

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(Технический университет)**

Кафедра общей физики

В.В.Кашмет, Н.Г.Москвин

Общая физика

**Методические указания для студентов
заочной формы обучения**

Санкт-Петербург

2007

УДК 530.537

Общая физика: Методические указания для студентов заочной формы обучения. Кашмет В.В., Москвин Н.Г. - СПб: СПбГТИ(ТУ), 2007.- стр.

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой курса "Общая физика". В них включены учебная программа курса "Общая физика", учебно-тематический план, виды учебных занятий, их объем и задания для контрольных работ.

Учебное пособие предназначено для студентов 2 курса заочной формы обучения.

Рис.7, табл. 30, библиограф. 20 наим.

Рецензент: Крауклис П.В., доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения математического института РАН.

Утверждено на заседании Учебно-методического совета физико-математического отделения

Рекомендовано к изданию РИСО СПбГТИ(ТУ).

Введение

Курс общей физики совместно с курсами высшей математики и теоретической механики составляет основу теоретической подготовки бакалавров, инженеров и магистров и играет роль фундаментальной физико-математической базы, без которой невозможна успешная деятельность специалиста любого профиля. Цель курса – формирование у будущих специалистов научного мировоззрения и мышления, выработка у них приемов, методов и навыков решения конкретных задач из разных разделов физики, ознакомление с современной научной аппаратурой, формирование начальных навыков проведения экспериментальных научных исследований, помогающих в дальнейшем в их профессиональной деятельности.

Дисциплина "Общая физика" читается для студентов заочного отделения на 2 курсе в третьем и четвертом семестрах. Кроме лекций с ними проводятся практические и лабораторные занятия. Студенты решают шесть контрольных работ, сдают два зачета и два экзамена.

В методических указаниях представлены программа курса общей физики, учебно-тематический план, виды учебных занятий, их объем и варианты задач для шести контрольных работ.

Систематическое решение задач является необходимым условием успешного изучения курса физики, помогает уяснить физический смысл явлений, закрепляет в памяти основные законы природы и описывающие их формулы, формирует очень важные навыки практического применения теоретических знаний.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ СТУДЕНТАМИ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

При изучении курса общей физики студенты заочной формы обучения выполняют 6 контрольных работ по следующим разделам:

1. Физические основы механики.
2. Молекулярная физика и основы термодинамики.
3. Электростатика и законы постоянного тока.
4. Электромагнетизм.
5. Электромагнитные колебания и волны. Волновая оптика.
6. Квантово-оптические явления.

В данном пособии приведены 6 контрольных заданий по этим разделам. В каждом из них студент заочной формы обучения должен решить задачи того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой номера его зачетной книжки. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблицам вариантов. В других таблицах предлагаемые

задачи разбиты по темам и указаны главы учебных пособий, соответствующие этим темам. Перед каждым контрольным заданием приведены основные законы и формулы, которые следует использовать при решении задач. В данном пособии приведены справочные материалы, рабочая программа курса общей физики и тематический план, список рекомендуемых учебных пособий, виды учебных занятий и их объем по учебным семестрам, а также формы контроля.

Перед выполнением каждой контрольной работы студент должен разобрать соответствующий материал по учебным пособиям и примеры решения типовых задач, приведенных в задачнике [15]. Рекомендуется выбрать какое-нибудь учебное пособие в качестве основного, а обращаться к другим пособиям лишь в том случае, если выбранное основное пособие не дает полного и ясного ответа на некоторые вопросы программы.

Каждое контрольное задание выполняется в тонкой школьной тетради. На лицевой стороне обложки приводятся сведения о студенте: фамилия, имя, отчество, номер учебной группы, номер зачетной книжки, а для иногородних студентов - еще и полный почтовый адрес. Необходимо также указать номер контрольного задания и номер варианта.

Условия задач в контрольных работах переписываются полностью без сокращений аккуратным разборчивым почерком. Для замечаний преподавателя необходимо оставлять поля и интервалы между задачами. Каждая задача должна начинаться с новой страницы. В конце контрольной работы следует указать, каким учебным пособием пользовался студент (название учебника, автор, год издания).

Если контрольная работа не зачтена после проверки преподавателем, ее следует направить повторно на проверку, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с не зачтенной работой.

Решения задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями, раскрывающими физический смысл используемых формул

При решении и оформлении задач необходимо придерживаться следующей последовательности:

1. Внимательно прочесть задачу и уяснить ее содержание. Кратко записать условие задачи, введя буквенные обозначения физических величин, если это не сделано в условии. Все заданные и табличные величины перевести в систему СИ.
2. Сделать с использованием чертежных принадлежностей аккуратный чертеж, рисунок, схему, поясняющие условие задачи. Они должны быть достаточно крупными и выполнять их следует карандашом, чтобы была возможность при необходимости исправить.
3. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи.
4. Составить уравнение или систему уравнений, решая которые можно найти искомые величины. Если уравнения векторные, то им сопоставить координатные алгебраические уравнения, используя выбранную систему отсчета.

5. Решить уравнения в общем виде и получить расчетные формулы, в левой части которых стоят искомые величины, а в правой – заданные условием задачи.
6. Проверить, дают ли расчетные формулы правильную размерность искомых величин и произвести их вычисление. При решении задач, как правило, достаточно точности в 2-3 значащие цифры. После вычисления оценить реальность полученного численного значения искомых величин.
7. При подстановке в расчетную формулу и при записи ответа численные значения величин следует записывать в виде произведения десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо числа 836 надо написать $8,36 \cdot 10^2$.

Студент должен сдать (выслать) на проверку выполненную им контрольную работу до прибытия на сессию. Зачет по контрольной работе принимается преподавателем в процессе собеседования по предварительно проверенной работе.

К экзамену студент допускается только после получения зачета по контрольным работам.

2 ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ФИЗИКА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

2.1 Содержание учебной дисциплины

ВВЕДЕНИЕ. Предмет физики. Мирозренческая роль физики. Методы физических исследований: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Ведущая роль физики среди естественных наук. Связь физики с другими науками. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Физика, как основоположница моделирования. Роль компьютеров в современной физике. Роль физики в формировании будущего профессионала. Общая структура и задача курса физики. Основные единицы измерения в СИ.

Тема 1. Кинематика материальной точки

Предмет механики. Кинематика и динамика. Классическая механика. Релятивистская механика. Квантовая механика. Физические модели: материальная точка (частица), система материальных точек, абсолютно твердое тело, его поступательное и вращательное движения, сплошная среда. Пространство и время, их свойства. Система отсчета. Векторный, координатный и естественный способы описания движения. Кинематические уравнения движения. Траектория, перемещение, путь. Скорость и ускорение при прямолинейном и криволинейном движении. Нормальное и касательное (тангенциальное) ускорения. Угловые кинематические характеристики движения. О смысле производной и интеграла в приложении к физическим задачам. Элементы векторной алгебры. Степени свободы. Число степеней свободы абсолютно твердого тела.

Тема 2. Законы динамики материальной точки

Основная задача механики. Понятие состояния в классической механике. Границы применимости классического способа описания движения частиц. Свободное движение частицы. Закон инерции. Инерциальные системы отсчета. Второй закон Ньютона как основное уравнение движения в динамике. Импульсная формулировка второго закона Ньютона. Импульс тела. Сила как производная импульса. Третий закон Ньютона и закон сохранения импульса системы материальных точек, как фундаментальный закон природы. Центр инерции (масс) и теорема о движении центра инерции. Система центра инерции. Реактивное движение. Момент импульса. Момент силы. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса системы материальных точек и его связь с изотропностью пространства. Движение в центральном поле. Механическая работа, мощность. Кинетическая энергия. Силовое поле. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия и ее связь с консервативной силой. Закон сохранения полной механической энергии и его связь с однородностью времени. Понятие о неинерциальных системах отсчета и силах инерции.

Тема 3. Вращательное движение твёрдого тела

Момент импульса твердого тела относительно оси вращения. Момент инерции. Теорема Штейнера. Основное уравнение вращательного движения твердого тела. Работа, кинетическая энергия при вращательном движении твердого тела.

Тема 4. Механические колебания и упругие волны

Понятие о колебательных процессах. Гармонический осциллятор. Свободные колебания. Энергия гармонического колебательного движения. Затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания. Аперриодическое движение. Вынужденные колебания. Резонанс. Автоколебания. Образование и распространение волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Фронт волны и волновые поверхности. Уравнение волны. Волновое число и волновой вектор. Фазовая скорость. Волновое уравнение. Скорость распространения упругих волн. Энергия волны. Поток энергии. Вектор Умова. Звуковые волны.

Тема 5. Основы релятивистской механики

Инерциальные системы отсчета и принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Принцип относительности Эйнштейна. Конечная скорость распространения взаимодействия. Дальнодействие и близкодействие. Сокращение продольных размеров. Замедление времени. Понятие о

преобразованиях Лоренца. Относительность одновременности. Релятивистский закон сложения скоростей. Импульс в релятивистской механике. Уравнение движения релятивистской частицы. Кинетическая энергия в релятивистской механике. Закон взаимосвязи массы и энергии. Полная энергия. Связь энергии и импульса в релятивистской механике.

Тема 6. Основы механики микромира (введение в квантовую механику)

Квантовые свойства света и волновые свойства микрочастиц. Гипотеза де Бройля. Волны де Бройля. Постулаты Бора и длина волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гайзенберга. Понятие о волновой функции и уравнении Шредингера. Понятие об атомных орбиталях и квантовании энергии электрона в атоме. Квантование вращательного и колебательного движения молекул.

Тема 7. Электрическое поле в вакууме

Электрический заряд и его дискретность. Закон сохранения электрического заряда. Напряженность электрического поля. Электрическое поле точечного заряда. Силовые линии. Принцип суперпозиции. Поле диполя. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал. Эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Циркуляция вектора напряженности. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме и ее применения.

Тема 8. Электрическое поле в веществе. Энергия электрического поля

Проводники в электрическом поле. Распределение зарядов в проводнике. Электрическое поле внутри проводника и у его поверхности. Диэлектрики в электрическом поле. Вектор поляризации. Диэлектрическая восприимчивость. Вектор электрического смещения, диэлектрическая проницаемость. Теорема Остроградского-Гаусса для вектора электрического смещения. Емкость уединенного проводника. Конденсаторы. Энергия системы неподвижных зарядов, заряженных проводника и конденсатора. Энергия и объемная плотность энергии электростатического поля. Энергия поляризованного диэлектрика.

Тема 9. Законы постоянного тока

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Законы Ома, разность потенциалов, напряжение, ЭДС. Превращение энергии в цепи электрического тока. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

Тема10. Электропроводность металлов, полупроводников, газов и жидкостей

Основы классической электронной теории и электропроводность металлов. Вывод законов Ома и Джоуля-Ленца. Трудности классической электронной теории электропроводности. Зависимость сопротивления металлов от температуры. Понятие о квантовой теории электропроводности. Своеобразие электронного газа в металле. Распределение (статистика) Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Работа выхода. Контактные явления. Влияние температуры на распределение электронов. Теплоемкость электронного газа. Понятие о сверхпроводимости. Элементы зонной теории кристаллических тел. Расщепление энергетических уровней электронов и образование зон. Запрещенные зоны. Заполненные зоны, валентная зона, зона проводимости. Деление твердых тел на проводники, полупроводники и изоляторы. Полупроводниковые вещества. Собственная проводимость и ее зависимость от температуры. Примесная проводимость. Электронные и дырочные полупроводники. Контакт электронного и дырочного полупроводника (p-n переход) и его свойства. Несамостоятельная и самостоятельная проводимость газов. Газоразрядная плазма. Виды самостоятельных газовых разрядов. Электролитическая диссоциация в электролитах. Электролиз и его законы.

Тема11. Магнитоэлектростатическое поле

Сила Лоренца и сила Ампера. Вектор магнитной индукции. Магнитное поле движущегося заряда. Сравнение сил магнитного и электрического взаимодействий движущихся зарядов. Принцип суперпозиции. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле прямолинейного проводника с током и на оси кругового тока. Взаимодействие параллельных проводников с током. Единица силы тока в СИ. Магнитный момент кругового тока. Действие однородного и неоднородного магнитного поля на магнитный момент. Магнитный поток. Теорема Остроградского- Гаусса. Теорема о циркуляции вектора \vec{B} . Вихревой характер магнитного поля. Магнитное поле соленоида и тороида. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.

Тема12. Магнитное поле в веществе. Магнетики

Микро- и макроток. Намагниченность. Магнитная восприимчивость. Типы магнетиков. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Вектор напряженности магнитного поля. Магнитная проницаемость. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Ферромагнетики. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Спиновая природа ферромагнетизма. Доменная структура ферромагнетиков. Ферриты.

Тема 13. Явление электромагнитной индукции. Энергия магнитного поля. Уравнения Максвелла в интегральной форме

Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца. Вывод закона Фарадея из закона сохранения энергии и на основе электронной теории. Вихревое электрическое поле. Токи Фуко. Явление самоиндукции. Индуктивность. Индуктивность соленоида. Взаимная индукция. Энергия проводника с током. Объемная плотность энергии магнитного поля. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме.

Тема 14. Электромагнитные колебания и волны

Свободные незатухающие колебания в электрическом колебательном контуре. Понятие о затухающих и вынужденных колебаниях в контуре. Открытый колебательный контур. Излучающий диполь. Атомы и молекулы, как источники электромагнитных волн. Шкала электромагнитных волн. Оптический диапазон. Энергия электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга. Импульс и давление электромагнитных волн.

Тема 15. Интерференция света

Современные представления о свете. Способы описания оптических явлений (волновая, геометрическая оптика, квантовая оптика). Понятие о когерентных волнах. Способы получения когерентных волн (опыт Юнга, бипризмы и зеркала Френеля). Интерференция световых волн от двух когерентных точечных источников. Интерференция в тонких пленках (полосы равной толщины и равного наклона). Интерферометры.

Тема 16. Дифракция света

Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Фраунгофера на щели и круглом отверстии. Дифракция света на дифракционной решетке. Понятие о многолучевой интерференции. Дифракционная решетка как спектрометр. Дисперсия, разрешающая способность дифракционной решетки.

Тема 17. Поляризация света

Понятие о поляризации поперечных волн. Естественный и поляризованный свет. Поляризация света при отражении от диэлектрика. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление в анизотропных кристаллах. Поляризация света при двойном лучепреломлении. Поляризационные призмы и поляроиды. Закон Малюса. Вращение плоскости поляризации.

Тема 18. Взаимодействие света с веществом

Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия. Призматический спектр. Электронная теория дисперсии. Поглощение света веществом. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Рассеяние света. Релеевское рассеяние. Молекулярное рассеяние.

Тема 19. Квантово – оптические явления

Тепловое излучение. Равновесное тепловое излучение. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело и спектр его излучения. Законы Стефана-Больцмана и Вина. Классическая теория теплового излучения Релея-Джинса и ее несостоятельность. Квантовый характер теплового излучения и формула Планка. Вывод законов Стефана-Больцмана и Вина из формулы Планка. Внешний фотоэлектрический эффект. Формула Эйнштейна. Красная граница фотоэффекта. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм свойств света. Формулы Планка-Эйнштейна для фотонов.

Тема 20. Корпускулярно – волновой дуализм материи. Волновая функция. Уравнение Шредингера

Гипотеза де Бройля. Экспериментальные подтверждения волновых свойств микрочастиц. Волна де-Бройля. Волновая функция, ее статистический характер. Нормировка волновой функции. Стандартные условия для волновой функции. Уравнение Шредингера в общем виде и для стационарных состояний.

Тема 21. Простейшие случаи движения микрочастиц

Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Туннельный эффект. Гармонический осциллятор.

Тема 22. Атомы водорода и щелочных металлов

Потенциальная гиперболическая яма. Вырождение энергетических состояний в кулоновском поле. Понятие об орбиталях. Снятие вырождения по орбитальному квантовому числу в атомах щелочных металлов. Спин электрона. Спин-орбитальное взаимодействие.

Тема 23. Многоэлектронные атомы

Принцип Паули. Застройка электронных оболочек. Рентгеновское излучение. Сплошной и характеристический спектры.

Тема 24. Основы молекулярно – кинетической теории

Статистический и термодинамический методы. Тепловое движение. Макроскопические параметры. Уравнение состояния идеального газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Газ в силовом поле. Распределение Больцмана. Распределение молекул газа по скоростям (Распределение Максвелла). Столкновения молекул. Средняя длина свободного пробега. Явление переноса в идеальных газах.

Тема 25 . Основы термодинамики

Термодинамическая система. Параметры состояния. Равновесные состояния и равновесные процессы. Число степеней свободы. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа. Работа расширения. Работа, совершаемая газом в изопроцессах. Теплопередача. Первое начало термодинамики. Адиабатный процесс. Теплоемкость газа. Понятие о квантовой теории теплоемкости. Политропные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Цикл Карно. КПД тепловой машины. Второе начало термодинамики. Энтропия. Статистический смысл второго начала термодинамики и энтропии.

Тема 26. Реальные газы. Жидкости

Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Критическое состояние. Метастабильные состояния. Внутренняя энергия реального газа. Особенности жидкого состояния вещества.

Тема 27. Твёрдые тела

Кристаллические и аморфные тела. Анизотропия. Виды межчастичной связи в кристаллах. Механические свойства твердых тел и их объяснение в молекулярной физике. Тепловое расширение кристалла как следствие ангармоничности тепловых колебаний. Статистическое описание квантовой системы. Принцип неразличимости микрочастиц и принцип Паули. Понятие о квантовой статистике. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Бозоны и фермионы. Фотонный и фононный газы. Теплоемкость кристаллической решетки. Закон Дюлонга-Пти. Теплоемкость кристаллической решетки по Эйнштейну и Дебаю.

Тема 28. Атомное ядро, его основные свойства

Протонно-нейтронная модель ядра. Ядерные силы и их основные свойства. Масса ядра. Дефект массы и энергия связи. Реакции синтеза и деления ядер. Устойчивость ядер. Стабильные и радиоактивные ядра. Механизм α - и β -

распада ядер. Гамма-излучение.

Тема 29. Основы физики элементарных частиц

Элементарные частицы, их основные свойства. Основные семейства элементарных частиц. Частицы и античастицы. Законы сохранения в физике элементарных частиц.

