

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
образования Российской Федерации  
филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Российский государственный университет нефти и газа (национальный  
исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина» в г. Оренбурге  
(филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге)

М.В. Завалий, А.И. Акимов

**Сборник методических указаний  
по самостоятельной работе студентов**

для выполнения контрольной работы по физике  
для студентов заочной формы обучения  
направлений подготовки:

**21.03.01 Нефтегазовое дело,**

**15.03.02 Технологические машины и оборудование,**

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

**18.03.01 Химическая технология**

**38.03.02 «Менеджмент»**

УДК 530.1  
ББК 22.31

**Составитель:** к.ф.-м. н., доцент М.В. Завалий, к.т.н., доцент А.И. Акимов

Физика методические указания для выполнения контрольных работ по физике для студентов заочной обучения направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело, профили подготовки «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи газа, газоконденсата и подземных хранилищ», «Бурение нефтяных и газовых скважин», «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти», «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки», направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, профиль подготовки «Оборудование нефтегазопереработки», направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, профиль подготовки «Системы и средства автоматизации технологических процессов», направлений подготовки 18.03.01 Химическая технология; 38.03.02 «Менеджмент» / М.В. Завалий, А.И. Акимов. – Оренбург: филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге. – 2018, – 36 с.

Рассмотрено на заседании отделения ЭГиЕНД  
Протокол № 11 от «15» мая 2018 г.

Рекомендовано к изданию Ученым советом филиала РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге. Протокол № 13 от сентября 2018г.

Издано в авторской редакции

© Завалий М.В., Акимов А.И., 2018.  
© Филиал РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, 2018

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основной формой обучения студента-заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы кафедра физики организует чтение лекция, практические занятия и лабораторные работы. Поэтому процесс изучения физики состоит из следующих этапов:

- 1) проработка установочных и обзорных лекций;
- 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
- 3) выполнение контрольных работ;
- 4) прохождение лабораторного практикума;
- 5) сдача зачетов и экзаменов.

Контрольные работы расположены следующим образом:

1 - физические основы механики, молекулярной физики и термодинамики; 2 - физические основы электродинамики волновая оптика; 3- квантовая природа излучения элементы квантовой механики, атомной и ядерной физики.

Вариант задания контрольной работы определяется в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки. Если, например, последняя цифра 5, то в контрольных работах студент решает задачи: 5, 15, 25, 35, 45, 55.

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. указывать на титульном листе номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес;
2. контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний рецензента;
3. задачу своего варианта переписывать полностью, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые величины должны быть переведены в одну систему единиц;
4. для пояснения решения задачи там, где это нужно, аккуратно сделать чертеж;
5. решение задачи и используемые формулы должны сопровождаться пояснениями;
6. в пояснениях к задаче необходимо указывать те основные законы и формулы, на которых базируется решение данной задачи;
7. при получении расчетной формулы для решения конкретной задачи приводить ее вывод;
8. задачу рекомендуется решить сначала в общем виде, т.е. только в буквенных обозначениях, поясняя применяемые при написании формул буквенные обозначения.
9. вычисления следует проводить с помощью подстановки заданных числовых величин в расчетную формулу. Все необходимые числовые значения величин должны быть выражены в СИ (см. справочные материалы);
10. проверить единицы полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность;
11. константы физических величин и другие справочные данные

выбирать из таблиц;

12. при вычислениях по возможности использовать микрокалькулятор, точность расчета определять числом значащих цифр исходных данных;

13. в контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач.

Контрольные работ, оформленные без соблюдения указанных правил, а также работы, выполненные не по своему варианту, не зачитывают.

## ЛИТЕРАТУРА:

### *а) основная литература*

1. Термодинамика. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: учебник/ Ташлыкова-Бушкевич И.И.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2014.— 304 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/35562>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
2. Ташлыкова-Бушкевич И.И. Физика. Часть 1. [Электронный ресурс]: учебник/ Ташлыкова-Бушкевич И.И.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2014.— 345 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/35563>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
3. Михайлов М.А. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Михайлов М.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Прометей, 2011.— 94 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8306>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

### *б) дополнительная литература*

1. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики.-М.: Наука,2002
2. Савельев И.В. Курс общей физики.-М.: Наука,1989, т.1-3.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб.пособие для вузов.-М.: Высш. школа, 1999
4. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики.: Учеб.пособие для вузов.- М.: Высш. школа, 1999
5. Стрелков С.П. Механика.- Наука,1975
6. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976
7. Калашников С.Т. Электричество.-М.: Наука,1977
8. Орир Д. Физика. – Мю: Мир, 1981, т. 1-2
9. Иродов И.Е. Задачи по общей физики.-М.: Наука,1979
10. Чертов А.Г., Воробьев А.А., Федоров О.Ф. Задачник по физики.-М.: Высш. школа.1981
11. Киттель Ч., Найт У., Рудерман М., Парселл Э., Крауфорд Ф., Вихман Э., Рейф Ф. Берклеевский курс физики. – М.: Наука, 1971 – 1974, т. 1 – 5.
12. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики.-М., 1969, Т.1-3
13. Детлаф А.А., Мюрский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики.-М.: Высш.

школа, 1979. Т.1-3

14. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – М.: Наука, 1979 – 1989, т. 1 –5.

## **СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Важнейшие этапы истории физики. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Общая структура и задачи курса физики. Размерность физических величин. Основные единицы физических величин в СИ.

## **1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ.**

Предмет механики. Кинематика и динамика. Классическая механика. Квантовая механика. Релятивистская механика.

### **1.1. ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ.**

Физические модели: материальная точка (частица), система материальных точек, абсолютно твёрдое тело, сплошная среда. Пространство и время. Кинематическое описание движения. Прямолинейное движение точки. Движение точки по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Степени свободы и обобщённые координаты. Число степеней свободы абсолютно твёрдого тела. Вектор угловой скорости. Кинематическое описание движения жидкости.

### **1.2. ДИНАМИКА ЧАСТИЦ.**

Основная задача динамики. Понятие состояния в классической механике. Уравнения движения. Масса и импульс. Границы применимости классического способа описания движения частицы. Первый закон Ньютона как уравнение движения. Сила как производная импульса. Третий закон Ньютона, закон сохранения импульса. Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции.

### **1.3. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА**

Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы. Реактивное движение. Центр инерции.

### **1.4. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА.**

Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Момент силы. Уравнение моментов. Движение в центральном поле.

### **1.5. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ.**

Работа и кинетическая энергия. Мощность» Энергия движения тела как целого. Внутренняя энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии. Законы сохранения и симметрия пространства и времени.

### **1.6. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В МЕХАНИКЕ**

Инерциальные системы отсчета и принцип относительности. Преобразование Галилея. Постулаты специальной теории относительности. Преобразование Лоренца. Следствия из преобразования Лоренца: сокращение движущихся масштабов длины, замедление движущихся часов, закон сложения скоростей.

### **1.7. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИНАМИКИ.**

Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы. Работа и энергия. Инвариантность уравнения движения относительно

преобразования Лоренца. Законы сохранения энергии и импульса.

### 1.8. ТВЕРДОЕ ТЕЛО В МЕХАНИКЕ.

Уравнения движения и равновесия твердого тела. Энергия движущегося тела. Момент инерции тела относительно оси. Вращательный момент.

### 1.9. ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД.

Общие свойства жидкостей и газов. Уравнения равновесия и движения жидкости. Идеальная и вязкая жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Стационарное движение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли. Гидродинамика вязкой жидкости. Коэффициент вязкости. Течение по трубе. Формула Пуазейля. Закон подобия. Формула Стокса. Турбулентность.



## **2. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

Динамические и статистические закономерности в физике. Статистический и термодинамический методы.

### **2.1. МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ.**

Тепловое движение. Макроскопические параметры. Уравнение состояния. Внутренняя энергия. Интенсивные и экстенсивные параметры. Уравнение состояния идеального газа. Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Молекулярно-кинетический смысл температуры.

