрон-

ных 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 п-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 часов	Формы занятий (в соответствии с учебным планом)				
			лекции	семинары	практические занятия	лабораторные занятия	самостоятельная работа
1	Механика Ньютона	10	2		2	–	6
2	Основы аналитической механики	20	4		6	–	10
3	Законы сохранения	22	6		6	–	10
4	Движение в центральном поле	11	2		2	–	7
5	Малые колебания механических систем	9	2		2	–	5
6	Уравнения Гамильтона и	13	4		2	–	7

	иные законы эволюции						
7	Движение в неинерциальной системе отсчета	9	2		2	–	5
8	Элементы специальной теории относительности	14	2		2	–	10
Итого за 7 семестр		108	24		24	–	60

8 семестр

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий (в соответствии с учебным планом)				
			лекции	семинары	практические занятия	лабораторные занятия	самостоятельная работа
1	Экспериментальные основы электродинамики	12	4		4	–	4
2	Электростатическое поле в вакууме	20	6		8	–	6
3	Электростатическое поле в веществе	18	6		6	–	6
4	Магнитостатическое поле	16	6		4	–	6
5	Основные уравнения электромагнитного поля	20	6		6	–	8
6	Релятивистская электродинамика	22	6		6	–	10
Итого за 8 семестр		108	34		34	–	40

9 семестр

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий (в соответствии с учебным планом)				
			лекции	семинары	практические занятия	лабораторные занятия	самостоятельная работа
1	Законы термодинамики	18	4	0	6	0	8
2	Основные утверждения статистической физики	19	4	0	6	0	9

3	Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц	12	4	0	4	0	4
4	Свойства реальных газов. Основы кинетики	12	4	0	4	0	4
5	Системы с переменным числом частиц	10	4	0	2	0	4
6	Фазовые переходы	10	4	0	2	0	4
7	Экзамен	27					27
Итого за 9 семестр		108	24		24	–	60

10 семестр

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий				
			лекции	семинары	практические занятия	лабораторные занятия	самостоятельная работа
1.	Геометрическая теория кристаллической решетки	10	2	0	4	0	4
2.	Динамика кристаллической решетки	12	3	0	4	0	5
3.	Тепловые свойства кристаллической решетки	11	3	0	4	0	4
4.	Зонная теория кристаллов	10	2	0	4	0	4
5.	Электрические свойства кристаллов	14	6	0	4	0	4
6.	Магнитные свойства кристаллов	8	2	0	2	0	4
7.	Сверхпроводимость кристаллов	10	4	0	2	0	4
8.	Оптические свойства кристаллов	6	2	0	–	0	4
9.	Экзамен	27					27
Итого		108	24	0	24	0	60

5. Виды учебной деятельности

Лекции

7 семестр

1. Введение. Кинематика частицы. Кинематика абсолютно твердого тела. (2 часа) Динамика частицы и системы частиц. (2 часа)
2. Уравнение Даламбера – Лагранжа. (2 часа)
3. Уравнение Лагранжа второго рода. Теорема Кенига. Применение уравнений Лагранжа. (2 часа)
4. Энергия. Закон сохранения энергии. (2 часа)
5. Импульс. Закон сохранения импульса. (2 часа)
6. Момент импульса. Использование сохраняющихся величин при описании одномерного движения. (2 часа)
7. Движение в центральном поле. (2 часа)
8. Малые колебания механических систем. (2 часа)
9. Уравнение Гамильтона. Интегралы движения. Скобки Пуассона. (2 часа)
10. Уравнение Эйлера. Принцип наименьшего действия. (2 часа)
11. Движение в неинерциальной системе отсчета. (2 часа)
12. Основы специальной теории относительности. Элементы релятивистской динамики. (2 часа)

8 семестр

1. Закон Кулона. Законы Ампера и Био-Савара. Сила взаимодействия двух проводников с током. Сила Лоренца.
2. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Система уравнений Максвелла как отражение опытных данных. Закон сохранения заряда. Теорема о граничном условии.
3. Уравнения электростатики. Скалярный потенциал. Потенциал системы точечных, поверхностно и объемно распределенных зарядов.
4. Энергия системы покоящихся зарядов. Уравнение Пуассона и его общее решение для электростатики.
5. Проводники в электрическом поле.
6. Диэлектрики в электрическом поле.
7. Решение системы уравнений Максвелла в среде. Энергия электрического поля.
8. Законы Ома и Джоуля-Ленца. ЭДС. Вихревой характер магнитного поля.
9. Вектор намагничивания. Напряженность магнитного поля в однородном магнетике.
10. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.
11. Гипотеза Максвелла о токах смещения. Калибровочная инвариантность полей.
12. Система уравнений Максвелла в вакууме.
13. Экспериментальные основы СТО. Пространство-время и системы отсчета СТО.
14. Преобразования Лоренца и следствия из них.
15. Интервал. Инвариантность интервала. Четырехмерное пространство. Четырехмерные скорости и ускорения.
16. Четырехмерный импульс. Сила Минковского. Уравнения динамики материальной точки.
17. 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

1. *Законы термодинамики. (4 часа)* 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.
2. *Основные утверждения статистической физики. (4 часа)* 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. Полуэргодическая теория флуктуаций. Броуновское движение. Флуктуации в однородной среде. Рассеяние света флуктуациями
3. *Квантовые статистики систем, состоящих из одинаковых частиц. (4 часа)* 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.
4. *Свойства реальных газов. (4 часа)* 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
5. *Системы с переменным числом частиц. (4 часа)* 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.
6. *Фазовые переходы. (4 часа)* 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

Раздел: Физика твердого тела

Тема 1: Геометрическая теория кристаллической решетки

- 1.1. Представление о кристаллической решётке
 - 1.1.1. Ячейка Браве
 - 1.1.2. Элементы симметрии
- 1.2. Анизотропия кристаллов
 - 1.2.1. Сингонии
 - 1.2.2. Индексы Миллера
- 1.3. Типы связей частиц в кристаллах
 - 1.3.1. Ковалентная связь, обменное взаимодействие
 - 1.3.2. Ионная связь
 - 1.3.3. Металлическая связь
 - 1.3.4. Ван-дер-ваальсовские и водородные связи
- 1.4. Дефекты кристаллов
 - 1.4.1. Точечные
 - 1.4.2. Линейные
 - 1.4.3. Поверхностные
 - 1.4.4. Объемные

Лекция 2

Тема 2: Динамика кристаллической решетки

- 2.1. Теория Дебая для идеального изотропного кристалла
 - 2.1.1. Модель Дебая
 - 2.1.2. Акустические волны в идеальном кристалле, их дисперсия
 - 2.1.3. Оптические волны в идеальном кристалле, их дисперсия
- 2.2. Энергия кристаллической решетки
 - 2.2.1. Энергия структурных частиц кристалла
 - 2.2.2. Фононы и их энергия
 - 2.2.3. Нулевое движение и его энергия
 - 2.2.4. Квантование энергии, температура Дебая
 - 2.2.5. Внутренняя энергия идеального кристалла по теории Дебая

Лекция 3

- 2.3. Упругие свойства твердых тел
 - 2.3.1. Диаграмма деформации
 - 2.3.2. Классификация деформаций. Закон Гука.
 - 2.3.3. Упругие гистерезис

Тема 3: Тепловые свойства кристаллической решетки

- 3.1. Теплоемкость диэлектриков
 - 3.1.1. Решёточная теплоёмкость изотропных кристаллов по теории Дебая.
 - 3.1.2. Решёточная теплоёмкость анизотропных кристаллов по теории Эйнштейна.