2.2 Учебно – тематический план и содержание курса общей физики для студентов заочной формы обучения (II курс; 3, 4 семестр)

Таблица 1

№№ тем п/п	Наименование тем	Всего часов	Количество аудиторных часов		Колич. часов самост. Работы
			Лекции	Практика	
3 семестр					
1	Кинематика материальной точки	17	1	1	15
2	Динамика материальной точки и тела, движущегося поступательно	17	1	1	15
3	Вращательное движение твердого Тела	12	1	1	10
4	Механические колебания и упругие волны	12	1	1	10
5	Основы релятивистской механики	21	1		20
6	Электрическое поле в вакууме	17	1	1	15
7	Электрическое поле в веществе. Энергия электрического поля	16	1		15
8	Законы постоянного тока	22	1	1	20
9	Магнитостатическое поле	17	1	1	15
10	Магнитное поле в веществе. Магнетизм.	16	1		15
11	Явление электромагнитной индукции. Энергия магнитного поля. Уравнение Максвелла в интегральной форме	23	2	1	20
4 семестр					
12	Электромагнитные колебания и волны	10.5	0.5		10

Продолжение таблицы 1

№№ тем п/п	Наименование тем	Всего часов	Количество аудиторных часов		Колич. часов самост. Работы
			Лекции	Практика	
13	Интерференция света	18	1	2	15
14	Дифракция света	13	1	2	10
15	Поляризация света	13	1	2	10
16	Взаимодействие света с веществом	11		1	10
17	Квантово-оптические явления	12	1	1	10
18	Корпускулярно-волновой дуализм материи. Волновая функция. Уравнение Шредингера.	13	1	2	10
19	Простейшие случаи движения микрочастиц	18	1	2	15
20	Атомы водорода и щелочных Металлов	11	1		10
21	Многоэлектронные атомы	11	1		10
22	Основы молекулярно-кинетической Теории	13	1	2	10
23	Основы термодинамики	13	1	2	10
24	Реальные газы. Жидкости	10.5	0.5		15
25	Твердые тела	18	1	2	15
26	Атомное ядро, его основные Свойства	10			10
27	Основы физики элементарных Частиц	5			5
ИТОГО		390	24	26	340

2.3 Виды учебных занятий и их объём

Таблица 2

№ п/п	Виды учебных занятий	III семестр час	IV семестр час
1	Лекции	12	12
2	Практические занятия	8	8
3	Лабораторные занятия	–	10
4	Самостоятельная работа	170	170
5	Контрольные работы (шт)	3	3
6	Форма контроля:	Зачет, экзамен	Зачет, экзамен

2.4 Лабораторные занятия

Таблица 3

№№ п/п	Темы лабораторных Занятий	Количество часов
1	Теория погрешностей	1
2	Механика	2
3	Электродинамика	2
4	Зачетное занятие	
5	Молекулярная физика	1
6	Оптика и атомная физика	2
7	Зачетное занятие	2

2.5 Список лабораторных работ

Механика

- № 1. Изучение вращательного движения твердого тела.
- № 2. Определение моментов инерции тел с помощью крутильных колебаний.
- № 3. Изучение колебаний физического маятника.

Электродинамика

- № 21. Изучение электростатических полей на модели.
- № 23. Определение температуры нити электрической лампы.
- № 31. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.
- № 33. Определение удельного заряда электрона с помощью магнетрона.

Молекулярная физика

- № 8. Изучение испарения жидкости и определение коэффициента диффузии пара.
- № 9. Определение коэффициента вязкости и диаметра молекул газа.
- № 11. Определение отношения теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме.

Оптика

- № 52. Определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля.
- № 53. Определение длины световой волны по кольцам Ньютона.
- № 54. Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

№ 56. Проверка закона Малюса.

№ 59. Исследование внешнего фотоэффекта.

№ 61. Изучение спектра водорода.

Заочное отделение

Заочное отделение

3 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

3.1 Контрольная работа № 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Таблица вариантов 4

№ варианта	Но м е р а з а д а ч							
	1	101	111	121	131	141	151	161
2	102	112	122	132	142	152	162	172
3	103	113	123	133	143	153	163	173
4	104	114	124	134	144	154	164	174
5	105	115	125	135	145	155	165	175
6	106	116	126	136	146	156	166	176
7	107	117	127	137	147	157	167	177
8	108	118	128	138	148	158	168	178
9	109	119	129	139	149	159	169	179
0	110	120	130	140	150	160	170	180

Перед решением задач данной контрольной работы необходимо хорошо изучить соответствующие темы курса физики и разобрать решения типовых задач по учебным пособиям, указанным в следующей таблице

Таблица 5

№№ Задач	Наименование темы	Литература для подготовки к выполнению контрольной работы
1	2	3
101-120	Кинематика материальной точки	[8] : Гл. 1; [16] : Гл. 1; [13] : Гл. 1; [21] : Гл. 1; [3] : Гл. 1; [15] : стр. 11-15.
121-140	Динамика материальной точки	[8] : Гл. 2, 3; [16] : Гл. 2, 3; [13] : Гл. 2, 3, 5; [21] : Гл. 2, 3; [3] : Гл. 2, 3, 4; [15] : стр. 26-38.
141-160	Динамика вращательного движения твердого тела	[8] : Гл. 5; [16] : Гл. 1; [13] : Гл. 4, 5; [21] : Гл. 1; [3] : Гл. 5; [15] : стр. 54-64.
161-180	Механические колебания и волны	[8]: Гл. 8; [17]: Гл. 14 [13]: Гл. 27, 28, 29; [21]: Гл. 18, 19 [3]: Гл.6; [15]: стр.104-111, стр.122-126

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Скорость и ускорение материальной точки определяются формулами:

$$\vec{x} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt},$$

где \vec{r} – радиус вектор.

В случае прямолинейного равнопеременного движения

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

где S – путь, пройденный за время t .

В случае прямолинейного равнопеременного движения

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

В этих уравнениях a положительно при равноускоренном движении и отрицательно при равнозамедленном.

При криволинейном движении модуль ускорения $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$ здесь a_τ – модуль тангенциального ускорения и a_n – модуль нормального ускорения, причем

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

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

При вращательном движении вокруг неподвижной оси модули угловой скорости и углового ускорения находятся по формулам:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \beta = \frac{d\omega}{dt}$$

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, т.е. число оборотов в единицу

времени.

Угловая скорость ω связана с линейной скоростью v точки соотношением:

$$v = \omega R,$$

где R – расстояние точки от оси вращения. Тангенциальное и нормальное ускорение при вращательном движении могут быть выражены в виде:

$$a_{\tau} = \beta R \quad a_n = \omega^2 R$$

Основной закон динамики (второй закон Ньютона) выражается уравнением

$$F dt = d(mv).$$

Если масса m постоянна, то

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma,$$

где a – ускорение, которое приобретает тело массы m под действием силы F .

Работа силы F на пути s определяется формулой

$$A = \int_s F_s ds,$$

где F_s - проекция силы на направление перемещения, ds – элемент пути. В случае постоянной силы, действующей под углом α к перемещению, имеем

$$A = Fs \cos \alpha,$$

где α - угол между силой F и перемещением.

Мощность определяется формулой

$$N = \frac{dA}{dt}$$

В случае постоянной мощности

$$N = \frac{A}{t},$$

где A – работа, совершаемая за время t .

Мощность может быть определена также формулой

$$N = \vec{F}\vec{x} = Fx \cos \beta$$

т.е. скалярным произведением силы на скорость.

Кинетическая энергия тела массы m движущегося со скоростью v , равна

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Формулы для потенциальной энергии имеют разный вид в зависимости от характера действующих сил.

В изолированной системе импульс входящих в нее тел остается постоянным, т.е.

$$m_1\vec{x}_1 + m_2\vec{x}_2 + \dots + m_n\vec{x}_n = const$$

Рассмотрим центральный удар однородных шаров с массами m_1 и m_2 . В случае абсолютно неупругого удара шары после столкновения движутся с одинаковой скоростью u , которая может быть найдена по формуле:

$$u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

(v_1 и v_2 – скорости первого и второго шаров до удара; предполагается, что шары движутся поступательно)

После абсолютно упругого центрального удара первый шар движется со скоростью u_1 , а второй со скоростью u_2 . Эти скорости определяются выражениями

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2} \quad u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

При криволинейном движении сила, действующая на материальную точку, может быть разложена на две составляющие: тангенциальную и нормальную. Модуль нормальной составляющей

$$F_n = \frac{mv^2}{R}$$

Здесь v – линейная скорость тела массы m , R – радиус кривизны траектории в данной точке.

Продольная деформация x стержня или пружины пропорциональна силе F , вызвавшей деформацию:

$$F = -kx,$$

где k – жесткость (коэффициент численно равный силе, вызывающей деформацию, равную единице)

Потенциальная энергия растянутой (или сжатой) пружины

$$W_n = \frac{kx^2}{2}$$

Две материальные точки притягиваются друг у другу с силой

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где $G = 6.6720 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot m^2}{кг^2}$ – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы взаимодействующих материальных точек, r – расстояние между ними. Этот закон справедлив и для однородных шаров; при этом r расстояние между их центрами.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия материальных точек

$$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$$

Уравнение гармонического колебательного движения имеет вид

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

где x – смещение точки от положения равновесия, разное для разных моментов времени, A – амплитуда, T – период, φ – начальная фаза, $\nu [Гц] = 1/T$ – частота колебаний, $\omega [с^{-1}] = 2\pi/T$ – круговая частота.

Скорость и ускорение точки, совершающей колебание, определяются соотношениями

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{2\pi}{T} A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{T^2} A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$$

Сила, под действием которой точка массой m совершает гармоническое колебание,

$$F = ma = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} x = -kx,$$

где $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$, т.е. $T = 2\pi\sqrt{m/k}$. Здесь T – период колебаний точки, совершающей колебания под действием силы $F = -kx$, где k – жесткость, численно равная силе, вызывающей смещение, равное единице.

Кинетическая и потенциальная энергия колеблющейся точки имеет вид

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{4p^2 m}{T^2} A^2 \cos^2\left(\frac{2p}{T}t + \varphi\right)$$

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{4p^2 m}{T^2} A^2 \sin^2\left(\frac{2p}{T}t + \varphi\right)$$

Полная энергия

$$W = \frac{4p^2 m}{T^2} A^2$$

Примером гармонических колебательных движений могут служить малые колебания маятника. Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\ell/g},$$

где ℓ – длина маятника, g – ускорение свободного падения.

При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинакового периода получается гармоническое колебание того же периода с амплитудой

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

И с начальной фазой, определяемой из уравнения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2},$$

где A_1 и A_2 – амплитуды слагаемых колебаний, φ_1 и φ_2 – их начальные фазы.

Если на материальную точку массой m , кроме упругой силы $F = -kx$, действует еще сила трения $F_{mp} = -r\nu$, и ν – скорость колеблющейся точки, то колебания точки будут затухающими. Уравнения затухающего колебательного движения имеет вид

$$x = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi),$$

где β [c^{-1}] – коэффициент затухания. При этом $\beta = r/2m$ и $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$, где ω_0 – круговая частота собственных колебаний. Величина $\lambda = \beta T$ называется логарифмическим декрементом затухания.

Если на материальную точку массой m , колебаний которой дано в виде $x_1 = Ae^{-\beta t} \sin \omega_0 t$ действует внешняя периодическая сила $F = F_0 \sin \omega t$, то колебания точки будут вынужденными и уравнение ее движения примет вид

$$x_2 = A \sin(\omega t + \varphi), \text{ где } A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

Резонанс наступает тогда, когда частота вынужденных колебаний ω связана с частотой собственных колебаний ω_0 и с коэффициентом затухания β соотношением

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

При распространении незатухающих колебаний со скоростью ν вдоль некоторого направления, называемого лучом, смещение любой точки, лежащей на луче и отстоящей от источника колебаний на расстоянии ℓ , задается уравнением

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi\ell}{\lambda}\right),$$

где A – амплитуда колеблющихся, λ – длина волны. При этом $\lambda = \nu T$. Две точки, лежащие на луче на расстояниях ℓ_1 и ℓ_2 от источника колебаний, имеют разность фаз

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{\ell_2 - \ell_1}{\lambda}$$

При интерференции волн максимум и минимум амплитуды получаются соответственно при условиях

$$\ell_2 - \ell_1 = 2n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$\ell_2 - \ell_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Здесь $\ell_2 - \ell_1$ – разность хода луча.

Задачи

101. Прямолинейное движение материальной точки задано уравнением $x = 4t + 0.05t^3$ (x – в метрах, t – в секундах). Определить скорость и ускорение точки в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 10$ с, а также средние значения скорости и ускорения точки в промежутке времени от t_1 до t_2 .

102. Рядом с поездом на одной линии с передними буферами паровоза стоит человек. В тот момент, когда поезд начал двигаться с ускорением $0,1$ м/с², человек начал идти в том же направлении со скоростью $1,5$ м/с. Через какое время поезд догонит человека? Какую скорость будет иметь поезд в этот момент? Какой путь за это время пройдет человек?

103. С какой высоты упало тело, если последний метр своего пути оно прошло за $0,1$ с?

104. Камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Через сколько секунд камень будет находиться на высоте 15 м? Какова будет скорость камня на этой высоте? Сопротивлением воздуха пренебречь.

105. С балкона бросили мячик вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с. Через 2 с мячик упал на землю. Определить высоту балкона над землей и скорость мячика в момент удара о землю.

106. Пистолетная пуля пробилла два вертикально закрепленных листа бумаги, расстояние между которыми равно 30 м. Пробоина во втором листе оказалась на 10 см ниже, чем в первом. Определить скорость пули, если к первому листу она подлетела, двигаясь горизонтально.

107. С вышки бросили камень в горизонтальном направлении. Через 2 с камень упал на землю на расстоянии 40 м от основания вышки. Определить начальную и конечную скорость камня.

108. Пуля пущена с начальной скоростью 200 м/с под углом 60° к поверхности Земли. Определить наибольшую высоту подъема, дальность полета и радиус

кривизны траектории пули в ее наивысшей точке.

109. Камень брошен с вышки в горизонтальном направлении со скоростью 30 м/с . Определить скорость, тангенциальное и нормальное ускорения камня в конце второй секунды после начала движения.

110. Движение материальной точки задано уравнением $x = At + Bt^2$, где $A = 4 \text{ м/с}$, $B = -0.05 \text{ м/с}^2$. Определить момент времени, в который скорость x точки равна нулю. Найти координату и ускорение в этот момент.

111. Маховик из состояния покоя начал вращаться равноускоренно и, сделав 40 оборотов, продолжал вращаться с постоянной угловой скоростью 8 об/с . Определить угловое ускорение маховика и продолжительность равноускоренного вращения.

112. Маховик вращался, делая 10 об/с . При торможении он начал вращаться равнозамедленно и через 12 с остановился. Сколько оборотов сделал маховик от начала торможения до остановки?

113. Линейная скорость точек на окружности вращающегося диска равна 3 м/с . Точки, расположенные на 10 см ближе к оси, имеют линейную скорость 2 м/с . Сколько оборотов в секунду делает диск?

114. На цилиндр, который может вращаться около горизонтальной оси, намотана нить. К концу нити привязали грузик и предоставили ему опускаться. Двигаясь равноускоренно, грузик за 3 с опустился на $1,5 \text{ м}$. Определить угловое ускорение цилиндра, если его радиус равен 4 см .

115. Диск радиусом 10 см , находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением, равным $0,5 \text{ с}^{-2}$. Каковы были тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на окружности диска в конце второй секунды после начала вращения?

116. Колесо вращается вокруг неподвижной оси так, что угол φ его поворота зависит от времени по закону $\varphi = at^2$, где $a = 0,2 \text{ рад/с}^2$. Найти полное ускорение точки A на ободе колеса в момент $t = 2,5 \text{ с}$, если линейная скорость точки в этот момент $x = 0.65 \text{ м/с}$.

117. Точка движется по окружности радиусом $R = 10 \text{ см}$ с постоянным тангенциальным ускорением. Найти нормальное ускорение точки через 20 с после начала движения, если известно, что к концу пятого оборота после начала движения линейная скорость точки равна $x = 10 \text{ см/с}$.

118. Колесо вращается с постоянным угловым ускорением $\epsilon = 2 \text{ рад/с}^2$. Через $t = 0,5 \text{ с}$ после начала движения полное ускорение колеса стало $a = 13,6 \text{ см/с}^2$. Найти радиус колеса.

119. Винт аэросаней вращается с частотой $n = 60 \text{ с}^{-1}$. Скорость поступательного движения аэросаней равна 54 км/ч . С какой скоростью u движется один из концов винта, если радиус винта R равен 1 м ?

120. Колесо радиусом 0.3 м вращается согласно уравнению $\varphi = 5 - 2t + 0.2t^2$. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорение точек на ободе колеса в момент времени $t = 5 \text{ с}$.

121. В кабине лифта стоит человек, масса которого равна 70 кг . Лифт

опускается с ускорением 1.8 м/с^2 . Определить силу давления человека на пол кабины.

122. К пружинным весам подвешен блок. Через блок перекинули шнур, к концам которого привязали грузы массой $1,5 \text{ кг}$ и 3 кг . Каково будет показание весов во время движения грузов? Весом блока и шнура пренебречь.

123. Шарик массой 300 г ударился о стену и отскочил от нее. Определить импульс, полученный стеной, если в последний момент перед ударом шарик имел скорость 10 м/с , направленную под углом 30° к поверхности стены. Удар считать абсолютно упругим.

124. Наклонная плоскость, образующая угол 25° с плоскостью горизонта, имеет длину 2 м . Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за 2 с . Определить коэффициент трения тела о плоскость.

125. На горизонтальной доске стоит деревянный кубик. Какое наименьшее ускорение в горизонтальном направлении нужно сообщить доске, чтобы кубик соскользнул с нее? Коэффициент трения принять равным $0,4$.

126. Деревянный диск радиусом 40 см вращается вокруг вертикальной оси. На краю диска стоит деревянный кубик. Принимая коэффициент трения равным $0,4$, найти, при каком числе оборотов в минуту кубик соскользнет с диска?

127. Самолет описывает петлю Нестерова радиусом 200 м . Во сколько раз сила, с которой летчик давит на сидение в нижней точке петли, больше веса летчика, если скорость самолета постоянна и равна 100 м/с ?

128. Грузик, привязанный к шнуру длиной 50 см , описывает окружность в горизонтальной плоскости, делая 1 об/с . Какой угол образует шнур с вертикалью?

129. Какую наибольшую скорость может развить велосипедист, проезжая закругление радиусом 50 см , если коэффициент трения скольжения между шинами и асфальтом равен $0,3$? Каков угол отклонения велосипеда от вертикали, когда велосипедист движется по закруглению?