### **2.2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ.**

Вероятность и флуктуации. Распределение Максвелла. Распределение частиц по абсолютным значениям скорости. Средняя кинетическая энергия частиц, Скорости теплового движения частиц. Распределение Больцмана. Теплоемкость многоатомных газов. Недостаточность классической теории теплоемкостей. Определение энтропии неравновесной системы через статистический вес состояния. Принцип возрастания энтропии.

### **2.3. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ.**

Обратимые и необратимые тепловые процессы. Первое начало термодинамики. Энтропия. Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Максимальный КПД тепловой машины.

### **2.4. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА.**

Понятие о физической кинетике. Время релаксации. Эффективное сечение рассеяния. Диффузия и теплопроводность. Коэффициент диффузии. Коэффициент теплопроводности. Температуропроводность. Время выравнивания. Диффузия в газах и твердых телах. Вязкость. Коэффициент вязкости газов и жидкостей. Динамическая и кинематическая вязкости.

### **2.5. ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ**

Фазы и фазовые превращения. Условие равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Критическая точка. Метастабильные состояния. Тройная точка. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Фазовые переходы второго рода.

### 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Предмет классической электродинамики. Идея близкодействия. Электрический заряд и напряженность электрического поля. Дискретность заряда.

#### 3.1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Закон Кулона. Принцип суперпозиции. Электрический диполь. Поток вектора. Электростатическая теорема Гаусса. Работа электростатического поля. Циркуляция электростатического поля. Потенциал. Связь потенциала с напряженностью электростатического поля. Проводник в электростатическом поле. Поверхностная плотность заряда. Граничные условия на границе "проводник-вакуум". Электростатическое поле в полости. Электростатическая емкость. Емкость конденсаторов. Электростатическая индукция. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия системы заряженных проводников. Энергия конденсатора. Плотность энергии электростатического поля.

#### 3.2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Условие существования тока. Законы Ома и Джоуля-Ленца в дифференциальной форме. Сторонние силы. ЭДС гальванического элемента. Закон Ома для участка цепи с гальваническим элементом. Правила Кирхгофа. Электрический ток в сплошной среде.

#### 3.3. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Электрический ток в вакууме. Термоэлектронная эмиссия. Электрический ток в газе. Процессы ионизации и рекомбинации. Электропроводность слабоионизированных газов. Понятие о плазме. Плазменная частота. Дебаевская длина. Электропроводность плазмы.

#### 3.4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Сила Лоренца и сила Ампера. Вектор магнитной индукции. Основные уравнения магнитостатики в вакууме. Магнитное поле простейших систем. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Виток с током в магнитном поле. Энергия витка с током во внешнем магнитном поле. Рамка с током в однородном магнитном поле. Момент сил, действующий на рамку. Индуктивность длинного соленоида. Взаимная индукция. Закон Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции. Магнитное поле кругового тока. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Магнитная энергия тока. Плотность магнитной энергии.

#### 3.5. СТАТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ВЕЩЕСТВЕ

Плоский конденсатор с диэлектриком. Энергия диполя во внешнем электростатическом поле. Поляризационные заряды. Поляризованность. Неоднородная поляризованность. Электрическое смещение. Основные уравнения электростатики диэлектриков. Граничные условия на границе раздела "диэлектрик-диэлектрик" и "проводник-диэлектрик". Плотность

энергии электростатического поля в диэлектрике. Длинный соленоид с магнетиком. Молекулярные токи. Намагниченность. Неоднородная намагниченность. Напряженность магнитного поля. Основные уравнения магнетостатики в веществе. Граничные условия.

### 3.6. УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Фарадеевская и максвелловская трактовка явления электромагнитной индукции. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Скорость распространения электромагнитных возмущений. Волновое уравнение. Плотность энергии. Плотность потока энергии.

### 3.7. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Инвариантность уравнений Максвелла относительно преобразования Лоренца. Релятивистское преобразование полей, зарядов и токов. Относительность магнитных и электрических полей.

### 3.8. КВАЗИСТАЦИОНАРНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Условие малости токов смещения. Токи Фуко. Квазистационарные явления в линейных проводниках. Установление и исчезновение тока в цепи. Генератор переменного тока. Импеданс. Цепи переменного тока. Движение в магнитном поле

## 4. ФИЗИКА КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН

Понятие о колебательных процессах. Единый подход к колебаниям различной физической природы.

### 4.1. КИНЕМАТИКА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Амплитуда, циклическая частота, фаза гармонических колебаний. Сложение скалярных и векторных колебаний. Комплексная форма представления колебаний. Векторные диаграммы.

### 4.2. ГАРМОНИЧЕСКИЙ ОСЦИЛЛЯТОР

Маятник, груз на пружине, колебательный контур. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность. Энергетические соотношения для осциллятора. Понятие о связанных осцилляторах. Действие периодических толчков на гармонический осциллятор. Резонанс. Осциллятор как спектральный прибор. Физический смысл спектрального разложения. Модулированные колебания. Вынужденные колебания осциллятора под действием синусоидальной силы.

Амплитуда и фаза при вынужденных колебаниях. Резонансные кривые. Процесс установления колебаний. Время установления и его связь с добротностью. Вынужденные колебания в электрических цепях. Параметрические колебания осциллятора.

### 4.3. ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Волны. Плоская стационарная волна. Плоская синусоидная волна. Бегущие и стоячие волны. Фазовая скорость, длина волны, волновое число. Эффект Доплера. Скалярные и векторные волны. Поляризация. Интерференция синусоидальных волн. Распространение волн в средах с дисперсией. Групповая скорость и ее связь с фазовой скоростью. Нормальная и аномальная дисперсии. Одномерное волновое уравнение. Продольные волны в твердом теле. Вектор Умова. Упругие волны в газах и жидкостях. Плоские электромагнитные волны. Поляризация волн. Вектор Пойнтинга. Излучение диполя. Сферические и цилиндрические волны.

### 4.4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Интерференция монохроматических волн. Квазимонохроматические волны. Интерференция квазимонохроматических волн. Интерферометры. Временное и спектральное рассмотрение интерференционных явлений.

### 4.5. ДИФРАКЦИЯ ВОЛН

Принцип Гюйгенса-Френеля. Приближение Френеля. Дифракция Френеля. Приближение Фраунгофера. Простые задачи дифракции: дифракция на одной и на многих щелях. Дифракционная решетка. Дифракция на круглом отверстии. Дифракция Фраунгофера и спектральное разложение. Принцип голографии.

### 4.6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВЕЩЕСТВЕ

Распространение света в веществе. Дисперсия диэлектрической

проницаемости. Поглощение света. Прозрачные среды. Поляризация волн при отражении. Элементы кристаллооптики. Электрооптические и магнитооптические явления.

## 5. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Противоречия классической физики. Проблемы излучения черного тела. Фотоэлектрический эффект, стабильность и размеры атома. Открытие постоянной Планка.

### 5.1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ИДЕЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Обоснование идей квантования (дискретности): опыты Франка и Герца, опыты Штерна и Герлаха. Правило частот Бора. Линейчатые спектры атомов. Принцип соответствия.

### 5.2. ФОТОНЫ

Энергия и импульс световых квантов. Фотоэффект. Эффект Комптона. Образование и аннигиляция, электронно-позитронных пар. Элементарная квантовая теория излучения. Вынужденное и спонтанное излучения фотонов. Коэффициенты Эйнштейна. Тепловое равновесное излучение.

### 5.3. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Дифракция нейтронов. Микрочастица в двухщелевом интерферометре. Соотношения неопределенностей. Оценка основного состояния атома водорода и энергии нулевых колебаний осциллятора. Объяснение туннельного эффекта и устойчивости атома. Волновые свойства микрочастиц и соотношения неопределенностей. Набора одновременно измеримых величин.

### 5.4. КВАНТОВОЕ СОСТОЯНИЕ

Задание состояния микрочастиц; волновая функция; ее статистический смысл. Суперпозиция состояний в квантовой теории. Амплитуда вероятностей.

### 5.5. УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА

Временное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Стационарное состояние. Частица в одномерной прямоугольной яме. Прохождение частицы над и под барьером. Гармонический осциллятор.

