

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Утверждено Учебно-методическим управлением по высшему образованию

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНИКОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (ВКЛЮЧАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ВУЗЫ)

Под редакцией А. Г. Чертова

Издание пятое, переработанное



Москва «Высшая школа» 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель настоящего учебно-методического пособия — оказать помощь студентам-заочникам инженерно-технических специальностей высших учебных заведений в изучении курса физики.

Основной учебный материал программы курса в пособии распределен на шесть разделов. В каждом из них даны основные формулы, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения (с ответами) и контрольные задания. Кроме того, в пособии даны общие методические указания, сведения о приближенных вычислениях и некоторые справочные таблицы.

В пособии учтены особенности учебных планов разных специальностей — различие в числе контрольных работ и во времени, отводимом для изучения курса физики. Для этого даны две таблицы вариантов контрольных работ: одна — для студентов, выполняющих шесть контрольных работ, а вторая — для студентов, выполняющих четыре контрольные работы. Таблицы вариантов контрольных работ студентам специальностей, по которым предусмотрено выполнение только двух контрольных работ, рассылаются кафедрами физики учебных заведений.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	2
Содержание.....	3
Рабочая программа	4
Учебные материалы по разделам курса физики.....	10
1. Физические основы классической механики	10
Основные формулы.....	10
Контрольная работа 1	15
2. Молекулярная физика. Термодинамика	24
Основные формулы.....	24
Контрольная работа 2	29
3. Электростатика. Постоянный электрический ток	38
Основные формулы.....	38
Контрольная работа 3	42
4. Электромагнетизм	52
Основные формулы	52
Контрольная работа 4	56
5. Оптика	67
Основные формулы.....	67
Контрольная работа 5	71
6. Элементы атомной физики и квантовой механики. Физика твёрдого тела	78
Основные формулы.....	78
Контрольная работа 6	82
Приложения	89

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ЗАОЧНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ И ВУЗОВ

Введение

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Связь физики с марксистско-ленинской философией и другими науками.

Физические основы классической механики

Механическое движение как простейшая форма движения материи. Представления о свойствах пространства и времени, лежащие в основе классической (ньютоновской) механики. Элементы кинематики материальной точки. Скорость и ускорение точки как производные радиуса-вектора по времени. Нормальное и тангенциальное ускорения. Радиус кривизны траектории. Поступательное движение твердого тела.

Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела. Закон инерции и инерциальные системы отсчета. Законы динамики материальной точки и системы материальных точек. Внешние и внутренние силы. Центр масс (центр инерции) механической системы и закон его движения. Закон сохранения импульса.

Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Работа переменной силы. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.

Поле как форма материи, осуществляющая силовое взаимодействие между частицами вещества. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку. Понятие о градиенте скалярной функции координат. Поле центральных сил. Потенциальная энергия системы. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Закон сохранения и превращения энергии как проявление неуничтожимости материи и ее движения. Применение законов сохранения к столкновению упругих и неупругих тел.

Элементы кинематики вращательного движения. Угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями точек вращающегося тела. Момент силы и момент импульса механической системы. Момент силы относительно оси. Момент импульса тела относительно неподвижной оси вращения. Момент инерции тела относительно оси. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси. Кинетическая энергия вращающегося тела. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства.

Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

Элементы специальной (частной) теории относительности

Преобразования Галилея. Механический принцип относительности. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Понятие одновременности. Относительность длин и промежутков времени. Интервал между событиями и его инвариантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчета как проявление взаимосвязи пространства и времени. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистский импульс. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Релятивистское выражение для кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Энергия связи системы. Соотношение между полной энергией и импульсом частицы. Границы применимости классической (ньютоновской) механики.

Механические колебания и волны в упругих средах

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

Волновые процессы. Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Синусоидальные (гармонические) волны. Уравнение бегущей волны. Длина волны и волновое число. Волновое уравнение. Фазовая скорость и дисперсия волн. Энергия волны. Принцип суперпозиции волн и границы его применимости. Волновой пакет. Групповая скорость. Когерентность.

Интерференция волн. Образование стоячих волн. Уравнение стоячей волны и его анализ.

Основы молекулярной физики и термодинамики

Статистический метод исследования и его связь с учением диалектического материализма о соотношении случайности и необходимости. Термодинамический метод исследования. Термодинамические параметры. Равновесные состояния и процессы, их изображение на термодинамических диаграммах. Вывод уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления и его сравнение с уравнением Клапейрона — Менделеева. Средняя кинетическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование термодинамической температуры. Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул. Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при изменении его объема. Количество теплоты. Теплоемкость. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа. Зависимость теплоемкости идеального газа от вида процесса. Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей идеальных газов и ее ограниченность.

Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и

энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул. Время релаксации. Явления переноса в термодинамически неравновесных системах. Опытные законы диффузии, теплопроводности и внутреннего трения. Молекулярно-кинетическая теория этих явлений.

Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Тепловые двигатели и холодильные машины. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Второе начало термодинамики. Независимость КПД цикла Карно от природы рабочего тела. Энтропия. Энтропия идеального газа. Статистическое толкование второго начала термодинамики. Критика идеалистического толкования второго начала термодинамики.

Отступления от законов идеальных газов. Реальные газы. Силы и потенциальная энергия меж молекулярного взаимодействия. Эффективный диаметр молекул. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение изотерм Ван-дер Ваальса с экспериментальными. Фазовые переходы I и II рода. Критическое состояние. Внутренняя энергия реального газа. Особенности жидкого и твердого состояний вещества.

Электростатика

Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Основные характеристики электростатического поля — напряженность и потенциал. Напряженность как градиент потенциала. Расчет электростатических полей методом суперпозиции. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского — Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Остроградского — Гаусса к расчету поля. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость вещества. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Вычисление напряженности поля в диэлектрике. Сегнетоэлектрики.

Проводники в электрическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение зарядов в проводнике. Электроемкость уединенного проводника. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы. Энергия заряженных проводника, конденсатора и системы проводников. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Постоянный электрический ток

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Классическая электронная теория электропроводности металлов и ее опытные обоснования. Вывод закона Ома в дифференциальной форме из электронных представлений. Закон Видемана — Франца. Закон Ома в интегральной форме. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Затруднения классической теории электропроводности металлов. Границы применимости закона Ома. Ток в газах. Плазма. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия.

Электромагнетизм

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

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

Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты атомов. Типы магнетиков. Намагниченность. Микро- и макротоки. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Магнитная восприимчивость вещества и ее зависимость от температуры. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость среды. Ферромагнетики. Опыт Столетова. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Домены. Спиновая природа ферромагнетизма.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме.

Электромагнитные колебания и волны

Гармонические электромагнитные колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний. Электрический колебательный контур. Энергия электромагнитных колебаний. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Случай резонанса. Электромагнитные волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Основные свойства электромагнитных волн. Монохроматическая волна. Энергия электромагнитных волн. Поток энергии. Вектор Умова — Пойнтинга. Излучение диполя.

