

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Государственное высшее учебное заведение
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ

для студентов заочной формы обучения
(специальности: ЭМК, ЭМКу, РККу, МЕХу, ТМу, КПМОу)

Рассмотрено на заседании кафедры физики

Протокол № 10 от 14. 06. 2007 г.

Утверждено учебно-издательским советом

ДонНТУ. Протокол № 7 от 20. 06. 2007 г.

УДК 53(071)

Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения (специальности: ЭМК, ЭМКу, РККу, МЕХу, ТМу, КПМОу) / Сост.: А.В. Ветчинов, А.Ф. Волков, Т.П. Лумпиева. – Донецк: ДонНТУ, 2009.– 76 с.

Данное методическое пособие по курсу общей физики предназначено для студентов заочной формы обучения. Основной учебный материал программы курса в пособии распределен на четыре раздела. В каждом из них даны основные формулы и контрольные задания. Пособие содержит выписку из рабочей программы по изучаемым разделам. Даны общие методические указания по решению задач и оформлению контрольных работ. Справочные материалы приведены в приложениях.

Содержание задач соответствует программе курса «Общая физика» для инженерно-технических специальностей втузов.

Составители:

А.В. Ветчинов, доц.
А.Ф. Волков, доц.
Т.П. Лумпиева, ст. преп.

Рецензенты:

Н.Н. Власенко, доц.
В.Г. Волинская, ст. преп.

Отв. за выпуск:

В.А. Гольцов, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ	4
РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
1.1. Выписка из базовой рабочей программы	4
1.2. Правила оформления контрольных работ	8
1.3. Методические указания к решению задач	9
1.4. Построение графиков	10
РАЗДЕЛ 2. УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	13
2.1 Основы механики. Молекулярная физика и термодинамика ..	13
2.1.1 Основные формулы	13
2.1.2 Контрольная работа №1	18
2.1.3 Таблицы вариантов контрольной работы №1	20
2.2 Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм	24
2.2.1. Основные формулы	24
2.2.2 Контрольная работа №2	30
2.2.3 Таблицы вариантов контрольной работы №2	32
2.3 Колебания и волны	36
2.3.1 Основные формулы	36
2.3.2 Контрольная работа №3	42
2.3.3 Таблицы вариантов контрольной работы №3	44
2.4 Оптика. Элементы физики твердого тела и атомной физики ..	48
2.4.1 Основные формулы контрольной работы №4	48
2.4.2 Контрольная работа №4	52
2.4.3 Таблицы вариантов контрольной работы №4	54
РАЗДЕЛ 3. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	58
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	74

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью преподавания курса общей физики является формирование у будущих инженеров современного физического мировоззрения, на котором базируются инженерно-технические специальности, ознакомление студентов с фундаментальными физическими законами и явлениями, лежащими в основе современных технологий, развитие навыков самостоятельной работы.

Курс физики состоит из лекций, практических и лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов. Самостоятельная работа студентов, являясь одним из важнейших моментов освоения курса, включает в себя изучение разделов физики с использованием основной и дополнительной литературы.

В изучении курса физики решение задач имеет исключительно большое значение. Решение и анализ задач позволяют понять и запомнить основные законы и формулы физики, развивают навык в использовании общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое значение. Умение решать задачи является лучшим критерием оценки глубины изучения программного материала и его усвоения.

Цель настоящего методического пособия – оказать помощь студентам заочной формы обучения инженерно-технических специальностей в изучении курса физики. В нем учтены особенности учебных планов горных и электротехнических специальностей.

Пособие содержит выписку из рабочей программы по изучаемым разделам, сводки основных формул, задания для контрольных работ. Справочные материалы приведены в разделе 3.

РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Выписка из базовой рабочей программы курса общей физики для инженерно-технических специальностей

Введение

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Преемственность знаний. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Физика как фундамент современной техники и технологии. Роль физики в инженерном образовании.

Физические основы классической механики

Классическая механика – одно из оснований современной техники. Механическое движение как простейшая форма движения материи. Элементы кинематики материальной точки. Тело отсчета, система отсчета. Скорость и ускорение как производные радиус-вектора по времени. Нормальное и тангенциальное ускорения. Поступательное движение тела.

Кинематика вращательного движения абсолютно твердого тела. Угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями точек вращающегося тела.

Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела. Задачи динамики. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Масса. Импульс. Сила. Фундаментальные взаимодействия. Второй закон Ньютона для материальной точки и систе-

мы материальных точек. Внутренние и внешние силы. Закон сохранения импульса. Третий закон Ньютона.

Динамика вращательного движения тела вокруг неподвижной оси. Момент силы. Момент инерции тела относительно оси. Момент импульса. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси. Закон сохранения момента импульса.

Механическая работа, мощность, энергия. Работа переменной силы и ее выражение через криволинейный интеграл. Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе. Кинетическая энергия вращающегося тела.

Понятие о поле, как форме материи, осуществляющей силовое взаимодействие между частицами вещества. Потенциальные поля. Силы потенциальные (консервативные) и диссипативные. Потенциальная энергия тела в гравитационном поле. Потенциальная энергия упругого взаимодействия.

Законы сохранения – фундаментальные законы физики. Закон сохранения импульса. Закон сохранения момента импульса. Закон сохранения механической энергии. Общий закон сохранения энергии.

Элементы специальной теории относительности

Пространство и время в классической механике. Механический принцип относительности. Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей в классической механике.

Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Понятие одновременности событий. Относительность временных интервалов. Лоренцево сокращение длины. Релятивистский закон сложения скоростей. Интервал между событиями и его инвариантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчета как проявление и взаимосвязь пространства и времени.

Элементы релятивистской динамики. Масса и импульс в релятивистской динамике. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Релятивистское выражение для кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Соотношение между полной энергией и импульсом. Границы применимости классической механики.

Физические основы молекулярной физики и термодинамики

Молекулярно-кинетический и термодинамический методы изучения макроскопических систем. Термодинамические параметры. Равновесные состояния и процессы, их изображение на термодинамических диаграммах.

Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления. Молекулярно-кинетическое толкование температуры. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы как следствие молекулярно-кинетической теории.

Элементы классической статистики. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по модулю скоростей. Скорости газовых молекул. Опыт Штерна. Идеальный газ в поле тяготения. Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.

Физические основы термодинамики. Термодинамическая система. Работа и теплота как форма обмена энергией между системами. Внутренняя энергия идеального газа. Распределение энергии по степеням свободы. Первое начало термодинамики. Теплоемкость.

Второе начало термодинамики. Макро- и микросостояния. Энтропия и ее статистический смысл. Неравенство Клаузиуса для цикла и процесса. Применение первого и второго начал термодинамики к анализу обратимых процессов в газах.

Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Тепловые двигатели и холодильные машины. Цикл Карно и его к.п.д. Теорема Карно.

Явления переноса в термодинамических неравновесных процессах. Опытные законы диффузии, теплопроводности и внутреннего трения. Уравнения переноса. Молекулярно-кинетическая трактовка явлений переноса. Коэффициенты переноса и их анализ.

Отступления от законов идеальных газов. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовые переходы первого и второго рода. Критическое состояние. Особенности жидкого состояния вещества.

Электростатика

Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Основные характеристики электростатического поля – напряженность и потенциал. Напряженность как градиент потенциала. Графическое изображение электростатических полей. Принцип суперпозиции полей. Вектор электростатической индукции. Поток вектора напряженности и поток вектора электростатической индукции. Теорема Гаусса для электростатического поля. Применение теоремы Гаусса к расчету полей в простейших случаях.

Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Диэлектрическая восприимчивость вещества. Диэлектрическая проницаемость среды. Сегнетоэлектрики.

Проводники в электрическом поле. Распределение зарядов в проводнике. Емкость уединенного проводника. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы. Емкость конденсаторов различной геометрической конфигурации.

Энергия заряженного проводника, конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Постоянный электрический ток

Постоянный электрический ток. Сила тока, плотность тока. Условия существования электрического тока. Сторонние силы, электродвижущая сила, напряжение. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа. Сопротивление и его зависимость от температуры. Сверхпроводимость.

Работа и мощность тока. Закон Джоуля – Ленца в интегральной и дифференциальной формах.

Электромагнетизм

Магнитное поле. Магнитная индукция. Закон Ампера. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитного поля. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле кругового тока. Магнитный момент витка с током. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для магнитного поля в вакууме и его применение к расчету магнитного поля тороида и длинного соленоида. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла. Контур с током в магнитном поле. Магнитный поток. Работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле.

Явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея). Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции. Явление самоиндукции. Индуктивность. Токи при замыкании и размыкании цепи. Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Энергия системы проводников с током. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты атомов. Типы магнетиков. Намагниченность. Микро- и макроток. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Магнитная восприимчивость вещества и ее зависимость от температуры. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость среды. Ферромагнетики. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри.

Механические колебания и волны в упругих средах

Гармонические механические колебания. Кинематические характеристики гармонических колебаний. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Пружинный, физический и математический маятники. Энергия гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты. Биения. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Характеристики затухающих колебаний. Аперриодический процесс. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда смещения и фаза вынужденных колебаний. Понятие о резонансе.

Волновые процессы. Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Синусоидальные (гармонические) волны. Уравнение бегущей волны. Длина волны и волновое число. Волновое уравнение. Фазовая скорость. Энергия волн. Перенос энергии волной. Вектор Умова. Принцип суперпозиции волн и границы его применимости. Волновой пакет. Групповая скорость. Когерентность. Интерференция волн. Образование стоячих волн. Уравнение стоячей волны и его анализ.

Электромагнитные колебания и волны

Гармонические электромагнитные колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний. Электрический колебательный контур. Энергия электромагнитных колебаний. Дифференциальное уравнение затухающих электромагнитных колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс в колебательном контуре.

Электромагнитные волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Монохроматическая волна. Основные свойства электромагнитных волн. Шкала электромагнитных волн. Энергия электромагнитных волн. Поток энергии. Вектор Умова–Пойнтинга. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Отражение, преломление, поглощение, давление и дисперсия электромагнитных волн.

Геометрическая и волновая оптика

Геометрическая оптика. Прямолинейное распространение света. Законы отражения и преломления света. Полное отражение. Понятие о фотометрии.

Волновая оптика. Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Оптическая длина пути. Интерференция света в тонких пленках. Интерферометры.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Фраунгофера на одной щели и дифракционной решетке. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Вульфа–Брегга. Рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализ. Исследование структуры кристаллов.

Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Явление дихроизма. Поляроиды. Одноосные кристаллы. Искусственная оптическая анизотропия. Эффект Керра. Инженерные применения поляризации света.

Квантовая природа излучения

Тепловое излучение. Черное тело. Закон Кирхгофа. Закон Стефана–Больцмана. Распределение энергии в спектре абсолютно черного тела. Закон смещение Вина. Квантовая гипотеза и формула Планка. Оптическая пирометрия. Внешний фотоэффект и его законы. Фотоны. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Масса и импульс фотона. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое и волновое объяснения давления света. Эффект Комптона и его теория. Диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения.

Элементы атомной физики и квантовой механики

Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма свойств вещества. Формула де Бройля. Соотношение неопределенностей как проявление корпускулярно-волнового дуализма свойств вещества. Волновая функция и ее статистический смысл. Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Свободная частица. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной» яме. Квантование энергии и импульса частицы. Понятие о линейном гармоническом осцилляторе. Атом водорода. Главное, орбитальное и магнитное квантовые числа.

Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям. Понятие об энергетических уровнях молекул. Спектры атомов и молекул. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Понятие о лазере.

Элементы физики твердого тела

Определение и классификация твердых тел. Аморфные и кристаллические тела. Межатомные связи. Физические типы кристаллических решеток. Дефекты кристаллов.

Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Электроны проводимости и дырки. Эффективная масса электрона в кристалле. Электропроводность металлов. Собственная проводимость полупроводников и ее зависимость от температуры. Примесная проводимость полупроводников. Электронные и дырочные полупроводники. Электропроводность диэлектриков.

Контактные явления. Работа выхода. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов. Термоэлектрические явления. Контакт электронного и дырочного полупроводника (p – n -переход) и его вольт-амперная характеристика. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Элементы физики атомного ядра

Заряд, размер и масса атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Состав ядра. Нуклоны. Взаимодействие нуклонов, свойства и природа ядерных сил. Дефект массы и энергия связи ядра. Закономерности альфа-, бета- и гамма-излучений атомных ядер. Ядерные реакции. Радиоактивность, закон радиоактивного распада. Использование явления радиоактивности. Единицы измерения ионизирующих излучений. Физика ядерного реактора.

1.2. Правила оформления контрольных работ

1. За время изучения курса общей физики студент должен выполнить четыре контрольных работы в соответствии со своим вариантом.
2. Номер варианта соответствует последней цифре в зачетной книжке студента.
3. **Каждая контрольная работа выполняется в отдельной школьной тетради и подписывается по следующему образцу:**

Контрольная работа №_____ по физике
студента группы
заочного факультета ДонНТУ
Фамилия И.О.
Шифр (№ зачетной книжки)

4. В тетрадь вкладывается лист рецензии, подписанный по образцу:

Рецензия на контрольную работу № _____ по физике
студента группы
заочного факультета ДонНТУ
Фамилия И.О.
Шифр (№ зачетной книжки)

5. Решение задач оформляется в соответствии с методическими указаниями к решению задач (см. п. 1.3). Для замечаний преподавателя после решения каждой задачи оставлять место.
6. Если контрольная работа не зачтена, то студент должен выполнить исправления в той же тетради и представить её на повторную проверку.
7. Срок сдачи контрольных работ определяется учебно-методическим планом специальности.
8. Зачтенные контрольные работы хранятся в архиве кафедры и студентам не возвращаются.

1.3. Методические указания к решению задач

Прежде чем приступить к решению задач какого-либо раздела, необходимо проработать теорию по этому разделу. Без знания теории нельзя рассчитывать на успешное решение даже простых задач. В решении большинства физических задач расчетного характера можно выделить четыре основных этапа:

- 1) анализ условия задачи, в котором необходимо дать схему или чертёж, поясняющий ее содержание (в тех случаях, когда это возможно);
- 2) составление уравнений, связывающих физические величины, характеризующие рассматриваемое явление с количественной стороны;
- 3) решение полученных уравнений относительно той или иной величины, считающейся в данной задаче неизвестной;
- 4) численный расчет и анализ полученного результата.

Рекомендуем Вам при решении задач придерживаться следующей последовательности действий.

1. Полностью запишите условие задачи.
2. Сделайте краткую запись условия, выразите все данные в единицах СИ.
3. Выполните схематический чертёж (где это возможно), отражающий условия задачи и идею ее решения.
4. Запишите формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом. Сопровождайте решение задачи краткими, но исчерпывающими пояснениями. В результате получится одно или несколько уравнений, включающих в себя как заданные, так и неизвестные величины.
5. Прежде чем решать составленную систему уравнений, убедитесь в том, что число неизвестных равно числу уравнений, иначе система не будет иметь определенного решения.

Как правило, решать задачу следует в общем виде, т.е. надо выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи и взятых из таблиц. Получив ответ в виде алгебраической формулы или

уравнения, проверьте, дает ли полученная формула единицу измерения искомой величины. Если при проверке единица измерения искомой величины не получается, то это означает, что в решении допущена ошибка. Убедившись в правильности наименования искомой величины нужно подставить в окончательную формулу числовые данные, выраженные в единицах одной системы.

Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Как правило, окончательный ответ следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3,52 \cdot 10^3$, а вместо 0,0000129 записать $1,29 \cdot 10^{-5}$ и т.п.

Примеры решения задач Вы можете найти в методических пособиях, список которых приведен в разделе «Рекомендуемая литература».

1.4. Построение графиков

Очень важным методом обработки результатов опыта является представление их в виде графика. Графики дают менее точное, но более наглядное представление о результатах измерений, чем таблицы. По графику, строящемуся непосредственно во время эксперимента, очень удобно следить за его ходом и выявлять промахи. При построении графиков необходимо придерживаться следующих правил:

1. Графики выполняются на миллиметровой бумаге или любой другой бумаге, имеющей координатную сетку, размером не более тетрадного листа.