### 5.6. АТОМ

Частица в сферически симметричном поле. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Потенциалы возбуждения и ионизации. Спектры водородоподобных атомов. Пространственное распределение электрона в атоме водорода. Ширина уровней. Структура электронных уровней в сложных атомах. Типы связи электронов в атомах. Принцип Паули. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.

### 5.7. МОЛЕКУЛА

Молекула водорода. Обменное взаимодействие. Физическая природа химической связи. Ионная и ковалентная связи. Электронные термы двухатомной молекулы. Колебания и вращения двухатомной молекулы. Колебательная и

вращательная структура термов. Колебания многоатомных молекул. Молекулярные спектры.

## 5.8. АТОМНОЕ ЯДРО

Строение атомных ядер. Феноменологические модели, ядра. Ядерные реакции. Механизмы ядерных реакций. Радиоактивные превращения атомных ядер. Реакция ядерного деления. Цепная реакция деления. Ядерный реактор. Проблема источников энергии. Термоядерные реакции. Энергия звезд. Управляемый термоядерный синтез.

## 5.9. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Коэффициенты Эйнштейна для индуцированных переходов в двухуровневой системе. Принцип работы квантового генератора. Твердотельные и газоразрядные лазеры. Радиоспектроскопия. Первый лазер. Первый мазер.

## 5.10. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ

Статистическое описание квантовой системы. Различие между квантово-механической и статистической вероятностями. Теорема Нернста и ее следствия. Симметрия волновой функции многих одинаковых частиц. Квантовые идеальные газы. Распределения Бозе и Ферми.

## 5.11. КОНДЕНСИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Строение кристаллов. Исследование кристаллических структур методами рентгено-, электроно-, нейтронографии. Точечные дефекты в кристаллах: вакансии, примеси внедрения, примеси замещения. Краевые и винтовые дислокации. Дислокация и пластичность.

Понятие о фононах. Теплоемкость кристаллов при низких и высоких температурах. Решеточная теплопроводность. Эффект Мессбауэра и его применение.

Электропроводность металлов. Носители тока в металлах. Недостаточность классической электронной теории. Электронный ферми-газ в металле, Электронная теплоемкость. Элементы зонной теории кристаллов. Зонная структура энергетического спектра электронов. Уровень Ферми. Поверхность Ферми. Число электронных состояний в зоне. Заполнение зон; металлы, диэлектрики, полупроводники. Понятие дырочной проводимости. Собственные и примесные полупроводники.

Явление сверхпроводимости. Сверхпроводники первого и второго рода. Высокотемпературная сверхпроводимость. Эффект Джозефсона и его применение.

Магнетики. Пара-, диа-, ферро- и антиферро магнетики. Доменная структура. техническая кривая намагничивания. Ферриты.

## **6. СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА**

Вещество и поле. Атомно-молекулярное строение вещества. Атомное ядро. Кварки. Элементарные частицы: лептоны, адроны. Взаимопревращения частиц. Сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное взаимодействия. Иерархия взаимодействий. О единых теориях материи. Физическая картина мира как философская категория.



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

1. Под действием какой силы при прямолинейном движении тела изменение его координаты со временем происходит по закону  $x=10+5t-10t^2$ ? Масса тела 2 кг.

2. Найти закон движения тела массой 1 кг под действием постоянной силы 10Н, если в момент  $t=0$  тело покоилось в начале координат ( $x = 0$ ).

3. Найти закон движения тела массой 1 кг под действием постоянной силы 1Н, если в момент  $t = 0$  начальная координата  $x = 0$  и  $v_0 = 5$  м/с.

4. Найти закон движения тела массой 1 кг под действием постоянной силы 2Н, если в момент  $t = 0$  имеем  $x_0 = 1$  и  $v_0 = 2$  м/с.

5. Тело массой 2 кг движется с ускорением, изменяющимся по закону  $a = 5t - 10$ . Определить силу, действующую на тело через 5 с после начала действия, и скорость в конце пятой секунды.

6. Сплошной шар массой 1 кг и радиусом 5 см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Закон вращения шара выражается уравнением  $\varphi = 10 + 5t - 2t^2$ . В точке, наиболее удаленной от оси вращения, на шар действует вила, касательная к поверхности. Определить эту силу и тормозящий момент.

7. Автомобиль движется по закруглению шоссе, имеющему радиус кривизны 100 м. Закон движения автомобиля выражается уравнением  $s = 100 + 10t - 0,5t^2$ . Найти скорость автомобиля, его тангенциальное, нормальное и полное ускорение в конце пятой секунды.

8. Материальная точка движется по окружности, радиус которой 20 м. Зависимость пути, пройденного точкой, от времени выражается уравнением  $s = t^3 + 4t^2 - t + 8$ . Определить пройденный путь, угловую скорость и угловое ускорение точки через 3 с от начала ее движения.

9. Материальная точка движется по окружности радиуса 1 м согласно уравнению  $s = 8t - 0,2t^3$ . Найти скорость, тангенциальное, нормальное и полное уравнение в момент времени 3 с.

10. Тело вращается равноускоренно с начальной угловой скоростью  $5\text{с}^{-1}$  и угловым ускорением  $1\text{с}^{-2}$ . Сколько оборотов сделает тело за 10 с?

11. Сплошной цилиндр массой 0,1 кг катится без скольжения с постоянной скоростью 4 м/с. Определить кинетическую энергию цилиндра, время до его остановки, если на него действует сила трения 0,1Н.

12. Сплошной шар скатывается по наклонной плоскости, длина которой 1 м. и угол наклона  $30^\circ$ . Определить скорость шара в конце наклонной плоскости. Трение шара о плоскость не учитывать.

13. Полный цилиндр массой 1 кг катится по горизонтальной поверхности со скоростью 10 м/с. Определить силу, которую необходимо приложить к цилиндру, чтобы остановить его на пути 2 м.

14. Маховик, имеющий форму диска массой 10 кг и радиусом 0,1 м., был раскручен до частоты  $120\text{ мин}^{-1}$ . Под действием силы трения диск остановился через 10 с. Найти момент силы трения, считая его постоянным.

15. Обруч и диск скатываются с наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Чему равны их ускорения в конце спуска? Силой трения

пренебречь.

**16.** С покоящимся шаром массой 2 кг сталкивается такой же шар, движущийся со скоростью 1 м/с. Вычислить работу, совершенную вследствие деформации при прямом центральном неупругом ударе.

**17.** Масса снаряда 10 кг, масса ствола орудия 500 кг. При выстреле снаряд получает кинетическую энергию  $1,5 \cdot 10^6$  Дж. Какую кинетическую энергию получает ствол орудия вследствие отдачи?

**18.** Конькобежец массой 60 кг, стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой 2 кг со скоростью 10 м/с. На какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения коньков о лед 0,02.

**19.** Молекула водорода, двигающаяся со скоростью 400 м/с, подлетает к стенке сосуда под углом  $60^\circ$  и упруго ударяется о нее. Определить импульс, полученный стенкой. Принять массу молекул равной  $3 \cdot 10^{-27}$  кг.

**20.** Стальной шарик массой 50 г упал с высоты 1 м на большую плиту, передав ее импульс силы, равный  $0,27 \text{ Н} \cdot \text{с}$ . Определить количество теплоты, выделившейся при ударе, и высоту, на которую поднимается шарик.

**21.** С какой скоростью движется электрон, если его кинетическая энергия  $1,02 \text{ МэВ}$ ? Определить импульс электрона.

**22.** Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Какова скорость этой частицы?

**23.** Масса движущегося протона  $2,5 \cdot 10^{-27}$  кг. Найти скорость и кинетическую энергию протона.

**24.** Протон прошел ускоряющую разность потенциалов в 200 МВ. Во сколько раз его релятивистская масса больше массы покоя? Чему равна скорость протона?

**25.** Определить скорость электрона, если его релятивистская масса в три раза больше массы покоя. Вычислить кинетическую и полную энергию электрона.