Лекция 4

- 3.2. Теплоемкость металлов
 - 3.1.3. Электронная теплоёмкость металлов по теории Дебая.
 - 3.1.4. Электронная теплоёмкость металлов по теории Зоммерфельда.
- 3.2. Теплопроводность кристаллов
 - 3.2.1. Закон Фурье
 - 3.2.2. Решеточная теплопроводность
 - 3.2.3. Анизотропия решеточной теплопроводности
 - 3.2.4. Электронная теплопроводность
- 3.3. Фазовые переходы рода в кристаллах
 - 3.3.1. Уравнение Клайперона-Клаузиуса
 - 3.3.2. Термодинамическая устойчивость однофазного состояния вещества
 - 3.3.3. Уравнения Эренфеста

Тема 4: Зонная теория кристаллов

- 4.1. Образование энергетических зон в кристалле
 - 4.1.1. Возникновение потенциального барьера
 - 4.1.2. Расщепление энергетических уровней
- 4.2. Структура энергетических зон
 - 4.2.1. Энергия электронных волн, условие Вульфа-Брэгга
 - 4.2.2. Число подуровней в разрешенной энергетической зоне
 - 4.2.3. Уровень Ферми
- 4.3. Квантовые переходы электронов и классификация кристаллов
 - 4.3.1. Заселенность энергетических зон, валентная зона и зона проводимости
 - 4.3.2. Проводники
 - 4.3.3. Диэлектрики
 - 4.3.4. Полупроводники собственные
 - 4.3.5. Полупроводники примесные, локальные энергетические подуровни

Тема 5: Электрические свойства кристаллов

- 5.1. Электропроводность металлов
 - 5.1.1. Классическая теория электропроводности и ее недостатки
 - 5.1.2. Зонная теория электропроводности
- 5.2. Электропроводность полупроводников
 - 5.2.1. Электропроводность собственных полупроводников
 - 5.2.2. Электропроводность примесных полупроводников

- 5.3. Электропроводность диэлектриков
 - 5.3.1. Поляризация
 - 5.3.2. Пьезоэлектрики
 - 5.3.3. Пирозэлектрики
 - 5.3.4. Сегнетоэлектрики, диэлектрический гистерезис
 - 5.3.5. Условия на границе раздела двух диэлектриков
- 5.4. Контактные явления
 - 5.4.1. Контакт металл-вакуум
 - 5.4.2. Контакт металл-металл, законы Вольты
 - 5.4.3. Контакт металл-полупроводник
 - 5.4.4. Контакт полупроводников p- и n-типа

- 5.5. Электронная эмиссия
 - 5.5.1. Термоэлектронная эмиссия
 - 5.5.2. Автоэлектронная эмиссия
 - 5.5.3. Фотоэлектронная эмиссия
 - 5.5.4. Вторичная электронная эмиссия
- 5.6. Электрооптические явления
 - 5.6.1. Эффект Керра
 - 5.6.2. Эффект Поггеля

Тема 6: Магнитные свойства кристаллов

- 6.1. Намагничивание твердых тел
 - 6.1.1. Диамагнетики

- 6.1.2. Парамагнетики
- 6.1.3. Ферромагнетики и другие сильные магнетики, магнитный гистерезис
- 6.2. Магнитострикция
- 6.3. Сверхтонкие взаимодействия (СТВ)
 - 6.3.1. Электрическое монопольное
 - 6.3.2. Электрическое квадрупольное
 - 6.3.3. Магнитное сверхтонкое
 - 6.3.4. Методы изучения СТВ, эффект Мессбауэра

Лекция 10

Тема 7: Сверхпроводимость кристаллов

- 7.1. Экспериментальное открытие сверхпроводимости.
- 7.2. Классификация сверхпроводников.
 - 7.2.1. Классические сверхпроводники (СП).
 - 7.2.2. Высокотемпературные сверхпроводники.
- 7.3. Действие магнитного поля на сверхпроводники
 - 7.3.1. Эффект Мейсснера – Оксенфельда
 - 7.3.2. СП в слабых магнитных полях.
 - 7.3.3. СП в сильных магнитных полях.

Лекция 11

- 7.4. Свободная поверхностная энергия сверхпроводников
 - 7.4.1. СП первого рода.
 - 7.4.2. СП второго рода.
- 7.5. Теория сверхпроводимости БКШ
 - 7.5.1. Модель сверхпроводника
 - 7.5.2. Основные утверждения теории БКШ.
- 7.6. Следствия из теории БКШ
 - 7.6.1. Квантование магнитного потока
 - 7.6.2. Эффект Джозефсона
- 7.7. Применение сверхпроводников

Лекция 12

Тема 8: Оптические свойства кристаллов

- 8.1. Двулучепреломление в анизотропных кристаллах
 - 8.1.1. Двулучепреломление в одноосных кристаллах
 - 8.1.2. Двулучепреломление в двуосных кристаллах
- 8.2. Электронная теория Друде - Лоренца
 - 8.2.1. Объяснение дисперсии
 - 8.2.2. Объяснение поглощения
- 8.3. Цвет тела, элементы колористики

Практические занятия

7 семестр

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

1. 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.
2. Принцип виртуальных перемещений Бернулли. §§ 5, 6.
Примеры. 4.1 и 4.2. *Задачи:* 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5.
3. Динамический принцип виртуальных перемещений. §§ 6, 7.

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

4. Уравнения Лагранжа. §§ 8, 9.

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

5. Энергия. Закон сохранения энергии. § 10.

Пример. 7.1. Задачи: 7.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5.

6. Импульс. Закон сохранения импульса. § 11.

Пример. 8.1. Задачи: 8.1; 8.2; 8.3; 8.4; 8.5.

7. 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.

8. Задача Кеплера. §§ 14 – 16.

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

9. 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.

10. 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.

11. Движение в неинерциальных системах отсчета. §§ 24 – 26.

Задачи: 13.1; 13.2; 13.4; 13.5.

12. 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

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. Попробуйте 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.

Задача 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 χ . 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.

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.

Задача 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.

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.

Задача для самостоятельного решения

Потенциал φ электрического поля в сферических координатах имеет вид $\varphi = \frac{Q}{R}$

при $r \leq R$ и $\varphi = \frac{Q}{r}$ при $r \geq R$, где Q и R – постоянные. Найдите распределение

заряда, создавшего это поле

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:

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

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).

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 .

Задача 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.

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 P 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 $\vec{B} = \frac{1}{c^2} [\vec{v}\vec{E}]$.

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

$A_\varphi = \frac{2aR^5}{15r^2} \sin \theta$ при $r \geq R$, где a и R – постоянные. Найдите распределение

объемной плотности тока, создавшего магнитного 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.

Задача для самостоятельного решения

Объемная плотность тока в цилиндрических координатах имеет вид $\vec{j} = \vec{j}_0 \left(\frac{r}{R} \right)^n \cos n\varphi$ при $r \leq R$ и $\vec{j} = \vec{j}_0 \left(\frac{R}{r} \right)^n \cos n\varphi$ 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.

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.

Занятие №10. Энергия магнитного поля. Расчет индуктивности проводников ч.1.

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.

Задача 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 .

Занятие №11. Энергия магнитного поля. Расчет индуктивности проводников ч.2.

Задача 1. Определите индуктивность единицы длины двухпроводной линии. Линия состоит из двух параллельных прямых проводов, радиусы которых a и b , расстояние между осевыми линиями h . По проводам текут равные по величине, но противоположные по направлению токи I .