130. На полу стоит тележка в виде длинной доски, снабженной легкими колесами. На одном конце доски стоит человек. Масса человека 60 кг , масса доски 20 кг . Массой колес пренебречь. Трение во втулках незначительно. С какой скоростью будет двигаться тележка, если человек пойдет вдоль доски со скоростью (относительно доски) 1 м/с ?

131. Как велика работа, совершаемая при равноускоренном подъеме груза массой 100 кг на высоту 4 м за 2 с ?

132. Найти работу подъема груза по наклонной плоскости, если масса груза 100 кг , длина наклонной плоскости 2 м , угол наклона 30° , коэффициент трения $0,1$ и груз движется с ускорением 1 м/с^2 .

133. Камень брошен вверх под углом 60° к поверхности Земли. Кинетическая энергия камня в начальный момент равна 20 Дж . Определить кинетическую и потенциальную энергии камня в наивысшей точке его траектории. Сопротивлением воздуха пренебречь.

134. На рельсах стоит платформа, на которой в горизонтальном положении закреплено орудие без противооткатного устройства. Из орудия производят выстрел вдоль железнодорожного пути. Масса снаряда 10 кг , скорость снаряда

при вылете из орудия 1 км/с . Масса платформы с орудием и прочим грузом 20 т . На какое расстояние откатиться платформа после выстрела, если коэффициент трения равен 0.002 ?

135. К шнуру подвешена гиря. Гирю отвели в сторону так, что шнур принял горизонтальное положение, и отпустили. Как велика сила натяжения шнура в момент, когда гиря проходит положение равновесия? Какой угол с вертикалью составляет шнур в момент, когда сила натяжения шнура равна весу гири?

136. Шар, летящий со скоростью 5 м/с , ударяет неподвижный шар. Удар прямой, неупругий. Определить скорость шаров после удара и работу деформации. Рассмотреть 2 случая: а) масса движущегося шара 2 кг , неподвижного 8 кг . б) масса движущегося шара 8 кг , неподвижного 2 кг . Какая доля кинетической энергии движущегося шара расходуется на работу деформации в первом и во втором случаях?

137. Молот массой 5 кг ударяет небольшой кусок железа, лежащий на наковальне. Масса наковальни 100 кг . Массой куска железа пренебречь. Удар неупругий. Определить К.П.Д. удара молота при данных условиях.

138. Молотком, масса которого 1 кг , забивают в стену гвоздь массой 50 г . Определить К.П.Д. удара молотка при данных условиях.

139. Мотоциклист едет по горизонтальной дороге. Какую наименьшую скорость он должен развить, чтобы, выключив мотор, проехать по треку, имеющего форму мертвой петли радиусом 4 м ? Трением и сопротивлением воздуха пренебречь.

140. Тело массой 1 кг , брошенное с вышки в горизонтальном направлении со скоростью 20 м/с , через 3 с упало на землю. Определить кинетическую энергию, которую имело тело в момент удара о землю.

141. На горизонтальную ось насажены маховик и легкий шкив радиусом 5 см . На шкив намотан шнур, к которому привязан груз массой 0.4 кг . Опускаясь равноускоренно, груз прошел путь 1.8 м за 3 с . Определить момент инерции маховика. Массу шкива считать пренебрежимо малой.

142. Тонкий стержень длиной 50 см и массой 400 г вращается с угловым ускорением 3 с^{-2} вокруг оси, проходящей через середину стержня перпендикулярно к его длине. Определить вращающий момент.

143. Длина тонкого прямого стержня 60 см , а масса 100 г . Определить момент инерции стержня относительно оси, перпендикулярной к его длине и проходящей через точку стержня, удаленную на 20 см от одного из его концов.

144. Диаметр диска 20 см , масса 800 г . Определить момент инерции диска относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно к плоскости диска.

145. Вал массой 100 кг и радиусом 5 см вращался, делая 8 об/с . К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой 40 Н и через 10 с вал остановился. Определить коэффициент трения.

146. На цилиндр намотана тонкая, гибкая, нерастяжимая лента, массой которой по сравнению с массой цилиндра можно пренебречь. Свободный конец ленты прикрепили к кронштейну и предоставили цилиндру опускаться под действием силы тяжести. Определить линейное ускорение оси цилиндра, если цилиндр:

а) сплошной, б) полый, тонкостенный.

147. Через блок, имеющий форму диска, перекинут шнур. К концам шнура привязали грузики массой 100 г и 110 г . С каким ускорением будут двигаться грузики, если масса блока равна 400 г ? Трение при вращении блока ничтожно мало.

148. Через неподвижный блок массой 0.2 кг перекинут шнур, к одному концу которого подвесили груз массой 0.3 кг , к другому – 0.5 кг . Определить силы натяжения шнура по обе стороны блока во время движения грузов, если массу блока можно считать равномерно распределенной по ободу.

149. Маховик в виде диска массой 80 кг и радиусом 30 см находится в состоянии покоя. Какую работу нужно совершить, чтобы сообщить маховику угловую скорость 10 об/с ? Какую работу пришлось бы совершить, если бы при той же массе диск имел меньшую толщину, но вдвое бóльший радиус?

150. Якорь мотора делает 1500 об/мин . Определить вращающий момент, если мотор развивает мощность 500 Вт .

151. Кинетическая энергия вращающегося маховика равна 1000 Дж . Под действием постоянного тормозящего момента маховик начал вращаться равнозамедленно и, сделав 80 оборотов, остановился. Определить момент силы торможения.

152. Маховик, момент инерции которого равен $40 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, начал вращаться равноускоренно из состояния покоя под действием момента силы, равного $20 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Равноускоренное вращение продолжалось 10 с . Определить кинетическую энергию, приобретенную маховиком.

153. Пуля массой 10 г летит со скоростью 800 м/с , вращаясь около продольной оси с угловой скоростью 3000 об/с . Принимая пулю за цилиндр диаметром 8 мм , определить полную кинетическую энергию пули.

154. Сплошной цилиндр массой 4 кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Линейная скорость оси цилиндра 1 м/с . Определить полную кинетическую энергию цилиндра.

155. Шар катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Полная кинетическая энергия шара 14 Дж . Определить кинетическую энергию поступательного и вращательного движения шара.

156. Определить линейную скорость центра шара, скатившегося без скольжения с наклонной плоскости высотой 1 м .

157. Сколько времени будет скатываться без скольжения обруч с наклонной плоскости длиной 2 м и высотой 10 см ?

158. Тонкий прямой стержень длиной 1 м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на угол 60° от положения равновесия и отпустили. Определить линейную скорость нижнего конца стержня в момент прохождения через положение равновесия.

159. Платформа в виде диска радиусом 1 м вращается по инерции, делая 60 об/мин . На краю платформы стоит человек, масса которого равна 80 кг . Сколько оборотов в минуту будет делать платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции платформы равен $120 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

- 160.** Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек. На какой угол повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку? Масса платформы 240 кг , масса человека 60 кг . Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
- 161.** Тонкий обруч, повешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, колеблется в плоскости, параллельной стене. Радиус обруча 30 см . Определить период колебаний.
- 162.** Диск радиусом 24 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно к плоскости диска. Определить приведенную длину и период колебаний.
- 163.** На концах тонкого стержня длиной 30 см укреплены одинаковые грузики по одному на каждом конце. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через точку, удаленную на 10 см от одного из концов стержня. Определить приведенную длину и период колебаний. Массой стержня пренебречь.
- 164.** На стержне длиной 30 см укреплены два одинаковых грузика – один в середине стержня, другой на одном из его концов. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину и период колебаний. Массой стержня пренебречь.
- 165.** Математический маятник длиной 40 см и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной 60 см синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние центра тяжести стержня от оси колебаний.
- 166.** Физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной 120 см колеблется около горизонтальной оси, перпендикулярной к длине стержня и проходящий через точку, удаленную на некоторое расстояние x от центра тяжести стержня. При каком значении x период колебаний имеет наименьшее значение?
- 167.** Жесткость пружин рессоры вагона равна $4,9 \cdot 10^3 \text{ Н/см}$. Вес вагона с грузом 640 Н . Вагон имеет четыре рессоры. При какой скорости вагон начнет сильно раскачиваться вследствие толчков на стыках рельс, если длина рельса $12,8 \text{ м}$?
- 168.** К спиральной пружине подвесили грузик, в результате чего пружина растянулась на 9 см . Каков будет период колебаний грузика, если его немного оттянуть вниз, а затем отпустить?
- 169.** Материальная точка массой $0,1 \text{ г}$ колеблется согласно уравнению $x = 5 \sin 20t$ (длина – в сантиметрах, время – в секундах). Определить максимальные значения возвращающей силы и кинетической энергии точки.
- 170.** Математический маятник длиной 1 м установлен в лифте. Лифт поднимается с ускорением $2,5 \text{ м/с}^2$. Определить период колебания маятника.
- 171.** Определить разность фаз колебаний между источником волн, находящимся в упругой среде, и точкой этой среды, отстоящей на 2 м от источника. Частота колебаний равна 5 Гц , скорость распространения волн 40 м/с .

172. Волны распространяются в упругой среде со скоростью 100 м/с . Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1 м . Определить частоту колебаний.
173. Определить скорость распространения волн в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на 10 см , равна 60° и частота колебаний 25 Гц .
174. От источника колебаний распространяются волны вдоль прямой линии. Амплитуда колебаний 10 см . Как велико смещение точки, удаленной от источника на $3/4$ длины волны, в момент, когда от начала колебаний источника прошло время, равное 0.9 периода колебаний?
175. Волна распространяется по прямой со скоростью 20 м/с . Две точки, находящиеся на этой прямой на расстояниях 12 м и 15 м от источника волн, колеблются с разностью фаз $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0,75\pi$. Определить длину волны и период колебаний.
176. Найти смещение от положения равновесия точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии $l = \lambda/12$, для момента $t = T/6$. Амплитуда колебания $A = 0,05 \text{ м}$.
177. Определить скорость x распространения волн в упругой среде, если разность фаз колебаний 2 точек, отстоящих друг от друга на $\Delta x = 15 \text{ см}$, равна $\pi/2$. Частота колебаний $\nu = 25 \text{ Гц}$.
178. Катер движется в море со скоростью 54 км/ч . Расстояние между гребнями волн 10 м , период колебаний частиц воды в волне 2 с . С какой частотой ударяются волны о корпус катера при его движении: 1) в направлении распространения волны; 2) навстречу волнам?
179. Два гармонических колебания с одинаковыми периодами и амплитудами $A_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ и $A_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ происходят вдоль одной прямой. Период колебаний $T = 1,2 \text{ с}$. Каков период результирующего колебания? Каковы максимальная и минимальная возможные амплитуды результирующего колебания и каким наименьшим разностям фаз они соответствуют.
180. Точка участвует в двух колебаниях одинакового периода с одинаковыми начальными фазами. Амплитуды колебаний $A_1 = 3 \text{ см}$ и $A_2 = 4 \text{ см}$. Найти амплитуду результирующего колебания, если колебания совершаются в одинаковом направлении.

3.2 Контрольная работа № 2

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Таблица вариантов 6

№ варианта	Номера задач					
	1	201	211	221	231	241
2	202	212	222	232	242	252
3	203	213	223	233	243	253
4	204	214	224	234	244	254
5	205	215	225	235	245	255
6	206	216	226	236	246	256
7	207	217	227	237	247	257
8	208	218	228	238	248	258
9	209	219	229	239	249	259
0	210	220	230	240	250	260

Перед решением задач этой контрольной работы необходимо хорошо изучить соответствующие темы курса физики и разобрать решение задач по учебным пособиям, указанным в следующей таблице:

Таблица 7

№№ задач	Наименование темы	Литература для подготовки к выполнению контрольной работы
201–210	Уравнение газового состояния смеси газов.	[4]: Гл. 1, 2; [16]: Гл. 9, 11, 12; [10]: Гл. 1, 2, 7; [21]: Гл. 8; [13]: Гл. 8,10; [15]: стр. 133–137, 143–146;
211–260	Молекулярно – кинетическая теория газов. Элементы статистической физики и Термодинамики	[4]: Гл. 2, 3; [16]: Гл. 10, 11, 13; [10]: Гл. 1, 3; [21]: Гл. 9; [13]: Гл. 9, 11; [15]: стр. 152–158, 169–176;

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Идеальные газы подчиняются уравнению состояния

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

где p – давление газа, V – его объем, T – термодинамическая температура, m – масса газа, M – молярная масса газа, $R = 8,31441$ Дж/(моль·К) – газовая постоянная; отношение $\nu = m/M$ дает количество молей газа.

По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений, т. е. тех давлений, которые имел бы каждый из газов в отдельности, если бы он при данной температуре один заполнял весь объем.

Основное уравнение кинетической теории газов имеет вид

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2},$$

где n – число молекул в единице объема, $\langle \varepsilon \rangle$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы, m_0 – масса молекулы, $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ – средняя квадратичная скорость молекул. Эти величины определяются следующими формулами: число молекул в единице объема

$$n = \frac{p}{kT},$$

где $k = R/N_A = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $N_A = 6,022045 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – постоянная Авогадро; средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT;$$

средняя квадратичная скорость молекул

$$\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}},$$

причем $m_0 = M/N_A$.

Внутренняя энергия газа

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT,$$

где i – число степеней свободы молекул.

Связь между молярной C и удельной c теплоемкостями следует из их определения:

$$C = Mc.$$

Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме

$$C_V = \frac{i}{2} R;$$

молярная теплоемкость при постоянном давлении

$$C_p = C_V + R.$$

Отсюда следует, что молярная теплоемкость C определяется числом степеней свободы i молекул газа.

Закон распределения молекул по скоростям (закон Максвелла) позволяет найти число молекул ΔN , относительные скорости которых лежат в интервале от u до $u + \Delta u$:

$$\Delta N = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N e^{-u^2} u^2 \Delta u.$$

Здесь $u = v/v_B$ – относительная скорость, v – данная скорость и $v_B = \sqrt{2RT/M}$ – наиболее вероятная скорость молекул, Δu – интервал относительных скоростей, малый по сравнению со скоростью u .

При решении задач на закон распределения молекул по скоростям удобно пользоваться таблицей 8 в которой даны значения $\Delta N/(N\Delta u)$ для различных u .

Средняя арифметическая скорость молекул

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}.$$

Во многих случаях важно знать число молекул N_x , скорости которых превышают заданное значение скорости u . В таблице 9 даны значения N_x/N для различных u , где N – общее число молекул.

Таблица 8

u	$\Delta N/(N\Delta u)$	U	$\Delta N/(N\Delta u)$	u	$\Delta N/(N\Delta u)$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0,1	0,02	1,0	0,83	1,9	0,22
0,2	0,09	1,1	0,82	2,0	0,16
0,3	0,18	1,2	0,78	2,1	0,12
0,4	0,31	1,3	0,71	2,2	0,09
0,5	0,44	1,4	0,63	2,3	0,06
0,6	0,57	1,5	0,54	2,4	0,04
0,7	0,68	1,6	0,46	2,5	0,03
0,8	0,76	1,7	0,36		

Таблица 9

u	N_x/N	U	N_x/N	u	N_x/N
0	1,000	0,6	0,868	1,25	0,374
0,2	0,994	0,7	0,806	1,5	0,213
0,4	0,957	0,8	0,734	2,0	0,046
0,5	0,918	1,0	0,572	2,5	0,0057

Барометрическая формула дает закон убывания давления газа с высотой в поле силы тяжести:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right).$$

Здесь p – давление газа на высоте h , p_0 – давление на высоте $h=0$, $g=9,80665\text{м/с}^2$ – ускорение свободного падения. Эта формула приближенная, так как получена в предположении, что T не зависит от h .

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n},$$

Средняя длина свободного пробега молекул газа d – эффективный диаметр молекулы, n – число молекул в единице объема (концентрация молекул). Общее число столкновений всех молекул в единице

объема за единицу времени

$$Z = \langle v \rangle n / 2\lambda.$$

Масса, перенесенная за время Δt при диффузии,

$$m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t.$$

где $\Delta \rho / \Delta x$ – градиент плотности в направлении, перпендикулярном к площадке ΔS , $D = \langle v \rangle \lambda / 3$ – коэффициент диффузии ($\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость, λ – средняя длина свободного пробега молекул).

Сила внутреннего трения $F_{тр}$ в газе:

$$F_{тр} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta S,$$

где $\Delta v / \Delta x$ – градиент скорости течения газа в направлении, перпендикулярном к площадке ΔS , $\eta = \langle v \rangle \lambda \rho / 3$ – динамическая вязкость.

Количество теплоты, перенесенное за время Δt вследствие теплопроводности, определяется формулой

$$Q = -\kappa \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

где $\Delta T / \Delta x$ – градиент температуры в направлении, перпендикулярном к площадке ΔS , $\kappa = \langle v \rangle \lambda c_V \rho / 3$ – теплопроводность.

Первое начало термодинамики может быть записано в виде

$$dQ = dU + dA,$$

где dQ – количество теплоты, полученное газом, dU – приращение внутренней энергии газа, $dA = p dV$ – работа, совершаемая газом. Внутренняя энергия газа

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

где T – термодинамическая температура. Работа, совершаемая газом,

$$A = \int_{V_2}^{V_1} p dV.$$

Работа, совершаемая при изотермическом процессе,

$$A_{из} = RT \frac{m}{M} \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Давление и объем газа связаны при адиабатическом процессе уравнением Пуассона

$$pV^\gamma = \text{const},$$

где показатель адиабаты $\gamma = C_p/C_v$. Уравнение Пуассона может быть записано еще в таком виде:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}, \quad \text{или} \quad Tp^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{const}.$$

Работа, совершаемая при адиабатическом процессе, может быть найдена по формуле

$$A_{ад} = \frac{RT_1}{\gamma-1} \frac{m}{M} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{RT_1}{\gamma-1} \frac{m}{M} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \\ = \frac{p_1 V_1 (T_1 - T_2)}{(\gamma-1) T_1},$$

где p_1 и V_1 – давление и объем газа при температуре T_1 .

Уравнение политропического процесса имеет вид

$$pV^n = \text{const},$$

где n – показатель политропы ($0 < n < \infty$).

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины

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

где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, Q_2 –

количество теплоты, отданное холодильнику. Для цикла Карно

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

где T_1 и T_2 – термодинамические температуры нагревателя и холодильника.