**26.** Вычислить скорость, полную и кинетическую энергию протона в тот момент, когда его масса равна массе покоя  $\alpha$ -частицы.

**27.** Найти импульс, полную и кинетическую энергию электрона, движущегося со скоростью, равной  $0,7 \text{ с}$ .

**28.** Протон и  $\alpha$ -частица проходят одинаковую ускоряющую разность потенциалов, после чего масса протона составила половину массы покоя  $\alpha$ -частицы. Определить разность потенциалов.

**29.** Найти импульс, полную и кинетическую энергию нейтрона, движущегося со скоростью  $0,6 \text{ с}$ .

**30.** Во сколько раз масса движущегося дейтрона больше массы движущегося электрона, если их скорости соответственно равны  $0,6 \text{ с}$  и  $0,9 \text{ с}$ . Чему равны их кинетические энергии?

**31.** Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в  $0,20 \text{ г}$  водорода при температуре  $27^\circ \text{C}$ .

**32.** Давление идеального газа  $10 \text{ МПа}$ , концентрация молекул  $8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной

молекулы и температуру газа.

**33.** Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы аргона и водяного пара при температуре 500К.

**34.** Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа равна  $15 \cdot 10^{-21}$  Дж. Концентрация молекул равна  $9 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. Определить давление газа.

**35.** В баллоне емкостью 50 л находится сжатый водород при 27°C. После того, как часть воздуха выпустили, давление понизилось на  $1 \cdot 10^5$  Па. Определить массу выпущенного водорода. Процесс считать изотермическим.

**36.** В сосуде, имеющем форму шара, радиус которого 0,1 м, находится 56 г. азота. До какой температуры можно нагреть сосуд, если его стенки выдерживают давление  $5 \cdot 10^5$  Па?

**37.** При температуре 300К и давлении  $1,2 \cdot 10^5$  Па плотность смеси водорода и азота 1 кг/м<sup>3</sup>. Определить молярную массу смеси.

**38.** В баллоне емкостью 0,8 м<sup>3</sup> находится 2 кг водорода и 2,9 кг азота. Определить давление смеси, если температура окружающей среды 27°C.

**39.** До какой температуры можно нагреть запаянный сосуд, содержащий 36 г воды, чтобы он не разорвался, если известно, что стенки сосуда выдерживают давление  $5 \cdot 10^6$  Па. Объем сосуда 0,5 л.

**40.** При температуре 27°C и давлении  $10^6$  Па плотность смеси кислорода и азота 15 г/дм<sup>3</sup>. Определить молярную массу смеси.

**41.** Определить, какое количество теплоты необходимо сообщить аргону массой 400 г, чтобы нагреть его на 100 К: а) при постоянном объеме; б) при постоянном давлении.

**42.** Во сколько раз увеличится объем 2 молей кислорода при изотермическом расширении при температуре 300К, если при этом газу сообщили 4 кДж теплоты.

**43.** Какое количество теплоты нужно сообщить 2 молям воздуха, чтобы он совершил работу в 1000 Дж: а) при изотермическом процессе; б) при изобарическом процессе.

**44.** Найти работу и изменение внутренней энергии при адиабатном расширении 28 г. азота, если его объем увеличился в два раза. Начальная температура азота 27°C.

**45.** Кислород, занимающий объем 10 л. и находящийся под давлением  $2 \cdot 10^5$  Па, адиабатно сжат до объема 2 л. Найти работу сжатия и изменение внутренней энергии кислорода.

**46.** Определить количество теплоты, сообщенное 88 г. углекислого газа, если он был изобарически нагрет от 300К до 350К. Какую работу при этом может совершить газ и как изменится его внутренняя энергия?

**47.** При каком процессе выгоднее производить расширение воздуха: изобарическом или изотермическом, если объем увеличивается в пять раз. начальная температура газа в обоих случаях одинаковая.

**48.** При каком процессе выгоднее производить нагревание 2 молей аргона на 100К: а) изобарическом; б) изохорическом.

**49.** Азоту массой 20 г. при изобарическом нагревании сообщили 3116 Дж

теплоты. Как изменилась температура и внутренняя энергия газа?

**50.** При изотермическом расширении одного моля водорода была затрачена теплота 4 кДж, при этом объем водорода увеличился в пять раз. При какой температуре протекает процесс? Чему равно изменение внутренней энергии газа, какую работу совершает газ?

**51.** Определить изменение энтропии 14 г. азота при изобарном нагревании его от  $27^{\circ}\text{C}$  до  $127^{\circ}\text{C}$ .

**52.** Как изменится энтропия 2 молей углекислого газа при изотермическом расширении, если объем газа увеличивается в четыре раза.

**53.** Совершая цикл Карно, газ отдал холодильнику 25% теплоты, полученной от нагревателя. Определить температуру холодильника, если температура нагревателя 400К.

**54.** Тепловая машина работает по циклу Карно, к.п.д. которого 0,4. Каков будет к.п.д. этой машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении?

**55.** Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, к.п.д. которого 400%. Каков будет к.п.д. этой машины, если она работает по прямому циклу Карно.

**56.** При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу 1000 Дж. Температура нагревателя 500К, температура холодильника 300К. Определить количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя.

**57.** Найти изменение энтропии при нагревании 2 кг. воды от 0 до  $100^{\circ}\text{C}$  и последующем превращении ее в пар при той же температуре.

**58.** Найти изменение энтропии при плавлении 2 кг. свинца и дальнейшем его охлаждении от  $327$  до  $0^{\circ}\text{C}$ .

**59.** Определить изменение энтропии, происходящее при смешивании 2 кг. воды, находящихся при температуре 300К, и 4 кг. воды при температуре 370К.

**60.** Лед массой 1 кг, находящийся при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , нагревают до температуры  $57^{\circ}\text{C}$ . Определить изменение энтропии.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

1. В вершинах квадрата со стороной 0,1 м. расположены равные одноименные заряды. Потенциал создаваемого ими поля в центре квадрата равен 500 В. определить заряд.

2. В вершинах квадрата со стороной 0,5 м. расположены заряды одинаковой величины. В случае, когда два соседних заряда положительные, а два других - отрицательные, напряженность поля в центре квадрата равна 144 В/м. определить заряд.

3. В вершинах квадрата со стороной 0,1 м. помещены заряды по 0,1 нКл. Определить напряженность и потенциал поля в центре квадрата, если один из зарядов отличается по знаку от остальных.

4. Пространство между двумя параллельными бесконечными плоскостями с поверхностной плотностью зарядов  $+5 \cdot 10^{-8}$  и  $-9 \cdot 10^{-8}$  Кл/м<sup>2</sup> заполнено стеклом. Определить напряженность поля: а) между плоскостями; б) вне плоскостей.

5. На расстоянии 8 см. друг от друга в воздухе находятся два заряда по 1 нКл. Определить напряженность и потенциал поля в точке, находящейся на расстоянии 5 см. от зарядов.

6. Две параллельные плоскости одноименно заряжены с поверхностной плотностью зарядов 2 и 4 нКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность поля: а) между плоскостями; б) вне плоскостей.

7. Если в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды по +2 нКл, поместить отрицательный заряд, то результирующая сила, действующая на каждый заряд, будет равна нулю. Вычислить числовое значение отрицательного заряда.

8. Заряды по 1 нКл помещены в вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,2 м. Равнодействующая сил, действующих на четвертый заряд, помещенных на середине одной из сторон треугольника, равна 0,6 мкН. Определить этот заряд, напряженность и потенциал поля в точке его расположения.

9. Два шарика массой по 0,2 г. подвешены в общей точке на нитях длиной 0,5 м. Шарикам сообщили заряд и нити разошлись на угол 90°. Определить напряженность и потенциал поля в точке подвеса шарика.

10. Два одинаковых заряда находятся в воздухе на расстоянии 0,1 м. друг от друга. Напряженность поля в точке, удаленной на расстоянии 0,06 м. от одного и 0,08 м. от другого заряда, равна 10 кВ/м. Определить потенциал поля в этой точке и значение зарядов.