Задача 2. Определите индуктивность тонкого проволочного кольца радиуса b . Радиус провода $a \ll b$.

Занятие №12. Законы Ома и Джоуля-Ленца.

Задача 1. Найти сопротивление среды току между двумя концентрическими электродами радиусами a и b ($a < b$). Удельная проводимость среды равна λ .

Задача 2. Между двумя плоскими электродами площади S каждый, линейные размеры которых много больше расстояния d между ними, находится проводящий материал, удельная проводимость которого изменяется линейно от λ_1 до λ_2 у разных поверхностей. Найдите сопротивление среды между электродами.

Задача 3. Найдите сопротивление конического проводника кругового сечения, основания которого имеют радиусы r_1 и r_2 . Проводимость среды равна λ .

Задача 4. Полусферический заземлитель погружен в землю вровень с ее поверхностью. Найти напряжение, под которым может оказаться человек, приближающийся к заземлителю (шаговое напряжение). Сила тока I , протекающего через заземлитель, задана. Длина шага равна l , расстояние от ближней к заземлителю ноги человека до него равно r_0 . Рассчитайте шаговое напряжение при условии, что $I = 1\text{А}$, $\lambda = 10^{-2}$, $r_0 = 2\text{м}$, $l = 1\text{м}$.

Задача 5. Длинный проводник круглого сечения радиуса a сделан из материала, удельное сопротивление которого зависит только от расстояния r до оси проводника по закону $\rho = \frac{a}{r^2}$. Найдите сопротивление единицы длины проводника и

напряженность электрического поля, если по проводнику течет ток I . Какая мощность выделяется в проводнике?

Задача для самостоятельного решения

Провод длиной l_0 , по которому течет ток I , упал со столба на землю. Найти шаговое напряжение, если известно, что длина шага l , расстояние от провода до ближайшей ноги d . Найдите ответ, учитывая следующие данные: $I = 500\text{А}$, $d = 1\text{ м}$, $l = 65\text{ м}$, $l_0 = 50\text{ м}$.

Занятие №13. Квазистационарные явления в электрических цепях.

Задача 1. Ток в колебательном контуре меняется по закону $i = -0,02 \sin(400\pi t)$ (ток измеряется в А). Найдите период колебаний, емкость контура, максимальную разность потенциалов на обкладках конденсатора, максимальную энергию магнитного и электрического полей, если индуктивность контура 1 Гн.

Задача 2. В начальный момент времени в цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивления R и индуктивности L , включают ЭДС постоянной величины $\mathcal{E}_0$. Найдите зависимость силы тока от времени. Выполните данную задачу для выключения постоянной ЭДС величины $\mathcal{E}_0$.

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. Выполните задачу для выключения постоянного напряжения.

Задача 4. К цепочке из последовательно соединенных сопротивления R и емкости C прикладывается прямоугольный импульс напряжения $U_1(t) = U_0$ при $0 \leq t \leq T$ и $U_1(t) = 0$ при $t < 0$ и $t > T$, где T – длительность импульса. Найдите зависимость напряжения на сопротивлении U_R от времени. Учтите отношение длительностью импульса и временем релаксации.

Задача для самостоятельного решения

В цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивления R и индуктивности L , включают ЭДС $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$. Определите силу тока в цепи.

При каком значении начальной фазы φ_0 переходные явления в цепи не возникают.

Занятие №14. Основы специальной теории относительности ч. 1.

Задача 1. Показать, что длина стержня инвариантна относительно преобразования Галилея.

Задача 2. Выяснить, инвариантна ли сила тяготения двух масс относительно преобразований Галилея.

Задача 3. Выяснить, инвариантна ли сила Лоренца относительно преобразований Галилея.

Задача для самостоятельного решения

Написать формулы преобразования импульса и энергии частицы при переходе от одной ИСО к другой.

Занятие №15. Основы специальной теории относительности ч. 2.

Задача 1. С какой скоростью должно двигаться тело, чтобы его размеры сократились вдвое?

Задача 2. Скорость тела такова, что его масса увеличилась на 20%. На сколько процентов уменьшилась длина тела в направлении движения?

Задача 3. Во сколько раз уменьшится плотность тела при его движении со скоростью $0,8c$?

Задача 4. Релятивистская масса движущегося протона в 100 раз больше его массы покоя. Найдите его скорость.

Задача 5. Докажите, что в релятивистском случае выполняются следующие соотношения:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \left(\frac{\partial}{\partial x'} - \frac{v}{c^2} \frac{\partial}{\partial t'} \right); \quad \frac{\partial}{\partial t} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \left(\frac{\partial}{\partial t'} - v \frac{\partial}{\partial x'} \right);$$
$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \left(\frac{\partial^2}{\partial t'^2} - 2v \frac{\partial^2}{\partial x' \partial t'} + v^2 \frac{\partial^2}{\partial x'^2} \right).$$

Задача 6. Собственное время жизни μ^+ мезона равно $2 \cdot 10^{-6}$ с. Как изменится его время жизни при движении со скоростью $0,99c$. Какой путь он пройдет за это время?

Задача для самостоятельного решения

Задача 1. Получите формулу Физо из релятивистского закона сложения скоростей.

Занятие №16. Основы специальной теории относительности ч. 3.

Задача 1. На 2-х объектах, расстояние между которыми 600 тыс. км. Произошли вспышки с интервалом 1 с. Могут ли быть они причинно связанными?

Задача 2. На сколько укорачивается диаметр Земли в направлении ее движения вокруг Солнца с точки зрения наблюдателя, неподвижного относительно Солнца?

Задача 3. Поезд движется со скоростью 100 км/ч. Вдоль поезда идет человек со скоростью 5 км/ч относительно поезда в направлении его движения. Найти разницу скорости человека относительно полотна железной дороги, вычисленной по классической формуле и по формуле СТО.

Задача для самостоятельного решения

Два пучка электронов летят навстречу друг другу со скоростями $0,9c$ относительно лабораторной системы координат. Какова относительная скорость электронов с точки зрения наблюдателя в лаборатории и наблюдателя, движущегося с одним из пучков.

Занятие №17. Основы специальной теории относительности ч. 4.

Задача 1. Масса покоя альфа-частицы в 4 раза больше массы покоя протона. Протон и альфа-частица ускоряются одинаковой разностью потенциалов. Какова должна быть эта разность потенциалов, чтобы релятивистская масса альфа-частицы превосходила релятивистскую массу протона в 3 раза?

Задача 2. В магнитном поле с индукцией 1 Тл электрон движется по окружности радиусом 3 м. Найти его энергию, если его скорость близка к скорости света в вакууме.

Задача для самостоятельного решения

Электрон ускоряется разностью потенциалов U . Найти импульс электрона, если его масса покоя m_0 .

9 семестр

Занятие № 1

Тема 1: Законы термодинамики (продолжение)

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 объем 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 объеме повысить его температуру от 400 К до 500 К. Вычислить также изменение внутренней энергии и энтропию.

Занятие № 2

Тема 1: Законы термодинамики (продолжение)

Вычисление внутренней энергии и теплоемкости

Вопросы

1. Записать 1 НТД в дифференциальном виде.
2. Связь внутренней энергии с термодинамическим потенциалом: а) Гиббса, б) энтальпия.
3. Определение теплоемкости.
4. Разность изобарной и изохорной теплоемкости, выраженная через естественные переменные.
5. Разность изобарной и изохорной теплоемкости, 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 теплоемкость: 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 теплоемкость идеального газа при постоянном объеме. Сравнить результат теоретического расчета с экспериментальными значениями.
4. Для одно и двухатомных идеальных газов определить молярную изобарную теплоемкость и вывести формулу её связи с изохорной теплоемкостью. 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.