2. Выбрать масштаб по осям координат. Масштаб выбирают таким образом, чтобы график не был сжат или растянут вдоль одной из осей. Кривые должны занимать все поле чертежа. За единицу масштаба разумно принимать числа, соответствующие 1, 2, 5 единицам откладываемой величины, или кратным и дольным им.

3. По оси ординат откладывают значение функции, по оси абсцисс – значение аргумента. Начало отсчета не обязательно совмещать с нулем. На осях координат наносят метки через равные промежутки. Около осей координат (слева и внизу) необходимо написать обозначения величин и единицы их измерения. *Полученные в эксперименте значения величин откладывать на осях координат нельзя!* Экспериментальные точки наносятся на чертеже в виде условных знаков (точки, кружочки, квадратики, крестики и т.д.).

4. Как правило, зависимости одних физических величин от других – это гладкие, плавные линии, без резких изломов. Экспериментальные точки вследствие погрешностей измерений не ложатся на гладкие кривые зависимостей физических величин, а группируются вокруг них случайным образом. Поэтому не следует соединять соседние экспериментальные точки на графике отрезками прямой и получать, таким образом, некоторую ломаную линию. Кривую на графике проводят так, чтобы она лежала возможно ближе к экспериментальным точкам, и чтобы по обе ее стороны оказывалось приблизительно одинаковое количество точек.

5. Гладкие кривые, соответствующие экспериментальным точкам, проводят с помощью линейки или лекала. Если имеется несколько кривых, то каждой кривой присваивается номер, а на свободном поле чертежа указывают название, обозначение, соответствующее этому номеру. Каждый график должен иметь номер и наименование, которое отражает основное содержание графика.

Рассмотрим построение графика на примере исследования зависимости сопротивления металлов от температуры. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$R, \text{Ом}$	100,82	101,10	101,86	101,84	102,42	102,75	102,96	103,43	103,84

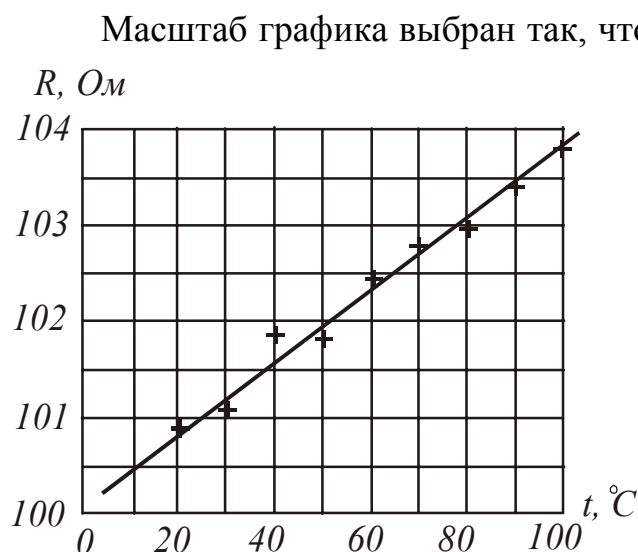


Рисунок 1

Масштаб графика выбран так, чтобы получить примерно равные размеры по длине и высоте. Экспериментальные точки отмечены крестиками (+). Теоретическая зависимость сопротивления металлов от температуры описывается уравнением: $R = R_0(1 + \alpha t)$. Это означает, что график должен иметь вид прямой линии. Рассмотрение результатов показывает, что при температуре 40°C величина сопротивления, по-видимому, измерена неверно. Эту точку следует перемерить. Остальные точки достаточно хорошо ложатся на прямую, изображенную на рис. 1. Проводить прямую следует так,

чтобы она лежала возможно ближе к точкам и чтобы по обе ее стороны оказалось приблизительно равное их количество. Нельзя точки соединять ломаной линией!

Не всегда теоретическая зависимость имеет вид прямой. Например, зависимость пути S тела, которое движется равноускоренно, от времени t (при условии, что начальная скорость тела $v_0=0$) описывается уравнением:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2

$S, \text{см}$	20	25	30	35	40	45
$t, \text{с}$	2,02	2,20	2,45	2,70	2,87	2,97
$t^2/2, \text{с}^2$	2,04	2,43	3,00	3,65	4,12	4,41

Если изобразить результаты опыта на графике, по осям которого отложены S и t , то точки расположатся вокруг параболы, провести которую на глаз очень трудно. Поэтому лучше по оси абсцисс (оси x) отложить не время t , а величину $t^2/2$; а по оси ординат (оси y) – путь S . При этом точки расположатся около прямой линии, которую нетрудно провести на глаз с достаточной точностью (рис. 2).

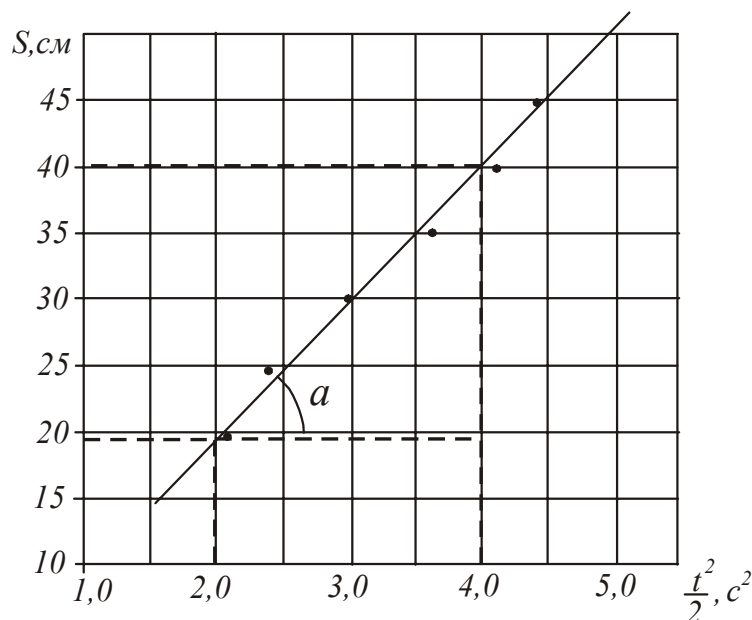


Рисунок 2

Из полученных данных можно определить ускорение a , с которым двигалось тело. Если исходить из формулы $a = \frac{S}{t^2/2}$, то достаточно взять из таблицы любую пару значений S и t . Однако каждое измерение проводилось с какой-то погрешностью, поэтому искомое значение ускорения a должно учитывать не какое-то одно измерение, а всю совокупность данных. Это можно сделать с помощью графика. Как следует из формулы, ускорение численно

равно тангенсу угла наклона прямой. Выберем произвольно на графике значение $t_1^2/2$ и найдем соответствующее ему значение S_1 . Затем также произвольно выбираем $t_2^2/2$ и находим S_2 . Из графика видно, что

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{S_2 - S_1}{\frac{t_2^2}{2} - \frac{t_1^2}{2}}.$$

Для графика, изображенного на рис. 2, $\frac{t_1^2}{2} = 2 \text{ с}^2$, $S_1 = 19 \text{ см}$; $\frac{t_2^2}{2} = 4 \text{ с}^2$, $S_2 = 40 \text{ см}$.

$$a = \frac{40 - 19}{4 - 2} = 10,5 \text{ см/с}^2.$$

Метод определения физических величин по тангенсу угла наклона прямой очень часто используют при проведении экспериментов. Обращаем Ваше внимание на то, что нельзя измерять угол транспортиром, а затем определять тангенс угла, так как в этом случае значение величины будет зависеть от выбранного Вами масштаба.

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1 Основы механики. Молекулярная физика и термодинамика

2.1.1 Основные формулы

Кинематика

Скорость и ускорение тела при прямолинейном движении в общем случае определяются формулами

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

В случае прямолинейного равномерного движения

$$v = \frac{S}{t} = \text{const}, \quad S = vt \quad a = 0.$$

В случае прямолинейного равнопеременного движения

$$v = v_0 + at, \quad S = v_0t + \frac{at^2}{2}, \quad a = \text{const}.$$

При криволинейном движении полное ускорение

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \quad a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2},$$

где a_τ – тангенциальное (касательное ускорение), a_n – нормальное (центростремительное) ускорение.

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}, \quad a_n = \frac{v^2}{R},$$

где v – скорость движения, R – радиус кривизны траектории в данной точке.

При вращательном движении в общем случае угловая скорость и угловое ускорение находятся по формулам

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2},$$

где $d\varphi$ – угловое перемещение.

В случае равномерного вращательного движения угловая скорость

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

где T – период вращения, n – частота вращения.

Угловая скорость ω и линейная скорость v связаны соотношением

$$v = \omega R.$$

Тангенциальное и нормальное ускорения при вращательном движении могут быть выражены в виде

$$a_\tau = \varepsilon R, \quad a_n = \omega^2 R.$$

Динамика

Импульс (количество движения) материальной точки массой m , движущейся со скоростью v ,

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Второй закон Ньютона

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где $\vec{F}$ – результирующая сил, действующих на материальную точку.

Если масса тела m постоянна, то

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a},$$

где $\vec{a}$ – ускорение, которое приобретает тело массой m под действием силы $\vec{F}$.

Закон сохранения импульса

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}, \text{ если } \sum_{k=1}^Z \vec{F}_k = 0$$

Работа, совершаемая переменной силой

$$A = \int_L F(r) \cos \alpha dr,$$

где интегрирование ведется вдоль траектории, обозначаемой L .

Работа, совершаемая постоянной силой

$$A = FS \cos \alpha,$$

где α – угол между направлениями силы и перемещения.

Мгновенная мощность

$$N = \frac{dA}{dt}, \quad N = \frac{A}{t}, \quad N = Fv \cos \alpha.$$

Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно

$$W_k = \frac{mv^2}{2}, \text{ или } W_k = \frac{p^2}{2m}.$$

Потенциальная энергия:

а) упруго деформированной пружины

$$W_{\Pi} = \frac{kx^2}{2},$$

где k – жесткость пружины, x – абсолютная деформация.

б) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести,

$$W_{\Pi} = mgh,$$

где g – ускорение свободного падения, h – высота тела над уровнем, принятым за нулевой (формула справедлива при условии $h \ll R$, где R – радиус Земли).

Закон сохранения механической энергии

$$W = W_k + W_{\Pi} = \text{const},$$

если система замкнута и в ней действуют только консервативные силы.

Момент M силы F относительно произвольной оси вращения

$$M = Fl,$$

где l – плечо силы, т.е. кратчайшее расстояние от прямой, вдоль которой действует сила, до оси вращения.

Момент инерции материальной точки относительно произвольной оси вращения

$$J = mr^2,$$

где m – масса материальной точки, r – расстояние от оси вращения до точки.

Момент инерции некоторых тел массой m относительно оси z , проходящей через центр масс:

а) стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной стержню,

$$J = \frac{ml^2}{12};$$

б) обруча (тонкостенного цилиндра) относительно оси, перпендикулярной плоскости обруча (совпадающей с осью цилиндра),

$$J = mR^2,$$

где R – радиус обруча (цилиндра);

в) диска (однородного сплошного цилиндра) радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска,

$$J = \frac{mR^2}{2}.$$

Основной закон динамики вращательного движения

$$M_z = \frac{dL_z}{dt} = \frac{d(J_z\omega)}{dt},$$

где L_z – проекция момента импульса на ось z , M_z – проекция момента сил, приложенных к телу, на ось z .

Если момент инерции $J = \text{const}$, то

$$M_z = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \varepsilon,$$

где ε – угловое ускорение, приобретенное телом под действием момента сил M .

Работа постоянного момента силы M , действующего на вращающееся тело

$$A = M\varphi,$$

где φ угол поворота тела.

Мгновенная мощность, развиваемая при вращении тела

$$N = M\omega.$$

Кинетическая энергия вращающегося тела

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2},$$

где J – момент инерции тела; ω – его угловая скорость.

Закон сохранения момента импульса системы тел, вращающихся вокруг неподвижной оси z ,

$$\sum_{i=1}^N L_{zi} = \sum_{i=1}^N J_{zi} \omega = \text{const},$$

если результирующий момент внешних сил относительно этой оси равен нулю.

Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика

Количество вещества

$$\nu = \frac{N}{N_A},$$

где N – число частиц (атомов, молекул, ионов); N_A – постоянная Авогадро. Или

$$\nu = \frac{m}{M},$$

где m – масса однородного тела; M – молярная масса вещества.

Уравнение Менделеева-Клапейрона (уравнение состояния идеального газа)

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT,$$

где m – масса газа, M – молярная масса газа, R – молярная газовая постоянная, ν – количество вещества, T – термодинамическая температура.

Опытные газовые законы:

а) изотермический процесс (закон Бойля – Мариотта, $T=\text{const}$, $m=\text{const}$):

$$pV = \text{const}$$

б) изобарный процесс (закон Гей-Люссака, $p=\text{const}$, $m=\text{const}$): $\frac{V}{T} = \text{const}$

в) изохорный процесс (закон Шарля, $V=\text{const}$, $m=\text{const}$): $\frac{p}{T} = \text{const}$

г) объединенный газовый закон ($m=\text{const}$): $\frac{pV}{T} = \text{const}$

Основное уравнение кинетической теории газов

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}_{\text{кв}}^2,$$

где m_0 – масса одной молекулы, n – концентрация молекул, $\bar{v}_{\text{кв}}$ – средняя квадратичная скорость.

Средняя полная кинетическая энергия молекулы

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где i – число степеней свободы молекулы.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры:

$$p = nkT.$$

Скорости молекул:

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \text{ – средняя квадратичная;}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \text{ – средняя арифметическая;}$$

$$v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \text{ – наиболее вероятная,}$$

где m_0 – масса одной молекулы, M – молярная масса газа.

Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме (c_v) и постоянном давлении (c_p)

$$c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{M}, \quad c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M}.$$

Связь между удельной c и молярной C теплоемкостями

$$c = \frac{C}{M}, \quad C = cM.$$

Уравнение Майера:

$$C_p - C_v = R.$$

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} C_v T.$$

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q – теплота, сообщенная системе (газу); ΔU – изменение внутренней энергии системы; A – работа, совершенная системой против внешних сил.

Работа расширения газа: $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ в общем случае;

$$A = p(V_2 - V_1) \text{ при изобарном процессе;}$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ при изотермическом процессе;}$$

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_v \Delta T \text{ или } A = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \text{ при адиабатном}$$

процессе, где $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ – показатель адиабаты.

Уравнение Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатном процессе:

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}, \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Коэффициент полезного действия (кпд) тепловой машины: $\eta = \frac{A}{Q}$

Термодинамический кпд цикла

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 – теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика;

Q_2 – теплота, переданная рабочим телом теплоприемнику.

Термический кпд цикла Карно

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 и T_2 – термодинамические температуры теплоотдатчика и теплоприемника.

Давление жидкости на произвольной глубине h (высоте h)

$$p = p_0 \pm \rho gh,$$

где p_0 – давление на уровне поверхности жидкости; знак “+” соответствует погружению в жидкость, знак “–” соответствует подъему жидкости по трубе.

2.1. 2 Контрольная работа №1

Задача 1.1. Уравнение движения точки имеет вид, указанный в таблице 1.1. По уравнению определить: 1) координату x_0 точки в начальный момент времени; 2) начальную скорость v_0 точки; 3) ускорение a точки; 4) написать формулу зависимости скорости от времени $v=f(t)$; 5) построить график зависимости координаты от времени $x=f(t)$ и скорости от времени $v=f(t)$ в интервале $0 \leq t \leq \tau$ с шагом Δt ; 6) указать характер движения точки.

Рекомендации: 1) Изучите §4 пособия [5] и п.1.4 данного пособия. 2) Разберите пример 1 пособия [5].

Задача 1.2. Колесо радиусом R вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^3$. Используя данные таблицы 1.2, найти для точек, лежащих на ободе колеса через t сек после начала движения следующие величины: 1) угловую скорость; 2) линейную скорость; 3) угловое ускорение; 4) тангенциальное ускорение; 5) нормальное ускорение; 6) полное ускорение.

Рекомендации: 1) Изучите §4, 5 пособия [5].

Задача 1.3. Под действием силы F тело массой m равномерно перемещается по наклонной плоскости длиной l в направлении, указанном в таблице. Высота наклонной плоскости h . Найти коэффициент трения μ тела о плоскость. Исходные данные приведены в таблице 1.3. Принять $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Рекомендации: 1) Изучите §6 пособия [5]. 2) Разберите примеры 4,5,6 пособия [5].