11. Заряд 1 нКл притянулся к бесконечной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью 0,2 мкКл/м<sup>2</sup>. На каком расстоянии от плоскости находился заряд, если работа сил поля по его перемещению равна 1 мкДж?

12. Какую работу совершают силы поля, если одноименные заряды 1 и 2 нКл, находившиеся на расстоянии 1 см, разошлись до расстояния 10 см?

13. Со скоростью  $2 \cdot 10^7$  м/с электрон влетает в пространство между

обкладками плоского конденсатора в середине зазора в направлении, параллельном обкладкам. При какой минимальной разности потенциалов на обкладках электрон не вылетит из конденсатора, если длина конденсатора 10 см, а расстояние между его обкладками 1 см?

**14.** Заряд - 1 нКл переместился в поле заряда +1,5 нКл из точки с потенциалом 100 В в точку с потенциалом 600 В. Определить работу сил поля и расстояние между этими точками.

**15.** Заряд 1 нКл находится на расстоянии 0,2 м. от бесконечно длинной равномерно заряженной нити. Под действием поля нити заряд перемещается на 0,1 м. Определить линейную плотность заряда нити, если работа сил поля равна 0,1 мкДж.

**16.** Пылинка массой  $8 \cdot 10^{-15}$  кг. удерживается в равновесии между горизонтально расположенными обкладками плоского конденсатора. Разность потенциалов между обкладками 490 В, а зазор между ними 1 см. Определить, во сколько раз заряд пылинки больше элементарного заряда.

**17.** В поле бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда  $10 \text{ мкКл/м}^2$  перемещается заряд из точки, находящейся на расстоянии 0,1 м. от плоскости, в точку на расстоянии 0,5 м. от нее. Определить заряд, если при этом совершается работа 1 мДж.

**18.** Какую работу нужно совершить, чтобы заряды 1 и 2 нКл, находившиеся на расстоянии 0,5 м, сблизилась до 0,1 м?

**19.** Поверхностная плотность заряда бесконечной равномерно заряженной плоскости равна  $30 \text{ нКл/м}^2$ . Определить поток вектора напряженности через поверхность сферы диаметром 15 см, рассекаемой этой плоскостью пополам.

**20.** Заряд 1 нКл переносится из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии 0,1 м. от поверхностной металлической сферы радиусом 0,1 м, заряженной с поверхностной плотностью  $10^{-15} \text{ Кл/м}^2$ . Определить работу перемещения заряда.

**21.** Конденсатор с парафиновым диэлектриком заряжен до разности потенциалов 150 В. Напряженность поля  $6 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ , площадь пластин  $6 \text{ см}^2$ . Определить емкость конденсатора и поверхностную плотность заряда на обкладках.

**22.** Вычислить емкость батареи, состоящей из трех конденсаторов емкостью 1 мкФ каждый, при всех возможных случаях их соединения.

**23.** Заряд на каждом из двух последовательно соединенных конденсаторов емкостью 18 и 10 пкФ равен 0,09 нКл. Определить напряжение: а) на батарее конденсаторов; б) на каждом конденсаторе.

**24.** Конденсатор емкостью 6 мкФ последовательно соединен с конденсатором неизвестной емкости и они подключены к источнику постоянного напряжения 12 В. Определить емкость второго конденсатора и напряжения на каждом конденсаторе, если заряд батареи 24 мкКл.

**25.** Два конденсатора одинаковой емкости по 3 мкФ заряжены один до напряжения 100 В, а другой - 200 В. Определить напряжение между обкладками конденсаторов, если их соединить параллельно: а) одноименно; б)

разноименно заряженными обкладками.

**26.** Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов 300 В. Площадь пластин  $1 \text{ см}^2$ , напряженность поля в зазоре между ними 300 кВ/м. Определить поверхностную плотность заряда на пластинах, емкость и энергию конденсатора.

**27.** Найти объемную плотность энергии электрического поля, создаваемого заряженной металлической сферой радиусом 5 см. на расстоянии 5 см. от ее поверхности, если поверхностная плотность заряда на ней  $2 \text{ мкКл/м}^2$ .

**28.** Площадь пластин плоского слюдяного конденсатора  $1,1 \text{ см}^2$ , зазор между ними 3 мм. При разряде конденсатора выделилась энергия 1 мкДж. До какой разности потенциалов был заряжен конденсатор?

**29.** Энергия плоского воздушного конденсатора 0,4 нДж, разность потенциалов на обкладках 600 В, площадь пластин  $1 \text{ см}^2$ . Определить расстояние между обкладками, напряженность и объемную плотность энергии поля конденсатора.

**30.** Под действием силы притяжения 1 мН диэлектрик между обкладками конденсатора находится под давлением 1 Па. Определить энергию и объемную плотность энергии поля конденсатора, если расстояние между его обкладками 1 мм.

**31.** Плотность тока в никелиновом проводнике длиной 25 м. равна  $1 \text{ МА/м}^2$ . Определить разность потенциалов на концах проводника.

**32.** Определить плотность тока, текущего по проводнику длиной 5 м, если на концах его поддерживается разность потенциалов 2 В. Удельное сопротивление материала  $2 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ .

**33.** Напряжение на концах проводника сопротивлением 5 Ом за 0,5 с. равномерно возрастает от 0 до 20 В. Какой заряд проходит через проводник за это время?

**34.** Температура вольфрамовой нити электролампы  $2000^\circ\text{C}$ , диаметр 0,02 мм, сила тока в ней 4 А. Определить напряженность поля в нити.

**35.** На концах никелинового проводника длиной 5 м. поддерживается разность потенциалов 12 В. Определить плотность тока в проводнике, если его температура  $540^\circ\text{C}$ .

**36.** Внутреннее сопротивление аккумулятора 1 Ом. При силе тока 2 А его к.п.д. равен 0,8. Определить электродвижущую силу аккумулятора.

**37.** Определить электродвижущую силу аккумуляторной батареи, ток короткого замыкания которой 10 А, если при подключении к ней резистора сопротивлением 2 Ом сила тока в цепи равна 1 А.

**38.** Электродвижущая сила аккумулятора автомобиля 12 В. При силе тока 3 А его к.п.д. равен 0,8. Определить внутреннее сопротивление аккумулятора.

**39.** К источнику тока подключают один раз резистора сопротивлением 1 Ом, другой раз - 4 Ом. В обоих случаях на резисторах за одно и тоже время выделяется одинаковое количество теплоты. Определить внутреннее сопротивление источника тока.

**40.** Два одинаковых источника тока соединены в одном случае последовательно, а в другом - параллельно и замкнуты на внешнее

сопротивление 1 Ом. При каком внутреннем сопротивлении источника сила тока во внешней цепи будет в обоих случаях одинаковой?

**41.** Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами 6 и 8 А расположены перпендикулярно друг к другу. Определить индукцию и напряженность магнитного поля на середине кратчайшего расстояния между проводниками, равного 20 см.

**42.** По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам, расстояние между которыми 15 см, в одном направлении текут токи 4 и 6 А. Определить расстояние от проводника с меньшим током до геометрического места точек, в котором напряженность магнитного поля равна нулю.

**43.** По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам текут токи 5 и 10 А в одном направлении. Геометрическое место точек, в котором индукция магнитного поля равна нулю, находится на расстоянии 10 см. от проводника с меньшим током. Определить расстояние между проводниками.

**44.** По кольцевому проводнику радиусом 10 см. течет ток 4 А. Параллельно плоскости кольцевого проводника на расстоянии 2 см. над его центром проходит бесконечно длинным прямолинейный проводник, по которому течет ток 2 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в центре кольца. Рассмотреть все возможные случаи.

**45.** Два круговых витка с током лежат в одной плоскости и имеют общий центр. Радиус большого витка 12 см, меньшего 8 см. Напряженность поля в центре витков равна 50 А/м, если токи текут в одном направлении, и нулю, если в противоположном. Определить силу токов, текущих по круговым виткам.

**46.** Найти радиус траектории протона в магнитном поле с индукцией 0,5 Тл, если он движется перпендикулярно ему и обладает кинетической энергией 3 МэВ.