Разность энтропий $S_B - S_A$ двух состояний B и A определяется формулой

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

Задачи

- 201.** При температуре 35°C и давлении $7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ плотность газа $12,2 \text{ кг/м}^3$. Определить молекулярный вес газа.
- 202.** Какое количество водяного пара содержится в 1 м^3 воздуха, насыщенного паром, при температуре 27°C , если давление насыщенного водяного пара при этой температуре $26,7 \text{ мм рт. ст.}$?
- 203.** Какой объем занимает смесь 1 кг азота и 1 кг гелия при нормальных условиях?
- 204.** Сосуд емкостью $0,01 \text{ м}^3$ содержит 7 г азота и 1 г водорода при температуре 7°C . Определить давление смеси газов.
- 205.** Баллон емкостью 15 л содержит смесь водорода и азота при температуре 27°C и давлении $12,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Масса смеси 145 г . Определить массу водорода и массу азота.
- 206.** Один килограмм сухого воздуха содержит 232 г кислорода и 768 г азота. Содержанием других газов пренебрегаем. Определить кажущийся молекулярный вес воздуха.
- 207.** Баллон емкостью 20 л содержит 500 г углекислого газа под давлением $13 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить температуру газа.
- 208.** Какой объем занимает 1 кмоль идеального газа при давлении 10^6 Па и температуре 100°C ?
- 209.** В баллоне емкостью 24 л находится водород при температуре 15°C . После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Какое количество водорода было израсходовано?
- 210.** Сколько киломолей и сколько молекул газа находится в колбе емкостью 240 см^3 , если температура газа 20°C и давление 380 мм рт. ст. ?
- 211.** Газ занимает объем 2 л под давлением $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул газа.
- 212.** Определить температуру газа, если средняя кинетическая энергия

поступательного движения его молекул $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

213. Баллон содержит 2 г азота при температуре 7°C . Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул газа.

214. Сколько молекул содержится в 1 см^3 газа при температуре 20°C и давлении 10^{-6} мм рт. ст.?

215. В колбе емкостью 100 см^3 содержится некоторый газ при температуре 27°C . На сколько понизится давление газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет 10^{20} молекул?

216. При какой температуре молекулы гелия имеют такую же среднюю квадратичную скорость, как молекулы водорода при 15°C ?

217. Колба емкостью 4 л содержит 0,6 г некоторого газа под давлением $2 \cdot 10^5$ Па. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа.

218. Смесь гелия и аргона находится при температуре 1200°K . Определить среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию поступательного движения атомов гелия и аргона.

219. Взвешенные в воздухе мельчайшие пылинки движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Какова средняя квадратичная скорость пылинки массой 10^{-10} г, если температура воздуха 27°C ?

220. Определить среднюю арифметическую скорость молекул газа, если известно, что средняя квадратичная скорость их 1000 м/сек .

221. Какова наименьшая скорость молекул водорода при температуре 400°K ?

222. Какая доля общего числа молекул газа обладает скоростями, отличающимися от наиболее вероятной скорости не больше чем на 1%?

223. Какая доля молекул кислорода обладает скоростями, лежащими в интервале от 910 до 911 м/сек, если температура газа 400°K ?

224. На какой высоте над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на поверхности? Температуру воздуха считать неизменной и равной 0°C .

225. В кабине вертолета барометр показывает 675 мм рт.ст . На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал 750 мм рт. ст ? Температуру воздуха считать неизменной и равной 17°C .

226. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул азота равна 1 м, если температура газа 15°C ?

227. Определить плотность разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега молекул равна 1 см.

228. Средняя длина свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях $1,8 \cdot 10^{-5}$ см. Определить коэффициент диффузии гелия.

229. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях $0,91 \text{ см}^2/\text{сек}$. Определить коэффициент теплопроводности водорода.

230. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы гелия, водорода и углекислого газа при температуре 400°K .

231. Баллон содержит 220 г углекислого газа под давлением $9 \cdot 10^5$ Па при температуре 15°C . Вследствие охлаждения давление упало до $8 \cdot 10^5$ Па.

Принимая углекислый газ за идеальный, определить, какое количество теплоты отдал газ.

232. Один грамм гелия был нагрет на 100°C при постоянном давлении. Определить количество теплоты, переданное газу, работу расширения и приращение внутренней энергии газа.

233. Водород был нагрет на 10°C при постоянном давлении. Масса газа равна 4г . Определить работу расширения.

234. Газ, занимавший объем 11 л под давлением 10^5 Па был изобарически нагрет от 20°C до 100°C . Определить работу расширения.

235. Какая доля количества теплоты, подводимой к идеальному газу при изобарическом процессе расходуется на увеличение внутренней энергии газа и какая доля – на работу расширения? Рассмотреть случаи одноатомного, двухатомного и многоатомного газов.

236. Углекислый газ расширяется при постоянном давлении. Определить работу расширения, если газу передано $4,2 \cdot 10^3\text{ Дж}$ теплоты.

237. На нагревание 160 г кислорода на 12° было затрачено 1760 Дж . Как протекал процесс – при постоянном объеме или при постоянном давлении?

238. Расширяясь, водород совершил работу, равную 4270 Дж . Какое количество теплоты было подведено к газу, если газ расширялся изобарически? Изотермически?

239. При изотермическом расширении 1 г водорода, имевшего температуру 7°C , объем газа увеличился в 3 раза. Определить работу расширения.

240. Азот, занимавший объем 10 л под давлением $2 \cdot 10^5\text{ Па}$ изотермически расширился до объема 28 л . Определить работу расширения.

241. При изотермическом расширении одного моля кислорода, имевшего температуру 27°C , газ поглотил 1740 Дж теплоты. Во сколько раз увеличился объем газа?

242. Какое количество теплоты выделится, если 1 г азота, взятого при температуре 0°C под давлением 10^5 Па изотермически сжать до давления 10^6 Па ?

243. Воздух, занимавший объем 10 л при давлении 10^5 Па , был адиабатически сжат до объема 1 л . Под каким давлением находится воздух после сжатия?

244. Горючая смесь в двигателе Дизеля воспламеняется при температуре 800°C . Начальная температура смеси 70°C . Во сколько раз нужно уменьшить объем смеси при сжатии, чтобы она воспламенилась? Сжатие считать адиабатическим. Принять $\gamma = 1,4$.

245. Углекислый газ, находившийся под давлением 10^5 Па при температуре 12°C , был адиабатически сжат до давления $2 \cdot 10^5\text{ Па}$. Какова температура газа после сжатия?

246. При адиабатическом сжатии газа его объем уменьшился в 10 раз, а давление увеличилось в $21,4$ раза. Определить отношение теплоемкостей газа.

247. Из баллона, содержавшего водород под давлением 10^6 Па при температуре 18°C , выпустили половину находившегося в нем количества газа. Считая процесс адиабатическим, определить конечную температуру и давление.

- 248.** Воздух, находившийся под давлением 10^5 Па , был адиабатически сжат до давления 10^6 Па . Каково будет давление, когда сжатый воздух, сохраняя объем неизменным, охладится до первоначальной температуры?
- 249.** Определить работу адиабатического расширения водорода, взятого в количестве 4 г , если температура газа понизилась на 10°C .
- 250.** Азот, имевший температуру 27°C , был адиабатически сжат так, что его объем уменьшился в 10 раз. Масса газа 2 г . Определить конечную температуру газа и работу расширения.
- 251.** Газ, совершающий цикл Карно, $2/3$ теплоты, полученной от нагревателя, отдает охладителю. Температура охладителя 0°C . Определить температуру нагревателя.
- 252.** Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в 4 раза выше абсолютной температуры охладителя. Какую долю теплоты, получаемой за один цикл от нагревателя, газ отдает охладителю?
- 253.** Наименьший объем газа, совершающего цикл Карно, равен 153 л . Определить наибольший объем, если объем газа в конце изотермического расширения 189 л , а в конце изотермического сжатия 600 л .
- 254.** Газ совершает цикл Карно. Работа изотермического расширения газа 5 Дж . Определить работу изотермического сжатия, если термический к. п. д. цикла $0,2$.
- 255.** Один моль идеального двухатомного газа, находящийся под давлением 10^5 Па при температуре 27°C , нагревается при постоянном объеме до давления $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. После этого газ изотермически расширяется до начального давления и затем изобарически сжимается до начального объема. Определить температуру газа для характерных точек цикла и его термический к. п. д.
- 256.** В результате изохорического нагревания одного грамма водорода давление газа увеличилось в два раза. Определить изменение энтропии газа.
- 257.** Найти изменение энтропии при изобарическом расширении 4 г азота от объёма 5 л до объёма 9 л .
- 258.** Идеальный многоатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление газа в 2 раза больше наименьшего, а наибольший объем в 4 раза больше наименьшего. Определить термический к.п.д. цикла.
- 259.** В результате кругового процесса газ совершил работу 1 Дж и передал охладителю $4,2 \text{ Дж}$ теплоты. Определить термический к. п. д. цикла.
- 260.** Совершая замкнутый цикл, газ получил от нагревателя 1 ккал теплоты. Какую работу выполнил газ в результате протекания всего цикла, если термический к. п. д. цикла равен $0,1$?

3.3 Контрольная работа № 3

ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Таблица вариантов 10

№ варианта	Номера задач					
1	301	311	321	331	341	351
2	302	312	322	332	342	352
3	303	313	323	333	343	353
4	304	314	324	334	344	354
5	305	315	325	335	345	355
6	306	316	326	336	346	356
7	307	317	327	337	347	357
8	308	318	328	338	348	358
9	309	319	329	339	349	359
0	310	320	330	340	350	360

Перед решением задач этой контрольной работы необходимо хорошо изучить соответствующие темы курса физики и разобрать решение задач по учебным пособиям, указанным в следующей таблице.

Таблица 11

№/№ задач	Наименование Темы	Рекомендуемые учебные пособия
301-340	Электростатика	[5]: Гл. 1, 2, 3, 4; [17]: Гл. 1, 2, 3, 4; [13]: Гл. 13, 14, 15, 16, 17; [21]: Гл. 11; [15]: стр.202-207; 213-220; 235-244; 271-273; 277-282;
341-360	Постоянный электрический ток	[5]: Гл. 5; [17]: Гл.5; [13]: Гл. 19; [21]: Гл.12; [15] стр.287-292; 298-302

Основные формулы

По закону Кулона сила электростатического взаимодействия между двумя заряженными телами, размеры которых малы по сравнению с расстоянием r между ними, определяется формулой

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

где q_1 и q_2 - электрические заряды тел, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ - электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля определяется формулой

$$E = \frac{F}{q},$$

где F - сила, действующая на заряд q . Напряженность поля точечного заряда

$$E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon r^2}.$$

Напряженность электрического поля нескольких зарядов (например, поле диполя) находится по правилу векторного сложения.

По теореме Гаусса поток напряженности сквозь любую замкнутую поверхность

$$\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum q_i$$

где $\sum q_i$ - алгебраическая сумма зарядов, охватываемых этой поверхностью. Соответственно поток электрического смещения сквозь любую замкнутую поверхность

$$\Phi_D = \sum q_i$$

При помощи теоремы Гаусса можно найти напряженность электрического поля, образованного различными заряженными телами.

Напряженность поля, образованного заряженной бесконечно длинной нитью,

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon a},$$

где λ - линейная плотность заряда на нити, a - расстояние от нити. Если нить имеет конечную длину, то напряженность поля в точке, находящейся на перпендикуляре, восстановленном из середины нити на расстоянии a от нее,

$$E = \frac{\lambda \sin\theta}{2\pi\epsilon_0\epsilon a},$$

где θ - угол между направлением нормали к нити и радиус-вектором, проведенным из рассматриваемой точки к концу нити.

Напряженность поля, образованного заряженной бесконечно протяженной плоскостью,

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

где σ - поверхностная плотность заряда на плоскости. Если плоскость представляет собой диск радиусом R , то напряженность поля в точке, находящейся на перпендикуляре, восстановленном из центра диска на расстоянии a от него,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} \left(1 - \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} \right).$$

Напряженность поля, образованного равномерно заряженными параллельными бесконечными плоскостями (поле плоского конденсатора)

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

Напряженность поля, образованного заряженным шаром,

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

где q – заряд шара радиусом R и r – расстояние от центра шара, причем $r > R$.
Электрическое смещение D определяется соотношением

$$D = \epsilon_0 \epsilon E.$$

Разность потенциалов между двумя точками электрического поля определяется работой, которую надо совершить, чтобы единицу положительного заряда перенести из одной точки в другую:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$$

Потенциал поля точечного заряда

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где r – расстояние от заряда

Напряженность электрического поля и потенциал связаны соотношением

$$E = -\text{grad } \varphi$$

В случае однородного поля плоского конденсатора напряженность

$$E = \frac{U}{d},$$

где U – разность потенциалов между пластинами конденсатора, d – расстояние между ними.

Потенциал уединенного проводника и его заряд связаны соотношением

$$q = C\varphi$$

где C – емкость уединенного проводника.

Емкость плоского конденсатора.

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

где S – площадь каждой пластины конденсатора.

Емкость сферического конденсатора

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R}{R-r},$$

где r и R – радиусы внутренней и внешней сфер. В частном случае, когда $R = \infty$,
 $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r$ – емкость уединенного шара.

Емкость цилиндрического конденсатора

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon L}{R-r},$$

где L – высота коаксиальных цилиндров, r и R – радиусы внутреннего и внешнего цилиндров.

Емкость системы конденсаторов:

При параллельном соединении конденсаторов

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

При последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Энергия заряженного проводника может быть найдена по одной из следующих формул:

$$W = \frac{qU}{2}, \quad W = \frac{cU^2}{2}, \quad W = \frac{q^2}{2C}.$$

В случае плоского конденсатора энергия

$$W = \frac{e_0 e S U^2}{2d} = \frac{e_0 e E^2 S d}{2} = \frac{y^2 S d}{2e_0 e},$$

где S – площадь каждой пластины конденсатора, σ – поверхностная плотность заряда на пластинах, U – разность потенциалов между пластинами, d – расстояние между ними. Величина

$$w = \frac{e_0 e E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

называется объемной плотностью энергии электрического поля.

Сила притяжения между пластинами плоского конденсатора

$$F = \frac{e_0 e E^2 S}{2} = \frac{e_0 e S U^2}{2d^2} = \frac{y^2 S}{2e_0 e}$$

Сила тока (ток) численно равна количеству электричества, проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Если сила тока $I = const$, то

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

Плотность электрического тока

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

где S – площадь поперечного сечения проводника.

Ток, текущий по участку однородного проводника, подчиняется закону Ома

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

где U – разность потенциалов на концах участка, R – сопротивление этого участка.

Сопротивление проводника

$$R = c \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma S},$$

где ρ – удельное сопротивление, σ – удельная проводимость, l – длина и S – площадь поперечного сечения проводника.

Удельное сопротивление металлов зависит от температуры следующим образом:

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

где ρ_0 – удельное сопротивление при $t_0 = 0^\circ\text{C}$, α – температурный коэффициент сопротивления.

Работа электрического тока на участке цепи определяется формулой

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

Для замкнутой цепи закон Ома имеет вид

$$I = \frac{e}{R + r},$$

где ε - ЭДС генератора, R - внешнее сопротивление, r - внутреннее сопротивление генератора.

Полная мощность, выделяемая в цепи,

$$P = \varepsilon I.$$

Для разветвленных цепей имеют место два закона Кирхгофа:
первый закон Кирхгофа – алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum I_i = 0;$$

второй закон Кирхгофа – в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжения на отдельных участках цепи равна алгебраической сумме ЭДС, имеющихся в этом контуре

$$\sum I_i R_i = \sum e_i$$

При применении законов Кирхгофа надо руководствоваться следующими правилами.

На схеме произвольно указываются стрелками направления токов у соответствующих сопротивлений. Обходя контур в произвольном направлении, будем считать положительными те токи, направления которых совпадают с направлением обхода, и отрицательными те, направления которых противоположны направлению обхода.

Положительными будем считать те ЭДС, которые повышают потенциал в направлении обхода, т.е. ЭДС будет положительной, если при обходе придется идти от минуса к плюсу внутри генератора.

Задачи

301. Два шарика с массами по $0,1 \text{ г}$ подвешены в одной точке на нитях длиной по 20 см каждая. Получив одинаковый заряд, шарики разошлись так, что нити образовали между собой угол 60° . Определить заряд каждого шарика.

302. Три одинаковых заряда по 10^{-9} Кл каждый расположены по вершинам равностороннего треугольника. Какой отрицательный заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы его притяжение уравновесило силы взаимного отталкивания зарядов? Будет ли это равновесие устойчивым?

303. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды по $3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$ каждый. Какой отрицательный заряд нужно поместить в центре квадрата,

чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

304. Расстояние между двумя точечными зарядами $+8 \cdot 10^{-9}$ Кл и $-5,3 \cdot 10^{-9}$ Кл равно 40 см. Определить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему будет равна напряженность, если второй заряд будет положительным?

305. Расстояние между точечными зарядами $+32$ мкКл и -32 мкКл равно 12 см. Определить напряженность поля в точке, удаленной на 8 см как от первого, так и от второго заряда.

306. Точечный заряд 10^{-6} Кл находится вблизи большой равномерно заряженной пластины против ее середины. Определить поверхностную плотность заряда пластины, если на точечный заряд действует сила $6 \cdot 10^{-2}$ Н.

307. Две одинаковых круглых пластины площадью по 100 см² каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины $+10^{-7}$ Кл другой -10^{-7} Кл. Определить силу взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними 2 см.

308. Очень длинная тонкая прямая проволока несет заряд, равномерно распределенный по всей ее длине. Определить линейную плотность заряда, если напряженность поля на расстоянии 0,5 м от проволоки против ее середины равна 2 В/см.

309. Расстояние между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу, 16 см. Проволоки равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$ Кл/см. Определить напряженность поля в точке, удаленной на 10 см как от первой так и от второй проволоки.

310. Прямой металлический стержень диаметром 5 см и длиной 4 м несет равномерно распределенный по его поверхности заряд, равный $5 \cdot 10^{-7}$ Кл. Определить напряженность поля в точке, находящейся против середины стержня на расстоянии 1 см от его поверхности.

311. Определить потенциальную энергию точечного заряда 10^{-9} Кл находящегося на расстоянии 1,5 м от точечного заряда 1 мкКл.

312. В вершинах квадрата со стороной 10 см находятся равные по величине и одинаковые по знаку точечные заряды по 1 мкКл. Определить потенциальную энергию данной системы зарядов.