Задача 1.4. К ободу однородного диска массой m и радиусом R приложена касательная сила F . При вращении на диск действует момент сил трения $M_{\text{тр}}$. Диск вращается с угловым ускорением ε . Используя данные таблицы 1.4, найти недостающую величину.

Рекомендации: 1) Изучите §7 пособия [5]. 2) Разберите пример 9 пособия [5].

Задача 1.5. Пуля, летящая горизонтально со скоростью v , попадает в шар, подвешенный на невесомом жестком стержне, и застревает в нем. Масса пули – m , масса шара – M . Расстояние от центра шара до точки подвеса стержня – l . От удара пули стержень с шаром отклонился на угол α , поднявшись на высоту h . Используя данные таблицы 1.5, найти недостающие величины. Принять $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Рекомендации: 1) Изучите §6, 9 пособия [5]. 2) Разберите пример 8 пособия [5].

Задача 1.6. В колбе объемом V находится смесь газов известной природы (M_1, M_2 – молярные массы). Установлено, что при давлении газа p_1 масса колбы с газом была равна m_1 , а при давлении p_2 стала m_2 . Найти молярную массу смеси, если температура газа $t^\circ\text{C}$. Исходные данные приведены в таблице 1.6.

Рекомендации: 1) Изучите §2,3,4 пособия [6].

Задача 1.7. Давление воды в водопроводе у основания здания равно p_0 . Под каким давлением p выходит вода из крана на высоте h от основания? С какой силой F давит вода на отверстие площадью S ? На какую высоту H может подняться вода в трубе? Исходные данные приведены в таблице 1.7.

Рекомендации: 1) Изучите §3 пособия [6] и сводку формул данного пособия.

Задача 1.8. Используя числовые данные о процессе, приведенные в таблице 1.8, рассчитать недостающие в условии параметры, а также найти: 1) работу A_{12} , совершаемую газом; 2) количество теплоты Q_{12} , переданное газу; 3) изменение внутренней энергии ΔU .

Привести диаграмму процесса в координатах p, V (можно без соблюдения масштаба).

Рекомендации: 1) Изучите §19 пособия [6]. Разберите примеры 15-18 пособия [6]

2.1.3 Таблицы вариантов контрольной работы №1

Таблица 1.1

№ п/п	Уравнение движения $x(t)$, м	τ , с	Δt , с	x_0 , м	v_0 , м/с	a , м/с ²	Вид движения
1	$x = -270 + 12t$	20	2,0				
2	$x = -1,5t$	10	1,0				
3	$x = 2 + 0,4t^2$	40	4,0				
4	$x = 1 - 0,2t^2$	30	3,0				
5	$x = -0,4t^2$	20	2,0				
6	$x = 2 + 5t$	50	5,0				
7	$x = 150 - 10t$	40	4,0				
8	$x = 400 - 0,6t$	100	10,0				
9	$x = 10t + 0,4t^2$	20	2,0				
10	$x = 2t - t^2$	15	1,5				

Таблица 1.2

№ п/п	B , рад/с	C , рад/с ²	R , м	t , с	ω , рад/с	v , м/с	ε , рад/с ²	a_τ , м/с ²	a_n , м/с ²	a , м/с ²
1	5	6	0,20	2,5						
2	3	4	0,15	1,5						
3	7	3	0,25	3,0						
4	2	8	0,10	2,0						
5	3	4	0,50	3,0						
6	1	7	0,30	1,5						
7	4	2	0,45	3,0						
8	1	3	0,50	2,5						
9	5	4	0,25	1,5						
10	2	1	0,10	2,0						

Таблица 1.3

№ п/п	l , м	h , м	m , кг	F , Н	μ	Направление движения
1	1,0	0,20	0,20	1,0		вверх
2	1,1	0,38	0,15	0,24		вниз
3	1,2	0,21	0,12	0,51		вверх
4	9,8	1,2	14,0	31,0		вниз
5	8,0	1,4	12,5	69,6		вверх
6	12,8	2,0	135	381		вниз
7	7,2	1,5	18,0	123		вверх
8	6,6	1,7	22,0	110		вверх
9	9,3	2,1	1,9	9,3		вверх
10	21,0	2,2	19,5	37		вниз

Таблица 1.4

№ п/п	R , м	F , Н	$M_{\text{тр}}$, Н·м	ε , рад/с ²	m , кг
1	0,3		3,6	72	10
2	0,25	140		84	12
3	0,5	200	10,0		20
4	1,2	1150	120	8,8	
5	0,45		4,0	80	5
6	1,3	900	120		250
7	1,4	800	150	3,3	
8	0,75	250		4,0	100
9	0,2	98,1	4,9		7,4
10	0,9		20	7,0	90

Таблица 1.5

№ п/п	m , г	M , г	v , м/с	l , м	α° ,	h , см
1	3,6	3600		1,00		1,5
2	4,2		600	0,74		8,1
3		2600	550	1,57		18,4
4	8,8	3800			24	8,9
5	3,9		610		22	3,3
6		2450	480		20	9.6
7	5,5	3050		1,16	15	
8	4,6		670	1,51	5	
9	6,8	1850	470	1,49		
10		1400	520	2,19	17	

Таблица 1.6

№ п/п	V , см ³	m_1 , г	m_2 , г	p_1 , мм рт.ст	p_2 , мм рт.ст	t , °С	Хим. состав
1	300	144,26	143,92	742	70	22	O ₂ , N ₂
2	260	121,67	121,50	750	30	17	O ₂ , H ₂
3	350	153,38	152,97	737	42	25	Ar, He
4	240	117,66	117,51	744	25	20	N ₂ , H ₂
5	270	131,44	131,12	740	15	32	CO ₂ , CH ₄
6	310	141,83	141,60	748	30	19	He, CO
7	175	89,19	88,97	753	18	24	Ar, CH ₄
8	340	138,65	138,52	745	50	20	SO ₂ , H ₂
9	320	133,71	133,55	739	42	30	CO ₂ , H ₂
10	340	140,84	140,71	750	31	18	O ₂ , He

Таблица 1.7

№ п/п	p_0 , атм	h , м	S , см ²	p , Па	F , Н	H , м
1	2,5	15	0,50			
2	4,1	18	0,61			
3	3,7	12	0,72			
4	1,7	3	0,85			
5	1,9	6	0,52			
6	3,0	10	0,84			
7	7,5	30	0,86			
8	4,7	26	0,60			
9	5,2	21	0,95			
10	3,6	11	0,65			

Таблица 1.8

№ п/п	Процесс	Газ	ν , моль	m , кг	p_1 , кПа	V_1 , дм ³	t_1 , °С	p_2 , кПа	V_2 , дм ³	t_2 , °С
1	$T=\text{const}$	Cl ₂			100	20		50		50
2	$p=\text{const}$	CO ₂		0,088	200	2			75	
3	$T=\text{const}$	N ₂	2,0		70	40		35		
4	$p=\text{const}$	He		0,010	100		27			77
5	$V=\text{const}$	Воздух	0,8		100		20			60
6	$T=\text{const}$	O ₂		0,029		20	30		40	
7	$p=\text{const}$	Ar		0,043	200		33			200
8	$V=\text{const}$	Ne		0,012	90	15				300
9	$T=\text{const}$	He	1,0		100	23		80		
10	$p=\text{const}$	O ₂	1,2				20	100		250

2.2 Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм

2.2.1 Основные формулы

Электростатика

Закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2},$$

где F – сила взаимодействия точечных зарядов q_1 и q_2 ; r – расстояние между зарядами; ϵ – диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля $\vec{E}$ и потенциал φ

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad \varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q},$$

где $W_{\text{п}}$ – потенциальная энергия точечного положительного заряда q , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

Принцип суперпозиции (наложения) электрических полей: напряженность $\vec{E}$ результирующего поля, равна векторной (геометрической) сумме напряженностей складываемых полей

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i,$$

где $\vec{E}_i$ – напряженность в данной точке поля, создаваемого i -м зарядом.

Потенциал электрического поля, созданного системой N точечных зарядов равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых отдельными зарядами

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i,$$

где φ_i – потенциал в данной точке поля, создаваемого i -м зарядом

Напряженность $\vec{E}$ и потенциал φ поля, создаваемого точечным зарядом q ,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r},$$

где r – расстояние от заряда q до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

Линейная плотность заряда

$$\tau = \frac{q}{\ell}.$$

Поверхностная плотность заряда

$$\sigma = \frac{q}{s}.$$

Напряженность электростатического поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной нитью или бесконечно длинным цилиндром:

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\tau}{\epsilon r},$$

где r – расстояние от нити или от цилиндра до точки, в которой определяется напряженность.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}.$$

Связь напряженности с потенциалом:

а) $E = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{d}$ в случае однородного поля;

б) $E = -\frac{d\varphi}{dr}$ в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией.

Работа сил поля по перемещению заряда q из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2

$$A_{1-2} = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Емкость

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad \text{или} \quad C = \frac{q}{U},$$

где φ – потенциал проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю); U – разность потенциалов пластин конденсатора.

Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

где S – площадь пластины (одной) конденсатора, d – расстояние между пластинами.

Емкость батареи конденсаторов:

а) $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$ при последовательном соединении;

б) $C = C_1 + C_2 + \dots + C_N = \sum_{i=1}^N C_i$ при параллельном соединении,

где N – число конденсаторов в батарее.

Энергия электрического поля заряженного конденсатора:

$$W_{\text{эл}} = \frac{qU}{2}, \quad W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2}, \quad W_{\text{эл}} = \frac{q^2}{2C}.$$

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$w_{\text{эл}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}.$$

Постоянный электрический ток

Сила постоянного тока

$$I = \frac{q}{t},$$

где q – заряд (количество электричества), прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

Плотность электрического тока

$$j = \frac{I}{S},$$

где I – сила тока, S – площадь поперечного сечения проводника.

Сопротивление однородного проводника

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление вещества проводника, l – его длина, S – площадь поперечного сечения проводника.

Электрическая проводимость G проводника и удельная электрическая проводимость вещества σ :

$$G = \frac{1}{R}, \quad \sigma = \frac{1}{\rho}.$$

Зависимость удельного электрического сопротивления проводников от температуры:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где ρ и ρ_0 – удельные сопротивления соответственно при t и 0°C ; t – температура по шкале Цельсия; α – температурный коэффициент сопротивления.

Общее сопротивление при соединении проводников:

последовательном $R = R_1 + R_2 + \dots + R_N = \sum_{i=1}^N R_i$;

параллельном $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$,

здесь R_i – сопротивление i -го проводника; N – число проводников.

Закон Ома:

для неоднородного (содержащего источник тока) участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R};$$

для однородного участка цепи ($\varepsilon_{12} = 0$, $\varphi_1 - \varphi_2 = U$)

$$I = \frac{U}{R};$$

для замкнутой цепи ($\varphi_1 = \varphi_2$)

$$I = \frac{\varepsilon}{R},$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи; ε_{12} – ЭДС источников тока, входящих в участок; U – напряжение на участке цепи; R – общее сопротивление цепи (участка цепи); ε – ЭДС всех источников цепи.

Правила Кирхгофа.

Первое правило: алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю, т.е.

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots = \sum_{i=1}^N I_i = 0.$$

Второе правило: в замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил, т.е.

$$\sum_{i=1}^N I_i R_i = \sum_{i=1}^K \varepsilon_i,$$

где I_i – сила тока на i -м участке; R_i – активное сопротивление на i -м участке; ε_i – ЭДС источников тока на i -м участке; N – число участков, содержащих активное сопротивление; K – число участков, содержащих источники тока.

Работа, совершаемая электростатическим полем и сторонними силами в участке цепи постоянного тока за время t ,

$$A = IU t = \frac{U^2}{R} t.$$

Мощность тока

$$P = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

Закон Джоуля – Ленца

$$Q = I^2 R t,$$

где Q – количество тепла, выделяющееся в цепи за время t . Закон Джоуля – Ленца справедлив при условии, что участок цепи неподвижен и в нем не совершаются химические превращения.

Электромагнетизм

Связь магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H},$$

где μ – магнитная проницаемость изотропной среды, μ_0 – магнитная постоянная.

Магнитная проницаемость μ ферромагнетика связана с магнитной индукцией B поля в нем и напряженностью H намагничивающего поля соотношением

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}.$$

В ферромагнетике связь между магнитной индукцией B поля и напряженностью H намагничивающего поля выражается графически.

Магнитная индукция в центре кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

где R – радиус витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + x^2)^{3/2}},$$

где x – расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля прямого бесконечно длинного проводника с током

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0},$$

где r_0 – расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком проводника с током

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

(Обозначения см. на рис. 1).

Вектор индукции $\vec{B}$ перпендикулярен плоскости чертежа, направлен к нам и поэтому изображен точкой.

Магнитная индукция поля, создаваемого соленоидом в средней его части (или тороида на его оси),

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

где n – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида; I – сила тока в одном витке.

Принцип суперпозиции магнитных полей: магнитная индукция $\vec{B}$ результирующего поля равна векторной сумме магнитных индукций $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \dots, \vec{B}_N$ складываемых полей, т.е.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i.$$

В частном случае наложения двух полей

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2,$$

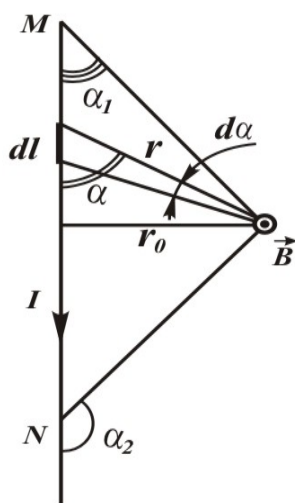


Рисунок 1

а абсолютное значение вектора магнитной индукции

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha},$$

где α – угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (сила Ампера)

$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B} \text{ или } F = IB\ell \sin \alpha,$$

где ℓ – длина провода, α – угол между направлением тока в проводе и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Сила, действующая на заряд q , движущийся со скоростью v в магнитном поле

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \text{ или } F = qBv \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{v}$ и $\vec{B}$.

Магнитный момент плоского контура с током

$$\vec{p}_m = \vec{n}IS,$$

где $\vec{n}$ – единичный вектор нормали (положительный) к плоскости контура, I – сила тока, протекающего в контуре, S – площадь контура.

Механический (вращательный момент), действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B} \text{ или } M = p_m B \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{p}_m$ и $\vec{B}$.

Магнитный поток (в случае однородного поля и плоской поверхности)

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где α – угол между нормалью к контуру и вектором $\vec{B}$, S – площадь контура.

Потокоосцепление (полный поток)

$$\Psi = \Phi N,$$

где N – число витков в соленоиде или тороиде.

Работа перемещения замкнутого контура с током в магнитном поле

$$A = I\Delta\Phi.$$

Основной закон электромагнитной индукции (закон Фарадея – Максвелла)

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi}{dt} = -N\frac{d\Phi}{dt},$$

где $\mathcal{E}_i$ – электродвижущая сила индукции; N – число витков контура; Ψ – потокоосцепление.

Потокоосцепление контура

$$\Psi = LI,$$

где L – индуктивность контура.

Электродвижущая сила самоиндукции ε_s возникающая в замкнутом контуре при изменении силы тока в нем

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}, \quad (L = \text{const}),$$

где L – индуктивность контура.

Индуктивность соленоида

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где n – число витков на единицу длины (плотность намотки), V – объем соленоида.

Энергия магнитного поля соленоида

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Объёмная плотность энергии магнитного поля

$$w_m = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}.$$

2.2.2 Контрольная работа №2

Задача 2.1. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся в среде с диэлектрической проницаемостью ε на расстоянии r . Сила взаимодействия зарядов F . Используя данные таблицы 2.1, найдите недостающие данные. Укажите характер взаимодействия: притяжение или отталкивание?

Рекомендации: 1) Изучите §1 пособия [7].

Задача 2.2. Заряд q_0 находится в поле бесконечно длинной заряженной нити с линейной плотностью заряда на ней τ . При перемещении заряда q_0 из точки, отстоящей на расстоянии r_1 от нити в точку на расстояние r_2 от нити, совершается работа A_{12} . $\Delta\varphi$ – разность потенциалов между точками, $E(r_1)$ – напряженность поля на расстоянии r_1 . Используя данные таблицы 2.2, найдите недостающие величины.