**47.** Какое ускорение приобретает проводник массой 0,1 г. и длиной 8 см. в однородном магнитном поле напряженностью 10 кА/м, если сила тока в нем 1 А, а направления тока и индукции взаимно перпендикулярны?

**48.** Электрон с энергией 300 эВ движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля напряженностью 465 А/м. Определить силу Лоренца, скорость и радиус траектории электрона.

**49.** На расстоянии 5 мм. Параллельно прямолинейному длинному проводнику движется электрон с кинетической энергией 1 кэВ. Какая сила будет действовать на электрон, если по проводнику пустить ток 1 А?

**50.** Протон движется в магнитном поле напряженностью 10 А/м по окружности радиусом 2 см. Найти кинетическую энергию протона.

**51.** Перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,3 Тл движется проводник длиной 15 см. со скоростью 10 м/с, перпендикулярной проводнику. Определить ЭДС, индуцируемую в проводнике.

**52.** Перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,1 мТл по двум параллельным проводникам движется без трения



перемычка длиной 20 см. при замыкании цепи, содержащей эту перемычку, в ней идет ток 0,01 А. Определить скорость движения перемычки. Сопротивление цепи 0,1 Ом.

**53.** В плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю напряженностью  $2 \cdot 10^5$  А/м вращается стержень длиной 0,4 м. относительно оси, проходящей через его середину. В стержне индуцируется электродвижущая сила, равная 0,2 В. Определить угловую скорость стержня.

**54.** Сила тока в соленоиде равномерно возрастает от 0 до 10 А за 1 мин, при этом соленоид накапливает энергию 20 Дж. Какая ЭДС индуцирует в соленоиде?

**55.** Однослойный соленоид без сердечника длиной 20 см. и диаметром 4 см. имеет плотную намотку медным проводом диаметром 0,1 мм. За 0,1 с. сила тока в нем равномерно убывает с 5 А до 0. Определить электродвижущую силу индукции в соленоиде.

**56.** Чему равна объемная плотность энергии магнитного поля в соленоиде без сердечника имеющего плотную однослойную намотку проводом диаметром 0,2 мм, если по нему течет ток величины 0,1 А?

**57.** По соленоиду длиной 0,25 м, имеющему число витков 500, течет ток 1 А. Площадь поперечного сечения  $15 \text{ см}^2$ . В соленоид вставлен железный сердечник. Найти энергию магнитного поля соленоида. Зависимость  $B = f(H)$  приведена на рис. 3.

**58.** Однородное магнитное поле, объемная плотность энергии которого  $0,4 \text{ Дж/м}^3$ , действует на проводник, расположенный перпендикулярно линиям индукции, силой 0,1 мН на 1 см. его длины. Определить силу тока в проводнике.

**59.** По обмотке соленоида с параметрами: число витков - 1000, длина 0,5 м, диаметр - 4 см; течет ток 0,5 А. Зависимость  $B = f(H)$  для сердечника приведена на рисунке. Определить потокосцепление, энергию и объемную плотность энергии соленоида.

**60.** Обмотка соленоида имеет сопротивление 10 Ом. Какова его индуктивность, если при прохождении тока за 0,05 с. в нем выделяется количество теплоты, эквивалентное энергии магнитного поля соленоида?

**61.** Расстояние между двумя когерентными источниками 0,9 мм, а расстояние от источников до экрана 1,5 м. Источники испускают монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить число интерференционных полос, приходящихся на 1 см. экрана.

**62.** В опыте Юнга одна из щелей перекрывалась прозрачной пластинкой толщиной 11 мкм, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое десятой светлой полосой. Найти показатель преломления пластины, если длина волны света равна 0,55 мкм.

**63.** На мыльную пленку падает белый свет под углом  $45^\circ$ . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в зеленый цвет ( $\lambda = 0,54 \text{ мкм}$ )? Показатель преломления мыльной воды 1,33.

**64.** На пленку из глицерина толщиной 0,25 мкм падает белый свет. Каким будет казаться цвет пленки в отраженном свете, если угол падения лучей равен

60° ?

65. Для устранения отражения света на поверхность стеклянной линзы наносится пленка вещества с показателем преломления 1,3 меньшим, чем у стекла. При какой наименьшей толщине этой пленки отражение света с длиной волны 0,48 мкм не будет наблюдаться, если угол падения лучей 30° ?

66. На тонкий стеклянный клин падает нормально свет с длиной волны 0,72 мкм. Расстояние между соседними интерференционными полосами в отраженном свете равно 0,8 мм. Показатель преломления стекла 1,5. Определить угол между поверхностями клина.

67. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет. Наименьшая толщина клина, с которой видны интерференционные полосы в отраженном свете, равна 0,12 мкм. Расстояние между полосами 0,6 мм. Найти угол между поверхностями клина и длину волны света, если показатель преломления стекла 1,5.

68. Кольца Ньютона образуются между плоским стеклом и линзой с радиусом кривизны 10 м. Монохроматический свет падает нормально. Диаметр третьего светлого кольца в отраженном свете равен 8 мм. Найти длину волны падающего света.

69. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. Длина волны света 0,5 мкм. Найти радиус кривизны линзы, если диаметр четвертого темного кольца в отражении свете равен 8 мм.

70. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью. Определить показатель преломления жидкости, если диаметр второго светлого кольца в отраженном свете равен 5 мм. Свет с длиной волны 0,615 мкм падает нормально. Радиус кривизны линзы 9 м.

71. Параллельный пучок света от монохроматического источника ( $\lambda = 0,5$  мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1 мм. Темным или светлым будет центр дифракционной картины на экране, находящемся на расстоянии 0,5 м. от диафрагмы?

72. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 0,8 м. от точечного источника монохроматического света ( $\lambda = 0,625$  мкм). Посередине между экраном и источником света помещена диафрагма с круглым отверстием. При каком наименьшем диаметре отверстия центр дифракционной картины будет темным?

73. На щель шириной 0,3 мм. падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 0,45 мкм. Найти ширину центрального дифракционного максимума на экране, удаленном от щели на 1 м.

74. На узкую щель нормально падает плоская монохроматическая световая волна ( $\lambda = 0,7$  мкм). Чему равна ширина щели, если первый дифракционный максимум наблюдается под углом, равным 1° ?

75. Постоянная дифракционная решетка равна 5 мкм. Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в

дифракционной картине и угол дифракции в спектре четвертого порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,625 мкм.

**76.** На дифракционную решетку с периодом 6 мкм падает нормально свет. Какие спектральные линии, соответствующие длинам волн, лежащим в пределах видимого спектра, будут совпадать в направлении  $\varphi = 30^\circ$  ?

**77.** Чему должна быть равна ширина дифракционной решетки с периодом 10 мкм, чтобы в спектре второго порядка был разрешен дублет  $\lambda_1 = 486,0$  нм и  $\lambda_2 = 486,1$  нм?

**78.** Какую разность длин волн оранжевых лучей ( $\lambda = 0,6$  мкм) может разрешить дифракционная решетка шириной 3 см и периодом 9 мкм в спектре третьего порядка?

**79.** На грань кристалла каменной соли падает узкий пучок рентгеновских лучей с длиной волны 0,095 нм. Чему должен быть равен угол скольжения лучей, чтобы наблюдался дифракционный максимум третьего порядка? Расстояние между атомными плоскостями кристалла равно 0,285 нм?

**80.** Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальцита равно 0,3 нм. Определить, при какой длине волны рентгеновских лучей второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом  $45^\circ$  к поверхности кристалла.

**81.** Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности воды, были максимально поляризованы?

**82.** Естественный свет падает на кристалл алмаза под углом полной поляризации. Найти угол преломления света.

**83.** Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Коэффициент отражения света равен 0,085. Найти степень поляризации преломленного луча.

**84.** Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Коэффициент пропускания света равен 0,92. Найти степень поляризации преломленного луча.

**85.** Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Степень поляризации преломленного луча составляет 0,09. Найти коэффициент отражения света.