313. Расстояние между зарядами $q_1 = +10$ мкКл и $q_2 = -8$ мкКл равно 5 см. Определить напряженность и потенциал поля в точке, удаленной от первого заряда на 4 см и от второго на 3 см.

314. Расстояние между зарядами $q_1 = +1$ мкКл и $q_2 = -1$ мкКл равно 10 см. Определить напряженность и потенциал поля в точке, удаленной на расстояние 10 см от первого заряда и лежащей на линии, проходящей через первый заряд перпендикулярно к направлению от q_1 к q_2 .

315. Металлический шарик диаметром 2 см заряжен отрицательно до потенциала 150 В. Сколько электронов находится на поверхности шарика?

316. Полую металлическому шару сообщен заряд, равный 0,4 мкКл. Радиус шара 20 см. Определить напряженность и потенциал поля: а) на поверхности

шара, б) в его центре.

317. Металлический шар заряжен до потенциала 6000 В . Поверхностная плотность заряда шара равна 10^{-11} Кл/см^2 . Определить радиус шара.

318. Расстояние между двумя пластинами, расположенными параллельно одна к другой, 2 см , разность потенциалов 1000 В . Определить поверхностную плотность заряда на пластинах.

319. Определить потенциал φ , до которого можно зарядить уединенный металлический шар радиусом $R = 10 \text{ см}$, если напряженность поля, при которой происходит пробой воздуха, равна $3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$. Найти также максимальную поверхностную плотность σ электрических зарядов перед пробоем.

320. На отрезке тонкого прямого проводника равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 10^{-10} \text{ Кл/см}$. Вычислить потенциал, создаваемый этим зарядом в точке, расположенной на оси проводника и удаленной от ближайшего конца отрезка на расстояние, равное длине этого отрезка. Диэлектрик – воздух.

321. Отрицательно заряженная пылинка находится в равновесии между двумя пластинами плоского конденсатора, расположенными горизонтально. Расстояние между пластинами 2 см , разность потенциалов 612 В , Масса пылинки 10^{-12} г . Сколько электронов несет на себе пылинка?

322. Разность потенциалов между катодом и анодом электронной лампы 90 В , расстояние 1 мм . С каким ускорением движется электрон от катода к аноду? Какова скорость электрона в момент удара об анод? За какое время электрон пролетает расстояние от катода до анода? Поле считать однородным.

323. Пылинка массой 10^{-9} г , несущая на себе 5 электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $3 \cdot 10^6 \text{ В}$. Какова кинетическая энергия пылинки в электронвольтах? Какую скорость приобрела пылинка?

324. Заряженная частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов 600000 В , приобрела скорость 5400 км/сек . Определить удельный заряд частицы (отношение заряда к массе).

325. Положительно заряженная частица, заряд которой равен элементарному заряду, прошла ускоряющую разность потенциалов 60000 В и летит на ядро атома лития, заряд которого равен трем элементарным зарядам. На какое наименьшее расстояние частица может приблизиться к ядру? Начальное расстояние частицы от ядра можно считать практически бесконечно большим.

326. Электрон, летевший горизонтально со скоростью 1600 км/сек влетает в однородное электрическое поле с напряженностью 90 В/см , направленное вертикально вверх. Какова будет по величине и направлению скорость электрона через 10^{-9} с ?

327. Электрон влетел в пространство между пластинами плоского конденсатора со скоростью 10000 км/сек , направленной параллельно пластинам. На сколько приблизится электрон к положительно заряженной пластине за время движения внутри конденсатора, если расстояние между пластинами 16 мм , разность потенциалов 30 В и длина пластин 6 см ?

328. Электрон влетает в плоский конденсатор, находясь на одинаковом

расстоянии от каждой пластины и имея скорость 10000 км/сек, направленную параллельно пластинам. Расстояние между пластинами 2 см, длина каждой пластины 10 см. Какую наименьшую разность потенциалов нужно приложить к пластинам, чтобы электрон не вылетел из конденсатора?

329. Электрон влетел в плоский конденсатор, имея скорость, равную 10000 км/сек и направленную параллельно пластинам. В момент вылета из конденсатора направление скорости электрона составляло угол 35° с первоначальным направлением скорости. Определить разность потенциалов между пластинами, если длина пластин 10 см и расстояние между ними 2 см.

330. Шар, имеющий радиус 10 см, соединен тонкой проволокой с шаром, радиус которого 2 см. Шарам сообщили заряд, равный 0,06 мкКл. Определить заряд и потенциал каждого шара.

331. Между пластинами плоского конденсатора находится плотно прилегающая к ним стеклянная пластинка. Конденсатор заряжен до разности потенциалов в 100 В. Какова будет разность потенциалов, если вытащить стеклянную пластинку из конденсатора?

332. В плоский конденсатор вдвинули плитку парафина толщиной 1 см, которая вплотную прилегает к его пластинам. На сколько нужно увеличить расстояние между пластинами, чтобы получить прежнюю емкость?

333. Емкость плоского конденсатора 1,5 мкФ. Расстояние между пластинами 5 мм. Какова будет емкость конденсатора, если на нижнюю пластину положить лист эбонита толщиной 3 мм?

334. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов 600 В и отключенному от источника напряжения, присоединили параллельно второй незаряженный конденсатор таких же размеров и формы, но с диэлектриком (фарфор). Определить диэлектрическую проницаемость фарфора, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до 100 В.

335. Два конденсатора емкостью 3 мкФ и 6 мкФ соединены между собой и присоединены к батарее с э.д.с. 120 В. Определить заряд каждого конденсатора и разность потенциалов между его обкладками, если конденсаторы соединены а) параллельно, б) последовательно.

336. Конденсаторы емкостью $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 3$ мкФ включены в цепь с напряжением 1100 В. Определить энергию каждого конденсатора в случае последовательного и параллельного включения их.

337. Определить энергию электростатического поля шара, которому сообщен заряд, равный 10^{-7} Кл, если диаметр шара 20 см.

338. Расстояние между пластинами плоского конденсатора 2 см, разность потенциалов 6000 В. Заряд каждой пластины 10^{-8} Кл. Определить энергию поля конденсатора и силу взаимного притяжения пластин.

339. Какое количество теплоты выделится при разряде плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами 15000 В, расстояние 1 мм, диэлектрик — слюда и площадь каждой пластины 300 см².

340. Конденсатор емкостью 6,7 нФ зарядили до разности потенциалов 1500 В и отключили от источника напряжения. Затем к конденсатору присоединили

параллельно второй, незаряженный конденсатор емкостью 4.6 нФ . Какое количество энергии, запасенной в первом конденсаторе, было израсходовано на образование искры, проскочившей при соединении конденсаторов?

341. Напряжение на шинах электростанции равно 6600 К . Потребитель находится на расстоянии 10 км . Какого сечения нужно взять медный провод для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока в линии равна 20 А и потери напряжения в проводах не должны превышать 3% ?

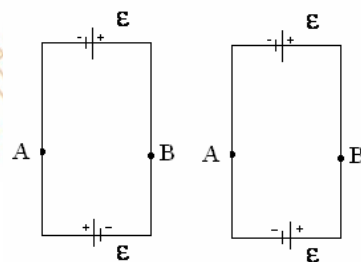
342. Определить сопротивление графитового проводника, изготовленного в виде прямого кругового усеченного конуса длиной $\ell = 20 \text{ см}$ и радиусами оснований $R = 12 \text{ мм}$ и $r = 8 \text{ мм}$.

343. Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до 10 А . Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление амперметра $0,02 \text{ Ом}$ и сопротивление шунта $0,005 \text{ Ом}$?

344. К элементу с э.д.с. $1,5 \text{ В}$ присоединили катушку с сопротивлением $0,1 \text{ Ом}$. Амперметр показал силу тока, равную $0,5 \text{ А}$. Когда к элементу присоединили последовательно еще один элемент с такой же э.д.с., то сила тока в той же катушке оказалась $0,4 \text{ А}$. Определить внутреннее сопротивление первого и второго элементов.

345. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. Э.д.с. каждого элемента $1,2 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $0,2 \text{ Ом}$. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $1,5 \text{ Ом}$. Определить силу тока во внешней цепи и к.п.д. батареи.

346. Два одинаковых источника тока с э.д.с. $1,2 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $0,4 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рисунке. Определить силу тока в цепи и разность потенциалов между точками A и B в первом и во втором случаях.



347. Лампочка и реостат, соединенные последовательно, присоединены к источнику тока. Напряжение на зажимах лампочки 40 В , сопротивление реостата 10 Ом . Внешняя цепь потребляет мощность 120 Вт . Определить силу тока в цепи.

348. Э.д.с. батареи равна 12 В , сила тока короткого замыкания 5 А . Какую наибольшую мощность может дать батарея во внешней цепи?

349. К батарее, э.д.с. которой 2 В и внутреннее сопротивление $0,5 \text{ Ом}$, присоединен проводник. Определить: а) при каком сопротивлении проводника мощность, выделяемая в нем, максимальна? б) как велика при этом мощность, выделяемая в проводнике?

350. Э.д.с. батареи 20 В . Сопротивление внешней цепи 2 Ом , сила тока 4 А . С каким к.п.д. работает батарея? При каком значении внешнего сопротивления к.п.д. будет равен 99% ?

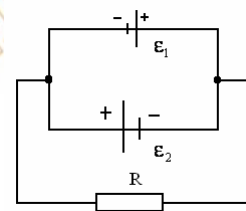
351. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через 15 мин , если только вторая, то через 30 мин . Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно? Параллельно?

352. При силе тока 3 А во внешней цепи батареи выделяется мощность 18 Вт ,

при силе тока $1 \text{ A} - 10 \text{ Вт}$. Определить э.д.с. и внутреннее сопротивление батареи.

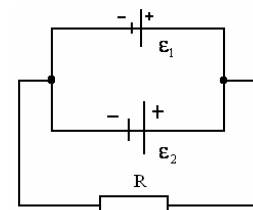
353. Два элемента ($E_1 = 1,2 \text{ В}$, $r_1 = 0,1 \text{ Ом}$; $E_2 = 0,9 \text{ В}$, $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$) соединены одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов $0,2 \text{ Ом}$. Определить силу тока в цепи.

354. Две батареи ($E_1 = 10 \text{ В}$, $r_1 = 1 \text{ Ом}$; $E_2 = 8 \text{ В}$, $r_2 = 2 \text{ Ом}$) и реостат ($R = 6 \text{ Ом}$) соединены, как показано на рисунке. Определить силу тока в батареях и реостате.



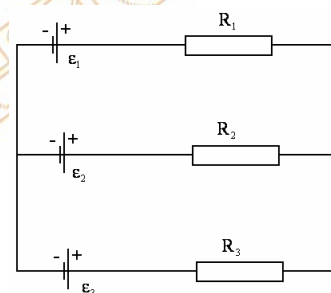
355. Найти напряжение на реостате из задачи 354, если $E_2 = 10 \text{ В}$.

356. Два источника тока ($E_1 = 8 \text{ В}$, $r_1 = 2 \text{ Ом}$, $E_2 = 6 \text{ В}$, $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$) и реостат ($R = 100 \text{ м}$) соединены, как показано на рисунке. Определить силу тока, текущего через реостат.



357. Три батареи с э.д.с. 12 В , 5 В и 10 В и одинаковыми внутренними сопротивлениями, равными 1 Ом , соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов, идущих через батареи.

358. Три источника тока с э.д.с. $E_1 = 11 \text{ В}$, $E_2 = 4 \text{ В}$ и $E_3 = 6 \text{ В}$ и три реостата с сопротивлениями $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$ и $R_3 = 2 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рисунке. Определить силу тока в реостатах. Внутреннее сопротивление источников тока пренебрежимо мало.



359. Определить среднюю скорость упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока 10 А и сечении проводника 1 мм^2 . Принять, что на каждый атом меди приходится два электрона проводимости.

360. Плотность тока в алюминиевом проводе равна 1 А/мм^2 . Определить среднюю скорость упорядоченного движения электронов, предполагая, что число свободных электронов в 1 см^3 алюминия равно числу атомов.

3. 4 Контрольная работа № 4

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Таблица вариантов 12

№ варианта	Номера задач				
1	401	411	421	431	441
2	402	412	422	432	442
3	403	413	423	433	443
4	404	414	424	434	444
5	405	415	425	435	445
6	406	416	426	436	446
7	407	417	427	437	447
8	408	418	428	438	448
9	409	419	429	439	449
0	410	420	430	440	450

Перед решением задач этой контрольной работы необходимо хорошо изучить соответствующие темы курса физики и разобрать решение задач по учебным пособиям, указанным в следующей таблице:

Таблица 13

№№ задач	Наименование темы	Рекомендуемые учебные пособия
401-410	Магнитное поле постоянного тока	[5]: Гл. 6, 7; [17]: Гл. 6 [13]: Гл. 22; [21]: Гл. 14 [15]: стр. 309–316
411-420	Силы со стороны магнитного поля	[5]: Гл. 6; [17]: Гл. 6 [13]: Гл. 21, 22; [21]: Гл. 14 [15]: стр. 321-327, 335-339
421-430	Работа магнитного поля	[5]: Гл. 6; [17]: Гл. 6 [13]: Гл. 22; [21]: Гл. 14 [15]: стр. 353-358, 346-348
431-440	Сила Лоренца	[5]: Гл. 6; [17]: Гл. 6, 10 [13]: Гл. 21, 23; [21]: Гл. 14 [15]: стр. 335-339
440-450	Явление электромагнитной индукции	[5]: Гл. 9; [17]: Гл. 8 [13]: Гл. 25; [21]: Гл. 15 [15]: стр. 353-358

Основные формулы

По закону Био – Савара – Лапласа элемент контура dl , по которому течет ток I , создает в некоторой точке A пространства магнитное поле напряженностью

$$dH = \frac{I \sin \alpha}{4\pi r^2} dl,$$

где r – расстояние от точки A до элемента тока dl , α – угол между радиус-вектором r и элементом тока dl .

Применим закон Био – Савара – Лапласа к контурам различного вида.
Напряженность магнитного поля в центре кругового тока

$$H = \frac{I}{2R},$$

где R – радиус кругового контура с током.

Напряженность магнитного поля, созданного бесконечно длинным прямолинейным проводником,

$$H = \frac{I}{2\pi a};$$

здесь a – расстояние от точки, где ищется напряженность, до проводника с током.

Напряженность магнитного поля на оси кругового тока

$$H = \frac{R^2 I}{2(R^2 + a^2)^{3/2}};$$

здесь R – радиус кругового контура с током, a – расстояние от точки, где ищется напряженность, до плоскости контура.

Напряженность магнитного поля внутри тороида и бесконечно длинного соленоида

$$H = In,$$

где n – число витков на единицу длины соленоида (тороида).

Напряженность магнитного поля на оси соленоида конечной длины

$$H = \frac{In}{2} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2),$$

где β_1 и β_2 — углы между осью соленоида и радиус-векторами, проведенными из рассматриваемой точки к концам соленоида.

Магнитная индукция B связана с напряженностью H магнитного поля соотношением

$$B = \mu_0 \mu H,$$

где μ — магнитная проницаемость среды, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 12,566 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ — магнитная постоянная.

$$w = \frac{HB}{2}.$$

Объемная плотность энергии магнитного поля

Магнитный поток (поток магнитной индукции) сквозь контур

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

где S — площадь поперечного сечения контура, α — угол между нормалью к плоскости контура и направлением магнитного поля.

На элемент dl проводника с током, находящийся в магнитном поле, действует сила Ампера

$$dF = BI \sin \alpha dl,$$

где α — угол между направлениями тока и магнитного поля. На замкнутый контур с током, а также на магнитную стрелку в магнитном поле действует пара сил с вращающим моментом

$$M = pB \sin \alpha,$$

где p — магнитный момент контура с током (или магнитной стрелки), α — угол между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости контура (или осью стрелки).

Магнитный момент контура с током

$$p = IS,$$

где S — площадь контура, так что

$$M = BIS \sin \delta$$

Два параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 взаимодействуют между собой с силой

$$F = \mu_0 I_1 I_2 \frac{l}{2\pi d},$$

где l – длина участка проводников, d – расстояние между ними.

Работа перемещения проводника с током в магнитном поле

$$dA = I d\Phi,$$

где $d\Phi$ – магнитный поток, пересеченный проводником при его движении.

Сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся со скоростью v в магнитном поле, определяется формулой Лоренца

$$F = qBv \sin \alpha,$$

где q – заряд частицы, α – угол между направлениями скорости частицы и магнитного поля.

Явление электромагнитной индукции заключается в появлении в контуре ЭДС индукции при всяком изменении магнитного потока Φ сквозь поверхность, охватываемую контуром. ЭДС индукции определяется уравнением

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Изменение магнитного потока может достигаться изменением тока в самом контуре (явление самоиндукции). При этом ЭДС самоиндукции определяется формулой

$$\mathcal{E} = - L \frac{dI}{dt},$$

где L – индуктивность контура.

Индуктивность соленоида

$$L = \mu_0 \mu n^2 l S,$$

где l – длина соленоида, S – площадь его поперечного сечения, n – число витков на единицу его длины.

Магнитная энергия контура с током

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

Изменение магнитного потока может достигаться также изменением тока в соседнем контуре (явление взаимной индукции). При этом индуцируемая ЭДС

$$\mathcal{E} = -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

где L_{12} – взаимная индуктивность контуров. Взаимная индуктивность двух соленоидов, пронизываемых общим магнитным потоком,

$$L_{12} = \mu_0 \mu n_1 n_2 Sl,$$

где n_1 и n_2 – числа витков на единицу длины этих соленоидов.

Количество электричества, прошедшего через поперечное сечение проводника при возникновении в нем индукционного тока,

$$dq = -\frac{1}{R} d\Phi.$$

Задачи

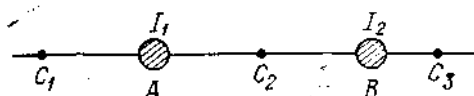
401. Бесконечно длинный провод образует круговой виток, касательный к проводу. По проводу идет ток силой $I = 5$ А. Найти радиус витка, если напряженность магнитного поля в центре витка $H = 41$ А/м.

402. По двум длинным параллельным проводам, расстояние между которыми $d = 5$ см, текут токи силой $I_1 = 6$ А и $I_2 = 4$ А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной на расстояние $r_1 = 3$ см от первого провода и на расстояние $r_2 = 4$ см от второго провода.