Рекомендации: 1) Изучите §§2,4,5 пособия [7]. 2) Разберите примеры 5,6 пособия [7].

Задача 2.3. Плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между пластинами d заполнен веществом с диэлектрической проницаемостью ε . К конденсатору приложено напряжение U . Используя данные, приведенные в таблице 2.3, определите: емкость C конденсатора, энергию W заряженного конденсатора, напряженность электрического поля E между пластинами, объемную плотность энергии w .

Рекомендации: 1) Изучите §9 пособия [7].

Задача 2.4. Для изготовления нагревательного элемента мощностью P взяли проволоку длиной l . Диаметр проволоки d , удельное сопротивление мате-

риала, из которого изготовлена проволока – ρ . Приложенное напряжение U . Используя данные таблицы 2.4, определите длину l проволоки, её сопротивление R , силу тока I и плотность тока j .

Рекомендации: 1) Изучите §§10,12,14 пособия [7].

Задача 2.5. Для определения эдс ε и внутреннего сопротивления r источника тока собрали цепь по схеме, приведенной на рис. 2.5. При некотором положении скользящего контакта реостата амперметр показал силу тока I_1 , а вольтметр – напряжение U_1 . Когда контакт переместили влево, амперметр показал – I_2 , а вольтметр – U_2 . Найдите внутреннее сопротивление r источника и его эдс ε . Исходные данные приведены в таблице 2.5.

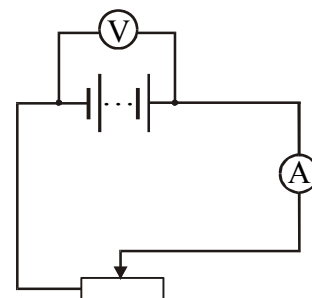


Рисунок 2.5

Рекомендации: 1) Изучите §12 пособия [7]. 2) Разберите примеры 17,18 пособия [7].

Задача 2.6. Составьте схему из трех соединенных участков, которые изображены на рис. 2.6. Номера участков, эдс источников ε_i , внутреннее сопротивление источников r_i , сопротивление участков R_i (или сила тока I_i , который протекает по одному из участков в направлении от точки А к В) заданы в таблице 2.6. Найти: 1) величины, указанные в последней колонке таблицы; 2) разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ между точками А и В.

Рекомендации: 1) Изучите §13 пособия [7]. 2) Разберите пример 23 пособия [7].

Задача 2.7. Ионы элемента A_ZX (Z – порядковый номер, A – массовое число), пройдя фильтр скоростей ($\vec{E}$ – напряженность электрического поля, $\vec{B}_1$ – индукция магнитного поля), попадают в отклоняющее поле масс-спектрометра Бейнбриджа (см. рис. 2.7). Радиус кривизны траектории ионов r , индукция отклоняющего магнитного поля $\vec{B}_2$; заряд ионов $q = +ne$ (где n – кратность ионизации, $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Фильтр скоростей “настроен” на наиболее вероятную скорость атомов, вылетающих из плазменной печи (T – температура плазмы).

Пользуясь данными таблицы 2.7, найдите недостающие величины.

Рекомендации: 1) Изучите §2 пособия [7] и §7 пособия [8]. 2) Разберите примеры 7, 9 пособия [8].

Задача 2.8. В однородном магнитном поле, индукция которого B , с постоянной частотой f вращается рамка. Обмотка рамки содержит N витков провода и охватывает площадь S . При этом на концах обмотки регистрируется напряжение, эффективное значение которого $U_{\text{эф}}$. Используя числовые данные, приведенные в таблице 2.8, определите величину индукции магнитного поля.

Рекомендации: 1) Изучите §10 пособия [8]. 2) Разберите примеры 12,13 пособия [8].

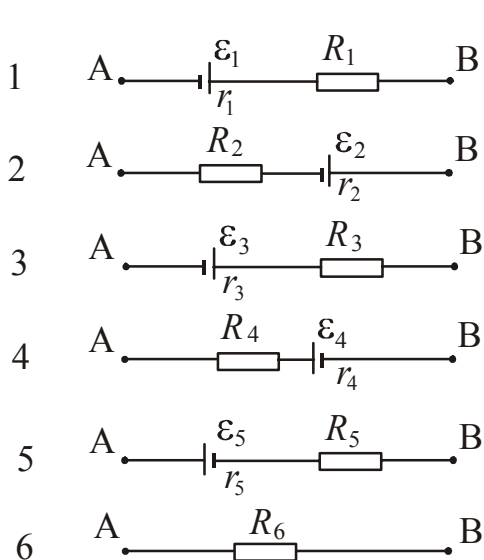


Рисунок 2.6

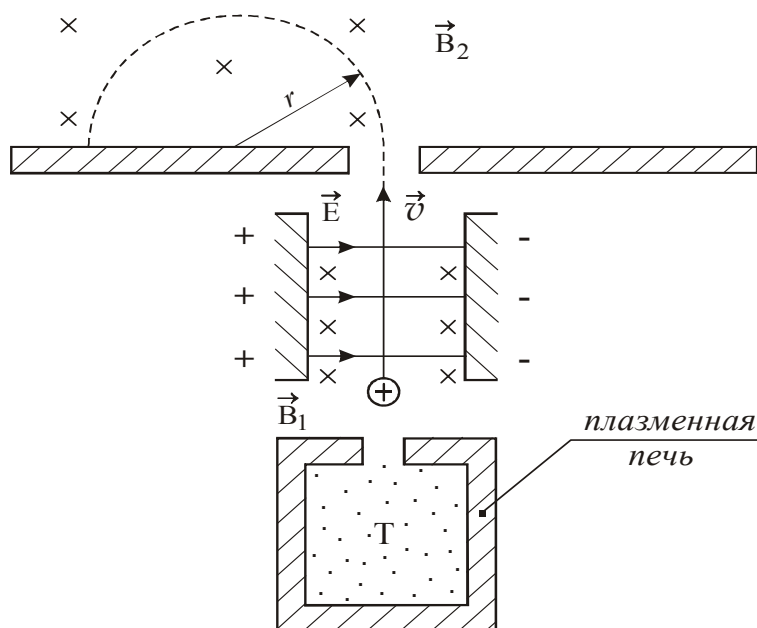


Рисунок 2.7

2.2.3 Таблицы вариантов контрольной работы №2

Таблица 2.1

№ п/п	ε	q_1 , нКл	q_2 , нКл	r , см	F , мкН
1	2,0	– 20	30	10	
2	7,0	7,5		5	56,7
3	3,0		6,0	8	43,6
4	5,0	18	– 35		50,4
5		24	7,5	3	90
6	7,0	14		12	31,25
7	5,0	– 6,5	27	7	
8	2,2		8	4	511,4
9		17	5,5	7	21,47
10	3,0	8,5	– 14,6	5,5	

Таблица 2.2

№ п/п	q_0 , нКл	τ , нКл/м	r_1 , см	r_2 , см	A_{12} , мкДж	$E(r_1)$, кВ/м	$\Delta\varphi$, В
1	2	4	2	4			
2		6	1	2	5		
3	5		1	3	6		
4	4	4		5	0,6		
5	3	8	3	4			
6			2	4	10	30	
7			2	3	8	50	
8	3	5	3	5			
9	5	4		6	0,8		
10		3	2	4	6		

Таблица 2.3

№ п/п	ε	d , мм	S , см ²	U , В	C , 10 ⁻⁹ , Ф	W , 10 ⁻⁶ Дж	E , кВ/м	w , Дж/м ³
1	2,0	0,2	50,0	30,0				
2	7,0	1,1	100,0	150,0				
3	3,0	1,2	30,0	100,0				
4	5,0	1,3	60,0	40,0				
5	2,0	1,4	30,0	36,0				
6	7,0	1,5	50,0	70,0				
7	5,0	1,6	20,0	30,0				
8	2,2	1,7	80,0	150,0				
9	2,0	1,8	120,0	100,0				
10	3,0	1,9	40,0	40,0				

Таблица 2.4

№ п/п	ρ , мкОм·м	d , мм	S , мм ²	P , Вт	U , В	l , м	R , Ом	I , А	j , А/мм ²
1	1,1	1,0		100	36				
2	1,1	1,1		150	24				
3	1,1	1,2		120	36				
4	1,1	1,3		200	36				
5	1,1	1,4		250	24				
6	1,1	1,5		300	110				
7	1,1	1,6		180	36				
8	1,1	1,7		2500	220				
9	1,1	1,8		2000	220				
10	1,1	1,9		1500	110				

Таблица 2.5

№ пп	U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	ε , В	r , Ом
1	4,0	3,6	0,50	0,9		
2	5,6	5,1	0,80	1,3		
3	8,2	7,8	0,94	1,4		
4	15,1	13,9	0,50	1,2		
5	16,3	14,7	1,70	2,4		
6	6,6	5,9	0,20	0,25		
7	5,5	5,0	0,30	0,35		
8	4,5	4,1	0,40	0,45		
9	3,6	3,0	0,50	0,55		
10	2,7	2,4	0,60	0,65		

Таблица 2.6

Вар №	Номера участков	ε_i , В	r_i , Ом	R_i , Ом	I_i , А	Найти
1	1,2,3	$\varepsilon_1=11, \varepsilon_2=4, \varepsilon_3=6$	$r_1=r_2=r_3=0$	$R_1=25, R_2=50, R_3=10$	—	I_1, I_2, I_3
2	1,2,4	$\varepsilon_1=16, \varepsilon_2=5, \varepsilon_4=7$	$r_1=r_2=r_4=0$	$R_2=30, R_4=50$	$I_1=0,4$	I_2, I_4, R_1
3	5,4,1	$\varepsilon_1=9, \varepsilon_4=6, \varepsilon_5=2$	$r_1=r_4=r_5=0$	$R_4=50, R_5=10$	$I_1=0,2$	I_4, I_5, R_1
4	1,2,6	$\varepsilon_1=10, \varepsilon_2=8$	$r_1=2, r_2=1$	$R_1=8, R_2=18, R_6=60$	—	I_1, I_2, I_6
5	3,2,1	$\varepsilon_2=4, \varepsilon_3=5$	$r_1=r_2=r_3=0$	$R_1=30, R_2=40, R_3=20$	$I_1=0,1$	I_2, I_3, ε_1
6	1,4,6	$\varepsilon_1=8, \varepsilon_4=2$	$r_1=2, r_4=1$	$R_1=18, R_4=39, R_6=80$	—	I_1, I_4, I_6
7	1,4,2	$\varepsilon_2=11, \varepsilon_4=7$	$r_1=r_2=r_4=0$	$R_1=50, R_2=20, R_4=30$	$I_1=0,1$	I_2, I_4, ε_1
8	2,3,1	$\varepsilon_1=9, \varepsilon_2=8, \varepsilon_3=1$	$r_1=r_2=r_3=0$	$R_1=50, R_2=20, R_3=10$	—	I_1, I_2, I_3
9	4,1,5	$\varepsilon_4=4, \varepsilon_5=2$	$r_1=r_4=r_5=0$	$R_1=25, R_4=50, R_5=10$	$I_1=0,4$	I_4, I_5, ε_1
10	1,3,2	$\varepsilon_2=16, \varepsilon_3=3$	$r_1=r_2=r_3=0$	$R_1=70, R_2=20, R_3=10$	$I_1=0,1$	I_2, I_3, ε_1

Таблица 2.7

№ п/п	Z	A	n	E , кВ/м	B_1 , Тл	$B_2, 10^{-3}$, Тл	r , см	v , м/с	T , К
1	6	12	1		0,5	5			3000
2	7	14	1	0,8		4		2000	
3	5	9	1		0,2	3		1600	
4	7	15	2		0,1		5	1200	
5	8	16	2	1,0			8		4000
6	11	23	1	0,8		3			3500
7	12	24	1		0,4		6	1700	
8	13	27	3		0,4		8	1400	
9	19	40	1	0,6			10		4200
10	15	32	3		0,2	3		1800	

Таблица 2.8

№ пп	S , см ²	f , Гц	N , виток	$U_{\text{эф}}$, В	B , Тл
1	50	15	100	50	
2	30	20	120	50	
3	60	10	150	36	
4	100	16	250	24	
5	45	8	220	40	
6	68	12	130	20	
7	150	5	125	12	
8	34	10	90	21	
9	56	14	85	9	
10	140	6	250	21	

2.3 Колебания и волны

2.3.1. Основные формулы

Механические колебания и волны

Гармонические колебания возникают под действием упругой или квази-упругой силы, которая подчиняется закону:

$$F = -kx,$$

где k – коэффициент упругости (коэффициент жесткости).

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний имеет вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0.$$

Решением является кинематическое уравнение гармонических колебаний:

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $x(t)$ – смещение от положения равновесия;

$A = |x_{\text{max}}|$ – амплитуда колебаний, равная модулю максимального смещения;

ω_0 – угловая или циклическая частота;

φ_0 – начальная фаза.

Циклическая частота ω , частота ν и период колебаний T связаны соотношением:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Период колебаний груза на пружине:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m – масса груза, k – жесткость пружины.

Период колебаний физического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}},$$

где J – момент инерции, m – масса маятника, l – расстояние от оси колебания до центра масс маятника.

Период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина маятника; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Кинетическая энергия гармонических колебаний:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Потенциальная энергия гармонических колебаний:

$$W_{\pi} = \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Полная энергия:

$$W = W_{\pi} + W_k = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{kA^2}{2}.$$

При сложении двух гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты получается гармоническое колебание с той же частотой, но с другой амплитудой и новой начальной фазой:

а) амплитуда результирующего колебания:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})};$$

б) начальная фаза результирующего колебания:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}.$$

Затухающие колебания описываются дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0,$$

решением которого, при выполнении условия $\beta < \omega_0$, является функция

$$x(t) = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Здесь $A(t) = A_0 e^{-\beta t}$ – убывающая во времени амплитуда колебаний;

$\beta = r/2m$ – коэффициент затухания;

ω – циклическая частота затухающих колебаний:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}.$$

Логарифмический декремент затухания:

$$\lambda = \ln \frac{A_1}{A_2} = \ln \frac{A(t+T)}{A(t)} = \beta T,$$

где A_1 и A_2 – амплитуды двух последовательных колебаний.

Добротность колебательной системы Q связана с логарифмическим декрементом колебания:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda}.$$

Вынужденные колебания, происходящие под действием внешней периодически изменяющейся силы $F = F_0 \cos \Omega t$, описываются дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \Omega t.$$

Решением этого уравнения в установившемся режиме является функция:

$$x(t) = A \cos(\Omega t + \varphi),$$

где A – амплитуда вынужденных колебаний:

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}}.$$

Значение φ , которое представляет собой величину отставания по фазе вынужденного колебания от обусловившей его вынуждающей силы:

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{2\beta \Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}.$$

При циклической частоте

$$\Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

наблюдается явление резонанса, т.е. резкое увеличение амплитуды вынужденных колебаний. Резонансная амплитуда:

$$A_{\text{рез}} = \frac{F_0}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}.$$

Статическое смещение вынужденных колебаний (при $\Omega = 0$):

$$A_{\text{ст}} = \frac{F_0}{m\omega_0^2} = \frac{F_0}{k}.$$

Процесс распространения колебаний в пространстве называется волной. Волновое уравнение, описывающее распространение волны в направлении оси x имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

Решением является уравнение плоской бегущей волны, которая распространяется вдоль положительного направления оси X :

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx) = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right),$$

где $\xi(x, t)$ – смещение точки среды с координатой x в момент времени t ;

v – скорость распространения колебаний в среде (фазовая скорость);

A – амплитуда волны;

ω – циклическая частота;

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, λ – длина волны.

Длина волны λ связана с периодом T колебаний и скоростью волны v :

$$\lambda = vT,$$

где v – фазовая скорость волны;

T – период колебаний.

Скорость продольных волн в упругой среде

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где E – модуль упругости;

ρ – плотность среды.

Скорость звука в газах:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

где γ – показатель адиабаты;

R – молярная газовая постоянная;

T – температура;

M – молярная масса.

Всякая волна переносит энергию. Среднее значение плотности потока энергии называется интенсивностью. Интенсивность равна

$$I = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 v,$$

где ρ – плотность среды.