Волновая оптика

Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Оптическая длина пути. Интерференция света в тонких пленках. Интерферометры. Дифракция света. Принцип Гюйгенса — Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели и дифракционной решетке. Разрешающая

способность оптических приборов. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа — Брэгга. Принцип голографии. Исследование структуры кристаллов. Оптически неоднородная среда. Дисперсия света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Электронная теория дисперсии света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова — Черенкова. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Одноосные кристаллы. Поляроиды и поляризационные призмы. Закон Малюса.

Квантовая природа излучения

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

Элементы атомной физики и квантовой механики

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

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

Элементы квантовой статистики и физики твердого тела

Фазовое пространство. Элементарная ячейка. Плотность состояний. Понятие о квантовой статистике Бозе — Эйнштейна. Фотонный и фононный газы. Распределение фононов по энергиям. Теплоемкость кристаллической решетки. Сверхтекучесть. Понятие о квантовой статистике Ферми — Дирака. Распределение электронов проводимости в металле по энергиям при абсолютном нуле температуры. Энергия Ферми. Влияние температуры на распределение электронов. Уровень Ферми. Внутренняя энергия и теплоемкость электронного газа в металле. Электропроводность металлов. Сверхпроводимость. Магнитные свойства сверхпроводника.

Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по

энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная проводимость полупроводников. Квазичастицы — электроны проводимости и дырки. Эффективная масса электрона в кристалле. Примесная проводимость полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контактные явления. Контакт электронного и дырочного полупроводника (р-п-переход) и его вольт-амперная характеристика. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Люминесценция твердых тел.

Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц

Заряд, размер и масса атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Момент импульса ядра и его магнитный момент. Состав ядра. Работы Иваненко и Гейзенберга. Нуклоны. Взаимодействие нуклонов и понятие о свойствах и природе ядерных сил. Дефект массы и энергия связи ядра. Закономерности и происхождение альфа-, бета- и гамма-излучений атомных ядер. Ядерные реакции и законы сохранения. Реакция деления ядер. Цепная реакция деления. Понятие о ядерной энергетике. Реакция синтеза атомных ядер. Проблема управляемых термоядерных реакций. Элементарные частицы. Их классификация и взаимная превращаемость. Четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильные, электромагнитные, слабые и гравитационные. Понятие об основных проблемах современной физики и астрофизики.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РАЗДЕЛАМ КУРСА ФИЗИКИ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Основные формулы

Кинематическое уравнение движения материальной точки (центра масс твердого тела) вдоль оси x

$$x = f(t),$$

где $f(t)$ — некоторая функция времени.

Проекция средней скорости на ось x

$$\langle v_x \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Средняя путевая скорость

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

где Δs — путь, пройденный точкой за интервал времени Δt . Путь Δs в отличие от разности координат $\Delta x = x_2 - x_1$ не может убывать и принимать отрицательные значения, т. е. $\Delta s \geq 0$.

Проекция мгновенной скорости на ось x

$$v_x = \frac{dx}{dt}.$$

Проекция среднего ускорения на ось x

$$\langle a_x \rangle = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}.$$

Проекция мгновенного ускорения на ось x

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}.$$

Кинематическое уравнение движения материальной точки по окружности

$$\varphi = f(t), r = R = \text{const}.$$

Модуль угловой скорости

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Модуль углового ускорения

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}.$$

Связь между модулями линейных и угловых величин, характеризующих движение точки по окружности:

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

где v — модуль линейной скорости; a_τ и a_n — модули тангенциального и нормального ускорений; ω — модуль угловой скорости; ε — модуль углового ускорения; R — радиус окружности.

Модуль полного ускорения

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}, \quad \text{или} \quad a = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}.$$

Угол между полным a и нормальным a_n ускорениями

$$\alpha = \arccos(a_n / a).$$

Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки

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

где x — смещение; A — амплитуда колебаний; ω — угловая или циклическая частота; φ — начальная фаза.

Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi); \quad a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi).$$

Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты:

а) амплитуда результирующего колебания

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

б) начальная фаза результирующего колебания

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}.$$

Траектория точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях,

$$x = A_1 \cos \omega t; \quad y = A_2 \cos(\omega t + \varphi).$$

а) $y = \frac{A_2}{A_1} x$, если разность фаз $\varphi = 0$;

б) $y = -\frac{A_2}{A_1} x$, если разность фаз $\varphi = \pm \pi$;

в) $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$, если разность фаз $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$.

Уравнение плоской бегущей волны

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right),$$

где y — смещение любой из точек среды с координатой x в момент t ; v — скорость распространения колебаний в среде.

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

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

где λ — длина волны.

Импульс материальной точки массой m , движущейся со скоростью v ,

$$p = mv.$$

Второй закон Ньютона

$$dp = F dt,$$

где F — результирующая сила, действующая на материальную точку.

Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила упругости

$$F = -kx;$$

где k — коэффициент упругости (в случае пружины — жесткость); x — абсолютная деформация;

б) сила тяжести

$$P = mg;$$

в) сила гравитационного взаимодействия

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

где G — гравитационная постоянная; m_1 и m_2 — массы взаимодействующих тел; r — расстояние между телами (тела рассматриваются как материальные точки). В случае гравитационного взаимодействия силу можно выразить также через напряженность G гравитационного поля:

$$F = mG;$$

г) сила трения (скольжения)

$$F = \mu N,$$

где μ — коэффициент трения; N — сила нормального давления.

Закон сохранения импульса

$$\sum_{i=1}^n p_i = const,$$

или для двух тел ($i = 2$)

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2,$$

где v_1 и v_2 — скорости тел в момент времени, принятый за начальный; u_1 и u_2 — скорости тех же тел в момент времени, принятый за конечный.

Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно,

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

Потенциальная энергия:

а) упругодеформированной пружины

$$\Pi = \frac{1}{2} kx^2,$$

где k — жесткость пружины; x — абсолютная деформация;

б) гравитационного взаимодействия

$$\Pi = -G \frac{m_1 m_2}{r},$$

где G — гравитационная постоянная; m_1 и m_2 — массы взаимодействующих тел; r — расстояние между ними (тела рассматриваются как материальные точки);

в) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести,

$$\Pi = mgh,$$

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

Закон сохранения механической энергии

$$E = T + \Pi = \text{const.}$$

Работа A , совершаемая результирующей силой, определяется как мера изменения кинетической энергии материальной точки:

$$A = \Delta T = T_2 - T_1.$$

Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси z

$$M_z = J_z \varepsilon,$$

где M_z — результирующий момент внешних сил относительно оси z , действующих на тело; ε — угловое ускорение; J_z — момент инерции относительно оси вращения.

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

а) стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной стержню,

$$J_z = \frac{1}{12} ml^2;$$

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

$$J_z = mR^2,$$

где R — радиус обруча (цилиндра);

в) диска радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска,

$$J_z = \frac{1}{2} mR^2.$$

Проекция на ось z момента импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси z ,

$$L_z = J_z \omega,$$

где ω — угловая скорость тела.

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

$$J_z \omega = const,$$

где J_z — момент инерции системы тел относительно оси z ; ω — угловая скорость вращения тел системы вокруг оси z .