**86.** Естественный свет проходит через два поляризатора, угол между главными плоскостями которых равен  $30^\circ$ . Во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения этой системы? Считать, что каждый поляризатор, отражает и поглощает 10% падающего света.

**87.** Чему равен угол между главными плоскостями двух поляризаторов, если интенсивность света, прошедшего через них, уменьшилась в 5,3 раза? Считать, что каждый поляризатор отражает и поглощает 13% падающего на них света.

**88.** Естественный свет проходит через два поляризатора, угол между главными плоскостями которых  $30^\circ$ . Во сколько раз изменится интенсивность света, прошедшего эту систему, если угол между плоскостями поляризаторов увеличить в два раза?

**89.** Кварцевую пластинку толщиной 3 мм, вырезанную перпендикулярно

оптической оси, поместили между двумя поляризаторами. Определить постоянную вращения кварца для красного света, если его интенсивность после прохождения этой системы максимальна, когда угол между главными плоскостями поляризаторов  $45^\circ$ .

**90.** Раствор сахара с концентрацией  $0,25 \text{ г/см}^3$  толщиной  $18 \text{ см}$ . поворачивает плоскость поляризации монохроматического света на угол  $30^\circ$ . Другой раствор толщиной  $16 \text{ см}$ . поворачивает плоскость поляризации этого же света на угол  $24^\circ$ . Определить концентрацию сахара во втором растворе.

**91.** В однородной и изотропной среде с  $\epsilon = 2$  и  $\mu = 1$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны  $50 \text{ В/м}$ . найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.

**92.** Уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с  $\mu = 1$ , имеет вид

$$E = 10 \sin(6,28 \cdot 10^8 t - 4,19 x).$$

Определить диэлектрическую проницаемость среды и длину волны.

**93.** В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны  $100 \text{ В/м}$ . Какую энергию переносит эта волна через площадку  $50 \text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, за время  $t = 1 \text{ мин}$ . Период волны  $T \leq t$ .

**94.** В среде ( $\epsilon = 3$ ,  $\mu = 1$ ) распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны  $0,5 \text{ А/м}$ . На ее пути перпендикулярно направлению распространения расположена поглощающая поверхность, имеющая форму круга радиусом  $0,1 \text{ м}$ . Чему равна энергия поглощения этой поверхности за время  $t = 30 \text{ с}$ ? Период волны  $T \leq t$ .

**95.** Уравнение плоской волны, распространяющейся в упругой среде, имеет вид  $s = 10^{-8} \sin(628 t - 1,256 x)$ . Определить длину волны, скорость ее распространения и частоту колебаний.

**96.** Колеблющиеся точки удалены от источника колебаний на расстояние  $0,5$  и  $1,77 \text{ м}$ . в направлении распространения волны. Разность фаз их колебаний равна  $3\pi/4$ . Частота колебаний источника  $100 \text{ с}^{-1}$ . Определить длину волны и скорость ее распространения.

**97.** Чему равна разность фаз колебаний двух точек, если они удалены друг от друга на расстояние  $3 \text{ м}$ . и лежат на прямой, перпендикулярной фронту волны. Скорость распространения волны  $600 \text{ м/с}$ , а период колебаний  $0,02 \text{ с}$ .

**98.** Вычислить групповую и фазовую скорости света с длиной волны  $643,8 \text{ нм}$  в воде, если известно, что показатель преломления для этой длины волны равен  $1,3311$ .

**99.** Вычислить разницу между фазовой и групповой скоростью для света с длиной волны  $0,768 \text{ мкм}$  в стекле, если известно, что показатель преломления для этой длины волны равен  $1,511$ , а для волны длиной  $0,656 \text{ мкм}$  он равен  $1,514$ .

**100.** Найти отношение групповой скорости к фазовой для света с длиной волны  $0,6 \text{ мкм}$  в среде с показателем преломления  $1,5$  и дисперсией  $-5 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ .

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

1. Определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности черного тела при температуре  $37^{\circ}\text{C}$  и энергетическую светимость тела.

2. Максимум испускательной способности Солнца приходится на длину волны  $0,5\text{ мкм}$ . Считая, что Солнце излучает как черное тело, определить температуру его поверхности и мощность излучения.

3. Считая, что Солнце излучает как черное тело, определить интенсивность солнечного излучения вблизи Земли. Температуру поверхности Солнца принять равной  $5780\text{ К}$ .

4. Считая, что Солнце излучает как черное тело, вычислить насколько уменьшается масса Солнца за год вследствие излучения и сколько это составляет процентов. Температуру поверхности Солнца принять равной  $5780\text{ К}$ .

5. Вычислить температуру поверхности Земли, считая ее постоянной, в предположении, что Земли как черное тело излучает столько энергии, сколько получает от Солнца. Интенсивность солнечного излучения вблизи Земли принять равной  $1,37\text{ кВт/м}^2$ .

6. Определить давление солнечных лучей, нормально падающих на зеркальную поверхность. Интенсивность солнечного излучения принять равной  $1,37\text{ кВт/м}^2$ .

7. Плотность потока энергии в импульсе излучения лазера может достигать значения  $10^{20}\text{ Вт/м}^2$ . Определить давление такого излучения, нормально падающего на черную поверхность.

8. Свет с длиной волны  $0,5\text{ мкм}$  нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление  $4\text{ мкПа}$ . Определить число фотонов, ежесекундно падающих на  $1\text{ см}^2$  этой поверхности.

9. Давление света с длиной волны  $0,6\text{ мкм}$ , падающего нормально на черную поверхность, равно  $1\text{ мкПа}$ . Определить число фотонов, падающих за секунду на  $1\text{ см}^2$  этой поверхности.

10. Давление света, нормально падающего на поверхность, равно  $2\text{ мкПа}$ . Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности, если длина волны света равна  $0,45\text{ мкм}$ , а коэффициент отражения  $0,5$ .

11. Определить максимальную скорость фотоэлектрона, вылетающего из вольфрамового электрода, освещаемого ультрафиолетовым светом с длиной волны  $0,2\text{ мкм}$ .

12. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с длиной волны  $0,38\text{ мкм}$ . Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной  $1,4\text{ В}$ . Найти работу выхода электронов из катода.

13. Цинковый электрод освещается монохроматическим светом. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов  $0,4\text{ В}$ . Вычислить длину волны света, применяющегося при освещении.

14. Красной границе фотоэффекта соответствует длина волны  $0,332\text{ мкм}$ . Найти длину монохроматической световой волны, падающей на электрод, если

фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной 0,4 В.

**15.** Найти величину задерживающей разности потенциалов для фотоэлектронов, испускаемых при освещении цезиевого электрода ультрафиолетовыми лучами с длиной волны 0,3 мкм.

**16.** В результате комптоновского рассеяния на свободном электроне длина волны гамма-фотона увеличилась в два раза. Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи, если угол рассеяния фотона равен  $60^\circ$ . До столкновения электрон покоился.

**17.** В результате комптоновского рассеяния на свободном электроне энергия гамма-фотона уменьшилась в три раза. Угол рассеяния фотона равен  $60^\circ$ . Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

**18.** Гамма-фотон с энергией 1,02 МэВ в результате комптоновского рассеяния на свободном электроне отклонился от первоначального направления на угол  $90^\circ$ . Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

**19.** Гамма-фотон с длиной волны 2,43 пм испытал комптоновское рассеяние на свободном электроне строго назад. Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

**20.** Первоначально покоившийся свободный электрон в результате комптоновского рассеяния на нем гамма-фотонов с энергией 0,51 МэВ приобрел кинетическую энергию 0,06 МэВ. Чему равен угол рассеяния фотона?

**21.** Какой кинетической энергией должен обладать электрон, чтобы дебройлевская длина волны была равна его комптоновской длине волны?

**22.** Чему должна быть равна кинетическая энергия протона, чтобы дебройлевская длина волны совпадала с его комптоновской длиной волны?