Связь разности фаз $\Delta\varphi$ колебаний с расстоянием Δx между точками среды, отсчитанным в направлении распространения колебаний:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x,$$

где λ – длина волны.

Электромагнитные колебания и волны

Свободные колебания заряда в контуре без активного сопротивления ($R = 0$) описываются дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0.$$

Решением этого уравнения является функция:

$$q(t) = q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где $q_{\max}$ – амплитудное значение заряда на конденсаторе.

Циклическая частота:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

где L – индуктивность;

C – электроемкость.

Период колебаний определяется по формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Напряжение на конденсаторе отличается от заряда множителем $1/C$:

$$U(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{q_{\max}}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

Продифференцировав функцию $q(t)$ по времени, получим выражение для силы тока:

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}),$$

т.е. сила тока смещена по фазе от напряжения на конденсаторе на $\pi/2$.

Всякий реальный контур обладает активным сопротивлением, поэтому в контуре будут происходить затухающие колебания.

Дифференциальное уравнение затухающих электромагнитных колебаний имеет вид:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0,$$

где $\beta = \frac{R}{2L}$.

При условии, что $\beta^2 < \omega_0^2$, т.е. $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$, решение уравнения имеет вид:

$$q(t) = q_{\max} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi),$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ – циклическая частота затухающих колебаний.

Уравнения плоской электромагнитной волны имеют вид:

$$E = E_{\max} \cos(\omega t - kx),$$

$$H = H_{\max} \cos(\omega t - kx),$$

где $E_{\max}$ и $H_{\max}$ – амплитудные значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно.

Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде:

$$v_{\phi} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}},$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ – скорость электромагнитной волны в вакууме, т.е. скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;

ϵ и μ – относительные электрическая и магнитная проницаемости среды.

Связь между мгновенными значениями напряженностей электрического и магнитного полей:

$$E \sqrt{\epsilon_0 \epsilon} = H \sqrt{\mu_0 \mu}.$$

Вектор плотности потока энергии электромагнитной волны (вектор Пойнтинга):

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}.$$

Мгновенное значение вектора Пойнтинга:

$$S = E \cdot H.$$

Среднее значение вектора Пойнтинга определяет интенсивность волны:

$$I = \langle S \rangle = \frac{E_{\max} H_{\max}}{2}.$$

2.3.2 Контрольная работа №3

Задача 3.1. Пружинный маятник совершает гармонические колебания по закону $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. Обозначения, принятые в таблице 3.1:

x_0 – значение координаты в начальный момент времени; φ_0 – начальная фаза; k – коэффициент жесткости пружины; v_0 и a_0 – значения скорости и ускорения в начальный момент времени; $v_{\max}$ и $a_{\max}$ – максимальные значения скорости и ускорения. Используя данные таблицы 3.1, выполните следующее:

1. Найдите недостающие в таблице величины.
2. Запишите уравнение колебаний с числовыми коэффициентами.

Рекомендации: 1) Изучите §§1,2,3 пособия [9]. 2) Разберите примеры 1,3,4 пособия [9].

Задача 3.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L и конденсатора ёмкостью C . Напряжение на конденсаторе изменяется по закону $u_c(t) = U_{\max} \cos \omega_0 t$. Используя данные таблицы 3.2, выполните следующее:

1. Найдите недостающие в таблице величины.
2. Запишите уравнение изменения $u_c(t)$ с числовыми коэффициентами.

Рекомендации: 1) Изучите §3 (п.3.4) пособия [9]. 2) Разберите пример 13 пособия [9].

Задача 3.3. Точка участвует в двух колебаниях одного направления и одинаковой частоты. Амплитуды колебаний равны A_1 и A_2 . φ_{01} и φ_{02} – начальные фазы этих колебаний. A – амплитуда результирующего колебания, φ_0 – его начальная фаза. Используя данные таблицы 3.3, выполните следующее:

1. Найдите недостающие величины.
2. Постройте векторную диаграмму сложения колебаний с соблюдением масштаба.
3. Запишите уравнение результирующего колебания с числовыми коэффициентами.

Рекомендации: 1) Изучите §5 (п.5.2) пособия [9]. 2) Разберите пример 6 пособия [9].

Задача 3.4. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями:

$$\begin{aligned}x(t) &= A_1 \cos \omega t, \\y(t) &= A_2 \cos(\omega t + \varphi).\end{aligned}$$

Используя данные таблицы 3.4, найдите уравнение траектории точки, постройте её с соблюдением масштаба и укажите направление движения.

Рекомендации: 1) Изучите §5 (п.5.3) пособия [9]. 2) Разберите пример 5 пособия [9].

Задача 3.5. Маятник совершает затухающие колебания. Обозначения, принятые в таблице 3.5: β – коэффициент затухания; ω_0 – собственная частота колебаний; λ – логарифмический декремент затухания, τ – время релаксации, N_e – число колебаний, за которое амплитуда уменьшается в $e=2,718\dots$ раз, Q – добротность колебательной системы. Используя данные таблицы 3.5, выполните следующее:

1. Найдите недостающие в таблице величины.
2. Запишите уравнение колебаний с числовыми коэффициентами.
3. Построить по точкам график зависимости амплитуды затухающих колебаний от времени.

Рекомендации: 1) Изучите §6 пособия [9]. 2) Разберите пример 7 пособия [9].

Задача 3.6. Пружинный маятник совершает вынужденные колебания под действием внешней периодически изменяющейся силы $F = F_0 \cos \Omega t$. Обозначения, принятые в таблице 3.6: m – масса груза; ω_0 – собственная частота колебаний; β – коэффициент затухания; F_0 – амплитудное значение вынуждающей силы. Используя данные таблицы 3.6, выполните следующее:

1. Найдите значения резонансной частоты $\Omega_{\text{рез}}$, резонансной амплитуды $A_{\text{рез}}$, и статического смещения $A_{\text{ст.}}$.
2. Запишите уравнение установившихся вынужденных колебаний системы с числовыми коэффициентами при $\Omega = \Omega_{\text{рез}}$.

Рекомендации: 1) Изучите §7 пособия [9].

Задача 3.7. В точке $x = 0$ находится источник колебаний, которые распространяются вдоль оси Ox . Колебание источника происходит по закону: $\xi(0, t) = A \cos \omega t$. Обозначения, принятые в таблице 3.7: ω – частота колебаний, λ – длина волны, k – волновое число. Используя данные таблицы 3.7, выполните следующее:

1. Найдите недостающие в таблице величины.
2. Запишите уравнение с числовыми коэффициентами плоской монохроматической волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси Ox .
3. Рассчитайте смещение колеблющейся точки, находящейся на расстоянии x_1 от источника, для момента времени t_1 .

Рекомендации: 1) Изучите §§8,9 пособия [9]. 2) Разберите примеры 14,15 пособия [9].

Задача 3.8. Катушка (без магнитного сердечника) длиной l и площадью поперечного сечения S_1 имеет N витков и соединена параллельно с конденсатором. Конденсатор состоит из двух пластин площадью S_2 каждая. Расстояние между пластинами d заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ . T – период колебаний, ν – частота колебаний, λ – длина волны, на которую резонирует контур. Используя данные, приведенные в таблице 3.8, найдите недостающие величины.

Рекомендации: 1) Изучите §14 пособия [9]. 2) Разберите пример 18 пособия [9].

2.3.3 Таблицы вариантов контрольной работы №3

Таблица 3.1

Вариант	m , г	k , Н/м	φ_0 , рад	x_0 , см	A , см	v_0 , см/с	$v_{\max}$, см/с	$a_0, 10^4$ см/с ²	$a_{\max}, 10^4$ см/с ²	ω_0 , 1/с
1	5	50	$\pi/6$	2,0						
2	10			1,0	2,0		200			
3		300	$\pi/4$	2,0				-0,03		
4	10	300		1,41	2,0					
5		200		1,41	2,0	300				
6	10	100	$\pi/4$	1,0						
7		300		2,0	3,0	200				
8	15			1,41	2,0		300			
9		200		3,0	5,0			-0,04		
10	8	160		0,709	1,0					

Таблица 3.2

Вариант	C , мкФ	L , мГн	$\omega_0, 10^3$ рад/с	$Q_{\max}$, мкКл	$I_{\max}$, мА	$U_{\max}$, мВ
1	1	10				200
2		1	5			150
3	50		2			120
4		2	50			200
5	5	0,5				300
6	0,1	1				300
7		5	20			400
8	4		5			250
9	2		5			500
10	0,2	0,5				240

Таблица 3.3

Вариант	A_1 , см	φ_{01} , град	A_2 , см	φ_{02} , град	A , см	φ_0 , град
1	2	0	3	60		
2	3		4	0	5	
3		90	4	45		60
4	4		2	0	5	
5	5	60		15		30
6	6	30		90		45
7	3	45	4	90		
8	4	270		45		30
9	2		4	30	5,4	
10	4	60		15	6	

Таблица 3.4

Вариант	A_1 , см	A_2 , см	ν , Гц	φ , град
1	5	6	50	0
2	8	3	50	+90
3	3	7	150	+180
4	8	9	100	-90
5	6	4	150	+270
6	4	7,5	50	-180
7	9	4	100	-90
8	5	9	100	0
9	10	4	100	+180
10	12	3	50	0

Таблица 3.5

Вариант	β , с^{-1}	A_0 , см	T , с	λ	τ , с	N_e	Q	φ_0 , град
1	2	6,5	0,3					45
2		12,0	2,0	0,01				15
3		13,0			50	100		20
4		7,0	1,0				300	35
5		8,0	0,15		40			50
6		10,0	3,0	0,005				40
7	3	7,5	0,15					37
8		15,0			60	120		60
9		11,0	2,0				800	75
10		10,0			30	145		82

Таблица 3.6

Вариант	m , г	ω_0 , рад/с	β , с^{-1}	F_0 , Н	$\Omega_{\text{рез}}$, рад/с	$A_{\text{ст}}$, см	$A_{\text{рез}}$, см
1	5	20,00	2,00	0,010			
2	35	3,14	0,05	0,015			
3	30	12,00	0,20	0,012			
4	15	6,00	0,10	0,025			
5	26	4,00	0,30	0,030			
6	12	2,00	0,10	0,010			
7	28	4,00	0,08	0,016			
8	20	13,00	0,30	0,018			
9	27	3,00	0,20	0,025			
10	8	30,00	3,00	0,024			

Таблица 3.7

Вариант	A , см	ω , рад/с	T , с	λ , м	v , м/с	k , м ⁻¹	t_1 , с	x_1 , м
1	1,0	100			300		0,10	15
2	1,5		0,01	3,0			0,30	70
3	2,0				100	2	0,15	10
4	2,5		0,003		200		0,05	7
5	2,2	200		0,5			0,50	5
6	1,0		0,002	2,0			0,20	12
7	1,2	200			240		0,25	54
8	1,4				200	2	0,32	50
9	1,8	400		2,5			0,34	48
10	2,0		0,002		20		0,40	6

Таблица 3.8

Вариант	S_2 , см ²	d , мм	ε	C , пФ	N	l , см	S_1 , см ²	L , мГн	T , мкс	ν , МГц	λ , м
1	50		2,0	44	1000		3,0	0,754			
2		1,50	7,0	165		40	2,0		1.52		
3	26	0,10		1106	600	12		1,884			
4		3,00	3,0		900		4,0	2,552			400
5		7,00	4,5	57		20	7,0			0,289	
6		0,70	5,0	190		24	9,0			0,843	
7	36		3,2	340	650	18		2,358			
8	44	1,00	4,1		700	30	3,0				
9	45	2,50			800		10,0	5,024		0,363	
10		5,00	3,3	22	850	18					315

2.4 Оптика. Элементы физики твердого тела и атомной физики

2.4.1 Основные формулы

Волновая оптика

Скорость света в среде:

$$v = \frac{c}{n},$$

где c – скорость света в вакууме;

$n = \sqrt{\epsilon \mu}$ – абсолютный показатель преломления среды.

При прохождении света через границу раздела двух сред выполняются:

1) *закон отражения*: угол падения α равен углу отражения γ ;

$$\alpha = \gamma$$

2) *закон преломления*:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где α – угол падения;

β – угол преломления;

n_{21} – постоянная для двух данных сред величина, называемая относительным показателем преломления второй среды относительно первой;

n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления сред.

Оптическая длина пути световой волны:

$$L = n x,$$

где x – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух световых волн:

$$\Delta = L_2 - L_1 = n_2 x_2 - n_1 x_1.$$

Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Условие максимального ослабления света при интерференции:

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки, находящейся в воздухе:

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{\lambda}{2},$$

где d – толщина пленки;

n – показатель преломления пленки;

α – угол падения.

При дифракции на дифракционной решетке угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса), определяется из условия:

$$d \sin \varphi = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

где d – период дифракционной решетки.

Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Б}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где $\alpha_{\text{Б}}$ – угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована;

n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Закон Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

где I_0 – интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор;

I – интенсивность света, прошедшего через анализатор;

φ – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

Квантовая оптика

Закон Стефана – Больцмана:

$$R_{\text{э}} = \sigma T^4,$$

где $R_{\text{э}}$ – энергетическая светимость (излучательность) абсолютно черного тела;

σ – постоянная Стефана–Больцмана;

T – термодинамическая температура.

Закон смещения Вина:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T},$$

где λ_{max} – длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости в спектре излучения;

b – постоянная Вина.

Энергия фотона (кванта электромагнитного излучения):

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где h – постоянная Планка;

ν – частота фотона;

λ – длина волны.

Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2},$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла;

$A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона.

Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h} \quad \text{или} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{вых}}},$$

где ν_0 – минимальная частота, при которой возникает фотоэффект;

λ_0 – максимальная длина волны, при которой ещё возможен фотоэффект;

h – постоянная Планка;

c – скорость света в вакууме.

Квантовая механика

Энергия электрона в водородоподобном атоме:

$$E_n = -\frac{E_i}{n^2} \cdot Z^2,$$

где E_i – энергия ионизации атома водорода;

n – главное квантовое число ($n=1, 2, 3 \dots$);

Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода:

$$\varepsilon = E_{n_i} - E_{n_k} \quad \text{или} \quad \varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2} \right),$$

где n_i – номер энергетического уровня, на который переходит электрон;

n_k – номер энергетического уровня, с которого переходит электрон.

Формула, позволяющая найти длины волн λ для водородоподобных атомов (обобщенная формула Бальмера), имеет вид:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2} \right),$$

где R – постоянная Ридберга.

Физика твердого тела. Полупроводники

Зависимость удельной электропроводности собственных полупроводников от температуры имеет вид:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}},$$

где ΔE – ширина запрещённой зоны;

k – постоянная Больцмана;

T – термодинамическая температура;

σ_0 – константа, характерная для данного полупроводника.

Сопротивление собственного полупроводника изменяется по закону:

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}.$$

Для собственного полупроводника температурный коэффициент сопротивления:

$$\alpha_T = -\frac{\Delta E}{2kT^2}.$$

Физика атомного ядра

Массовое число A ядра (число нуклонов в ядре):

$$A = Z + N,$$

где Z – зарядовое число (число протонов);

N – число нейтронов.

Дефект массы ядра:

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{я}},$$

где m_p – масса протона;

m_n – масса нейтрона;

$m_{\text{я}}$ – масса ядра.

Так как

$$m_{\text{я}} = m_a - Z m_e,$$

где m_a – масса изотопа;

m_e – масса электрона,

то

$$\Delta m = Z m_{\text{H}} + (A - Z) m_n - m_a,$$

где m_{H} – масса изотопа водорода ${}^1_1\text{H}$.

Энергия связи ядра:

$$\Delta E_{\text{св}} = \Delta m c^2$$

где Δm – дефект массы ядра;

c – скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна:

$$\Delta E_{\text{св}} = 931,5 \cdot \Delta m,$$

где $931,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$ – коэффициент пропорциональности;

Δm – выражено в а.е.м.

Удельная энергия связи (энергия связи, приходящаяся на один нуклон):

$$\varepsilon_{\text{уд}} = \frac{\Delta E_{\text{св}}}{A}.$$

Изменение энергии при ядерной реакции:

$$Q = c^2 (\sum m_i - \sum m_k),$$

где $\sum m_i$ – сумма масс частиц до реакции;

$\sum m_k$ – сумма масс частиц после реакции.