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z ,

$$T = \frac{1}{2} J_z \omega^2, \text{ или } T = \frac{L_z^2}{2J_z}.$$

Контрольная работа 1

Вариант	Номера задач							
0	110	120	130	140	150	160	170	180
1	101	111	121	131	141	151	161	171
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

101. Когда тело, брошенное вертикально вверх со скоростью $V_0 = 4$ м/с, достигает верхнего положения полета, то из того же начального пункта, с той же начальной скоростью V_0 вертикально вверх бросают второе тело. На каком расстоянии h от начального пункта встретятся тела? Сопротивлением воздуха пренебречь.

102. Известно что, материальная точка движется прямолинейно с ускорением $a = 5$ м/с². Определить, на сколько путь, который точка пройдет в n -ю секунду, будет больше пути, пройденного в предыдущую секунду. Принять $V_0 = 0$.

103. Две машины едут по дорогам, угол между которыми $\alpha = 60^\circ$. Скорость первой и второй машины $V_1 = 54$ км/ч и $V_2 = 72$ км/ч соответственно. С какой скоростью V удаляются машины одна от другой?

104. Материальная точка перемещается прямолинейно с начальной скоростью $V_0 = 10$ м/с и постоянным ускорением $a = -5$ м/с². Определить, во сколько раз путь ΔS , пройденный материальной точкой, будет больше модуля ее перемещения Δr спустя $t = 4$ с после начала отсчета времени.

105. Велосипедист двигался из одного пункта в другой. Первую треть пути он преодолел со скоростью $V_1 = 18$ км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью $V_2 = 22$ км/ч, после чего до конечного пункта он шел пешком со скоростью $V_3 = 5$ км/ч. Определить среднюю скорость велосипедиста.

106. Тело бросили под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью $V_0 = 30$ м/с. Определить каким будут нормальное a_n и тангенциальное a_t ускорения тела через время $t = 1$ с после начала движения?

107. Известно что, материальная точка перемещается по окружности с постоянной угловой скоростью $\omega = \pi/6$ рад/с. Во сколько раз путь ΔS , который пройдет точка за время $T = 4$ с, будет больше модуля ее перемещения Δr ? Принять, что в момент начала отсчета времени радиус-вектор r , задающий положение точки на окружности, относительно исходного положения был под углом $\varphi_0 = \pi/3$ рад.
108. Материальная точка перемещается в плоскости xu согласно уравнениям $x=A_1+B_1t+C_1t^2$ и $y=A_2+B_2t+C_2t^2$, где $B_1 = 7$ м/с, $C_1 = -2$ м/с², $B_2 = -1$ м/с, $C_2 = 0,2$ м/с². Найти модули скорости и ускорения точки в момент времени $t = 5$ с.
109. По краю равномерно вращающейся с угловой скоростью $\omega = 1$ рад/с платформы движется человек и обходит платформу за время $t = 9,9$ с. Каково наибольшее ускорение a движения человека относительно Земли? Принять радиус платформы $R = 2$ м.
110. Точка перемещается по окружности радиусом $R = 30$ см с постоянным угловым ускорением ε . Определить тангенциальное ускорение a_t точки, если известно, что за время $T = 4$ с она совершила три оборота и в конце третьего оборота ее нормальное ускорение $a_n = 2,7$ м/с².
111. При горизонтальном полете со скоростью $V = 250$ м/с снаряд массой $M = 8$ кг разорвался на две части. Большая часть массой $m_1 = 6$ кг получила скорость $V_1 = 400$ м/с в направлении полета снаряда. Найти направление и модуль скорости V_2 меньшей части снаряда.
112. С тележки, которая свободно едет по горизонтальному пути со скоростью $V_0 = 3$ м/с, в сторону, противоположную движению тележки, прыгнул человек, после чего скорость тележки изменилась и стала равной $V_2 = 4$ м/с. Найти горизонтальную составляющую скорости V_1 человека при прыжке относительно тележки. Масса тележки $M = 210$ кг, масса человека $m = 70$ кг.
113. Орудие жестко закрепили на железнодорожной платформе и сделали выстрел вдоль железнодорожного полотна под углом $\alpha = 30^\circ$ к линии горизонта. Найти с какой скоростью V_2 откатится платформа, если снаряд вылетел со скоростью $V_1 = 480$ м/с. Масса платформы вместе с орудием и снарядами $M = 18$ т, масса снаряда $m = 60$ кг.
114. Человек, масса которого $m = 70$ кг, бежит со скоростью $V_1 = 9$ км/ч, и догоняет тележку массой $M = 190$ кг, движущуюся со скоростью $V_2 = 3,6$ км/ч, и запрыгивает на нее. С какой скоростью будет двигаться тележка с человеком? С какой скоростью будет ехать тележка с человеком, если человек до прыжка бежал навстречу тележке?
115. Конькобежец стоит на коньках на льду и бросает камень массой $m = 2,5$ кг под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью $V_1 = 10$ м/с. Найти начальную скорость V_2 движения конькобежца, если масса его $M = 60$ кг? Перемещением конькобежца во время броска пренебречь.

116. На полу находится тележка в виде длинной доски, снабженной легкими колесами. На одном конце доски стоит человек. Масса его $m = 60$ кг, масса доски $M = 20$ кг. С какой скоростью (относительно пола) будет двигаться тележка, если человек пойдет вдоль нее со скоростью (относительно доски) $V_1 = 1$ м/с? Массой колес и трением можно пренебречь.
117. Снаряд, летевший со скоростью $V = 400$ м/с, в верхнем положении траектории разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 40% от массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью $V_2 = 150$ м/с. Найти скорость V_1 большего осколка.
118. Две одинаковые лодки, массы которых $M = 200$ кг каждая (вместе с человеком и грузами, находящимися в лодках) плывут параллельными курсами навстречу друг другу с одинаковыми скоростями $V = 1$ м/с. Когда лодки поравнялись, то с первой лодки на вторую и со второй на первую одновременно перебрасывают грузы массами $m = 20$ кг. Определить скорости V_1 и V_2 лодок после перебрасывания грузов.
119. На сколько изменится положение относительно берега лодки длиной $L = 3,5$ м и массой $M = 200$ кг, если человек, стоящий на корме, массой $m = 80$ кг перейдет на нос лодки? (Считать лодку расположенной перпендикулярно берегу)
120. Лодка, длина и масса которой $L = 3$ м, $M = 120$ кг соответственно, стоит на спокойной воде. На носу и корме стоят два рыбака массами $m_1 = 60$ кг и $m_2 = 90$ кг. На сколько сдвинется лодка относительно воды, если рыбаки поменяются местами?
121. В висящий на нити длиной $L = 1,8$ м деревянный шар массой $m_2 = 0,8$ кг попадает горизонтально летящая пуля массой $m_1 = 4$ г. Найти с какой скоростью летела пуля, если нить с шаром и застрявшей в нем пулей сместилась от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$? Размером шара можно пренебречь. Удар считать прямым, центральным.
122. По небольшому куску мягкого железа, лежащему на наковальне массой $m_2 = 300$ кг, бьет молот массой $m_1 = 8$ кг. Определить К.П.Д. η удара, если удар неупругий. Полезной считать энергию, пошедшую на деформацию куска железа.
123. Шар, масса которого $m = 1$ кг, прямолинейно катится со скоростью $V_0 = 4$ м/с и соударяется с шаром массой $M = 2$ кг, движущимся навстречу ему со скоростью $V = 3$ м/с. Найти скорости V_1 и V_2 шаров после такого удара? Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
124. Шар, масса которого $m = 3$ кг, прямолинейно катится со скоростью $V_0 = 2$ м/с и соударяется с покоящимся шаром массой $M = 5$ кг. Найти работу совершенную при деформации этих шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.
125. Найти К.П.Д. η неупругого удара бойка массой $m_1 = 0,5$ т, падающего на балку массой $m_2 = 120$ кг. Полезной считать энергию, затраченную на вбивание сваи.