Занятие № 3

Тема 1: Законы термодинамики (продолжение)

Применение дифференциальных уравнений термодинамики

Вопросы

1. Соотношения взаимности Максвелла и их физический смысл.
2. Вывести выражение для объема: 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 $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial Y}\right)_p$?
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 теплоёмкость 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 $\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T + \frac{T}{C_p} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p^2$

Занятие № 4

Тема 1: Законы термодинамики (продолжение)

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 °С, 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)

Занятие № 5

Тема 2: 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

Занятие № 6

Тема 2: Основные утверждения статистической физики (продолжение)

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

$$E = k \cdot T^2 \cdot \frac{\partial \ln Z}{\partial T} = N \cdot \varepsilon_0 + \frac{N \cdot g_1 \cdot \Delta \varepsilon \cdot e^{\frac{\Delta \varepsilon}{kT}}}{g_0 \cdot \left(1 + \frac{g_1}{g_0} \cdot e^{\frac{\Delta \varepsilon}{kT}} \right)}. \text{ Вычислить флуктуации энергии при } T \rightarrow 0.$$

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.

Занятие № 7

Тема 2: Основные утверждения статистической физики (продолжение)

Флуктуации (продолжение)

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.

Занятие № 8

Тема 2: Основные утверждения статистической физики (продолжение)

Флуктуации (продолжение)

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).

Практика 9

Тема 3: 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 распределения 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 $n = 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$.
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 $T = 300 \text{ К}$ от энергии Ферми при $T = 0$, если концентрация свободных электронов натрия равна $2,5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

Практика 10

Тема 3: 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.

Практика 11

Тема 4: 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.

- Пользуясь уравнением Ван-дер-Ваальса, вычислить изотермическую скорость звука $\nu_T = \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T^{-1/2}$ (где ρ – плотность вещества).
- 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

- Определить среднее число столкновений молекул одноатомного максвелловского газа с единичной площадью поверхности сосуда, в котором газ находится, за единицу времени.
- 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: $\frac{mgh_0}{kT} \ll 1$, $\frac{mgh_0}{kT} \gg 1$.
- 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.
- 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.
- Найти теплоемкость системы, состоящей из N независимых двумерных гармонических осцилляторов с энергетическим спектром $\epsilon = \hbar \nu(n+1)$, где $n = 0, 1, 2, \dots$. Каждый энергетический уровень $(n+1)$ -кратно вырожден.
- Вычислить коэффициент теплового расширения и изотермическую сжимаемость газа: а) идеального, б) Ван-дер-Ваальса.

Занятие № 12

Фазовые переходы

Вопросы

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

Задачи

- Найти изменение температуры фазового перехода над искривленной поверхностью. Изменение температуры считать малым. Давление насыщенного пара считать равным давлению над плоской поверхностью.
- 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

Занятие № 1

Раздел: Физика твердого тела

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 $\mu = 5,844 \cdot 10^{-2}\text{ кг/моль}$ и плотность $\rho = 2,167 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ поваренной соли, вычислить постоянную решетки.
4. Зная молярную массу кристалла AgBr (тип решетки NaCl) $\mu = 0,1878\text{ кг/моль}$ и плотность $\rho = 6,5 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$, 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

Занятие № 2

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 $5 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ частиц ;
 2) плоской решётки, на единицу поверхности которой приходится $2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ частиц;
 в) простой кубической решётки, на единицу объёма которой приходится $1,25 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$ частиц.
5. Вычислить число нормальных колебаний в кристалле бериллия объемом $V = 1 \text{ см}^3$ для спектра частот, соответствующих температурам $0 < T < 0,1 \text{ }^\circ\text{B}$. Температура Дебая для бериллия $\Theta_D = 1160 \text{ K}$. 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 $T = 50 \text{ K}$ в единице объема $V = 1 \text{ м}^3$. Плотность металлического индия $\rho_{\text{In}} = 7,31 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, температура Дебая $\Theta_D = 109 \text{ K}$.
 7. Какую силу надо приложить к латунной проволоке длиной 3 м и площадь сечения 1 мм^2 для её удлинения на 1,5 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 $T = 400 \text{ K}$) 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.
 6. Определить коэффициент гармоничности β в уравнении колебаний частиц твердого тела, если равновесное расстояние r_0 между частицами равно 0,3 нм, модуль Юнга $E = 200 \text{ ГПа}$.

Занятие № 3

Тепловые свойства кристаллической решетки

Вопросы

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

Задачи

1. Вычислить по классической теории теплоемкости теплоемкость кристалла бромида алюминия AlBr_3 объемом 1,0 . Плотность кристалла 3000 .
2. Сравните электронную и решёточную теплоёмкость 1 моля меди при: а) 10 K ; б) при комнатной температуре; в) при 1000 K.
3. При комнатной температуре (20 $^\circ\text{C}$) средняя длина свободного пробега фононов в кристалле вольфрама сопоставима с постоянной его решётки (ОЦК), равной 0,31647 нм, а молярная решёточная теплоёмкость равна 0,136 кДж/(кг.К). Вычислите коэф-

коэффициент решёточной теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём $5 \cdot 10^3$ 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 решёточную теплоёмкость в объёме m 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 нм. Вычислите коэффициент решёточной теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём $5 \cdot 10^3$ 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 нм, а молярная решёточная теплоёмкость равна 0,136 кДж/(кг·К). Вычислите коэффициент решёточной теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём $5 \cdot 10^3$ м/с.
9. Вычислите среднюю длину свободного пробега фонона в кристалле серебра при 300 К, если коэффициент теплопроводности серебра равен 418 Вт/(м·град), а скорость распространения звука – 3700 м/с.

Занятие № 4

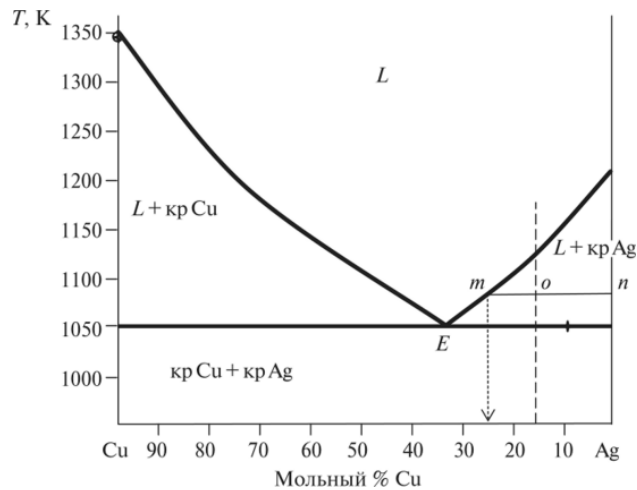
Тепловые свойства кристаллической решетки (продолжение)

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
5. Объясните термодинамическую устойчивость однофазного состояния вещества
6. Что называют фазовыми переходами второго рода?
7. 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 объёмы 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 1070К (studref.com)?