**23.** При каком значении скорости дебройлевская длина волны частица равна ее комптоновской длине волны?

**24.** Кинетическая энергия протона в три раза меньше его энергии покоя. Чему равна дебройлевская длина волны протона?

**25.** Масса движущегося электрона в три раза больше его массы покоя. Вычислить дебройлевскую длину волны электрона.

**26.** Чему равна дебройлевская длина волны протона, движущегося со скоростью 0,6 с (с - скорость света в вакууме)?

**27.** Вычислить дебройлевскую длину волны электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов 511 кВ.

**28.** Чему равна дебройлевская длина волны теплового нейтрона, обладающего энергией, равной средней энергии теплового движения при температуре 300 К.

**29.** Средняя кинетическая энергия электрона в невозбужденном атоме водорода равна 13,6 эВ. Вычислить дебройлевскую длину волны электрона.

**30.** Кинетическая энергия нейтрона равна его энергии покоя. Определить дебройлевскую длину волны нейтрона.

**31.** Среднее расстояние электрона от ядра в невозбужденном атоме

водорода равно 52,9 пм. Вычислить минимальную неопределенность скорости электрона в атоме.

**32.** Используя соотношение неопределенностей, показать, что в ядре не могут находиться электроны. Линейные размеры ядра принять равными  $5,8 \cdot 10^{-15}$  м.

**33.** Чему равна минимальная неопределенность координаты покоящегося электрона?

**34.** Вычислить минимальную неопределенность координаты покоящегося протона.

**35.** Кинетическая энергия протона равна его энергии покоя. Чему равна при этом минимальная неопределенность координаты покоя?

**36.** Масса движущегося электрона в два раза больше его массы покоя. Вычислить минимальную неопределенность координаты электрона.

**37.** Чему равна минимальная неопределенность координаты фотона, соответствующего видимому излучению с длиной волны 0,55 мкм.

**38.** Среднее время жизни эта-мезона составляет  $2,4 \cdot 10^{-19}$  с, а его энергия покоя равна 549 МэВ. Вычислить минимальную неопределенность массы частицы.

**39.** Среднее время жизни возбужденного состояния атома равно 12 нс. Вычислить минимальную неопределенность длины волны  $\lambda = 0,12$  мкм излучения при переходе атома в основное состояние.

**40.** Естественная ширина спектральной линии  $\lambda = 0,01$  пм. Определить среднее время жизни возбужденного состояния атома.

**41.** Альфа-частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Чему равна ширина ямы, если минимальная энергия частицы составляет 6 МэВ.

**42.** Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,1 нм. Вычислить длину волны излучения при переходе электрона со второго на первый энергетический уровень.

**43.** Протон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,01 пм. Вычислить длину волны излучения при переходе протона с третьего на второй энергетический уровень.

**44.** Атом водорода находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,1 м. Вычислить разность энергий соседних уровней, соответствующих средней энергии теплового движения атома при температуре 300 К.

**45.** Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  в основном состоянии. В каких точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы совпадает с классической плотностью вероятности?

**46.** Частица находится в бесконечно глубокой одномерно потенциальной яме шириной  $l$  в основном состоянии. Чему равно отношение плотности вероятности обнаружения частицы в центре ямы к классической плотности вероятности?

**47.** Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной

яме шириной  $l$  в первом возбужденном состоянии. В каких точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы максимальна, а в каких - минимальна?

**48.** Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  на втором энергетическом уровне. Определить вероятность обнаружения частица в пределах от 0 до  $l/3$ .

**49.** Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  в основном состоянии. Найти отношение вероятностей нахождения частицы в пределах от 0 до  $l/3$  до  $2l/3$ .

**50.** Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$ . Вычислить отношение вероятностей нахождения частица в пределах от 0 до  $l/4$  для первого и второго энергетических уровней.

**51.** Сколько линий спектра атома водорода попадает в видимую область ( $\lambda = 0,40 - 0,76$  мкм)? Вычислить длины волн этих линий. Каким цветам они соответствуют?

**52.** Спектральные линии каких длин волн возникнут, если атом водорода перевести в состояние  $3S$ ?

**53.** Чему равен боровский радиус однократно ионизированного атома гелия?

**54.** Найти потенциал ионизации двукратно ионизированного атома лития?

**55.** Вычислить постоянную Ридберга и боровский радиус для мезоатома - атома, состоящего из протона (ядра атома водорода) и мюона (частицы, имеющий такой же заряд, как у электрона, и массу, равную 207 массам электрона).

**56.** Найти коротковолновую границу тормозного рентгеновского спектра, если на рентгеновскую трубку подано напряжение 60 кВ.

**57.** Вычислить наибольшую и наименьшую длины волн K-серии характеристического рентгеновского излучения от платинового антикатада.

**58.** Какую наименьшую разность потенциалов нужно приложить к рентгеновской трубке с вольфрамовым антикатодом, чтобы в спектре характеристического рентгеновского излучения были все линии K-серии?

**59.** При переходе электрона в атоме меди с M-слоя на L-слой испускаются лучи с длиной волны 1,2 нм. Вычислить постоянную экранирования в формуле Мозли.

**60.** Длина волны  $K_{\alpha}$ -линии характеристического рентгеновского излучения равна 0,194 нм. Из какого материала сделан антикатод?

**61.** Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи дейтерия.

**62.** Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи альфа-частицы.

**63.** Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра  ${}_{5}^{11}\text{B}$ .

**64.** Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи



ядра  ${}_{20}^{48}\text{Ca}$ .

65. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра  ${}_{92}^{238}\text{U}$ .

66. Вследствие радиоактивного распада  ${}_{92}^{238}\text{U}$  превращается в  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ . Сколько альфа- и бета- превращений он при этом испытывает?

67. За какое время распадается 87,5% ядер атомов  ${}_{20}^{45}\text{Ca}$  ?

68. Какая доля первоначального количества радиоактивного изотопа распадается за время жизни этого изотопа?

69. Сколько атомов  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  распадается за сутки в 1 г. этого изотопа?

70. Найти период полураспада радиоактивного препарата, если за сутки его активность уменьшается в три раза.

71. Вычислить толщину слоя половинного поглощения свинца для гамма-лучей, длина волны которых равна 0,775 нм.

72. Чему равна энергия гамма-фотонов, если при прохождении через слой железа толщиной 3 см. интенсивность излучения ослабляется в три раза.

73. Во сколько раз изменится интенсивность излучения гамма-фотонов с энергией 2 МэВ при прохождении экрана, состоящего из двух плит: свинцовой, толщиной 2 см и алюминиевой, толщиной 5 см?

74. Рассчитать толщину защитного свинцового слоя, который ослабляет интенсивность излучения гамма-фотонов с энергией 2 МэВ в 5 раз.

75. Определить пороговую энергию образования электронно-позитронной пары в кулоновском поле электрона, которая происходит по схеме  $\gamma + e^- \rightarrow e^- + e^+ + e^-$

76. Определить максимальную кинетическую энергию электрона, испускаемого при распаде нейтрона. Написать схему распада.

77. Вычислить энергию ядерной реакции  $n + {}_5^{20}\text{B} \rightarrow {}_3^7\text{Li} + {}_2^4\text{He}$ .

78. Вычислить энергию ядерной реакции  $p + {}_5^{11}\text{B} \rightarrow 3 {}_2^4\text{He}$ .

79. Вычислить энергию ядерной реакции  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + n$ .

80. Вычислить энергию ядерной реакции  ${}_2^4\text{He} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + p$ .

ДЛЯ ЗАМЕТОК

## ОГЛАВЛЕНИЕ

*Учебно-практическое издание*

М.В. Завалий, А.И. Акимов

**Сборник методических указаний  
по самостоятельной работе студентов**

для выполнения контрольной работы по физике  
для студентов заочной формы обучения  
направлений подготовки:

Отпечатано в типографии «Экспресс-печать»

**ОГРНИП 310565817900152**

Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub> Бумага офисная. Усл. печ. л. 2,25

Тираж 150 экз. Заказ 166.

г. Оренбург. ул. Пролетарская, 30.

Тел. (3532) 25-20-02, (3532) 23-58-41

e-mail: [express\\_press@mail.ru](mailto:express_press@mail.ru)