126. Шар массой $m = 4$ кг движется со скоростью $V_0 = 5$ м/с и сталкивается с шаром массой $M = 6$ кг, который движется ему навстречу со скоростью $V = 2$ м/с. Определить скорости V_1 и V_2 шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
127. Из ствола автоматического пистолета вылетела пуля массой $m_1 = 10$ г со скоростью $V = 300$ м/с. Затвор пистолета массой $m_2 = 200$ г прижимается к стволу пружиной, жесткость которой $k = 25$ кН/м. На какое расстояние отойдет затвор после выстрела? Считать, что пистолет жестко закреплен.
128. Шар массой $m = 5$ кг движется со скоростью $V_0 = 1$ м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой $M = 2$ кг. Определить скорости V_1 и V_2 шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
129. Из орудия, не имеющего противооткатного устройства, производилась стрельба в горизонтальном направлении. Когда орудие было неподвижно закреплено, снаряд вылетел со скоростью $V_1 = 600$ м/с, а когда орудю дали возможность свободно откатываться назад, снаряд вылетел со скоростью $V_2 = 580$ м/с. С какой скоростью откатилось при этом орудие?
130. Шар массой $m = 2$ кг сталкивается с покоящимся шаром большей массы и при этом теряет 40% кинетической энергии. Определить массу M большего шара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
131. Определить работу растяжения двух соединенных последовательно пружин жесткостями $k_1 = 400$ Н/м и $k_2 = 250$ Н/м, если первая пружина при этом растянулась на $\Delta x_1 = 2$ см.
132. Из шахты глубиной $H = 600$ м поднимают клеть массой $m_1 = 3,0$ т на канате, каждый метр которого имеет массу $m_2 = 1,5$ кг. Какая работа A совершается при поднятии клетки на поверхность Земли? Каков коэффициент полезного действия η подъемного устройства?
133. Пружина жесткостью 500 Н/м сжата силой 100 Н. Определить работу внешней силы, дополнительно сжимающей эту, пружину еще на 2 см.
134. Две пружины жесткостью $k_1 = 0,5$ кН/м и $k_2 = 1$ кН/м скреплены параллельно. Определить потенциальную энергию Π данной системы при абсолютной деформации $\Delta x = 4$ см.
135. Какую нужно совершить работу A , чтобы пружину жесткостью $k = 800$ Н/м, сжатую на $x_1 = 6$ см, дополнительно сжать на $\Delta x = 8$ см?
136. Если на верхний конец вертикально расположенной спиральной пружины положить груз, то пружина сожмется на $\Delta l = 3$ мм. На сколько сожмет пружину тот же груз, упавший на конец пружины с высоты $h = 8$ см?
137. Из пружинного пистолета с пружиной жесткостью $k = 150$ Н/м был произведен выстрел пулей массой $m = 8$ г. Определить скорость V пули при вылете ее из пистолета, если пружина была сжата на $\Delta x = 4$ см.

138. Налетев на пружинный буфер, вагон массой $m = 16$ т, двигавшийся со скоростью $V = 0,6$ м/с, остановился, сжав пружину на $\Delta x = 8$ см. Найти общую жесткость k пружин буфера.
139. Цепь длиной $L = 2$ м лежит на столе, одним концом свисая со стола. Если длина свешивающейся части превышает $1/3L$, то цепь соскальзывает со стола. Определить скорость V цепи в момент ее отрыва от стола.
140. Какая работа A должна быть совершена при поднятии с земли материалов для постройки цилиндрической дымоходной трубы высотой $H = 40$ м, наружным диаметром $D = 3,0$ м и внутренним диаметром $d = 2,0$ м? Плотность материала ρ принять равной $2,8 \times 10^3$ кг/м³.
141. Шарик массой $m = 60$ г, привязанный к концу нити длиной $L_1 = 1,2$ м, вращается с частотой $\nu_1 = 2$ с⁻¹, опираясь на горизонтальную плоскость. Нить укорачивается, приближая шарик к оси до расстояния $L_2 = 0,6$ м. С какой частотой ν_2 будет при этом вращаться шарик? Какую работу A совершает внешняя сила, укорачивая нить? Трением шарика о плоскость пренебречь.
142. По касательной к шкиву маховика в виде диска диаметром $D = 75$ см и массой $m = 40$ кг приложена сила $F = 1$ кН. Определить угловое ускорение ε и частоту вращения ν маховика через время $t = 10$ с после начала действия силы, если радиус R шкива равен 12 см. Силой трения пренебречь.
143. На обод маховика диаметром $D = 60$ см намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 2$ кг. Определить момент инерции J маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время $t = 3$ с приобрел угловую скорость $\omega = 9$ рад/с.
144. Нить с привязанными к ее концам грузами массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 60$ г перекинута через блок диаметром $D = 4$ см. Определить момент инерции J блока, если под действием силы тяжести грузов он получил угловое ускорение $\varepsilon = 1,5$ рад/с². Трением и проскальзыванием нити по блоку пренебречь.
145. Стержень вращается вокруг оси, проходящей через его середину, согласно уравнению $\varphi = At + Bt^3$, где $A = 2$ рад/с, $B = 0,2$ рад/с³. Определить вращающий момент M , действующий на стержень через время $T = 2$ с после начала вращения, если момент инерции стержня $J = 0,048$ кг·м².
146. По горизонтальной плоскости катится диск со скоростью $V = 8$ м/с. Определить коэффициент сопротивления, если диск, будучи предоставленным самому себе, остановился, пройдя путь $S = 18$ м.
147. Определить момент силы M , который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой $\nu_0 = 12$ с⁻¹, чтобы он остановился в течение времени $T = 8$ с. Диаметр блока $D = 30$ см. Массу блока $m = 6$ кг считать равномерно распределенной по ободу.
148. Блок, имеющий форму диска массой $m = 0,4$ кг, вращается под действием силы натяжения нити, к концам которой подвешены грузы массами $m_1 = 0,3$ кг и $m_2 = 0,7$ кг. Определить силы натяжения T_1 и T_2 нити по обе стороны блока.