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N – число нераспавшихся атомов в момент времени t ;

N_0 – число нераспавшихся атомов в момент, принятый за начальный (при $t=0$);

λ – постоянная радиоактивного распада.

Период полураспада связан с постоянной распада соотношением

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Активность изотопа

$$a = -\lambda N.$$

Активность изотопа изменяется со временем по тому же закону, что и число нераспавшихся ядер:

$$a = a_0 e^{-\lambda t}.$$

Удельная активность радиоактивного источника

$$a_{\text{уд}} = \frac{a}{m},$$

где m – масса этого источника.

Закон ослабления интенсивности γ -излучения при прохождении через поглощающее вещество:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где I_0 – интенсивность γ -излучения, падающего на поверхность вещества;

I – интенсивность γ -излучения в веществе на глубине x ;

μ – линейный коэффициент ослабления.

2.4.2 Контрольная работа №4

Задача 4.1. Пучок параллельных монохроматических лучей с длиной волны λ падает на находящуюся в воздухе тонкую пленку с показателем преломления n . α – угол падения лучей, d – наименьшая толщина пленки, при которой отраженные лучи максимально усилены (ослаблены) интерференцией. Испол-

зуя данные таблицы 4.1, найдите недостающие величины. Начертите ход лучей в тонкой пленке.

Рекомендации: 1) Изучите §§2,3 пособия [10]. 2) Разберите пример 1 пособия [10].

Задача 4.2. На дифракционную решётку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок света с длиной волны λ . Помещённая вблизи решётки линза проецирует дифракционную картину на экран, удаленный от линзы на расстояние L . Расстояние между двумя максимумами интенсивности первого порядка на экране равно l . Постоянная решётки – d . Число штрихов решётки на единицу длины – n . Максимальный порядок спектра – $m_{\max}$. Число максимумов, которое при этом дает решётка – N . Угол дифракции первого порядка – φ_1 . Используя данные таблицы 4.2, найдите недостающие величины.

Рекомендации: 1) Изучите §5 пособия [10]. 2) Разберите пример 5 пособия [10].

Задача 4.3. Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол между их плоскостями пропускания равен φ . I_0 – интенсивность естественного света, падающего на поляризатор; I_1 – интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор; I_2 – интенсивность света, вышедшего из анализатора. Коэффициент поглощения света в каждом никеле k . Используя данные таблицы 4.3, найдите недостающие величины.

Рекомендации: 1) Изучите §§6,7 пособия [10]. 2) Разберите пример 7 пособия [10].

Задача 4.4. Электрическая муфельная печь потребляет мощность P . Температура ее внутренней поверхности при открытом небольшом отверстии диаметром d равна t . $\lambda_{\max}$ – длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения.

Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно черное тело, определить, какая часть η мощности рассеивается стенками, а также другие недостающие в таблице 4.4 величины.

Рекомендации: 1) Изучите §§10,11 пособия [10]. 2) Разберите пример 10 пособия [10].

Задача 4.5. На поверхность некоторого материала падает свет с частотой ν . ϵ – энергия фотона, падающего на поверхность; λ_0 – красная граница фотоэффекта для этого вещества; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона, $\nu_{\max}$ – максимальная скорость фотоэлектронов; U_3 – задерживающее напряжение.

Используя значения величин, приведенных в таблице 4.5, найдите недостающие. Воспользовавшись справочными данными, приведенными в приложении, определите название этого материала.

Рекомендации: 1) Изучите §14 пособия [10]. 2) Разберите примеры 11,12 пособия [10].

Задача 4.6. При измерении сопротивления собственного полупроводника было установлено, что при температуре t_1 его сопротивление равно R_1 , а при температуре t_2 равно R_2 . Используя данные, приведенные в таблице 4.6, найдите ширину запрещенной зоны и значения температурного коэффициента сопротивления полупроводника при температурах t_2 и t_1 .

Используя справочные таблицы, определите название полупроводника.

Рекомендации: 1) Изучите §9 (п.9.2.1) пособия [11]. 2) Разберите пример 8 пособия [11].

Задача 4.7. В таблице 4.7 приведена сокращенная форма записи ядерной реакции. Дайте полную запись реакции и найдите энергетический выход в МэВ. Укажите характер реакции – экзотермическая или эндотермическая.

Принятые обозначения:

$\alpha = {}^4_2\text{He}$ – альфа-частица, $p = {}^1_1p$ – протон, $n = {}^1_0n$ – нейтрон, $d = {}^2_1\text{H}$ – дейтон, γ – гамма-квант, X – искомый элемент.

Рекомендации: 1) Изучите §14 пособия [11]. 2) Разберите примеры 10,11 пособия [11].

Задача 4.8. Рассчитайте дефект массы ядра Δm , энергию связи $\Delta E_{\text{св}}$ и удельную энергию связи нуклонов в ядре $\varepsilon_{\text{уд}}$. Используя график зависимости удельной энергии связи от массового числа ядра A , данный в приложении, определите значение удельной энергии связи для Вашего элемента. Сравните найденное значение с рассчитанным.

Номер элемента соответствует Вашему варианту + 8.

Рекомендации: 1) Изучите §13 пособия [11]. 2) Разберите примеры 8,9 пособия [11].

2.4.3 Таблицы вариантов контрольной работы №4

Таблица 4.1

Вариант	λ , нм	d , нм	α , град	n	Результат интерференции
1		125	30	1,3	Ослабление
2	500	104	30		Усиление
3	450	94		1,3	Ослабление
4	700		30	1,3	Усиление
5		152	30	1,3	Усиление
6	500	94	45		Ослабление
7		104	45	1,5	Усиление
8	650		45	1,5	Усиление
9	680	129		1,5	Усиление
10	720	272	45		Ослабление

Таблица 4.2

Вариант	λ , нм	L , м	l , см	d , мкм	$n, 10^5$, 1/м	$m_{\max}$	N	φ , град
1	500,0	1,0	20,1					
2	449,4	2,0		5				
3	598,9		15		1			
4		1,0	20	5				
5		1,5	28		2			
6	700,2	1,0	30					
7	697,6	1,5	25					
8		2,0	25	10				
9		1,0	30		2			
10		1,0	25		2,5			

Таблица 4.3

Вариант	φ , град	k	I_0 , Вт/см ²	I_1 , Вт/см ²	I_2 , Вт/см ²
1	60	0,05	15		
2		0,07	12		3,5
3	40	0,15			8,3
4		0,08	28		4,9
5	45	0,09	16		
6	30	0,10		8,1	
7		0,11	20		1,4
8	25	0,06		11,3	
9	20	0,07			3,8
10	55	0,12	11		

Таблица 4.4

Вариант	P , Вт	t , °C	S , см ²	λ_{max} , нм	η
1	1000	927	25		
2	1500	1000	25		
3	1100		20	2000	
4	1150	900	30		
5	1200	927	25		
6	1000		20	1900	
7	950	1027	20		
8	2150		32	2300	
9	1300		25	1900	
10	1100	1127	30		

Таблица 4.5

Вариант	λ_0 , нм	A , эВ	ν , 10^{15} , с ⁻¹	ε , эВ	v_{max} , км/с	U_3 , В
1	641				826	
2		1,37	0,8			
3	942					2,45
4		3,3		4,0		
5	460				699	
6		2,35		5,0		
7	560					1,34
8		1,81			704	
9	792		1,0			
10		1,9		4,2		

Таблица 4.6

Вариант	R_1 , Ом	t_1 , °C	t_2 , °C	ΔE , эВ	R_2 , Ом
1	5387	17	77		121
2	856	25	45		221
3	7119	25	55	0,66	
4	893		65	0,66	157
5	5038	46	80		1587
6		7	72	0,66	188
7	1807	20	53	1,428	
8	3525	34		1,428	92
9	4277	15	70		345
10	4752	23		0,78	712

Таблица 4.7

Вариант	Реакция
1	$^{14}\text{N}(\alpha, p)\text{X}$
2	$^9\text{Be}(\alpha, n)\text{X}$
3	$^7\text{Li}(p, \alpha)\text{X}$
4	$^6\text{Li}(p, \alpha)\text{X}$
5	$^{10}\text{B}(n, \alpha)\text{X}$
6	$^6\text{Li}(n, \alpha)\text{X}$
7	$^2\text{H}(p, \gamma)\text{X}$
8	$^3\text{H}(p, \gamma)\text{X}$
9	$^2\text{H}(d, n)\text{X}$
10	$^2\text{H}(d, \gamma)\text{X}$

РАЗДЕЛ 3. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1 Основные физические постоянные

Величина	Обозначение	Значения
Гравитационная постоянная	G, γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Ускорение свободного падения	g	$9,81 \text{ м/с}^2$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Стандартный объем 1 моля газа	V_m	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{моль}$
Атомная единица массы	1 а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $0,00055 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,00867 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,00728 \text{ а.е.м.}$
Элементарный заряд	e, q_e	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Удельный заряд электрона	e/m_e	$1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Ридберга	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Боровский радиус	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптоновская длина волны для электрона	λ_C	$2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-1}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Электрон-вольт	1 эВ	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Энергия ионизации атома водорода	E_i	13,6 эВ
Энергетический эквивалент 1 а.е.м.		931,5 МэВ
Масса Земли	M_3	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Земли	R_3	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$

3.2. Некоторые сведения о единицах физических величин

3.2.1. Единицы физических величин СИ, имеющие собственные наименования

Величина	Единица		
	наименование	обозначение (русское)	обозначение (международное)
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr
Сила, вес	ньютон	Н	N
Работа, энергия	джоуль	Дж	J
Мощность	ватт	Вт	W
Давление	паскаль	Па	Pa
Напряжение (механическое)	паскаль	Па	Pa
Модуль упругости	паскаль	Па	Pa
Частота колебаний	герц	Гц	Hz
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Теплота (количество теплоты)	джоуль	Дж	J
Количество вещества	моль	моль	mol
Электрический заряд	кулон	Кл	C
Сила тока	ампер	А	A
Потенциал электрического поля	вольт	В	V
Напряжение (электрическое)	вольт	В	V
Электрическая ёмкость	фарад	Ф	F
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω
Электрическая проводимость	сименс	См	S
Магнитная индукция	тесла	Тл	T
Магнитный поток	вебер	Вб	Wb
Индуктивность	генри	Гн	H
Сила света	кандела	кд	cd
Световой поток	люмен	лм	lm
Освещённость	люкс	лк	lx
Поток излучения	ватт	Вт	W
Доза излучения (поглощённая доза)	грей	Гр	Gy
Активность изотопа	беккерель	Бк	Bq

3.2.2. Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименований

Мно- житель	Приставка		Пример	
	наименование	обозначение		
10^{15}	пета	П	петагерц	ПГц
10^{12}	тера	Т	тераджоуль	ТДж
10^9	гига	Г	гиганьютон	ГН
10^6	мега	М	мегаом	МОм
10^3	кило	к	километр	км
10^2	гекто	г	гектоватт	гВт
10^1	дека	да	декалитр	дал
10^{-1}	деци	д	дециметр	дм
10^{-2}	санти	с	сантиметр	см
10^{-3}	милли	м	миллиампер	мА
10^{-6}	микро	мк	микровольт	мкВ
10^{-9}	нано	н	наносекунда	нс
10^{-12}	пико	п	пикофарад	пф
10^{-15}	фемто	ф	фемтометр	фм

3.2.3. Внесистемные единицы, допущенные к применению наравне с единицами СИ (в соответствии со стандартом 1052-78 «Метрология. Единицы физических величин»)

Величина	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	1000 кг
	грамм	г	0,001 кг
Объем, вместимость	литр	л	0,001 м ³
Относительная величина	единица (число 1)	—	1
	процент	%	10 ⁻²
Логарифмическая величина	бел	Б	—
	децибел	дБ	—
Температура	градус Цельсия	°С	1°С = 1К

3.2.4. Соотношения между внесистемными единицами и единицами СИ

<i>Единицы механических величин</i>	
Длина	1 ангстрем = 10^{-10} м
Время	1 сутки = 86400 с
	1 год = 365,25 суток = $3,16 \cdot 10^7$ с
Плоский угол	$1^\circ = \pi/180$ рад = $1,75 \cdot 10^{-2}$ рад
	$1' = (\pi/108) \cdot 10^{-2}$ рад = $2,91 \cdot 10^{-4}$ рад
	$1'' = (\pi/648) \cdot 10^{-3}$ рад = $4,85 \cdot 10^{-6}$ рад
Объем, вместимость	1 л = $1 \text{ дм}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$
Масса	1 т = 10^3 кг
	1 г = 10^{-3} кг
	1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Сила	1 кгс = 9,81 Н
Работа, энергия	1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж
	1 кВт·ч = $3,6 \cdot 10^6$ Дж
Мощность	1 л.с. = 736 Вт
Давление	$1 \text{ кгс/см}^2 = 1 \text{ атм (техн)} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$
	1 мм рт. ст. = 133,3 Па
Теплота	1 кал = 4,19 Дж
Магнитная индукция	1 Гс (гаусс) = 10^{-4} Тл
Напряженность магнитного поля	1 Э (эрстед) = 79,6 А/м

3.2.5. Коэффициенты Стьюдента $t_{\alpha, n}$

$n \setminus \alpha$	0,9	0,95	0,98	0,999
2	6,31	12,71	31,82	636,62
3	2,92	4,30	6,97	31,60
4	2,35	3,18	4,54	12,94
5	2,13	2,78	3,75	8,61
6	2,02	2,57	3,37	6,86
7	1,94	2,45	3,14	5,96
8	1,90	2,37	3,00	5,41
9	1,86	2,31	2,90	5,04
10	1,83	2,26	2,82	4,78

3.3. Таблицы физических величин

3.3.1. Плотность и модуль упругости твердых тел

Материал		ρ , 10^3 кг/м^3	Модуль упругости (Юнга) E , ГПа
Алюминий	Al	2,70	69 – 72
Вольфрам	W	19,3	350 – 400
Германий	Ge	5,32	82
Железо	Fe	7,86	195 – 205
Золото	Au	19,3	78 – 83
Индий	In	7,31	10,5
Кремний	Si	2,33	110 – 160
Медь	Cu	8,96	110 – 130
Молибден	Mo	10,2	300 – 330
Никель	Ni	8,9	200 – 220
Олово	Sn	7,3	41 – 55
Палладий	Pd	12,0	115 – 125
Платина	Pt	21,4	150 – 175
Селен	Se	4,79	55
Серебро	Ag	10,5	72 – 72,5
Свинец	Pb	11,4	14 – 18
Стронций	Sr	2,6	–
Титан	Ti	4,51	110
Цинк	Zn	7,14	100 – 130
Дюралюминий		2,79	70 – 72,5
Сталь (катаная)		7,85–8,0	200 – 210
Медные сплавы (латуни)		8,4–8,7	102 – 115

3.3.2. Тепловые свойства твердых тел

Вещество	$t_{\text{пл}}$, °C	c , кДж/(кг·K)	λ , 10^5 Дж/кг	K , Вт/(м·K)	α , 10^{-6} K^{-1}
Алюминий	660	0,86	4,0	237	23 – 24
Дюралюминий	600	0,60		130	18 – 26
Сталь	1440	0,45	2,7	50	10 – 18
Золото	1063		0,64	317	78 – 83
Медь	1083	0,38	2,1	400	16 – 17
Медные сплавы (латуни)	900	0,35		110	18 – 20
Свинец	327	0,13	0,23	35	28 – 29
Олово	232	0,23	0,605	70	20 – 22
Лед	0	2,10	3,4	2,2	52,7
Стекло (оконное)	600	0,67	1,4	0,92	6 – 10

$t_{\text{пл}}$ – температура плавления; c – удельная теплоемкость;
 λ – удельная теплота плавления; K – коэффициент теплопроводности
 α – температурный коэффициент линейного расширения (средние значения)

3.3.3. Свойства жидкостей при 20°C

Вещество	Плотность ρ , кг/м ³	Вязкость η , мПа·с	Поверхностное натяжение α , мН/м	Температура кипения t , °C
Вода	1000	1,00	72,8	100
Глицерин	1260	1480	59,4	290
Масло касторовое	955	986		
Масло транс- форматорное	860			
Керосин	840	1,5		
Ртуть	13595	1,55	475,0	356,6