Занятие № 5

Зонная теория кристаллов

Вопросы

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

Задачи

1. Вычислить энергию Ферми при $T = 0\text{ K}$ для алюминия. Считать, что на каждый атом алюминия приходится 3 свободных электрона.
2. 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.
3. 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 $0,01\text{ эВ}$ ниже уровня Ферми и температура меняется от 200 до 300 K ?
5. Определить положение уровня Ферми, если эффективная масса электрона, эффективная масса дырок, температура 300 K , середина ширины запрещенной зоны $1,12\text{ эВ}$.
6. Концентрация атомов в металле равна n . Считая, что каждый атом отдает в зону проводимости по одному электрону, найти энергию Ферми при $T = 0\text{ K}$.
7. Кусок металла объемом 20^3 см находится при температуре 0 K . Определить число Δn свободных электронов, импульсы которых отличаются от максимального импульса p_{max} не более чем на $0,1 p_{\text{max}}$. Энергия Ферми 5 эВ .
8. Концентрация свободных электронов железа $8,5 \cdot 10^{22}\text{ см}^{-3}$, удельное сопротивление $9,7 \cdot 10^{-8}\text{ Ом} \cdot \text{мм}$. Найдите время релаксации, среднюю длину свободного пробега электронов и их подвижность при температуре 20°C .

9. Во сколько раз изменится электропроводность чистого германия при повышении температуры от -23°C до $+27^{\circ}\text{C}$? Ширина запрещенной зоны для германия равна $0,74\text{ эВ}$.
10. Как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами энергетического уровня в металле, если уровень расположен на $0,01\text{ эВ}$ выше уровня Ферми и температура меняется от 1000 до 300 K ?

Занятие № 6

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 см^3 цезия при 0 K .
2. Концентрация свободных электронов железа $8,5 \cdot 10^{22}\text{ см}^{-3}$, удельное сопротивление $9,7 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{мм}$. Найдите время релаксации, среднюю длину свободного пробега электронов и их подвижность при температуре 20°C .
3. Во сколько раз изменится электропроводность чистого германия при повышении температуры от -23°C до $+27^{\circ}\text{C}$? Ширина запрещенной зоны для германия равна $0,74\text{ эВ}$.
4. Определить скорость электронов в образце при $T = 300\text{ K}$, если его удельное сопротивление $0,2\text{ Ом}\cdot\text{м}$, длина образца 3 см , приложенное напряжение 70 В , а концентрация собственных электронов $6,2 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$.
5. Образец из германия n-типа в виде пластины длиной $L = 10\text{ см}$ и шириной $l = 3\text{ мм}$ помещен в однородное магнитное поле ($B = 0,1\text{ Тл}$) перпендикулярно линиям магнитной индукции. При напряжении $U = 250\text{ В}$, приложенном к концам пластины, возникает холловская разность потенциалов $U_H = 8,8\text{ мВ}$. Определить: 1) постоянную Холла R_H ; 2) концентрацию n носителей тока. Удельную проводимость σ германия принять равной $80\text{ См}/\text{м}^4$.
6. Полупроводник в виде тонкой пластины шириной 1 см и длиной 10 см помещен в однородное магнитное поле индукцией $0,2\text{ Тл}$. 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 $2\text{ мкА}/\text{мм}^2$, направленного вдоль пластины, Холловская разность потенциалов оказалась равной $2,8\text{ В}$. Определить концентрацию носителей тока.

Занятие № 7

Электрические свойства кристаллов (продолжение)

Вопросы

1. Контактные явления на границе метал-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 $T = 300 \text{ K}$, 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 $T = 300 \text{ K}$, 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 K в электрическом поле $100 \text{ В}/\text{см}$, 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 K , если электроны осуществляют одновременно дрейф в поле с напряженностью $30 \text{ В}/\text{см}$ на расстоянии $0,5 \text{ мкм}$ в течение 30 минут .

Занятие № 8

Электрические свойства кристаллов (продолжение)

Вопросы

4. Носители тока в полупроводниках, генерация и рекомбинация
5. Вывод формулы для равновесной концентрации.
6. Вывод формулы для удельной проводимости: а) собственных ПП, б) примесных ПП.
7. 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 $V \text{ м}$, если время релаксации для электронов в металле равно τ . Электронный газ – вырожденный.
3. Концентрация электронов в собственном полупроводнике при температуре 300 K 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 , $T = 300 \text{ K}$.
5. Определить положение уровня Ферми при температуре 300 K 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 невырожденном случае. Как изменится концентрация электронов при изменении температуры от 200 K до 300 K , если $E_g = (0,715 - \xi t)$, $\xi = 3,4 \cdot 10^{-4}$.

Практика 9

Электрические свойства кристаллов (продолжение)

Вопросы

8. Термоэлектронная эмиссия
9. Автоэлектронная эмиссия
10. Фотоэлектронная эмиссия
11. 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.

Занятие № 10

Магнитные свойства кристаллов

Вопросы

9. Какие тела называются магнетиками? Какие классы магнетиков вы знаете?
10. Чем отличаются диа-, пара- и ферромагнетики друг от друга.
11. Какой физический смысл магнитной восприимчивости χ и магнитной проницаемости μ ? Как они связаны друг с другом?
12. Как объяснить наличие остаточной намагниченности у ферромагнетиков? В каких единицах измеряют остаточную намагниченность?
13. В чем заключается сущность явления гистерезиса? Что такое петля гистерезиса?
14. Что называется коэрцитивной силой?
15. Какая температура называется точками Кюри и Нееля?
16. Сформулируйте и запишите закон Кюри-Вейсса?
17. 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 s , 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 s . 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.

Занятие № 11

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 отсутствии 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 $T \ll T_c$.

Занятие № 12

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 получают 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 $a = 2,82$ Å, статическая диэлектрическая проницаемость и показатель преломления света равны 5,9 и 1,5, а энергия поперечных оптических фононов имеет величину $T^* = 245$ К. Оценить область частот и длин волн инфракрасного поглощения.
3. Оценить глубину скин-слоя для меди ($\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ Ом⁻¹·м⁻¹) для излучения с частотой $\omega = 10^{11}$ 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 $L = 1$ 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. Пластина, 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.

Лабораторные занятия

Не предусмотрены учебным планом.

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 τ 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 τ . 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 заданиям практических занятий (см. п.5), а также контрольным работам.

Критерии оценки выполнения задания к практическому занятию:

Практическое задание считается выполненным удовлетворительно, если студент:

- 1) выполнил задания в полном объеме и ответил на дополнительные вопросы преподавателя;
- 2) продемонстрировал результаты выполнения заданий для самостоятельной работы по теме занятия;
- 3) принимал активное участие в обсуждении примеров решения задач.

Во всех остальных случаях выполнение задания читается неудовлетворительным.