149. К краю стола прикреплен блок. Через блок перекинута невесомая и нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы. Один груз движется по поверхности стола, а другой вдоль вертикали вниз. Определить коэффициент μ трения между поверхностями груза и стола, если массы каждого груза и масса блока одинаковы и грузы движутся с ускорением $a = 0,56 \text{ м/с}^2$. Проскальзыванием нити по блоку и силой трения, действующей на блок, пренебречь.

150. К концам легкой и нерастяжимой нити, перекинутой через блок, подвешены грузы массами $m_1 = 0,2 \text{ кг}$ и $m_2 = 0,3 \text{ кг}$. Во сколько раз отличаются силы, действующие на нить по обе стороны от блока, если масса блока $m = 0,4 \text{ кг}$, а его ось движется вертикально вверх с ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$? Силами трения и проскальзывания нити по блоку пренебречь.

151. На скамье Жуковского сидит человек и держит на вытянутых руках гири массой $m = 5 \text{ кг}$ каждая. Расстояние от каждой гири до оси скамьи $L_1 = 70 \text{ см}$. Скамья вращается с частотой $\nu_1 = 1 \text{ с}^{-1}$. Как изменится частота вращения скамьи и какую работу A произведет человек, если он сожмет руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до $L_2 = 20 \text{ см}$? Момент инерции человека и скамьи (вместе) относительно оси $J = 2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

152. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руках стержень вертикально по оси скамьи. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью $\omega = 4 \text{ рад/с}$. С какой угловой скоростью ω_1 будет вращаться скамья с человеком, если повернуть стержень так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамьи $J = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Длина стержня $L = 1,8 \text{ м}$, масса $m = 6 \text{ кг}$. Считать, что центр масс стержня с человеком находится на оси платформы.

153. Платформа в виде диска диаметром $D = 3 \text{ м}$ и массой $m_1 = 180 \text{ кг}$ может вращаться вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если по ее краю пойдет человек массой $m_2 = 70 \text{ кг}$ со скоростью $V = 1,8 \text{ м/с}$ относительно платформы?

154. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек. На какой угол φ повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя ее, вернется в исходную (на платформе) точку? Масса платформы $m_1 = 280 \text{ кг}$, масса человека $m_2 = 80 \text{ кг}$.

155. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руке за ось велосипедное колесо, вращающееся вокруг своей оси с угловой скоростью $\omega = 25 \text{ рад/с}$. Ось колеса расположена вертикально и совпадает с осью скамьи Жуковского. С какой скоростью ω_1 станет вращаться скамья, если повернуть колесо вокруг горизонтальной оси на угол $\varphi = 90^\circ$? Момент инерции человека и скамьи J равен $2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, момент инерции колеса $J_0 = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

156. Однородный стержень длиной $L = 1,0 \text{ м}$ может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. В другой конец абсолютно не упруго ударяет пуля массой $m_1 = 7 \text{ г}$, летящая перпендикулярно стержню и его оси. Определить массу m_2 стержня, если в результате попадания пули он отклонится на угол $\alpha = 60^\circ$. Принять скорость пули $V_1 = 360 \text{ м/с}$.

157. На краю платформы в виде диска, вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $\nu_2 = 8 \text{ мин}^{-1}$, стоит человек массой $m = 70 \text{ кг}$. Когда человек перешел в центр платформы, она стала вращаться с частотой $\nu_1 = 10 \text{ мин}^{-1}$. Определить массу M платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
158. На краю неподвижной скамьи Жуковского диаметром $D = 0,8 \text{ м}$ и массой $m_1 = 6 \text{ кг}$ стоит человек массой $m_2 = 60 \text{ кг}$. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамья, если человек поймает летящий на него мяч массой $m = 0,5 \text{ кг}$? Траектория мяча горизонтальна и проходит на расстоянии $R = 0,4 \text{ м}$ от оси скамьи. Скорость мяча $V = 5 \text{ м/с}$.
159. Горизонтальная платформа массой $M = 150 \text{ кг}$ вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, с частотой $\nu_2 = 8 \text{ мин}^{-1}$. Человек массой $m = 70 \text{ кг}$ стоит при этом на краю платформы. С какой угловой скоростью ω_1 начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу круглым, однородным диском, а человека — материальной точкой.
160. Однородный стержень длиной $L = 1,0 \text{ м}$ и массой $m_2 = 0,7 \text{ кг}$ подвешен на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. В точку, отстоящую от оси на $2/3L$, абсолютно упруго ударяет пуля массой $m_1 = 5 \text{ г}$, летящая перпендикулярно стержню и его оси. После удара стержень отклонился на угол $\alpha = 60^\circ$. Определить скорость пули.
161. Определить напряженность G гравитационного поля на высоте $h = 1000 \text{ км}$ над поверхностью Земли. Считать известными ускорение g свободного падения у поверхности Земли и ее радиус R .
162. Какая работа A будет совершена силами гравитационного поля при падении на Землю тела массой $m = 2 \text{ кг}$: 1) с высоты $h = 1000 \text{ км}$; 2) из бесконечности?
163. Из бесконечности на поверхность Земли падает метеорит массой $m = 30 \text{ кг}$. Определить работу A , которая при этом будет совершена силами гравитационного поля Земли. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R считать известными.
164. С поверхности Земли вертикально вверх пущена ракета со скоростью $V = 5 \text{ км/с}$. На какую высоту она поднимется?
165. По круговой орбите вокруг Земли обращается спутник с периодом $T = 90 \text{ мин}$. Определить высоту спутника. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R_3 считать известными.
166. На каком расстоянии от центра Земли находится точка, в которой напряженность суммарного гравитационного поля Земли и Луны равна нулю? Принять, что масса Земли в 81 раз больше массы Луны и что расстояние от центра Земли до центра Луны равно 60 радиусам Земли.