403. По двум одинаковым круговым виткам радиусом $R = 7 \text{ см}$, плоскости которых взаимно перпендикулярны, а центры совпадают, текут одинаковые токи силой $I = 3 \text{ А}$. Найти напряжённость и индукцию магнитного поля в центре витков.

404. Определить индукцию и напряжённость магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки со стороной $a = 8 \text{ см}$, если по рамке проходит ток силой $I = 3 \text{ А}$.

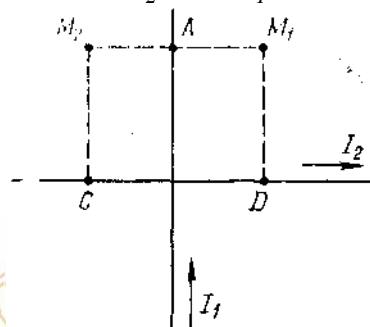
405. На рисунке изображено сечение двух прямолинейных бесконечных длинных проводников с токами, текущими в противоположных направлениях. Расстояние AB между проводниками равно 10 см , $I_1 = 20 \text{ А}$, $I_2 = 30 \text{ А}$. Найти напряжённость магнитного поля в точках C_1 , C_2 , C_3 . Расстояния $AC_1 = 2 \text{ см}$, $AC_2 = 4 \text{ см}$ и $BC_3 = 3 \text{ см}$.



406. Решить предыдущую задачу при условии, что токи текут в одном направлении.

407. По круговому витку радиусом $R = 7 \text{ см}$ течет ток силой $I_1 = 1,4 \text{ А}$. Перпендикулярно плоскости кругового витка на расстоянии $r = 8 \text{ см}$ от его центра проходит бесконечно длинный прямой проводник, по которому течет ток силой $I_2 = 3,2 \text{ А}$. Определить напряжённость и индукцию в центре кругового витка.

408. Два прямолинейных бесконечно длинных проводника расположены перпендикулярно друг другу и находятся в одной плоскости (см. рисунок). Найти индукцию магнитного поля в точках M_1 и M_2 , если по проводникам текут токи силой $I_1 = 10 \text{ А}$. Расстояния $CM_2 = DM_1 = 20 \text{ см}$ и $AM_1 = AM_2 = 10 \text{ см}$.



409. Бесконечно длинный прямолинейный проводник, по которому течет ток силой $I_1 = 3 \text{ А}$, расположен на расстоянии $r = 20 \text{ см}$ от центра витка радиусом $R = 10 \text{ см}$ с током силой $I_2 = 1 \text{ А}$. Определить напряжённость и индукцию магнитного поля в центре витка для случаев, когда проводник расположен: а) перпендикулярно плоскости витка, б) параллельно плоскости витка.

410. По двум длинным параллельным проводам, расстояние между которыми $d = 8 \text{ см}$, текут одинаковые токи силой $I = 6 \text{ А}$. Определить индукцию и напряжённость магнитного поля в точке, удаленной от каждого провода на расстояние $r = 8 \text{ см}$, если токи текут: а) в одинаковом, б) в противоположном направлениях.

411. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и

проводу текут одинаковые токи силой $I = 2 \text{ A}$. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном ее длине.

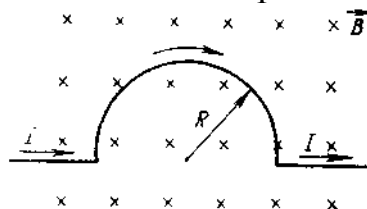
412. Проводник длиной $l = 20 \text{ см}$ с массой $m = 2 \text{ г}$, подвешенный горизонтально на тонких проволочках, находится в однородном магнитном поле, силовые линии которого направлены вертикально вверх. При прохождении по проводнику тока силой $I = 0,3 \text{ A}$ он отклонился так, что проволочки образовали угол $\alpha = 17^\circ$ с вертикалью. Найти индукцию магнитного поля.

413. Проволочный виток радиусом $R = 5 \text{ см}$ находится в однородном магнитном поле напряженностью $H = 1,5 \text{ кА/м}$. Плоскость витка составляет угол $\beta = 60^\circ$ с линиями поля. По витку течет ток силой $I = 2 \text{ A}$. Найти вращающий момент, действующий на виток.

414. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка с током $H = 50 \text{ А/м}$. Магнитный момент витка $p_m = 0,6 \text{ А}\cdot\text{м}^2$. Вычислить силу тока в витке и радиус витка.

415. Какой вращающий момент действует на рамку с током силой $I = 2 \text{ A}$ при помещении ее в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2 \text{ Тл}$, если рамка содержит $N = 30$ витков площадью $S = 10 \text{ см}^2$, а плоскость рамки образует угол $\beta = 60^\circ$ с линиями поля?

416. Тонкий провод с током силой $I = 0,3 \text{ A}$, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20 \text{ мТл}$, изогнут так, как это показано на рисунке. Определить силу, действующую на проводник, если радиус полуокружности $R = 5 \text{ см}$ и длина каждого прямолинейного участка $l = 10 \text{ см}$.



417. Решить предыдущую задачу при условии, что прямолинейные участки провода отогнули параллельно друг другу.

418. Электрон движется вокруг ядра (протона) по круговой орбите радиусом $R = 53 \text{ пм}$ (боровская модель атома водорода). Определить магнитный момент эквивалентного кругового тока.

419. Виток радиусом $R_1 = 1 \text{ см}$ помещен в центре витка радиусом $R_2 = 15 \text{ см}$ так, что плоскости витков взаимно перпендикулярны. Сила тока в каждом витке $I = 3 \text{ A}$. Найти вращающий момент, действующий на малый виток со стороны большого витка.

420. Металлический стержень длиной $l = 10 \text{ см}$ расположен перпендикулярно бесконечно длинному прямому проводу, по которому течет ток силой $I_1 = 2 \text{ A}$. Найти силу, действующую на стержень со стороны магнитного поля, создаваемого проводом, если по стержню течет ток силой $I_2 = 0,5 \text{ A}$, а расстояние от провода до ближайшего конца стержня $a = 5 \text{ см}$.

421. Проволочное кольцо радиусом $R = 5 \text{ см}$, по которому течет ток силой $I = 20 \text{ A}$, свободно установилось в однородном магнитном поле с индукцией

$B = 0,02 \text{ Тл}$. При повороте контура на некоторый угол α была совершена работа $A = 1,57 \text{ мДж}$. Найти угол поворота контура. Считать, что сила тока в контуре поддерживается неизменной.

422. По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной $a = 10 \text{ см}$ течет ток силой $I = 2 \text{ А}$, величина которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол $\beta = 30^\circ$ с линиями однородного магнитного поля ($B = 0,2 \text{ Тл}$). Вычислить работу, которую надо совершить, чтобы удалить проводник за пределы поля.

423. Проволочное кольцо радиусом $R = 5 \text{ см}$ лежит, на столе. По кольцу течет ток силой $I = 2 \text{ А}$. Поддерживая силу тока неизменной, кольцо перевернули с одной стороны на другую. Какая работа была совершена при этом? Вертикальную составляющую напряженности земного магнитного поля припятать равной $H_B = 40 \text{ А/м}$.

424. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2 \text{ Тл}$ равномерно движется прямой проводник, длиной $l = 30 \text{ см}$, по которому течет ток силой $I = 2 \text{ А}$. Скорость проводника $v = 15 \text{ м/с}$ и направлена перпендикулярно силовым линиям поля. Найти работу перемещения проводника за время $t = 5 \text{ с}$ и мощность, затраченную на это перемещение.

425. Проволочный виток радиусом $R = 10 \text{ см}$, по которому течет ток силой $I = 20 \text{ А}$ (сила тока поддерживается неизменной) свободно установился в однородном магнитном поле. При повороте витка относительно диаметра на угол $\alpha = 60^\circ$ была совершена работа $A = 400 \text{ мкДж}$. Найти напряженность поля.

426. Проводник, согнутый в виде квадрата со стороной $a = 8 \text{ см}$, лежит на столе. Квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянули в линию. Определить совершенную при этом работу. Сила тока $I = 0,5 \text{ А}$ в проводнике поддерживается неизменной. Вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли $H_B = 40 \text{ А/м}$.

427. Под действием сил однородного магнитного поля перпендикулярно линиям индукции начинает перемещаться прямолинейный проводник с силой тока $I = 3 \text{ А}$ и массой $m = 20 \text{ г}$. Какой магнитный поток пересечет этот проводник к моменту времени, когда его скорость будет равна $v = 10 \text{ м/с}$? Чему равна работа сил поля по перемещению проводника?

428. Квадратный контур со стороной $a = 10 \text{ см}$, в котором течет ток силой $I = 6 \text{ А}$, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,8 \text{ Тл}$ перпендикулярно силовым линиям. Какую работу надо совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

429. Круговой контур помещён в однородное магнитное поле так, что его плоскость перпендикулярна к направлению магнитного поля с напряжённостью $H = 150 \text{ кА/м}$. В контуре поддерживается ток силой $I = 2 \text{ А}$. Радиус контура $R = 2 \text{ см}$. Какую работу A надо совершить, чтобы повернуть контур на угол $\varphi = \pi/2$ вокруг оси, совпадающей с диаметром контура?

430. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5 \text{ Тл}$ равномерно движется проводник длиной $l = 10 \text{ см}$, в котором поддерживается сила тока $I = 2 \text{ А}$. Скорость движения проводника $v = 20 \text{ см/с}$ и направлена

перпендикулярно направлению магнитного поля. Найти работу перемещения проводника A за время $\tau = 10$ с и мощность, затраченную на это перемещение.

431. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл влетает перпендикулярно силовым линиям α -частица с кинетической энергией $W = 500$ эВ. Найти силу, действующую на α -частицу, радиус окружности, по которой движется α -частица и период обращения α -частицы.

432. На фотографии, полученной в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле, траектория электрона представляет дугу окружности радиусом $R = 10$ см. Индукция магнитного поля $B = 10$ мТл. Найти кинетическую энергию электрона в электрон-вольтах, импульс и момент импульса электрона относительно центра кривизны траектории.

433. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?

434. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 500$ В, движется параллельно прямолинейному проводнику на расстоянии $a = 3$ мм от него. Какая сила будет действовать на электрон, если по проводнику пустить ток силой $I = 5$ А?

435. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 500$ В, влетает перпендикулярно силовым линиям в однородное магнитное поле и движется по окружности радиусом $R = 10$ см. Определить индукцию магнитного поля, период обращения электрона по окружности и момент импульса электрона относительно центра окружности.

436. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью $v = 1$ Мм/с. Индукция магнитного поля $B = 0,3$ Тл, радиус окружности $R = 4$ см. Найти заряд частицы, если ее кинетическая энергия $W = 12$ кэВ.

437. Электроны влетают в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к силовым линиям и движутся по винтовой линии, радиус которой $R = 1,7$ см. На сколько переместятся электроны вдоль силовых линий за 5 оборотов?

438. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл движется протон. Траектория его движения представляет винтовую линию с радиусом $R = 1$ см и шагом $h = 6$ см. Определить скорость протона.

439. Протон влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к силовым линиям и движется по винтовой линии, радиус которой $R = 1,5$ см. Индукция магнитного поля $B = 1$ Тл. Найти кинетическую энергию протона.

440. Определить величину и направление скорости пучка электронов, который не испытывает отклонения в скрещенных под прямым углом однородных электрическом ($E = 0,7$ кВ/м) и магнитном ($B = 0,35$ мТл) полях. По окружности какого радиуса будут двигаться электроны, если снять электрическое поле?

441. Катушка из $N = 100$ витков площадью $S = 15$ см² вращается с частотой $n = 5$ с⁻¹ в однородном магнитном поле. Ось вращения перпендикулярна оси катушки и силовым линиям поля. Определить индукцию магнитного поля, если

максимальное значение ЭДС индукции, возникающей в катушке, равно $E_{i\max} = 0,25 \text{ В}$.

442. На концах крыльев самолета размахом $l = 15 \text{ м}$, летящего со скоростью $v = 900 \text{ км/ч}$, возникает разность потенциалов $U = 0,15 \text{ В}$. Определить вертикальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

443. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора $B = 0,8 \text{ Тл}$. Ротор имеет $N = 100$ витков площадью $S = 400 \text{ см}^2$. Определить частоту вращения якоря, если максимальное значение ЭДС индукции $E_{i\max} = 200 \text{ В}$?

444. Ротор генератора переменного тока вращается с частотой $n = 60 \text{ с}^{-1}$ в магнитном поле с индукцией $B = 0,15 \text{ Тл}$. Сколько витков должно быть в обмотке площадью $S = 200 \text{ см}^2$, чтобы амплитудное значение ЭДС было равно $E_m = 170 \text{ В}$?

445. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5 \text{ Тл}$ равномерно с частотой $n = 10 \text{ с}^{-1}$ вращается стержень длиной $l = 20 \text{ см}$. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня, перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов, индуцируемую на концах стержня.

446. Квадратный контур, сделанный из провода длиной $l = 0,4 \text{ м}$, помещен поперек силовых линий в однородное магнитное поле. Индукция магнитного поля меняется со временем по закону $B = (2 + 0,4 t^2) \text{ мТл}$. Определить в момент времени $t = 2 \text{ с}$ магнитный поток, пронизывающий контур, и ЭДС индукции, наведенную в контуре.

447. Кольцо из алюминиевой проволоки диаметром $d = 2 \text{ мм}$ равномерно вращается с частотой $n = 5 \text{ с}^{-1}$ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$. Найти максимальное значение индукционного тока, возникающего в кольце, если диаметр кольца $D = 25 \text{ см}$.

448. Рамка из провода сопротивлением $R = 0,04 \text{ Ом}$ равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,6 \text{ Тл}$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200 \text{ см}^2$. Определить заряд, который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0° до 30° ; 2) от 30° до 60° ; 3) от 60° до 90° .

449. Тонкий провод сопротивлением $R = 2 \text{ Ом}$ согнут в виде квадрата и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B = 30 \text{ мТл}$) так, что его плоскость перпендикулярна силовым линиям поля. Если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию, то по проводнику протечет заряд $q = 0,6 \text{ мКл}$. Найти длину провода.

450. Кольцевой виток радиусом $R = 3,4 \text{ см}$, сделанный из медной проволоки, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 2 \text{ мкТл}$. Плоскость витка перпендикулярна линиям магнитной индукции. Виток, не выводя из его плоскости, превратили в восьмерку, составленную из двух равных колец. Какой заряд пройдет при этом по проволоке? Площадь сечения проволоки $S = 0,8 \text{ мм}^2$.

3.5 Контрольная работа № 5

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Таблица вариантов 14

№ варианта	Номера задач			
1	501	511	521	531
2	502	512	522	532
3	503	513	523	533
4	504	514	524	534
5	505	515	525	535
6	506	516	526	536
7	507	517	527	537
8	508	518	528	538
9	509	519	529	539
0	510	520	530	540

Таблица 15

№№ задач	Наименование темы	Литература для подготовки к контрольной работе
501–510	Электромагнитные колебания и волны	[5]: гл. 11; [17]: гл. 13, 15; [13]: гл. 30; [21]: гл. 20; [6]: гл. 2, 3; [15]: стр. 365 – 368;
511–520	Интерференция света	[6]: гл. 4; [17]: гл. 17; [13]: гл. 31; [21]: гл. 22; [15]: стр. 396 – 401;
521–530	Дифракция света	[6]: гл. 5; [17]: гл. 18; [13]: гл. 32; [21]: гл. 23; [15]: стр. 407 – 411;
531–540	Поляризация света и поглощение	[6]: гл. 6, 7; [17]: гл. 19, 20; [13]: гл. 34; [21]: гл. 24, 25; [15]: стр. 415 – 420;

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Период T электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из ёмкости C , индуктивности L и сопротивления R , определяется формулой

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{1/LC - (R/2L)^2}}.$$

Если сопротивление R контура настолько мало, что

$$(R/2L)^2 \ll 1/LC,$$

то период колебаний

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

Если сопротивление контура R не равно нулю, то колебания будут затухающими. При этом разность потенциалов на обкладках конденсатора меняется со временем по закону

$$U = U_0 e^{-\beta t} \cos \omega t,$$

если время отсчитывать от момента, соответствующего наибольшей разности потенциалов на обкладках конденсатора. Здесь $\beta = R/2L$ – коэффициент затухания. Величина $\lambda = \nu T$ называется логарифмическим декрементом затухания. Если $\beta=0$, то колебания будут незатухающими, и тогда можно записать

$$U = U_0 \cos \omega t.$$

Если время отсчитывать от момента, когда разность потенциалов на обкладках конденсатора равна нулю, то будет справедливым следующее соотношение

$$U = U_0 \sin \omega t.$$

Закон Ома для переменного тока записывается в виде

$$I_D = \frac{U_D}{Z},$$

где I_D и U_D – действующие значения тока и напряжения, связанные с их

амплитудными значениями I_0 и U_0 соотношениями

$$I_{\text{д}} = I_0 / \sqrt{2}, \quad U_{\text{д}} = U_0 / \sqrt{2},$$

а Z – полное сопротивление цепи. Если цепь содержит сопротивление R , ёмкость C и индуктивность L , соединённые последовательно, то

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}.$$

При этом сдвиг фаз между напряжением и током определяется формулой

$$\text{tg } \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}.$$

Катушка, обладающая сопротивлением R и индуктивностью L , в цепи переменного тока соответствует последовательно включённым R и L . Конденсатор с утечкой, т. е. конденсатор, обладающий ёмкостью C и сопротивлением R соответствует параллельно включённым R и C .

Мощность переменного тока

$$R = I_{\text{д}} U_{\text{д}} \cos \varphi.$$

Расстояние между интерференционными полосами на экране, расположенном параллельно двум когерентным источникам света,

$$l = \frac{L}{d} \lambda,$$

где λ – длина волны света, L – расстояние от экрана до источников света, отстоящих друг от друга на расстоянии d (при этом $L \gg d$).

Результат интерференции света в плоскопараллельных пластинках (в проходящем свете) определяется формулами:

усиление света

$$2hn \cos \beta = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots);$$

ослабление света

$$2hn \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

где h – толщина пластинки, n – показатель преломления, β – угол преломления, λ – длина волны света. В отражённом свете условия усиления и ослабления

света обратны условиям в проходящем свете.