Контрольные работы

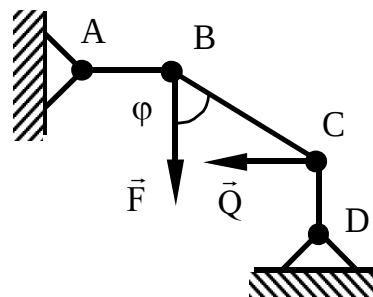
7 семестр

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:

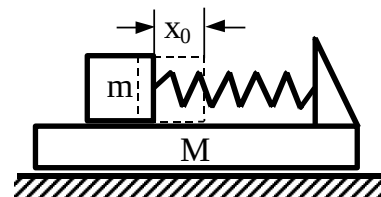
$$x = a + r \cos(\omega t); y = r \sin(\omega t).$$

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

Вариант 1

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 ($R < a$).
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 .
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

Вариант 1

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.
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.
3. Рассматривая чистый (без примесей) газообразный азот при температуре 0 °С и давлении 745 мм рт.ст., найти число молекул в объеме 5 мм³, компоненты скорости которых лежат в следующих интервалах: u_x : от 300 до 302 м/с, u_y : от 500 до 505 м/с, u_z : от -300 до -298 м/с.
4. Концентрация свободных электронов в натрии равна $2,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. Определить температур вырождения и скорость электронов на уровне Ферми.
5. Двухатомный газ N_2 при высокой температуре (2500 °С 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

Вариант 1

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: $a = 2, 75^\circ A$, $b = 2, 80^\circ A$, $c = 4, 75^\circ A$.
2. Резонансная частота цилиндрического никелевого стержня длиной 10 см и диаметром 0,442 см равна 1880 Гц. Определить модуль Юнга и модуль сдвига никеля.
3. Плотность серебра равна $\rho = 10,5 \text{ г/см}^3$, а его теплоемкость составляет $C_1 = 2,02 \cdot 10^6 \text{ эрг/моль} \cdot \text{К}$ при $T_1 = 10 \text{ К}$ и $C_2 = 1,51 \cdot 10^5 \text{ эрг/моль} \cdot \text{К}$ при $T_2 = 4 \text{ К}$. Определить температуру Дебая и плотность состояний на поверхности Ферми.

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?
5. Определить время релаксации, среднюю длину свободного пробега и дрейфовую скорость электрона в электрическом поле $E = 100$ В/м для натрия, если его теплопроводность κ равна 150 Вт/м·град.
6. Удельное сопротивление собственного германия при 27°C равно 0,47 Ом·м. Вычислить концентрацию электронов и дырок.
7. Для наблюдения эффекта Фарадея была взята пластинка железа толщиной 15 мкм. Эффект измерялся в магнитном поле $H = 10^3$ Э на длине волны 656 мкм. Определить угол поворота плоскости поляризации.

Критерии оценивания контрольной 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, рисунке 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 контрольную 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

В 7 и 8 семестрах промежуточная аттестация проводится в виде экзамена, в 9 и 10 семестрах в виде экзамена.

Критерии получения зачета

Оценка «зачтено» по курсу в текущем семестре (7, 8) получает студент, который:

- не имеет задолженностей по практическим занятиям;
- выполнил контрольную 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.

9 семестр

Вопросы к экзамену

1. Особенности термодинамического и статистического подходов в описании макросистем. Классификации макропараметров, систем, состояний систем, процессов. Формулировки постулатов о ТД равновесии, аддитивности, о температуре, о сохранении энергии, об энтропии, теоремы Нернста.
2. Основное тождество термодинамики (ОТД) в общем виде для системы с неизменным числом частиц. ОТД для адиабатического процесса, адиабатический потенциал. ОТД для изобарного процесса, энтальпия. ОТД для изотермического процесса, потенциал Гиббса.
3. Метод циклов и его недостаток. Метод Гиббса (суть и преимущество). Метод Гиббса в переменных S, V , энергия как характеристическая функция, соотношение взаимности Максвелла в этих переменных. Метод Гиббса в переменных V, T , свободная энергия как характеристическая функция, связанная энергия. Соотношение взаимности Максвелла и соотношение Гиббса - Гельмгольца в этих переменных.
4. Метод Гиббса в переменных S, p , энтальпия как характеристическая функция, соотношение взаимности Максвелла и соотношение Гиббса - Гельмгольца в этих переменных. Метод Гиббса в переменных p, T , потенциал Гиббса как характеристическая функция, соотношение Максвелла в этих переменных.
5. Калорические коэффициенты (теплоемкости) для изопроцессов в обобщенном виде и выраженные через ТД потенциалы. Разность теплоемкостей для изопроцессов в обобщенном виде. Термические коэффициенты (расширения, сжатия, давления) в обобщенном виде и выраженные через ТД потенциалы. Связь термических и калорических коэффициентов.
6. Основное тождество термодинамики (ОТД) в обобщенном виде для системы с изменяющимся числом частиц. ОТД таких систем, выраженное с применением свободной энергии, энтальпии и потенциала Гиббса. ТД трактовки химического потенциала. Омега-потенциал.
7. Основное неравенство термодинамики (ОНД) в обобщенном виде для системы с изменяющимся числом частиц. Общие условия равновесия и устойчивости таких систем. Получение частных условий равновесия.

8. Уравнение ТД состояния реального газа и его изотермы. Основные ТД функции газа Ван-дер-Ваальса: энтропия, внутренняя энергия, разность теплоемкостей.
9. Метод Гей-Люссака охлаждения газов и его недостаток. Метод Джоуля – Томсона охлаждения газов, эффект Джоуля – Томсона в случае идеального газа и в случае газа Ван-дер-Ваальса.
10. Термодинамические силы и потоки. Локальное равновесие. Принцип детального равновесия. Теорема Онсагера. Столкновение частиц, кинетическое уравнение Больцмана, теорема Больцмана.
11. Представление о каноническом распределении Гиббса. Вычисление функции распределения и фазового объема в случае изотермической системы. Функция распределения выраженная через интеграл состояний, через свободную энергию. Парадокс Гиббса (для свободной энергии и энтропии). Интеграл состояний и необходимость квантовой теории.
12. Понятие флуктуации, роль флуктуаций. Квадратичная флуктуация и её свойства. Относительная флуктуация, теорема об относительной флуктуации аддитивной функции. Пример оценки относительной флуктуации энергии изотермической системы.
13. Основы теории малых флуктуаций в произвольной макросистеме: замкнутой, квазизамкнутой. Работа как мера вероятности малых флуктуаций. Вывод выражения распределения Гаусса.
14. Флуктуации объема при постоянной температуре. Флуктуация числа частиц в заданном объеме. Флуктуации температуры при постоянном объеме.
15. Броуновское движение. Наблюдение этого движения. Вывод формулы для среднего квадратичного смещения частицы на основе связи с коэффициентом диффузии.
16. Проблема механического описания макросистемы и задача статистической физики. Канонические переменные в статистической физике. Функция и уравнения Гамильтона. Фазовое пространство. Фазовая траектория и её свойства. Гиперповерхность. Фазовый объем. Плотность фазовых точек, теорема Лиувилля.
17. Функция распределения и её свойства. Вычисление среднего значения. Микроканоническое распределение, принцип равновероятности микросостояний. Нормировочный множитель и его физический смысл.
18. Представление о микроканоническом распределении. Его применение к задачам термодинамики: статистический смысл энтропии и температуры. Вычисление энтропии и получение уравнения состояния с применением понятия фазового объема.
19. Принцип тождественности частиц. Фермионы, квантовая статистика Ферми – Дирака. Бозоны, квантовая статистика Бозе – Эйнштейна
20. Вырожденный газ, критерий вырождения. Общие свойства газов, состоящих из бозонов и фермионов. Вырожденный электронный газ
21. Явление конденсации в вырожденном Бозе-газе. Фотонный газ
22. Представление о большом каноническом распределении. Функция распределения вероятностей в случае системы с переменным числом частиц изотермической системы, интеграл состояний для такой системы. Вычисление средних значений, среднее значение числа частиц. Статистический парциальный потенциал (параметр «мю») и его физический смысл на примере статистического равновесия двух подсистем термостата.
23. Основное тождество термодинамики (ОТД) для удельных значений энергии, энтропии и объема для системы с изменяющимся числом частиц. Вывод уравнения связи парциального потенциала как функции давления и температуры с удельным потенциалом Гиббса. Парциальный потенциал для одноатомного и двухатомного газа.
24. Фаза вещества. Роль границы раздела фаз. Условия статистического и механического равновесия двух фаз. Скрытая теплота фазового перехода первого рода. Кривая фазовая равновесия, вывод уравнение этой кривой (уравнения Клапейрона – Клаузиуса) и его анализ.