167. Спутник обращается вокруг Земли по круговой орбите на высоте $r = 520$ км. Определить период обращения спутника. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R_3 считать известными.
168. Определить линейную и угловую скорости спутника Земли, обращающегося по круговой орбите на высоте $r = 1000$ км. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R_3 считать известными.
169. Какова масса Земли, если известно, что Луна в течение года совершает 13 обращений вокруг Земли и расстояние от Земли до Луны равно $3,84 \times 10^8$ м?
170. Во сколько раз средняя плотность земного вещества отличается от средней плотности лунного? Принять, что радиус R_3 Земли в 3,9 раз больше радиуса R_4 Луны и вес тела на Луне в 6 раз меньше веса тела на Земле.
171. На стержне длиной $l = 30$ см укреплены два одинаковых грузика: один — в середине стержня, другой — на одном из его концов. Стержень с грузами колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину L_0 и период T простых гармонических колебаний данного физического маятника. Массой стержня пренебречь.
172. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых $x = A_1 \times \sin \omega_1 \times t$ и $y = A_2 \times \cos \omega_2 \times t$, где $A_1 = 8$ см, $A_2 = 4$ см, $\omega_1 = \omega_2 = 2$ с⁻¹. Написать уравнение траектории и построить ее. Показать направление движения точки.
173. Точка совершает простые гармонические колебания, уравнение которых $x = A \times \sin \omega \times t$, где $A = 5$ см, $\omega = 2$ с⁻¹. В момент времени, когда точка обладала потенциальной энергией $E_p = 0,1$ мДж, на нее действовала возвращающая сила $F = 5$ мН. Найти этот момент времени T .
174. Определить частоту ν простых гармонических колебаний диска радиусом $R = 20$ см около горизонтальной оси, проходящей через середину радиуса диска перпендикулярно его плоскости.
175. Определить период гармонических колебаний диска радиусом 40 см около горизонтальной оси, проходящей через образующую диска.
176. Определить период T колебаний математического маятника, если его модуль максимального перемещения $\Delta r = 18$ см и максимальная скорость $V_{\max} = 16$ см/с.
177. Материальная точка совершает простые гармонические колебания так, что в начальный момент времени смещение $x_0 = 4$ см, а скорость $V_0 = 10$ см/с. Определить амплитуду A и начальную фазу φ_0 колебаний, если их период $T = 2$ с.
178. Складываются два колебания одинакового направления и одинакового периода: $x_1 = A_1 \times \sin \omega_1 \times t$ и $x_2 = A_2 \times \sin \omega_2 \times (t + \tau)$, где $A_1 = A_2 = 3$ см, $\omega_1 = \omega_2 = \pi$ с⁻¹, $\tau = 0,5$ с. Определить амплитуду A и начальную фазу φ_0 результирующего колебания. Написать его уравнение. Построить векторную диаграмму для момента времени $t = 0$.

179. На гладком горизонтальном столе лежит шар массой $m_2 = 200$ г, прикрепленный к горизонтально расположенной легкой пружине с жесткостью $k = 500$ Н/м. В шар попадает пуля массой $m_1 = 10$ г, летящая со скоростью $V = 300$ м/с, и застревает в нем. Пренебрегая перемещением шара во время удара и сопротивлением воздуха, определить амплитуду A и период T колебаний шара.

180. Шарик массой $m = 60$ г колеблется с периодом $T = 2$ с. В начальный момент времени смещение шарика $x_0 = 4,0$ см и он обладает энергией $E = 0,02$ Дж. Записать уравнение простого гармонического колебания шарика и закон изменения возвращающей силы с течением времени.

2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

Основные формулы

Количество вещества* тела (системы)

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

где N — число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т.п.), составляющих тело (систему); N_A — постоянная Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

Молярная масса вещества

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

где m — масса однородного тела (системы); ν — количество вещества этого тела.

Относительная молекулярная масса вещества

$$M_r = \sum n_i A_{r,i},$$

где n_i — число атомов i -го химического элемента, входящих в состав молекулы данного вещества; $A_{r,i}$ — относительная атомная масса этого элемента. Относительные атомные массы приводятся в таблице Д. И. Менделеева. См. также табл. 14 Приложения.

Связь молярной массы M с относительной молекулярной массой вещества

$$M = M_r k,$$

где $k = 10^{-3}$ кг/моль.

Количество вещества смеси газов

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_n}{N_A}, \text{ или } \nu = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n},$$

где ν_i, N_i, m_i, M_i — соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса i -го компонента смеси.

Уравнение Менделеева — Клапейрона (уравнение состояния идеального газа)

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

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

* Количество вещества — число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т. п.), содержащихся в теле или системе. Количество вещества выражается в молях. Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнения Менделеева — Клапейрона для изопроцессов:

а) закон Бойля — Мариотта (изотермический процесс: $T = const, m = const$)

$$pV = const,$$

или для двух состояний газа

$$p_1V_1 = p_2V_2;$$

б) закон Гей-Люссака (изобарный процесс: $p = const, m = const$)

$$\frac{V}{T} = const,$$

или для двух состояний

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2};$$

в) закон Шарля (изохорный процесс: $v = const, m = const$)

$$\frac{p}{T} = const,$$

или для двух состояний

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2};$$

г) объединенный газовый закон ($m = const$)

$$\frac{pV}{T} = const, \text{ или } \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2},$$

где p_1, V_1, T_1 — давление, объем и температура газа в начальном состоянии; p_2, V_2, T_2 — те же величины в конечном состоянии.

Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов,

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n,$$

где p_i — парциальные давления компонентов смеси; n — число компонентов смеси.

Парциальным давлением называется давление газа, которое производил бы этот газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью.

Молярная масса смеси газов

$$M = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n},$$

где m_i — масса i -го компонента смеси; $\nu_i = \frac{m_i}{M_i}$ — количество вещества i -го компонента смеси; n — число компонентов смеси.

Массовая доля i -го компонента смеси газа (в долях единицы или процентах)

$$\omega_i = \frac{m_i}{m},$$

где m — масса смеси.

Концентрация молекул

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \rho}{M},$$

где N — число молекул, содержащихся в данной системе; ρ — плотность вещества; V — объем системы. Формула справедлива не только для газов, но и для любого агрегатного состояния вещества.

Основное уравнение кинетической теории газов

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_n \rangle,$$

где $\langle \varepsilon_n \rangle$ — средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где k — постоянная Больцмана.

Средняя полная кинетическая энергия молекулы

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

где i — число степеней свободы молекулы.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT.$$

Скорость молекул:

$$\langle v_{KB} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_1}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \text{ — средняя квадратичная;}$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_1}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \text{ — средняя арифметическая;}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_1}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \text{ — наиболее вероятная,}$$

где m_i — масса одной молекулы.

Относительная скорость молекулы

$$u = \frac{v}{v_B},$$

где v — скорость данной молекулы.

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

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

Связь между удельной c и молярной C теплоемкостями

$$c = C / M, \quad C = cM.$$

Уравнение Майера

$$C_p - C_v = R.$$

Внутренняя энергия идеального газа

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

Первое начало термодинамики

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

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

Работа расширения газа:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \text{ в общем случае;}$$

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

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

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

при адиабатном процессе, где $\gamma = c_p / c_v$ — показатель адиабаты.

Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатном процессе:

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

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

Термический КПД цикла

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

где Q_1 — теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика; Q_2 — теплота, переданная рабочим телом теплоприемнику.

Термический КПД цикла Карно

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

где T_1 и T_2 — термодинамические температуры теплоотдатчика и теплоприемника.

Коэффициент поверхностного натяжения

$$\alpha = \frac{F}{l}, \text{ или } \alpha = \frac{\Delta E}{\Delta S},$$

где F — сила поверхностного натяжения, действующая на контур l , ограничивающий поверхность жидкости; ΔE — изменение свободной энергии поверхностной пленки жидкости, связанное с изменением площади ΔS поверхности этой пленки.

Формула Лапласа, выражающая давление p , создаваемое сферической поверхностью жидкости:

$$p = \frac{2\alpha}{R},$$

где R — радиус сферической поверхности.

Высота подъема жидкости в капиллярной трубке

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g R},$$

где θ — краевой угол ($\theta = 0$ при полном смачивании стенок трубки жидкостью; $\theta = \pi$ при полном несмачивании); R — радиус канала трубки; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг другу плоскостями

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g d},$$

где d — расстояние между плоскостями.