3.3.4. Свойства газов при 20°C

Вещество	Плотность ρ при норм. усл., кг/м ³	Диаметр молекулы d , нм	Вязкость η , мкПа·с	Показатель адиабаты $\gamma=c_p/c_v$
Азот N ₂	1,2505	0,371	16,6	1,401
Водород H ₂	0,0899	0,28	8,4	1,407
Воздух	1,293	0,357	17,1	1,400
Гелий He	0,1785	0,1987	18,6	1,63
Кислород O ₂	1,4289	0,35	19,2	1,400
Углекислый газ CO ₂	1,977	0,45	13,8	1,33

3.3.5. Скорость звука при 20°C

Газы		Жидкости		Твердые тела	
Вещество	v , м/с	Вещество	v , м/с	Вещество	v , м/с
Воздух	334	Вода	1482	Латунь	3490
Водород	1300	Глицерин	1895	Сталь	5100
Метан	430	Керосин	1295	Гранит	3950

3.3.6. Зависимость скорости звука в сухом воздухе от температуры при нормальном атмосферном давлении

t , °C	0	10	20	30
v , м/с	331	338	344	351

3.3.7. Элементы периодической системы
 Z – порядковый номер; A – относительная атомная масса
 химического элемента (округленные значения)

Z	Элемент	Символ	A	Z	Элемент	Символ	A
1	Водород	H	1	47	Серебро	Ag	108
2	Гелий	He	4	48	Кадмий	Cd	112
3	Литий	Li	7	49	Индий	In	115
4	Бериллий	Be	9	50	Олово	Sn	119
5	Бор	B	11	51	Сурьма	Sb	122
6	Углерод	C	12	52	Теллур	Te	128
7	Азот	N	14	53	Йод	I	127
8	Кислород	O	16	54	Ксенон	Xe	131
9	Фтор	F	19	55	Цезий	Cs	133
10	Неон	Ne	20	56	Барий	Ba	137
11	Натрий	Na	23	57	Лантан	La	139
12	Магний	Mg	24	58	Церий	Ce	140
13	Алюминий	Al	27	59	Празеодим	Pr	141
14	Кремний	Si	28	60	Неодим	Nd	144
15	Фосфор	P	31	61	Прометий	Pm	145
16	Сера	S	32	62	Самарий	Sm	150
17	Хлор	Cl	35	63	Европий	Eu	152
18	Аргон	Ar	40	64	Гадолиний	Gd	157
19	Калий	K	39	65	Тербий	Tb	159
20	Кальций	Ca	40	66	Диспрозий	Dy	163
21	Скандий	Sc	45	67	Гольмий	Ho	165
22	Титан	Ti	47	68	Эрбий	Er	167
23	Ванадий	V	51	69	Тулий	Tu	169
24	Хром	Cr	52	70	Иттербий	Yb	173
25	Марганец	Mn	55	71	Лютеций	Lu	175
26	Железо	Fe	56	72	Гафний	Hf	178
27	Кобальт	Co	59	73	Тантал	Ta	181
28	Никель	Ni	59	74	Вольфрам	W	184
29	Медь	Cu	64	75	Рений	Re	186
30	Цинк	Zn	65	76	Осмий	Os	190
31	Галлий	Ga	70	77	Иридий	Ir	192
32	Германий	Ge	73	78	Платина	Pt	195
33	Мышьяк	As	75	79	Золото	Au	197
34	Селен	Se	79	80	Ртуть	Hg	201
35	Бром	Br	80	81	Таллий	Tl	204
36	Криптон	Kr	84	82	Свинец	Pb	207
37	Рубидий	Rb	86	83	Висмут	Bi	209
38	Стронций	Sr	88	84	Полоний	Po	210
39	Иттрий	Y	89	85	Астат	At	210
40	Цирконий	Zr	91	86	Радон	Rn	222
41	Ниобий	Nb	93	87	Франций	Fr	223
42	Молибден	Mo	96	88	Радий	Ra	226
43	Технеций	Tc	99	89	Актиний	Ac	227
44	Рутений	Ru	101	90	Торий	Th	232
45	Родий	Rh	103	91	Протактиний	Pa	231
46	Палладий	Pd	106	92	Уран	U	238

3.3.8. Электрические свойства веществ

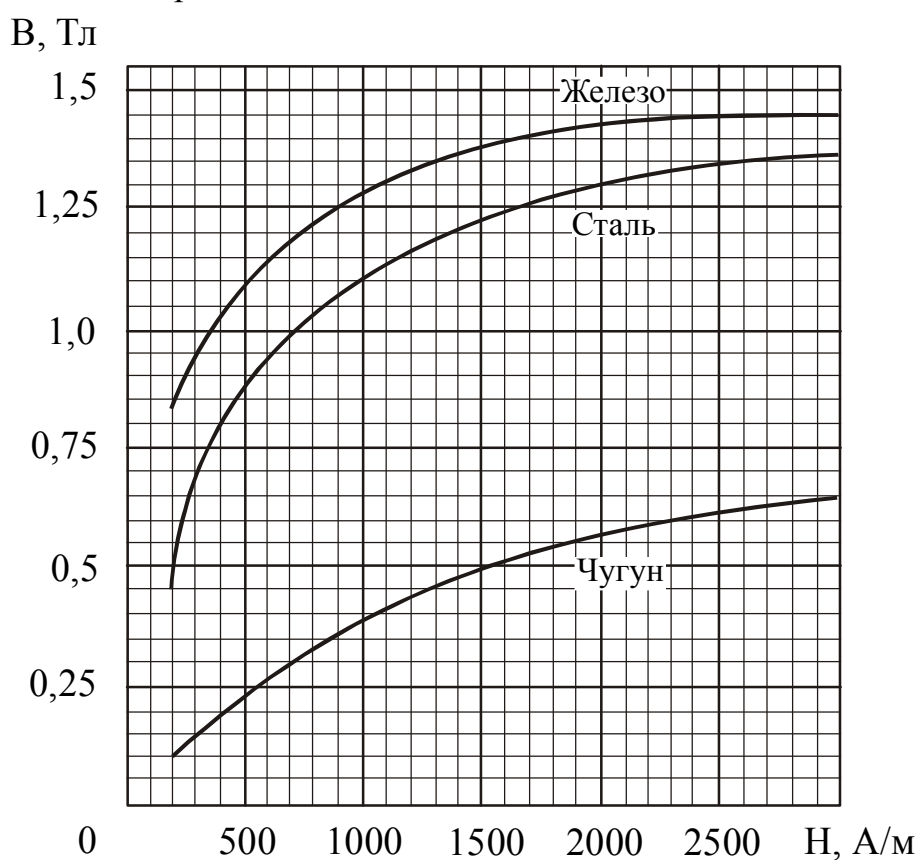
Вещество	Диэлектрическая проницаемость, ε	Пробивная напряжен- ность E , 10^6 В/м
Воздух	1,0	3,1
Масло трансформаторное	2,2	12 – 20
Масло конденсаторное	4,0	20 – 25
Слюда	7,0	100 – 250
Стекло электроизоляционное	5,0	40 – 44
Текстолит	8,0	27 – 30
Парафинированная бумага	2,1	40 – 60
Полиэтилен	2,2	25 – 60
Керосин	2,1	–
Фарфор	5,0	30 – 32
Эбонит	3,0	20 – 35

3.3.9. Удельное электрическое сопротивление ρ_0 и температурный коэффициент сопротивления α некоторых проводников при 0°C

Проводник		ρ_0 , 10^{-8} Ом·м	α , 10^{-3} град $^{-1}$
Алюминий	Al	2,5	4,60
Ванадий	V	18,2	3,90
Вольфрам	W	4,89	5,10
Железо	Fe	8,6	6,51
Золото	Au	2,06	4,02
Кобальт	Co	5,57	6,04
Магний	Mg	4,31	4,12
Медь	Cu	1,55	4,33
Молибден	Mo	5,05	4,73
Неодим	Nd	71,0	2,00
Никель	Ni	6,14	6,92
Олово	Sn	11,15	4,65
Палладий	Pd	9,77	3,77
Платина	Pt	9,81	3,96
Ртуть	Hg	94,07	0,99
Свинец	Pb	19,2	4,28
Серебро	Ag	1,49	4,30
Титан	Ti	42,0	5,46
Хром	Cr	14,1	3,01
Цинк	Zn	5,65	4,17

Проводник	ρ_0 , $10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	α , $10^{-3} \text{ град}^{-1}$
Сталь	12,0	6,10
Константан	50,0	0,05
Манганин	43,0	0,01
Нейзильбер	30,0	0,25
Никелин	40,0	0,11
Нихром	110,0	0,12
Фехраль	130,0	0,15
Латунь	7,1	1,70

3.3.10. Связь между магнитной индукцией B поля в ферромагнетике и напряженностью H намагничивающего поля



3.3.11. Показатели преломления

Газы		Жидкости		Твердые тела	
Вещество	n	Вещество	n	Вещество	n
Азот	1,000297	Вода	1,33	Алмаз	2,42
Воздух	1,000292	Глицерин	1,47	Кварц плав	1,46
Метан	1,000441	Масло кедровое	1,52	Стекло	1,50
Хлор	1,000768	Масло коричное	1,60	NaCl	1,53

3.3.12. Интервалы длин волн и частот и соответствующие им цвета видимой части спектра*

Цвет спектра	Длина волны, нм	Частота, ТГц
Красный	760 – 620	395 – 483
Оранжевый	620 – 590	483 – 508
Желтый	590 – 560	508 – 536
Зеленый	560 – 500	536 – 600
Голубой	500 – 480	600 – 625
Синий	480 – 450	625 – 666
Фиолетовый	450 – 380	666 – 789

*Область видимой части спектра заключена в границах волн приблизительно от 760 до 380 нм. Границы цветов спектра также определяются лишь условно.

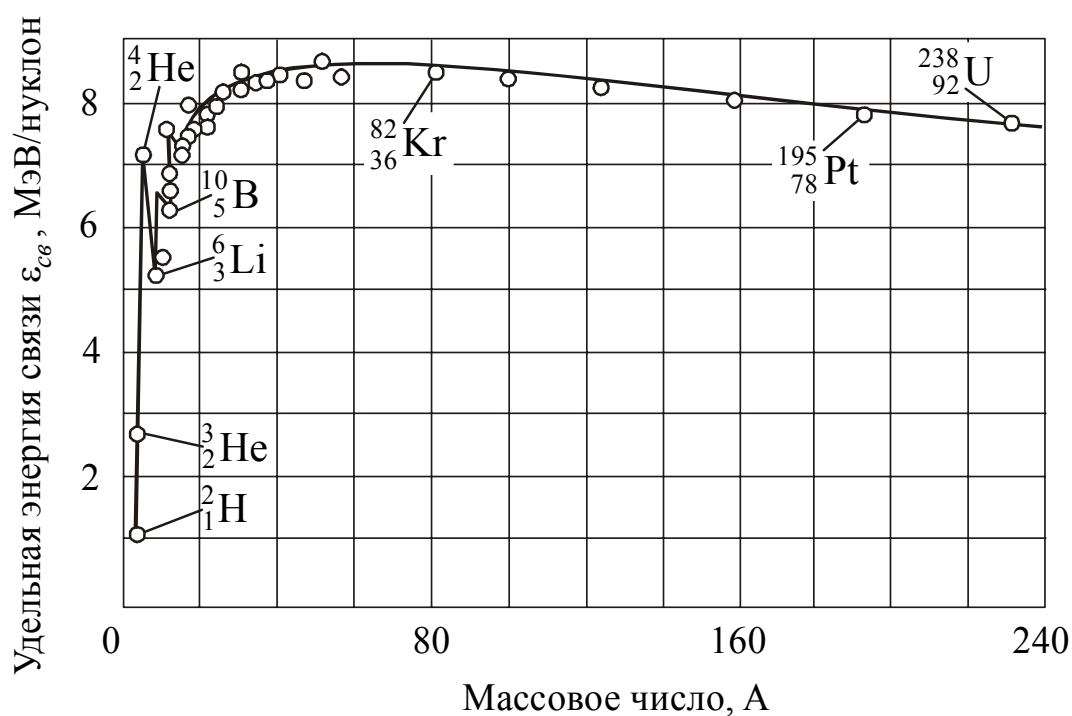
3.3.13. Основные физические свойства важнейших полупроводниковых материалов

Вещество	Ширина запрещённой зоны ΔE , эВ	Подвижность электронов μ_e , см ² /В·с	Подвижность дырок μ_h , см ² /В·с	Плотность ρ , г/см ³
Si	1,107	1600	500	2,33
Ge	0,66	3900	1900	5,32
Te	0,33 (4,2 К)	1890	790	6,25
Se	1,79	–	3900	4,80
C (алмаз)	5,4	–	–	3,51
GaAs	1,43	8 500	420	5,37
GaSb	0,78	4000	650	5,61
GaP	2,24	8500	435	4,13
InAs	0,36	33 000	460	5,68
InSb	0,18	78 000	750	5,78
InP	1,26	4600	150	4,79
PbS	0,41	600	600	7,61
PbSe	0,28	0,50	1000	8,15
PbTe	0,32	1730	840	8,16
SnTe	0,18	–	400	6,45

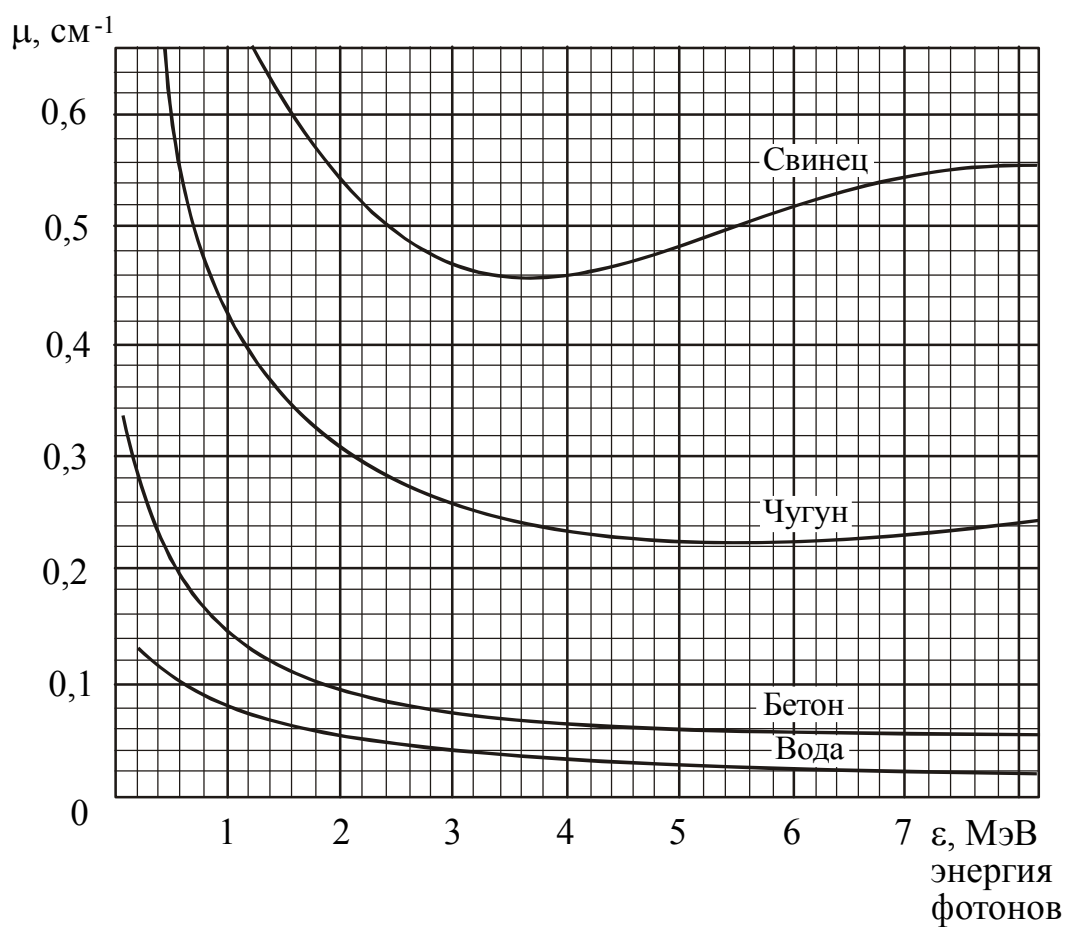
3.3.14. Работа выхода для химически чистых элементов и элементов, покрытых слоем адсорбата