Радиусы светлых колец Ньютона (в проходящем свете) определяются формулой

$$r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (k = 1, 2, \dots);$$

радиусы тёмных колец

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}} \quad (k = 1, 2, \dots),$$

где R – радиус кривизны линзы. В отражённом свете расположение светлых и тёмных колец обратны их расположению в проходящем свете.

Положение минимумов освещённости при дифракции от щели, на которую нормально падает пучок параллельных лучей, определяется условием

$$a \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

где a – ширина щели, φ – угол дифракции, λ – длина волны падающего света.

В дифракционной решётке максимумы света наблюдаются в направлениях, составляющих с нормалью к решётке угол φ , удовлетворяющий соотношению (при условии, что свет падает на решётку нормально)

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

где d – постоянная решётки, φ – угол дифракции, λ – длина волны падающего света и k – порядок спектра. Постоянная решётки $d = 1/N_0$, где N_0 – число щелей решётки, приходящееся на единицу длины решётки.

Разрешающая способность дифракционной решётки определяется формулой

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

где N – общее число щелей решётки, k – порядок спектра, λ и $\lambda + \Delta\lambda$ – длины волн двух близких спектральных линий, ещё разрешаемых решёткой.

Угловой дисперсией дифракционной решётки называется величина

$$d \cos \varphi \, d\varphi = k d \lambda$$
$$\frac{d}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi}$$

Линейной дисперсией дифракционной решётки называется величина

$$D = F \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где F – фокусное расстояние линзы, проецирующей спектр на экран.

Если $i + \beta = 90^\circ$, где i – угол падения, β – угол преломления, то в этом случае угол падения i_B и показатель преломления n диэлектрика связаны соотношением

$$\operatorname{tg} i_B = n \quad (\text{закон Брюстера}).$$

Интенсивность света, прошедшего через анализатор,

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (\text{закон Малюса}),$$

где φ – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, I_0 – интенсивность света, прошедшего через поляризатор.

Интенсивность электромагнитного излучения, прошедшего сквозь пластинку толщиной x , определяется формулой

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

где I_0 – интенсивность пучка, падающего на пластинку, μ [м^{-1}] – линейный коэффициент поглощения. Коэффициент поглощения μ зависит от длины волны излучения и от плотности вещества. Массовый коэффициент поглощения μ_M связан с линейным коэффициентом поглощения μ соотношением $\mu_M [\text{м}^2 / \text{кг}] = \mu / \rho$, где ρ – плотность вещества.

Формула Вульфа – Брэгга

$$2d \sin u = k\lambda,$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ – угол скольжения (угол между направлением пучка параллельных лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла), определяющий направление, в котором имеет место зеркальное отражение лучей (дифракционный максимум).

Угол поворота φ плоскости поляризации оптически активными веществами определяется соотношениями:

а) в твёрдых телах $\varphi = \alpha d$, где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в чистых жидкостях $\varphi = [\alpha] \rho d$, где $[\alpha]$ – удельное вращение; ρ – плотность жидкости;

в) в растворах $\varphi = [\alpha] C d$, где C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Задачи

- 501.** В цепь переменного тока с действующим значением напряжения $U_D=220\text{ В}$ и частотой $\nu=50\text{ Гц}$ включены последовательно резистор сопротивлением $R=100\text{ Ом}$, конденсатор ёмкостью $C = 32\text{ мкФ}$ и катушка индуктивностью $L=640\text{ мГн}$. Найти действующее значение силы тока, сдвиг фаз между током и напряжением и потребляемую мощность.
- 502.** Катушка длиной $l = 50\text{ см}$ и площадью поперечного сечения $S=10\text{ см}^2$ включена в цепь переменного тока с частотой $\nu = 50\text{ Гц}$. Число витков катушки $N = 3000$. Найти активное сопротивление катушки, если сдвиг фаз между током и напряжением $\varphi = 60^\circ$.
- 503.** Переменное напряжение, действующее значение которого $U_D = 220\text{ В}$, а частота $\nu = 50\text{ Гц}$, подано на катушку без сердечника индуктивностью $L=31,8\text{ мГн}$ и активным сопротивлением $R = 10\text{ Ом}$. Найти количество теплоты, выделяющейся в катушке за одну секунду.
- 504.** Сила тока в колебательном контуре изменяется со временем по закону $I=0,02\sin 400\pi t\text{ А}$. Индуктивность контура $L = 0,5\text{ Гн}$. Найти период собственных колебаний в контуре, ёмкость контура, максимальную энергию электрического и магнитного полей.
- 505.** Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Определить частоту колебаний, возникающих в контуре, если максимальная сила тока в катушке индуктивности $I_m = 1,2\text{ А}$, максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора $U_m = 1200\text{ В}$, полная энергия контура $W = 1,1\text{ мДж}$.
- 506.** Колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора ёмкостью $C = 1\text{ нФ}$, имеет частоту колебаний $\nu = 5\text{ МГц}$. Найти максимальную силу тока, протекающего по катушке, если полная энергия контура $W = 0,5\text{ мкДж}$.
- 507.** Колебательный контур радиоприемника состоит из катушки индуктивностью $L = 1\text{ мГн}$ и переменного конденсатора, ёмкость которого может изменяться в пределах от $9,7$ до 92 нФ . В каком диапазоне длин волн может принимать радиостанции этот приемник?
- 508.** Входной контур радиоприемника состоит из катушки индуктивностью $L=2\text{ мГн}$ и плоского конденсатора с площадью пластин $S = 10\text{ см}^2$ и расстоянием между ними $d = 2\text{ мм}$. Пространство между пластинами заполнено слюдой с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 7$. На какую длину волны настроен радиоприемник?
- 509.** В однородной изотропной среде с $\varepsilon = 3$ и $\mu = 1$ распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 10\text{ В/м}$. Найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.
- 510.** Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 50\text{ мВ/м}$. Найти амплитуду напряженности магнитного поля.

511. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$, падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью, и наблюдение ведется в проходящем свете. Радиус кривизны линзы $R = 4 \text{ м}$. Определить показатель преломления n жидкости, если радиус второго светлого кольца $r_2 = 1,8 \text{ мм}$.

512. На мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,3$, находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине d_{min} пленки отраженный свет с длиной волны $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$ окажется максимально усиленным в результате интерференции?

513. На тонкий стеклянный клин, показатель преломления которого $n = 1,55$, падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол θ между поверхностями клина равен $2'$. Определить длину световой волны λ , если расстояние b между смежными интерференционными максимумами в отраженном свете равно $0,3 \text{ мм}$.

514. Расстояние L от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м . Определить расстояние d между щелями, если на отрезке длиной $l = 1 \text{ см}$ укладывается $N=10$ темных интерференционных полос. Длина волны $\lambda = 0,7 \text{ мкм}$.

515. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$, падающим по нормали к поверхности пластинки. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено водой. Найти толщину d слоя воды между линзой и пластинкой в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

516. Пучок монохроматических световых волн с длиной волны $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ падает под углом $\varepsilon_l = 30^\circ$ на находящуюся в воздухе мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,3$. При какой наименьшей толщине d_{min} пленки отраженные световые волны будут максимально ослаблены в результате интерференции?

517. Между двумя плоскопараллельными пластинками положили очень тонкую проволочку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии $L = 75 \text{ мм}$ от нее. На образовавшийся воздушный клин нормально к его поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$. В отраженном свете на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр d проволочки, если на протяжении $l = 30 \text{ мм}$ насчитывается $N=16$ светлых полос.

518. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась перпендикулярно этому лучу тонкая стеклянная пластинка с показателем преломления $n = 1,5$, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой (не считая центральной). Длина волны падающего света $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$. Определить толщину d пластинки.

519. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. Расстояние $\Delta r_{2,1}$ между вторым и первым темными кольцами Ньютона в отраженном свете равно 1 мм .

Определить расстояние $\Delta r_{10,9}$ между десятым и девятым кольцами.

520. На толстую стеклянную пластинку нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления $n = 1.3$. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны $\lambda = 640 \text{ нм}$, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d_{\min} должен иметь слой, чтобы отраженный пучок имел наименьшую яркость?

521. На диафрагму с круглым отверстием диаметром $d = 4 \text{ мм}$ падает нормально параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$. Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $b = 1 \text{ м}$ от него. Сколько зон k Френеля укладывается в отверстии? Темное или светлее пятно получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдений поместить экран?

522. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Определить угол φ_1 дифракции для линии с длиной волны $\lambda_1 = 0,55 \text{ мкм}$ в спектре четвертого порядка, если угол φ_2 дифракции для линии с длиной волны $\lambda_2 = 0,6 \text{ мкм}$ в спектре третьего порядка составляет 30° .

523. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол φ отклонения пучков света, соответствующих второй светлой дифракционной полосе, равен 1° . Скольким длинам волн λ падающего света равна ширина a щели?

524. На дифракционную решетку, содержащую $n = 400$ штрихов на 1 мм , падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$. Найти общее число N дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определить угол φ дифракции, соответствующий последнему максимуму.

525. На дифракционную решетку, содержащую $n = 500$ штрихов на 1 мм , падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить ширину b спектра первого порядка на экране, если расстояние L линзы до экрана равно 3 м . Границы видимого спектра $\lambda_{\text{кр}} = 760 \text{ нм}$, $\lambda_{\text{ф}} = 380 \text{ нм}$.

526. Какой наименьшей разрешающей силой R должна обладать дифракционная решетка, чтобы с ее помощью можно было разрешить две спектральные линии калия с длинами волн $\lambda_1 = 578 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 580 \text{ нм}$? Какое наименьшее число N штрихов должна иметь эта решетка, чтобы разрешение было возможно в спектре второго порядка?

527. Точечный источник света с длиной волны $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ расположен на расстоянии $a = 1 \text{ м}$ перед диафрагмой с круглым отверстием диаметра $d = 2 \text{ мм}$. Определить расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения, если отверстие открывает $k = 3$ зоны Френеля.

528. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 410 \text{ нм}$. Угол $\Delta\varphi$ между направлениями на максимумы первого и второго порядков равен $2^\circ 21'$. Определить число n штрихов на единицу длины дифракционной решетки.

529. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 147 \text{ нм}$. Определить расстояние d

между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом $\theta = 31^\circ 30'$ к поверхности кристалла.

530. На дифракционную решетку с периодом $d = 10$ мкм под углом $\alpha = 30^\circ$ падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить угол φ дифракции, соответствующий второму главному максимуму.

531. Определить степень поляризации P частично поляризованного света, если амплитуда I_{max} светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в $n = 3$ раза больше амплитуды I_{mix} , соответствующей его минимальной интенсивности.

532. Угол α между плоскостями пропускания поляризаторов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 8$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент k поглощения света в поляроидах.

533. Угол Брюстера ε_B при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света ν в этом кристалле.

534. Раствор глюкозы с массовой концентрацией $C_1 = 280$ кг/м³, содержащийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через этот раствор, на угол $\varphi_1 = 32^\circ$. Определить массовую концентрацию C_2 глюкозы в другом растворе, налитом в трубку такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на угол $\varphi_2 = 24^\circ$.

535. Степень поляризации P частично поляризованного света составляет 0,75. Определить отношение максимальной интенсивности I_{max} света, пропускаемого анализатором, к минимальной I_{mix} .

536. Предельный угол ε_0' полного внутреннего отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера ε_B для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

537. Во сколько раз ослабляется интенсивность I света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол $\alpha = 30^\circ$, если в каждом из николей в отдельности теряется $k = 10\%$ интенсивности падающего на него света?

538. Коэффициент поглощения некоторого вещества для монохроматического света определенной длины волны $\alpha = 0,1$ см⁻¹. Определить толщину x вещества, которая необходима для ослабления света в $k = 2$ раза. Потери на отражение света не учитывать.

539. Свет падает нормально поочередно на две пластинки, изготовленные из одного и того же вещества, имеющие соответственно толщины $x_1 = 5$ мм и $x_2 = 10$ мм. Определить коэффициент поглощения α этого вещества, если интенсивность прошедшего света через первую пластинку составляет $I_1 = 82\%$, а через вторую – $I_2 = 67\%$.

540. Плоская монохроматическая световая волна распространяется в некоторой среде. Коэффициент поглощения среды для данной длины волны $\alpha = 1,2$ м⁻¹. Определить, на сколько процентов уменьшится интенсивность I света, при

прохождении данной волной пути $x = 10$ мм.

Заочное отделение

Заочное отделение

3.6 Контрольная работа № 6

КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Таблица вариантов 16

№ варианта	Номера задач				
1	601	611	621	631	641
2	602	612	622	632	642
3	603	613	623	633	643
4	604	614	624	634	644
5	605	615	625	635	645
6	606	616	626	636	646
7	607	617	627	637	647
8	608	618	628	638	648
9	609	619	629	639	649
0	610	620	630	640	650

Перед решением задач этой контрольной работы необходимо хорошо изучить соответствующие темы курса физики и разобрать решение типовых задач по учебным пособиям, указанным в следующей таблице.

Таблица 17

№/№ Задач	Наименование темы	Рекомендуемые учебные пособия
601-610	Тепловое излучение	[12]: Гл.1; [18]: Гл.1 [13]: Гл.35; [21]: Гл.26 [7]: Гл.1; [15]:стр.429-430
611-620	Фотоэффект	[12]: Гл.2; [18]: Гл.2 [13]: Гл. 36; [21]: Гл.26; [7]: Гл.1; [15] стр.434-438
621-630	Эффект Комптона	[12]: Гл.2; [18]: Гл.2 [13]: Гл.36; [21]: Гл.26 [7]: Гл.1; [15]: стр.441-443
631-640	Волны де Бройля	[12]: Гл.4 [18]: Гл.4 [13]: Гл.37 [7]: Гл.3; [15]:стр.479-483
641-650	Соотношение неопределенностей Гайзенберга	[12]: Гл.4 [18]: Гл.4 [13]: Гл.37 [21]: Гл.28 [7]: Гл.3; [15]:стр.479-483

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Энергетическая светимость (излучательность) абсолютно черного тела, т.е. энергия, излучаемая в единицу времени единицей поверхности абсолютно черного тела, определяется формулой Стефана-Больцмана

$$R_0 = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана, T – термодинамическая температура.

Если излучающее тело не является абсолютно черным, то

$$R_0' = k\sigma T^4,$$

где коэффициент k всегда меньше единицы.

Энергетическая светимость R_0 связана со спектральной плотностью энергетической светимости абсолютно черного тела r_λ соотношением

$$R_0 = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda$$

Произведение термодинамической температуры абсолютно черного тела на длину волны, при которой спектральная плотность энергетической светимости этого тела максимальна, равна постоянной величине (закон Вина):

$$\lambda_m T = C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$

Энергия фотона (кванта света) определяется формулой

$$\varepsilon = h\nu,$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка, ν [Гц] – частота колебаний.

Импульс фотона

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

где $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$ скорость распространения света в вакууме.

Связь между энергией фотона, вызывающего внешний фотоэффект, и максимальной кинетической энергией вылетающих электронов дается формулой Эйнштейна

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где A работа выхода электрона из металла, m – масса электрона. Если $\nu = 0$, $h\nu_0 = A$, где ν_0 – частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта.

Световое давление

$$P = \frac{E}{c}(1 + \rho).$$

где E – энергия, падающая на единицу поверхности за единицу времени, ρ – коэффициент отражения света.

Изменение длины волны рентгеновских лучей при комптоновском рассеянии определяется формулой

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\varphi).$$

где φ – угол рассеяния, m – масса электрона.

Пучок элементарных частиц обладает свойством плоской волны, распространяющейся в направлении перемещения этих частиц. Длина волны λ , соответствующая этому пучку, определяется соотношением де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2Wm}},$$

где v – скорость частиц, m – масса частиц, W – их кинетическая энергия. Если скорость v частиц соизмерима со скоростью света c , то эта формула принимает вид

$$\lambda = \frac{h}{m_0\gamma v} = \frac{h}{\sqrt{2Wm_0 + W^2/c^2}},$$

где $\beta = v/c$, m_0 – масса частицы.

Соотношения неопределённостей:

а) для координаты и импульса частицы $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$, где Δp_x – неопределённость проекции импульса частицы на ось x ; Δx – неопределённость её координаты,

б) для энергии и времени $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, где ΔE – неопределённость энергии данного квантового состояния; Δt – время пребывания системы в этом состоянии.

Задачи

601. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ K. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток Φ , излучения

увеличится в $n = 5$ раз?

602. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(r_{\lambda r})_{max}$ абсолютно черного тела равна $4,16 \cdot 10^{11} \text{ (Вт/м}^2\text{)/м}$. На какую длину волны λ_m она приходится?

603. Муфельная печь потребляет мощность $P = 1 \text{ кВт}$. Температура T ее внутренней поверхности при открытом отверстии площадью $S = 25 \text{ см}^2$ равна $1,2 \text{ кК}$. Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно черное тело, определить, какая часть W мощности рассеивается стенками.

604. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 3 \text{ кК}$. При остывании тела длина волны λ_m , соответствующая максимальной спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda r})_{max}$, изменилась на $\Delta\lambda = 8 \text{ мкм}$. Определить температуру T_2 , до которой тело охладилось.

605. При увеличении термодинамической температуры T абсолютно черного тела в $n = 2$ раза длина волны λ_m , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda r})_{max}$, уменьшилась на $\Delta\lambda = 400 \text{ нм}$. Определить начальную T_1 и конечную T_2 температуры тела.

606. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру T абсолютно черного тела, чтобы его энергетическая светимость R возросла в $n = 2$ раза.

607. Определить, как и во сколько раз изменится мощность P излучения абсолютно черного тела, если длина волны λ_m , соответствующая максимальной спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda r})_{max}$, сместилась от $\lambda_1 = 720 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 400 \text{ нм}$.

608. Мощность P излучения шара радиусом $R = 10 \text{ см}$ при некоторой постоянной температуре равна 1 кВт . Найти эту температуру T , считая шар телом с коэффициентом теплового излучения $\varepsilon_r = 0,25$.

609. Считая излучение Солнца близким к излучению абсолютно черного тела найти на сколько уменьшится его масса за год? Температуру поверхности солнца принять равной 5800 К .

610. Какую мощность N надо подводить к зачерненному металлическому шарик радиусом $R = 2 \text{ см}$, чтобы поддерживать его температуру на $T = 27^\circ \text{ С}$ выше температуры окружающей среды, которую считать равной 20° С . Считать, что тепло теряется только вследствие излучения.

611. На пластину падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,42 \text{ мкм}$. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов $U = 0,95 \text{ В}$. Определить работу A выхода электронов с поверхности пластины.