25. Фазовый переход «пар – жидкость». Вывод из уравнения Клапейрона - Клаузиуса формулы для давления равновесного насыщенного пара. Условия положения критической точки на кривой фазового равновесия. Плотность в критическом состоянии.
26. Поверхностное натяжение. Поверхностное давление. Энтропия поверхности. Энергия поверхности. Количество теплоты при обратимом изменении поверхности. Теплоёмкость единицы поверхности. Влияние поверхностного натяжения на механическое условие равновесия фаз, давление Лапласа.
27. Фазовые переходы второго рода. Понятие точки Кюри, её отличие от точек ФП 1 рода. Параметр упорядочения и минимум парциального потенциала. Вывод выражения скачка теплоёмкости. Связь скачка теплоёмкости и скачка сжимаемости.

Пример экзаменационного билета

Экзаменационный билет № 1

1. Особенности термодинамического и статистического подходов в описании макросистем. Классификации макропараметров, систем, состояний систем, процессов. Формулировки постулатов о ТД равновесии, аддитивности, о температуре, о сохранении энергии, об энтропии, теоремы Нернста.
2. Представление о каноническом распределении Гиббса. Вычисление функции распределения и фазового объема в случае изотермической системы. Функция распределения выражена через интеграл состояний, через свободную энергию. Парадокс Гиббса (для свободной энергии и энтропии). Интеграл состояний и необходимость квантовой теории.
3. Химическое равновесие газовой смеси, условие равновесия. Вывод формулы для закона действующих масс: через парциальные давления, через молярные доли. Определение постоянной закона действующих масс для случая реакции водорода и дейтерия. Связь молярных долей со степенью диссоциации. Зависимость степени диссоциации от температуры (пример спектра солнечной атмосферы).
4. Задача.

Завкафедрой

А.В. Дюндин

10 семестр

Вопросы к экзамену

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.

Задачи к экзамену

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. Вычислить плотность кристалла бромистого калия, имеющего простую кубическую структуру с постоянной $a = 6,59 \text{ \AA}$.
3. Альфа-железо (α -железо, или железо армко) имеет кубическую объёмноцентрированную структуру (ОЦК, $a = 2,86 \text{ \AA}$), а γ -железо – кубическую структуру с центрированными гранями (ГЦК, $a = 2,86 \text{ \AA}$). Как изменится плотность железа при переходе его из α - в γ -модификацию?
4. Определите максимальную энергию фононов в *электрон-вольтах* в кристалле свинца в *электрон-вольтах* (характеристическая температура равна 94 K).
5. Определить максимальную энергию фонона в кристалле, температура Дебая которого 200 K . Какое количество фононов такой энергии возбуждается в среднем при температуре 300 K ?
6. Вычислите минимальную длину волны *Дебая* в титане, если скорость распространения звука в нём 6 км/с .
7. Температура Дебая для рубидия 56 K . Вычислить его удельную теплоемкость при температурах 30 K и 300 K .
8. Вычислите удельную решёточную теплоёмкость в $\text{кал}/(\text{г}^\circ\text{град})$: 1) алмаза при температуре 30 K ; 2) кальция при температуре 100°C .

9. Определите температуру, при которой теплоёмкость электронного газа в *литии* будет равна теплоёмкости его кристаллической решётки. Характеристическая температура лития 4040 K , а концентрация свободных электронов $4,66 \cdot 10^{28}\text{ м}^{-3}$.
10. Удельная теплоёмкость молибдена при температуре 25 K равна $3,47\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Определить: 1) температуру Дебая (по значению теплоемкости); 2) максимальную частоту колебаний кристаллической решетки.
11. Сравните электронную и решёточную теплоёмкость 1 моля меди: 1) при 10 K ; 2) при комнатной температуре; 3) при 1000 K . Температура Дебая 315 K , температура Ферми 81000 K .
12. Вычислите относительный вклад (в %) электронного облака в общую теплоёмкость *серебра*: 1) при 10 K ; б) при комнатной температуре.
13. Вычислите среднюю длину свободного пробега фонона в кристалле серебра при 300 K , если коэффициент теплопроводности равен $418\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$, а скорость распространения звука – 3700 м/с .
14. При комнатной температуре средняя длина свободного пробега фононов в кристалле *хлористого натрия* в 4 раза больше постоянной его решётки, равной $5,64\text{ Å}$. Вычислите коэффициент теплопроводности этого кристалла, если скорость звука в нём 5 км/с .
15. Собственный полупроводник нагревают от 0°C до 17°C . Во сколько раз увеличилась удельная электропроводность, если ширина запрещенной зоны $0,72\text{ эВ}$?
16. Определить примесную электропроводность германия, содержащего индий с концентрацией $1 \cdot 10^{22}\text{ м}^{-3}$, подвижность примесных дырок которого $0,35\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, и мышьяк концентрацией $6 \cdot 10^{21}\text{ м}^{-3}$, подвижность примесных электронов которого $0,45\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.
17. Для электронов в алмазе, имеющих энергию на 2 эВ меньше, чем высота потенциального барьера, найти: 1) коэффициент прозрачности; 2) число ударов в единицу времени о стенку барьера; 3) время жизни около узла решётки.
18. Вычислите энергию Ферми в кристалле: 1) *меди* (плотность $8,9 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$, атомная масса $63,5\text{ а. е. м.}$); 2) *калия* (плотность $8,9 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$, атомная масса 39 а. е. м.). Сравните эту энергию с комнатной.
19. Определите, какая часть электронов проводимости в металле имеет кинетическую энергию большую, чем $0,5 \cdot W_F$: 1) при 0 K ; 2) при комнатной температуре 300 K ; 3) при 1000 K .
20. Работа выхода электрона из цезия $1,8\text{ эВ}$. На сколько процентов увеличилась плотность тока насыщения при повышении температуры от 2000 K до 2100 K при термоэлектронной эмиссии?
21. В вакуумном диоде увеличили анодное напряжение в 2 раза в области, далекой от насыщения. Во сколько раз увеличился анодный ток?
22. Определите работу выхода электронов из медного катода, если его температура 2000 K , эмиссионная постоянная равна $6 \cdot 10^5\text{ А}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^2)$, плотность тока насыщения равна $3,64\text{ мА/м}^2$. Изобразить вольтамперную характеристику.
23. В вакуумном диоде на катоде из цезия адсорбированы атомы вольфрама. Температура катода равна 2700 K , а работа выхода – $1,36\text{ эВ}$. Определите эмиссионную постоянную катода, если ток насыщения достигает 167 мА .
24. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла 500 нм . Определить: работу выхода фотоэлектронов; максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых фиолетовым светом с длиной волны 400 нм .

Пример экзаменационного билета

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

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, 2021. — 311 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03481-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/469608>.
2. Лукашевич, Н. К. Теоретическая механика : учебник для вузов / Н. К. Лукашевич. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 266 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-02524-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471234>.
3. Халилов, В. Р. Теоретическая механика: динамика классических систем : учебное пособие для вузов / В. Р. Халилов, Г. А. Чижев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 344 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09093-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472415>.