Элемент	Символ	A , эВ	Адсорбент – адсорбат	A , эВ
Алюминий	Al	4,25	C – Cs	1,37
Вольфрам	W	4,54	Ti – Cs	1,32
Германий	Ge	4,76	Cr – Cs	1,71
Индий	In	3,80	Fe – Cs	1,82
Иттрий	Y	3,30	Cu – Cs	1,64
Калий	K	2,22	Mo – Cs	1,54
Кобальт	Co	4,41	Ge – Ba	2,20
Кремний	Si	4,80	Mo – Th	2,58
Магний	Mg	3,64	Ag – Ba	1,56
Марганец	Mn	3,83	Ta – Cs	1,10
Медь	Cu	4,40	W – Li	2,18
Натрий	Na	2,35	W – La	2,20
Никель	Ni	4,50	Pt – Na	2,10
Палладий	Pd	4,80	Pt – Rb	1,57
Празеодим	Pr	2,70	Pt – Ba	1,90
Самарий	Sm	2,70	W – O – Na	1,72
Селен	Se	4,72	Сталь 1X18H9T – Cs	1,41
Серебро	Ag	4,30	Ta ₂ C – Cs	1,40
Стронций	Sr	2,35	TaSi ₂ – Cs	1,47
Хром	Cr	4,58	Mo ₂ C – Cs	1,45
Цезий	Cs	1,81	WSi ₂ – Cs	1,47
Цинк	Zn	4,24	Pd – Cs	1,51

3.3.15. Зависимость удельной энергии связи от массового числа



3.3.16. Зависимость коэффициента линейного ослабления от энергии падающих фотонов для некоторых материалов



3.3.17. Основные свойства некоторых изотопов

Таблица 3.3.17

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Нейтрон	${}_0n^1$	1,008665	–	$\beta -$	14,5 мин
Протон	${}_1p^1$	1,007276	–		стабилен
Водород	${}_1H^1$	1,007825	99,985		стабилен
Дейтерий	${}_1H^2$	2,014102	0,015		стабилен
Тритий	${}_1H^3$	3,016049	–	$\beta -$	12,33 года
Гелий	${}_2He^3$	3,016030	0,000138		стабилен
Гелий	${}_2He^4$	4,002604	99,99986		стабилен
Литий	${}_3Li^6$	6,015126	7,52		стабилен
Литий	${}_3Li^7$	7,016005	92,48		стабилен
Бериллий	${}_4Be^7$	7,016930	–	э.з.	53 дня
Бериллий	${}_4Be^9$	9,012186	100		стабилен
Бор	${}_5B^{10}$	10,012939	19,9		стабилен
Бор	${}_5B^{11}$	11,009305	80,1		стабилен
Углерод	${}_6C^{12}$	12,00000	98,89		стабилен
Углерод	${}_6C^{13}$	13,003354	1,11		стабилен
Углерод	${}_6C^{14}$	14,003242	–	$\beta -$	5730 лет
Азот	${}_7N^{14}$	14,003074	99,63		стабилен
Азот	${}_7N^{15}$	15,000108	0,37		стабилен
Кислород	${}_8O^{16}$	15,994915	99,762		стабилен
Кислород	${}_8O^{17}$	16,999133	0,038		стабилен
Кислород	${}_8O^{18}$	17,999160	0,200		стабилен
Фтор	${}_9F^{19}$	18,998405	100		стабилен
Неон	${}_{10}Ne^{20}$	19,992440	90,51		стабилен
Неон	${}_{10}Ne^{21}$	20,993849	0,27		стабилен
Неон	${}_{10}Ne^{22}$	21,991384	9,22		стабилен
Натрий	${}_{11}Na^{22}$	21,994435	–	$\beta +$	2,6 года
Натрий	${}_{11}Na^{23}$	22,989773	100		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{23}$	22,994135	–	$\beta +$	11,3 сек
Магний	${}_{12}Mg^{24}$	23,985044	78,99		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{25}$	24,985840	10,00		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{26}$	25,982591	11,01		стабилен
Магний	${}_{12}Mg^{27}$	26,984345	–	$\beta -$	9,46 мин
Алюминий	${}_{13}Al^{27}$	26,981535	100		стабилен
Кремний	${}_{14}Si^{28}$	27,976927	92,23		стабилен
Кремний	${}_{14}Si^{30}$	29,973761	3,10		стабилен

Продолжение таблицы 3.3.17

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Фосфор	$_{15}\text{P}^{30}$	29,978320	–	$\beta+$	2,5 мин
Фосфор	$_{15}\text{P}^{31}$	30,973763	100		стабилен
Фосфор	$_{15}\text{P}^{32}$	31,973908	–	$\beta -$	14,36 сут
Сера	$_{16}\text{S}^{32}$	31,972074	95,02		стабилен
Сера	$_{16}\text{S}^{35}$	34,969034	–	$\beta -$	87,24 сут
Хлор	$_{17}\text{Cl}^{35}$	34,968854	75,77		стабилен
Хлор	$_{17}\text{Cl}^{37}$	36,965896	24,23		стабилен
Аргон	$_{18}\text{Ar}^{36}$	35,967548	0,34		стабилен
Аргон	$_{18}\text{Ar}^{40}$	39,962384	99,60		стабилен
Калий	$_{19}\text{K}^{39}$	38,963714	93,26		стабилен
Калий	$_{19}\text{K}^{42}$	41,962417	–	$\beta -$	12,5 час
Кальций	$_{20}\text{Ca}^{40}$	39,962589	96,94		стабилен
Скандий	$_{21}\text{Sc}^{45}$	44,955919	100		стабилен
Титан	$_{22}\text{Ti}^{48}$	47,947948	73,8		стабилен
Ванадий	$_{23}\text{V}^{51}$	50,943978	99,75		стабилен
Хром	$_{24}\text{Cr}^{51}$	50,944786	–	э.з.	27,7 сут
Хром	$_{24}\text{Cr}^{52}$	51,940506	83,79		стабилен
Марганец	$_{25}\text{Mn}^{55}$	54,938054	100		стабилен
Железо	$_{26}\text{Fe}^{55}$	54,940438	–	э.з.	2,7 года
Железо	$_{26}\text{Fe}^{56}$	55,934935	91,72		стабилен
Железо	$_{26}\text{Fe}^{57}$	56,935391	2,2		стабилен
Кобальт	$_{27}\text{Co}^{58}$	57,935754	–	э.з.	70,78 сут
Кобаль	$_{27}\text{Co}^{59}$	58,933189	100		стабилен
Кобальт	$_{27}\text{Co}^{60}$	59,933816	–	$\beta -$	5,27 года
Никель	$_{28}\text{Ni}^{58}$	57,935343	68,27		стабилен
Никель	$_{28}\text{Ni}^{63}$	62,929665	–	$\beta+$	100,1 года
Медь	$_{29}\text{Cu}^{63}$	62,929594	69,17		стабилен
Медь	$_{29}\text{Cu}^{65}$	64,927786	30,83		стабилен
Цинк	$_{30}\text{Zn}^{64}$	63,929141	48,6		стабилен
Галлий	$_{31}\text{Ga}^{69}$	68,925576	60,1		стабилен
Галлий	$_{31}\text{Ga}^{71}$	70,924695	39,9		стабилен
Германий	$_{32}\text{Ge}^{70}$	69,924245	20,5		стабилен
Германий	$_{32}\text{Ge}^{72}$	71,922075	27,4		стабилен
Мышьяк	$_{33}\text{As}^{75}$	74,921590	100		стабилен
Селен	$_{34}\text{Se}^{78}$	77,917298	23,6		стабилен
Селен	$_{34}\text{Se}^{80}$	79,916515	49,7		стабилен
Бром	$_{35}\text{Br}^{79}$	78,918330	50,69		стабилен

Продолжение таблицы 3.3.17

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Криптон	${}_{36}\text{Kr}^{84}$	83,911446	57,0		стабилен
Криптон	${}_{36}\text{Kr}^{85}$	84,912531	–	β –	10,72 года
Рубидий	${}_{37}\text{Rb}^{85}$	84,911788	72,16		стабилен
Рубидий	${}_{37}\text{Rb}^{86}$	85,909183	–	β –	18,66 сут
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{88}$	87,905622	82,58		стабилен
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{89}$	88,907448	–	β –	50,55 сут
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{90}$	88,907734	–	β –	28,6 лет
Иттрий	${}_{39}\text{Y}^{88}$	87,909503	–	э.з.	106,6 сут
Иттрий	${}_{39}\text{Y}^{89}$	88,905849	100		стабилен
Цирконий	${}_{40}\text{Zr}^{90}$	89,904701	51,45		стабилен
Цирконий	${}_{40}\text{Zr}^{95}$	94,908028	–	β –	64,0 сут
Ниобий	${}_{41}\text{Nb}^{93}$	92,906372	100		стабилен
Молибден	${}_{42}\text{Mo}^{92}$	91,906802	14,84		стабилен
Технеций	${}_{43}\text{Tc}^{98}$	97,907203	–	β –	$4,2 \cdot 10^6$ лет
Рутений	${}_{44}\text{Ru}^{102}$	101,904338	31,6		стабилен
Родий	${}_{45}\text{Rh}^{101}$	100,906162	–	э.з.	3,3 года
Родий	${}_{45}\text{Rh}^{103}$	102,905502	100		стабилен
Палладий	${}_{46}\text{Pd}^{108}$	107,903891	26,46		стабилен
Серебро	${}_{47}\text{Ag}^{107}$	106,905088	51,84		стабилен
Серебро	${}_{47}\text{Ag}^{109}$	108,904748	48,16		стабилен
Кадмий	${}_{48}\text{Cd}^{114}$	113,903354	28,73		стабилен
Индий	${}_{49}\text{In}^{115}$	114,904070	95,72		стабилен
Олово	${}_{50}\text{Sn}^{118}$	117,901790	24,22		стабилен
Олово	${}_{50}\text{Sn}^{123}$	122,905715	–	β –	129,2 сут
Сурьма	${}_{51}\text{Sb}^{121}$	120,903750	57,25		стабилен
Сурьма	${}_{51}\text{Sb}^{123}$	122,904216	42,75		стабилен
Теллур	${}_{52}\text{Te}^{130}$	129,906700	33,8		стабилен
Йод	${}_{53}\text{I}^{127}$	126,904471	100		стабилен
Йод	${}_{53}\text{I}^{131}$	130,906112	–	β –	8,04 сут
Ксенон	${}_{54}\text{Xe}^{132}$	131,904142	26,9		стабилен
Ксенон	${}_{54}\text{Xe}^{135}$	134,907040	–	β –	9,13 час
Цезий	${}_{55}\text{Cs}^{133}$	132,905427	100		стабилен
Цезий	${}_{55}\text{Cs}^{134}$	133,906694	–	β –	2,06 года
Барий	${}_{56}\text{Ba}^{138}$	137,905226	71,7		стабилен
Лантан	${}_{57}\text{La}^{139}$	138,906348	99,91		стабилен
Церий	${}_{58}\text{Ce}^{140}$	139,905436	88,48		стабилен

Продолжение таблицы 3.3.17

Элемент	Символ изотопа	Атомная масса, а.е.м.	Относит. распростран. %	Тип распада	Период полураспада
Празеодим	$_{59}\text{Pr}^{141}$	140,907651	100		стабилен
Неодим	$_{60}\text{Nd}^{146}$	145,913121	17,2		стабилен
Иридий	$_{77}\text{Ir}^{192}$	191,962990	–	β –	73,8 сут
Золото	$_{79}\text{Au}^{197}$	196,966557	100		стабилен
Золото	$_{79}\text{Au}^{198}$	197,968240	–	β –	2,7 сут
Ртуть	$_{80}\text{Hg}^{194}$	196,966557	–	э.з.	260 лет
Таллий	$_{81}\text{Tl}^{204}$	203,973884	–	β –	3,78 года
Свинец	$_{82}\text{Pb}^{206}$	205,974461	24,1		стабилен
Свинец	$_{82}\text{Pb}^{207}$	206,975932	22,1		стабилен
Свинец	$_{82}\text{Pb}^{208}$	207,976641	52,4		стабилен
Висмут	$_{83}\text{Bi}^{209}$	208,980423	100		стабилен
Висмут	$_{83}\text{Bi}^{210}$	209,984114	–	β –	5,0 сут
Полоний	$_{84}\text{Po}^{210}$	209,982871	–	α	138,4 сут
Астат	$_{85}\text{At}^{210}$	209,987490	–	э.з.	8,1 час
Радон	$_{86}\text{Rn}^{222}$	222,017533	–	α	3,8 сут
Радий	$_{88}\text{Ra}^{220}$	220,010972	–	α	0,025 с
Радий	$_{88}\text{Ra}^{226}$	226,025361	–	α	1620 лет
Радий	$_{88}\text{Ra}^{227}$	227,029220	–	β –	42,2 мин
Актиний	$_{89}\text{Ac}^{228}$	228,031169	–	β –	6,13 час
Торий	$_{90}\text{Th}^{229}$	229,031629	–	α	7340 лет
Торий	$_{90}\text{Th}^{230}$	230,03080	–	α	$7,54 \cdot 10^4$ лет
Торий	$_{90}\text{Th}^{231}$	231,036301	–	β –	25,52 час
Торий	$_{90}\text{Th}^{232}$	232,038211	100	α	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет
Торий	$_{90}\text{Th}^{233}$	233,041433	–	β –	22,3 мин
Протактиний	$_{91}\text{Pa}^{233}$	233,040246	–	β –	27,0 сут
Уран	$_{92}\text{U}^{233}$	233,039632	–	α	$1,59 \cdot 10^5$ лет
Уран	$_{92}\text{U}^{234}$	234,040950	0,006	α	$2,45 \cdot 10^5$ лет
Уран	$_{92}\text{U}^{235}$	235,043931	0,72	α	$7,04 \cdot 10^8$ лет
Уран	$_{92}\text{U}^{236}$	236,045733	–	α	$2,34 \cdot 10^7$ лет
Уран	$_{92}\text{U}^{238}$	238,050762	99,27	α	$4,46 \cdot 10^9$ лет
Уран	$_{92}\text{U}^{239}$	239,054321	–	β –	23,5 мин
Нептуний	$_{93}\text{Np}^{237}$	237,048172	–	α	$2,14 \cdot 10^6$ лет
Нептуний	$_{93}\text{Np}^{239}$	239,052935	–	β –	2,36 сут
Плутоний	$_{94}\text{Pu}^{238}$	238,049522	–	α	87,74 года
Плутоний	$_{94}\text{Pu}^{239}$	239,052162	–	α	$2,4 \cdot 10^4$ лет
Плутоний	$_{94}\text{Pu}^{240}$	240,053812	–	α	$6,54 \cdot 10^3$ лет

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2001. – 542 с.
2. Детлаф А. А., Яворский В. М. Курс физики: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 718 с.
3. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1, 2, 3. – М.: Наука, 1986–1988.
4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1985. – 384 с.
5. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Раздел: Физические основы механики. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 72 с.
6. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Раздел: Молекулярная физика и термодинамика. – Донецк: ДонНТУ. –2006. –72 с.
7. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Раздел: Электростатика. Постоянный электрический ток. – Донецк: ДонНТУ.–2006.–72 с.
8. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Раздел: Электромагнетизм. – Донецк: ДонНТУ.–2006.–68 с.
9. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Раздел: Колебания и волны. – Донецк: ДонНТУ. – 2006. – 76 с.
10. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Раздел: Оптика. –Донецк: ДонНТУ, 2007. – 72 с.
11. Волков А.Ф., Лумпиева Т.П. Конспект лекций по общему курсу физики с примерами решения задач. Разделы: Элементы квантовой механики. Основы физики твердого тела. Элементы физики атомного ядра. – Донецк: ДонНТУ. – 2007. – 72 с.

Учебное издание

Методические указания и контрольные задания по физике
для студентов заочной формы обучения
(специальности: ЭМК, ЭМКу, РККу, МЕХу, ТМу, КПМОу)

Составители:

Ветчинов Александр Васильевич, доцент, к.ф.-м.н.
Волков Александр Фёдорович, доцент, к.т.н.
Лумпиева Таисия Петровна, ст. преподаватель