612. Какая доля W энергии фотона израсходована на работу выхода фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 307 \text{ нм}$ и максимальная кинетическая T_{max} энергия фотоэлектрона равна 1 эВ ?

613. Определять максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла под действием γ -излучения с длиной волны $\lambda = 3 \text{ нм}$.

614. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов $U_l = 3,7 \text{ В}$. Если платиновую пластинку заменить другой

- пластинкой, то задерживающую разность потенциалов U_2 придется увеличить до 6 В . Определить работу A_2 выхода электронов с поверхности этой пластинки,
- 615.** Определить, до какого потенциала U зарядится уединенный серебряный шарик при облучении его ультрафиолетовым светом длиной волны $\lambda = 208\text{ нм}$.
- 616.** На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,1\text{ мкм}$. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0,3\text{ мкм}$. Какая доля W энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?
- 617.** Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении γ -фотонами с энергией $\varepsilon = 1,53\text{ МэВ}$.
- 618.** Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310\text{ нм}$. Определить максимальную кинетическую энергию T_{max} фотоэлектронов (в электрон-вольтах), если на цинк падает свет с длиной волны $\lambda = 200\text{ нм}$.
- 619.** Найти постоянную Планка h , если известно, что электроны, вырываемые из металла светом с длиной волны $\lambda_1 = 3,6\text{ мкм}$, полностью задерживаются разностью потенциалов $u_1 = 6,6\text{ В}$, а вырываемые светом с длиной волны $\lambda_2 = 0,65\text{ мкм}$ – разностью потенциалов $u_2 = 16,5\text{ В}$.
- 620.** Найти частоту ν света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов $u = 3\text{ В}$, если фотоэффект начинается при длине волны света $\lambda = 0,5\text{ мкм}$.
- 621.** Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25\text{ МэВ}$ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить кинетическую энергию T электрона отдачи, если относительное изменение длины волны $\Delta\lambda/\lambda$ падающего фотона в результате рассеяния составляет 20% .
- 622.** Фотон с импульсом $p = 1,02\text{ МэВ}/c$, где c – скорость света в вакууме, рассеялся на покоившемся свободном электроне, в результате чего импульс фотона стал $p' = 0,255\text{ МэВ}/c$. Определить угол θ рассеяния фотона.
- 623.** В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon = 1,02\text{ МэВ}$ рассеялся на свободном электроне на угол $\theta = 150^\circ$. Определить энергию ε' рассеянного фотона и кинетическую энергию T электрона отдачи.
- 624.** Фотон с длиной волны $\lambda = 1\text{ нм}$ рассеялся на свободном электроне под углом $\theta = 90^\circ$. Какую долю W своей энергии фотон передал электрону?
- 625.** Определить импульс p_e электрона отдачи, если фотон с энергией $\varepsilon = 1,53\text{ МэВ}$ в результате рассеяния на первоначально покоившемся свободном электроне потерял $1/3$ своей энергии.
- 626.** Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25\text{ МэВ}$ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Энергия рассеянного фотона $\varepsilon' = 0,2\text{ МэВ}$. Определить угол θ рассеяния фотона.
- 627.** Узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеивающее вещество. Оказалось, что длины волн λ_1' и λ_2' рассеянного под углами $\theta_1 = 60^\circ$ и $\theta_2 = 120^\circ$ излучения отличаются в $n = 1,5$ раза. Определить длину волны λ падающего излучения, предполагая, что рассеяние происходит на свободных электронах.
- 628.** Определить импульс p_e электрона отдачи при эффекте Комптона, если

фотон с энергией ε , равной энергии покоя E_0 электрона, был рассеян на угол $\theta = 180^\circ$.

629. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,3 \text{ МэВ}$ рассеялся под углом $\theta = 180^\circ$ на свободном электроне. Определить долю W энергии падающего фотона, приходящуюся на рассеянный фотон.

630. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян под углом $\theta = 90^\circ$. Угол φ отдачи электрона составляет 30° . Определить энергию ε падающего фотона.

631. Протон обладает кинетической энергией T , равной энергии покоя E_0 . Определить, во сколько раз изменится длина волны λ де Бройля протона, если его кинетическая энергия увеличится в $n = 3$ раза.

632. Из катодной трубки на диафрагму с двумя параллельными, лежащими в одной плоскости узкими щелями, расстояние между которыми $d = 50 \text{ мкм}$, нормально падает параллельный пучок моноэнергетических электронов. Определить анодное напряжение U трубки, если известно, что расстояние Δx между центральным и первым максимумами дифракционной картины на экране, расположенном на расстоянии $l = 100 \text{ см}$ от щелей, составляет $4,9 \text{ мкм}$.

633. Определить длину волны λ де Бройля для электрона, движущегося в атоме водорода по третьей боровской орбите.

634. Электрон движется по окружности радиусом $R = 0,5 \text{ см}$ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 8 \text{ мТл}$. Определить длину волны λ де Бройля электрона.

635. На грань некоторого кристалла под углом $\theta = 60^\circ$ к ее поверхности падает параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью. Определить скорость v электронов, если они испытывают интерференционное отражение первого порядка. Расстояние d между атомными плоскостями равно $0,2 \text{ нм}$.

636. Определить энергию ΔT , которую необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от $\lambda_1 = 0,2 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 0,1 \text{ нм}$.

637. Определить длину волны λ де Бройля электрона, если его кинетическая энергия $T = 850 \text{ кэВ}$.

638. Параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью $v = 1 \text{ Мм/с}$, падает нормально на диафрагму с узкой прямоугольной щелью шириной $a = 1 \text{ мкм}$. Проходя через щель, электроны рассеиваются и образуют дифракционную картину на экране, расположенном на расстоянии $l = 10 \text{ см}$ от щели и параллельном плоскости диафрагмы. Определить линейное расстояние Δx между первыми дифракционными максимумами.

639. Определить отношение длины волны λ_1 де Бройля протона к длине волны λ_2 де Бройля α -частицы, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов $U = 1 \text{ ГВ}$.

640. С какой скоростью v движется электрон, если длина волны λ де Бройля электрона равна его комптоновской длине волны λ_c ?

- 641.** Используя соотношение неопределенностей, оценить низший энергетический уровень E_{min} электрона в атоме водорода. Линейные размеры атома принять равными $0,1 \text{ нм}$.
- 642.** Электрон с кинетической энергией $T = 15 \text{ эВ}$ находится в металлической пылинке диаметром $d = 1 \text{ мкм}$. Оценить относительную неточность $\frac{\Delta x}{x}$, с которой может быть определена скорость электрона.
- 643.** Среднее время Δt жизни атома в возбужденном состоянии составляет около 10^{-8} с . При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны (λ) которого равна 500 нм . Оценить относительную ширину $\Delta\lambda/\lambda$ излучаемой спектральной линии, если не происходит уширения линии за счет других процессов.
- 644.** Оценить неточность Δx в определении координаты электрона, движущегося в атоме водорода по третьей боровской орбите, если допускаемая неточность Δv в определении скорости составляет 10% от ее величины.
- 645.** Приняв, что минимальная энергия E_{min} нуклона в ядре равна 10 МэВ , оценить, исходя из соотношения неопределенностей, линейные размеры ядра.
- 646.** Длина волны λ излучаемого атомом фотона составляет 600 нм . Принимая среднее время Δt жизни атома в возбужденном состоянии 10 нс , определить отношение естественной ширины ΔE энергетического уровня, на который был возбужден электрон, к энергии E , излучаемой атомом.
- 647.** Предполагая, что неопределенность Δx координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны λ , определить относительную неточность $\Delta p/p$ импульса этой частицы.
- 648.** Вычислить отношение неопределенностей скорости Δv_1 электрона и скорости Δv_2 пылинки массой $m = 10^{-12} \text{ кг}$, если их координаты Δx установлены с одинаковой точностью.
- 649.** Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии $\Delta t \approx 10^{-8} \text{ с}$. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны (λ) которого равна 400 нм . Оценить естественную ширину $\Delta\lambda$ излучаемой спектральной линии, если не происходит ее уширения за счет других процессов.
- 650.** Моноэнергетический пучок электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов $U = 20 \text{ кВ}$, высвечивает в центре экрана электроннолучевой трубки, длина которой $l = 0,5 \text{ м}$, пятно радиусом $r = 10^{-3} \text{ см}$. Пользуясь соотношением неопределенностей, определить, во сколько раз неопределенность Δx координаты электрона на экране в направлении, перпендикулярном оси трубки, меньше радиуса r пятна.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	γ	$6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро	N_A	$6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Число Лошмидта	n_0	$2.69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$
Молярная газовая постоянная	R	8.31 Дж/(моль·К)
Стандартный объем газа	V_m	$22.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Скорость света в вакууме	c	$3.00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Элементарный заряд	e	$1.60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Удельный заряд электрона	e/m_e	$1.76 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$
Масса покоя протона	m	$1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Удельный заряд протона	e/m	$9.59 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}$
Постоянная Фарадея	F	96.5 кКл/моль
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина в первом законе смещения	b	$2.90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Вина во втором законе	C	$1.30 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$
Постоянная Планка	h	$6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	\hbar	$1.054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	R	$1.097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
	R'	$3.29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$
	R''	$2.07 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$
Первый борковский радиус	a_0	$5.29 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Энергия ионизации атома водорода	E_I	$2.18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ (13.6 эВ)
Комптоновская длина волны электрона	λ_{C_e}	$2.436 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Комптоновская длина волны протона	λ_{C_p}	$1.321 \cdot 10^{-15} \text{ м}$
Комптоновская длина волны нейтрона	λ_{C_n}	$1.319 \cdot 10^{-15} \text{ м}$
Атомная единица массы	$a.е.м$	$1.660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Энергия, соответствующая 1 а.е.м.		931.42 МэВ
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Магнетон Бора	μ_B	$9.27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$
Ядерный магнетон	$\mu_{Я}$	$5.05 \cdot 10^{-27} \text{ Дж/Тл}$

Таблица А.2 – Некоторые астрономические величины

Наименование	Числовое значение
Радиус Земли	$6.67 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6.95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1.98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радиус Луны	$1.74 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Луны	$7.33 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1.49 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3.84 \cdot 10^8 \text{ м}$
Период обращения Солнца вокруг оси	25.4 ч
Период обращения Земли вокруг оси	1 сут
Период обращения Луны вокруг Земли	$27.3 \text{ сут} = 2.36 \cdot 10^6 \text{ с}$

Таблица А.3 – Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Твердое тело	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$
Алюминий	$2.70 \cdot 10^3$	Марганец	$7.40 \cdot 10^3$
Барий	$3.50 \cdot 10^3$	Медь	$8.93 \cdot 10^3$
Ванадий	$6.02 \cdot 10^3$	Натрий	$0.97 \cdot 10^3$
Висмут	$9.80 \cdot 10^3$	Никель	$8.90 \cdot 10^3$
Вольфрам	$19.3 \cdot 10^3$	Олово	$7.30 \cdot 10^3$
Германий	$5.46 \cdot 10^3$	Платина	$21.4 \cdot 10^3$
Железо	$7.87 \cdot 10^3$	Пробка	$0.20 \cdot 10^3$
Золото	$19.3 \cdot 10^3$	Свинец	$11.3 \cdot 10^3$
Индий	$7.28 \cdot 10^3$	Серебро	$10.5 \cdot 10^3$
Калий	$0.86 \cdot 10^3$	Сталь	$7.70 \cdot 10^3$
Каменная соль	$2.20 \cdot 10^3$	Теллур	$6.02 \cdot 10^3$
Кварц	$2.65 \cdot 10^3$	Уран	$18.7 \cdot 10^3$
Кремний	$2.35 \cdot 10^3$	Фарфор	$2.30 \cdot 10^3$
Латунь	$8.55 \cdot 10^3$	Цезий	$1.90 \cdot 10^3$
Лед	$0.90 \cdot 10^3$	Цинк	$7.15 \cdot 10^3$
Литий	$0.53 \cdot 10^3$	Эбонит	$1.20 \cdot 10^3$

Таблица А.4 – Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Жидкость	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$
Бензол	$0.88 \cdot 10^3$	Масло касторовое	$0.96 \cdot 10^3$
Вода (при $t = 4^0\text{C}$)	$1.00 \cdot 10^3$	Ртуть	$13.6 \cdot 10^3$
Глицерин	$1.26 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1.26 \cdot 10^3$
Керосин	$0.80 \cdot 10^3$	Спирт	$0.80 \cdot 10^3$
Масло смазочное	$0.90 \cdot 10^3$	Эфир	$0.70 \cdot 10^3$

Таблица А.5 – Плотность газов при нормальных условиях ($T_0=273.15 \text{ К}$,
 $p_0 = 101\,325 \text{ Па}$)

Газ	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Газ	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$
Азот	1.25	Гелий	0.18
Аммиак	0.76	Кислород	1.43
Аргон	1.78	Метан	0.72
Водород	0.09	Углекислый газ	1.96
Воздух	1.29	Хлор	3.16

Таблица А.6 – Эффективный диаметр молекул газов при нормальных условиях

Газ	Эффективный диаметр $d, \text{ нм}$	Газ	Эффективный диаметр $d, \text{ нм}$
Азот	0,31	Гелий	0,20
Аргон	0,29	Кислород	0,29
Водород	0,28	Пары воды	0,30
Воздух	0,31	Углекислый газ	0,32

Таблица А.7 – Скорость звука в веществе

Вещество	Скорость звука $v, \text{ м/с}$
Алюминий	5100
Бериллий	12250
Вода	1450
Воздух (при нормальных условиях)	332
Воск	390
Железо	5300
Кирпич	3650

Таблица А.8 – Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Диэлектрическая проницаемость ϵ	Вещество	Диэлектрическая проницаемость ϵ
Вода	81	Резина	3
Воск	7,8	Сегнетова соль	500
Глицерин	26	Слюда	7
Керосин	2	Спирт	26
Масло касторовое	4,7	Стекло	7
Масло трансформ.	2,2	Фарфор	5
Парафин	2	Эбонит	3

Таблица А.9 – Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления проводников

Вещество	Удельное сопротивление ρ , нОм·м	Температурный коэффициент сопротивления α , K^{-1}
Алюминий	26	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	55	$5,2 \cdot 10^{-3}$
Железо	98	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Медь	17	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Нихром	1100	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Серебро	16	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Цинк	59	$3,5 \cdot 10^{-3}$

Таблица А.10 – Интервалы длин световых волн, соответствующие различным цветам видимого спектра

Цвет спектра	Интервал длин волн λ , нм	Цвет спектра	Интервал длин волн λ , нм
Фиолетовый	380÷450	Жёлтый	560÷590
Синий	450÷480	Оранжевый	590÷620
Голубой	480÷500	Красный	620÷760
Зелёный	500÷560		

Таблица А.11 – Показатель преломления (Средние значения для видимой части спектра)

Вещество	Показатель преломления n	Вещество	Показатель преломления n
Алмаз	2,42	Кварц	1,55
Бензол	1,50	Лёд	1,31
Вода	1,33	Масло коричное	1,60
Воздух	1,00029	Сероуглерод	1,63
Глицерин	1,47	Скипидар	1,48
Каменная соль	1,54	Стекло	1,50

Таблица А.12 – Работа выхода электронов из металла

Металл	A , эВ	A , Дж
Алюминий	3,7	$5,9 \cdot 10^{-19}$
Вольфрам	4,5	$7,2 \cdot 10^{-19}$
Калий	2,2	$3,5 \cdot 10^{-19}$
Литий	2,3	$3,7 \cdot 10^{-19}$
Медь	4,4	$7,0 \cdot 10^{-19}$
Натрий	2,5	$4,0 \cdot 10^{-19}$
Платина	6,3	$10,1 \cdot 10^{-19}$
Рубидий	2,1	$3,4 \cdot 10^{-19}$
Серебро	4,7	$7,5 \cdot 10^{-19}$
Цезий	2,0	$3,2 \cdot 10^{-19}$
Цинк	4,0	$6,4 \cdot 10^{-19}$

Таблица А.13 – Масса и энергия покоя некоторых элементарных частиц и лёгких ядер

Частица	Обозначение	Масса		Энергия	
		m_0 , кг	m_0 , а.е.м.	E_0 , Дж	E_0 , МэВ
Электрон	${}^0_{-1}e$	$9,109 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	1_1p	$1,673 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938,27
Нейтрон	1_0n	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939,57
Дейтон	2_1d	$3,344 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1875,61
α -частица	${}^4_2\alpha$	$6,642 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3725,98

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики, М, 2003
2. Калашников Н.П. Основы физики, т.т. 1-2, М, 2003-2004
3. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М, 2005
4. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы. М, 2004
5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. М, 2006
6. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. М, 2004
7. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы. М, 2004

Дополнительная

8. Савельев И.В. Курс общей физики. т.1, М. 1998
9. Савельев И.В. Курс общей физики. т.2, М. 1998
10. Савельев И.В. Курс общей физики. т.3, М. 1998
11. Савельев И.В. Курс общей физики. т.4, М. 1998
12. Савельев И.В. Курс общей физики. т.5, М. 1998
13. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики М. 1989
14. Трофимова Т.И. Курс физики. М. 1979
15. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М. 2002
16. Савельев И.В. Курс общей физики. т.1, М. 1989
17. Савельев И.В. Курс общей физики. т.2, М. 1989
18. Савельев И.В. Курс общей физики. т.3, М. 1989
19. Методические указания к лабораторным работам по физике.
Изд. СПбГТИ(ТУ), 1991
20. Трофимова Т.И., Курс физики М., 1997

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Методические рекомендации по выполнению контрольных работ студентами заочной формы обучения.....	3
2. Программа дисциплины физика для студентов заочной формы обучения.....	5
2.1 Содержание учебной дисциплины.....	5
2.2 Учебно – тематический план и содержание курса общей физики для студентов заочной формы обучения (II курс; 3, 4 семестр).....	12
2.3 Виды учебных занятий и их объём.....	13
2.4 Лабораторные занятия.....	14
2.5 Список лабораторных работ.....	14
3 Контрольные работы.....	16
3.1 Контрольная работа № 1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ.....	16
3.2 Контрольная работа № 2 МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА.....	30
3.3 Контрольная работа № 3 ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.....	40
3. 4 Контрольная работа № 4 ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.....	52
3.5 Контрольная работа № 5 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.....	63
3.6. Контрольная работа № 6 КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.....	73
Приложение А.....	80
Литература.....	85
Содержание.....	86