8 семестр

1. Кузнецов, С. И. Курс лекций по физике. Классическая и релятивистская механика : учебное пособие для вузов / С. И. Кузнецов, Л. И. Семкина. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 183 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-7056-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470191>.
2. Вергелес, С. Н. Теоретическая физика. Общая теория относительности : учебник для вузов / С. Н. Вергелес. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 190 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03243-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471683>.
3. Гершанок, В. А. Теория поля : учебник для бакалавров / В. А. Гершанок, Н. И. Дергачев. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 278 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-1579-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425273>.
4. Давыдов, В. В. Физика: механика, электричество и магнетизм : учебное пособие для вузов / В. В. Давыдов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 169 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05013-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/473272>.

9 семестр

1. Ефремов, Ю. С. Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 209 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05152-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472899>.
2. Бондарев, Б. В. Курс общей физики в 3 кн. Книга 3: термодинамика, статистическая физика, строение вещества : учебник для бакалавров / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 369 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-1755-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425491>.
3. Замураев, В. П. Молекулярная физика. Задачи : учебное пособие для вузов / В. П. Замураев, А. П. Калинина. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 189 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08229-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/474672>.

10 семестр

10 семестр

1. *Винтайкин Б.Е.* Физика твердого тела : учебное пособие / Винтайкин Б.Е.. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2008. — 358 с. — ISBN 5-7038-2459-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/104597.html>
2. *Шевченко, О. Ю.* Основы физики твердого тела : учебное пособие / О. Ю. Шевченко. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2010. — 77 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/67512.html>
3. *Чернышев, А. П.* Введение в физику твердого тела и нанофизику. Специальный курс физики. Конспект лекций : учебное пособие / А. П. Чернышев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 88 с. — ISBN 978-5-7782-4048-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99170.html>
4. *Сарина, М. П.* Физика твердого тела : учебное пособие / М. П. Сарина. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 107 с. — ISBN 978-5-7782-3319-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91466.html>
5. *Ушакова, Е. В.* Введение в физику твердого тела. Конспект лекций : учебное пособие / Е. В. Ушакова. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. — 100 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/65817.html>
6. *Грищенко, И. В.* Обучающие тесты по физике. Часть 3. Молекулярная Физика. Основы квантовой механики. Атомная физика. Физика твердого тела. Ядерная физика : практикум для самостоятельной работы студентов / И. В. Грищенко, Т. Ю. Пинегина. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2009. — 51 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/55453.htm>

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. Летагин ; под редакцией В. З. Гребенкина, Р. П. Заднепровского. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 390 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-5953-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489571>.
2. Журавлев, Е. А. Теоретическая механика. Курс лекций : учебное пособие для вузов / Е. А. Журавлев. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 140 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10079-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492780>.
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, 2022. — 168 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13208-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/495014>.
4. Чуркин, В. М. Теоретическая механика в решениях задач. Кинематика : учебное пособие для вузов / В. М. Чуркин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 386 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04644-1. — Текст :

электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492804>.

5. Селюк Б.В. Задачи по классической механике / Б. В. Селюк. — Смоленск: СГПУ, 2005.— 76 с.
6. Селюк Б.В. Классическая механика. / Б.В. Селюк. — Смоленск: Издательство СмолГУ, 2007. — 69 с.
7. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики : учебник для студ. вузов / С. М. Тарг .— 19 - е изд., стер .— М. : Высшая школа, 2009 .— 416 с.
8. Яблонский А.А. Курс теоретической механики: Статика. Кинематика. Динамика: учебник для студентов вузов по техн. специальностям / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова .— 15-е изд., стер .— М. : Кнорус, 2010 .

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, 2022. — 262 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01663-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/491091>.
2. Гладков, С. О. Теоретическая и математическая физика. Сборник задач в 2 ч. Часть 1 : учебное пособие для вузов / С. О. Гладков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 241 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00000-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492205>.
3. Матвеев А.Н. Электродинамика и теория относительности. М.: Высшая школа, 1980. — 424 с.
4. Измайлов С.В. Курс электродинамики, Учебник для физико-математических факультетов педагогических институтов. — М.: Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР, 1962. — 439 с.
5. Парселл Э. Курс физики. Электричество и магнетизм. Серия: Берклевский курс физики. В 5 томах. — М.: Наука: 1971. — 446 с.

9 семестр

1. Белов, Г. В. Термодинамика в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для вузов / Г. В. Белов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 264 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05093-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470717>
2. Белов, Г. В. Термодинамика в 2 ч. Часть 2 : учебник и практикум для вузов / Г. В. Белов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 248 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05094-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470720>
3. Бухарова, Г. Д. Молекулярная физика и термодинамика. Методика преподавания : учебное пособие для вузов / Г. Д. Бухарова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 221 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09388-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470977>
4. Бобошина, С. Б. Физика. Тепловые процессы : учебное пособие для вузов / С. Б. Бобошина, Г. Н. Измайлов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 118 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08814-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472941>

10 семестр

1. Бондарев, Б. В. Курс общей физики в 3 кн. Книга 3: термодинамика, статистическая физика, строение вещества : учебник для бакалавров / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. Только главы: 10, 11, 12, 13. — 2-е изд. — Москва : Изда-

- тельство Юрайт, 2019. — 369 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-1755-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425491>
2. Бондаренко, Г. Г. Материаловедение : учебник для вузов / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко. Главы 2, 4 - 12 — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 327 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07090-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/449935>
3. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; под редакцией Л. А. Алешина. — Москва : Техносфера, 2012. — 560 с. — ISBN 978-5-94836-327-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/26903.html>
4. Кащенко А.П. Физика твердого тела. Физика ядра. Ядерные реакции : методические указания к практическим занятиям и домашним заданиям по дисциплинам: «Взаимодействие излучения с веществом», «Теоретическая физика», «Физические свойства твердых тел» / Кащенко А.П., Строковский Г.С., Шарапов С.И.. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 20 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/55674.html>
5. Квантовые и оптические процессы в твердых телах : теория и практика. Учебное пособие / Н. Н. Безрядин, А. В. Линник, Ю. В. Сыновров [и др.] ; под редакцией Н. Н. Безрядин. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2015. — 152 с. — ISBN 978-5-00032-108-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/50632.html>
6. Материаловедение и технология материалов в 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. Только Раздел 1, Глава 1 — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 386 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-06770-5. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/434496>
7. Разумовская, И. В. Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки / И. В. Разумовская. — Москва : Прометей, 2011. — 64 с. — ISBN 978-5-4263-0032-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/9611.html>
8. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 463 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-0808-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425163>
9. Штыгашев, А. А. Задачи по физике: электромагнетизм; электромагнитные волны; волновая и квантовая оптика; элементы квантовой физики и физики твердого тела; элементы ядерной физики : учебное пособие / А. А. Штыгашев, Ю. Г. Пейсахович. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 228 с. — ISBN 978-5-7782-3853-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99180.html>

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 тео-

ретиической электродинамике;

- <https://mipt.ru/online/molekulyarnaya-i-biologicheskaya-fizika/lektsii-po-statisticheskoy-termodynamike-kalashnikov-a-d-osen-2020.php> – видеолекции по статистической физике;
- <https://elib.spbstu.ru/dl/2/5076.pdf/download/5076.pdf> – курс лекций по физике твердого тела.

8. Материально-техническое обеспечение

Аудитория для проведения лекционных занятий 423 уч. к. 2 со следующим оборудованием:

- доска размерами не менее 3х1.5 м.

Аудитория для проведения практических занятий 423 уч. к. 2 со следующим оборудованием:

- доска размерами не менее 3х1.5 м.
-

9. Программное обеспечение

Пакет программ MicrosoftOffice.