Контрольная работа 2

Вариант	Номера задач							
0	210	220	230	240	250	260	270	280
1	201	211	221	231	241	251	261	271
2	202	212	222	232	242	252	262	272
3	203	213	223	233	243	253	263	273
4	204	214	224	234	244	254	264	274
5	205	215	225	235	245	255	265	275
6	206	216	226	236	246	256	266	276
7	207	217	227	237	247	257	267	277
8	208	218	228	238	248	258	268	278
9	209	219	229	239	249	259	269	279

201. Определить количество вещества ν и число N молекул кислорода массой $m = 0,5\text{кг}$.
202. Сколько атомов содержится в ртути: 1) количеством вещества $\nu = 0,2\text{моль}$; 2) массой $m = 1\text{ г}$?
203. Вода при температуре $t = 4^\circ\text{C}$ занимает объем $V = 1\text{см}^3$. Определить количество вещества ν и число N молекул воды.
204. Найти молярную массу M и массу m одной молекулы поваренной соли.
205. Определить массу m одной молекулы углекислого газа.
206. Определить концентрацию n молекул кислорода, находящегося в сосуде объемом $V = 2\text{ л}$. Количество вещества кислорода равно $\nu = 0,2\text{ моль}$.
207. Определить количество вещества ν водорода, заполняющего сосуд объемом $V = 3\text{ л}$, если концентрация молекул газа в сосуде $n = 2 \cdot 10^{18}\text{ м}^{-3}$.
208. В баллоне объемом $V = 3\text{ л}$ содержится кислород массой $m = 10\text{ г}$. Определить концентрацию n молекул газа.
209. Определить относительную молекулярную массу M_r : 1) воды; 2) углекислого газа; 3) поваренной соли.

210. Определить количество вещества ν и число N молекул азота массой $m = 0,2$ кг.
211. В цилиндр длиной $L = 1,6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении P_1 , начали медленно вдвигать поршень площадью основания $S = 200$ см². Определить силу F , действующую на поршень, если его остановить на расстоянии $L_2 = 10$ см от дна цилиндра.
212. В баллоне находится газ при температуре $T_1 = 400$ К. До какой температуры T_2 надо нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в 1,5 раза.
213. Баллон вместимостью $V = 20$ л заполнен азотом при температуре $T = 400$ К. Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta P = 200$ кПа. Определить массу m израсходованного газа. Процесс считать изотермическим.
214. В баллоне вместимостью $V = 15$ л находится аргон под давлением $P_1 = 600$ кПа и при температуре $T_1 = 300$ К. Когда из баллона было взято некоторое количество газа, давление в баллоне понизилось до $P_2 = 400$ кПа, а температура установилась $T_2 = 260$ К. Определить массу m аргона, взятого из баллона.
215. Два сосуда одинакового объема содержат кислород. В одном сосуде давление $P_1 = 2$ МПа и температура $T_1 = 800$ К, в другом $P_2 = 2,5$ МПа, $T_2 = 200$ К. Сосуды соединили трубкой и охладили находящийся в них кислород до температуры $T = 200$ К. Определить установившееся в сосудах давление P .
216. Вычислить плотность ρ азота, находящегося в баллоне под давлением $P = 2$ МПа и имеющего температуру $T = 400$ К.
217. Определить относительную молекулярную массу M_r газа, если при температуре $T = 154$ К и давлении $P = 2,8$ МПа он имеет плотность $\rho = 6,1$ кг/м³.
218. Найти плотность ρ азота при температуре $T = 400$ К и давлении $P = 2$ МПа.
219. В сосуде объемом $V = 40$ л находится кислород при температуре $T = 300$ К. Когда часть кислорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p = 100$ кПа. Определить массу m израсходованного кислорода. Процесс считать изотермическим.
220. Определить плотность ρ водяного пара, находящегося под давлением $P = 2,5$ кПа и имеющего температуру $T = 250$ К.
221. Определить внутреннюю энергию U водорода, а также среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon \rangle$ молекулы этого газа при температуре $T = 300$ К, если количество вещества ν этого газа равно $0,5$ моль.
222. Определить суммарную кинетическую энергию E_k поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде вместимостью $V = 3$ л под давлением $P = 540$ кПа.

223. Количество вещества гелия $\nu = 1,5$ моль, температура $T = 120$ К. Определить суммарную кинетическую энергию E_k поступательного движения всех молекул этого газа.
224. Молярная внутренняя энергия U_m некоторого двухатомного газа равна $6,02$ кДж/моль. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon_{вр} \rangle$ вращательного движения одной молекулы этого газа. Газ считать идеальным.
225. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon_{кин} \rangle$ одной молекулы водяного пара при температуре $T = 500$ К.
226. Определить среднюю квадратичную скорость $V_{кв}$ молекулы газа, заключенного в сосуд вместимостью $V = 2$ л под давлением $P = 200$ кПа. Масса газа $m = 0,3$ г.
227. Водород находится при температуре $T = 300$ К. Найти среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon_{вр} \rangle$ вращательного движения одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию E_k всех молекул этого газа; количество водорода $\nu = 0,5$ моль.
228. При какой температуре средняя кинетическая энергия $\langle \epsilon_{кин} \rangle$ поступательного движения молекулы газа равна $4,14 \cdot 10^{-21}$ Дж?
229. В азоте взвешены мельчайшие пылинки, которые движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Масса каждой пылинки равна $6 \cdot 10^{-10}$ г. Газ находится при температуре $T = 400$ К. Определить средние квадратичные скорости, а также средние кинетические энергии $\langle \epsilon_{кин} \rangle$ поступательного движения молекулы азота и пылинки.
230. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon_{кин} \rangle$ поступательного движения и $\langle \epsilon_{вр} \rangle$ вращательного движения молекулы азота при температуре $T = 1$ кК. Определить также полную кинетическую энергию E_k молекулы при тех же условиях.
231. Определить молярную массу M двухатомного газа и его удельные теплоемкости, если известно, что разность $c_p - c_v$ удельных теплоемкостей этого газа равна 260 Дж/(кг·К).
232. Найти удельные c_p и c_v , а также молярные C_p и C_v теплоемкости углекислого газа.
233. Определить показатель адиабаты γ идеального газа, который при температуре $T = 350$ К и давлении $P = 0,4$ МПа занимает объем $V = 300$ л и имеет теплоемкость $C_v = 857$ Дж/К.
234. В сосуде вместимостью $V = 6$ л находится при нормальных условиях двухатомный газ. Определить теплоемкость C_v этого газа при постоянном объеме.
235. Определить относительную молекулярную массу Mr и молярную массу газа M , если разность его удельных теплоемкостей $c_p - c_v = 2,08$ кДж/(кг·К).

236. Определить молярные теплоемкости газа, если его удельные теплоемкости $c_v = 10,4$ кДж/(кг·К) и $c_p = 14,6$ кДж/(кг·К).
237. Найти удельные c_p и c_v , а также молярные C_p и C_v теплоемкости азота и гелия.
238. Вычислить удельные теплоемкости газа, зная, что его молярная масса $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль и отношение теплоемкостей $C_p/C_v = 1,67$.
239. Трехатомный газ под давлением $P = 240$ кПа и температуре $T = 20^\circ\text{C}$ занимает объем $V = 10$ л. Определить теплоемкость C_p этого газа при постоянном давлении.
240. Одноатомный газ при нормальных условиях занимает объем $V = 5$ л. Вычислить теплоемкость C_v этого газа при постоянном объеме.
241. Найти среднее число столкновений $\langle z \rangle$ за время $t = 1$ с и длину свободного пробега молекулы $\langle l \rangle$ гелия, если газ находится под давлением $P = 2$ кПа при температуре $T = 200$ К.
242. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекулы азота в сосуде вместимостью $V = 5$ л. Масса газа $m = 0,5$ г.
243. Водород находится под давлением $P = 20$ мкПа и имеет температуру $T = 300$ К. Определить среднюю длину свободного пробега молекулы такого газа.
244. При нормальных условиях длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекулы водорода равна $0,160$ мкм. Определить диаметр d молекулы водорода.
245. Какова средняя арифметическая скорость молекул $\langle v \rangle$ кислорода при нормальных условиях, если известно, что средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекулы кислорода при этих условиях равна 100 нм?
246. Кислород находится под давлением $P = 133$ нПа при температуре $T = 200$ К. Вычислить среднее число столкновений молекулы кислорода при этих условиях за время $t = 1$ с.
247. При каком давлении P средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул азота равна 1 м, если температура газа $T = 10^\circ\text{C}$?
248. В сосуде вместимостью $V = 5$ л находится водород массой $m = 0,5$ г. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекулы водорода в этом сосуде.
249. Средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекулы водорода при некоторых условиях равна 2 мм. Найти плотность ρ водорода при этих условиях.
250. В сферической колбе вместимостью $V = 3$ л, содержащей азот, создан вакуум с давлением $P = 80$ мкПа. Температура газа $T = 250$ К. Можно ли считать вакуум в колбе высоким?

251. Определить количество теплоты Q , которое надо сообщить кислороду объемом $V = 50$ л при его изохорном нагревании, чтобы давление газа повысилось на $\Delta P = 0,5$ МПа.
252. При изотермическом расширении азота при температуре $T = 280$ К объем его увеличился в два раза. Определить 1) совершенную при расширении газа работу A ; 2) изменение ΔU внутренней энергии; 3) количество теплоты Q , полученное газом. Масса азота $m = 0,2$ кг.
253. При адиабатном сжатии давление воздуха было увеличено от $P_1 = 50$ кПа до $P_2 = 0,5$ МПа. Затем при неизменном объеме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление P_3 газа в конце процесса.
254. Кислород массой $m = 200$ г занимает объем $V_1 = 100$ л и находится под давлением $P_1 = 200$ кПа. При нагревании газ расширяют в условиях постоянного давления до объема $V_2 = 300$ л, а затем его давление увеличивают до $P_2 = 500$ кПа при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии газа ΔU , совершенную газом работу A и теплоту Q , переданную газу. Построить график процесса.
255. Объем водорода при изотермическом расширении при температуре $T = 300$ К увеличился в $n = 3$ раза. Определить работу A , совершенную газом, и теплоту Q , полученную при этом. Масса m водорода равна 200 г.
256. Азот массой $m = 0,1$ кг был изобарно нагрет от температуры $T_1 = 200$ К до $T_2 = 400$ К. Определить работу A , совершенную газом, полученную им теплоту Q и изменение ΔU внутренней энергии азота.
257. Во сколько раз увеличится объем водорода, содержащий количество вещества $\nu = 0,4$ моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит теплоту $Q = 800$ Дж? Температура водорода $T = 300$ К.
258. Какая работа A совершается при изотермическом расширении водорода массой $m = 5$ г, взятого при температуре $T = 290$ К, если объем газа увеличивается в три раза?
259. Какая доля ω_1 количества теплоты Q , подводимого к идеальному двухатомному газу при изобарном процессе, расходуется на увеличение ΔU внутренней энергии газа и какая доля ω_2 — на работу A расширения? Рассмотреть три случая, если газ: 1) одноатомный; 2) двухатомный; 3) трехатомный.
260. Определить работу A , которую совершит азот, если ему при постоянном давлении сообщить количество теплоты $Q = 21$ кДж. Найти также изменение ΔU внутренней энергии.
261. Идеальный газ совершает цикл Карно при температурах теплоприемника $T_2 = 290$ К и теплоотдатчика $T_1 = 400$ К. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия η цикла, если температура теплоотдатчика возрастет до $T_1' = 600$ К?

262. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 теплоотдатчика в четыре раза ($n = 4$) больше температуры теплоприемника. Какую долю ω количества теплоты, полученного за один цикл от теплоотдатчика, газ отдаст теплоприемнику?
263. Определить работу A_{34} изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого $\eta = 0,4$, если работа изотермического расширения равна $A_{12} = 8$ Дж.
264. Газ, совершающий цикл Карно, отдал теплоприемнику теплоту $Q_2 = 14$ кДж. Определить температуру T_1 теплоотдатчика, если при температуре теплоприемника $T_2 = 280$ К работа цикла $A = 6$ кДж.
265. Газ, являясь рабочим веществом в цикле Карно, получил от теплоотдатчика теплоту $Q_1 = 4,38$ кДж и совершил работу $A = 2,4$ кДж. Определить температуру теплоотдатчика, если температура теплоприемника $T_2 = 273$ К.
266. Газ, совершающий цикл Карно, отдал теплоприемнику 67% теплоты, полученной от теплоотдатчика. Определить температуру T_2 теплоприемника, если температура теплоотдатчика $T_1 = 430$ К.
267. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия η цикла Карно при повышении температуры теплоотдатчика от $T_1 = 380$ К до $T_1' = 560$ К? Температура теплоприемника $T_2 = 280$ К.
268. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Температура теплоотдатчика $T_1 = 500$ К, температура теплоприемника $T_2 = 250$ К. Определить термически КПД η цикла, а также работу A_{12} рабочего вещества при изотермическом расширении, если при изотермическом сжатии совершена работа $A_{34} = 70$ Дж.
269. Газ, совершающий цикл Карно, получает теплоту $Q_1 = 84$ кДж. Определить работу A газа, если температура T_1 теплоотдатчика в три раза выше температуры T_2 теплоприемника.
270. В цикле Карно газ получил от теплоотдатчика теплоту $Q_1 = 500$ Дж и совершил работу $A = 100$ Дж. Температура теплоотдатчика $T_1 = 400$ К. Определить температуру T_2 теплоприемника.
271. Найти массу m воды, вошедшей в стеклянную трубку с диаметром канала $d = 0,8$ мм, опущенную в воду на малую глубину. Считать смачивание полным.
272. Какую работу A надо совершить при выдувании мыльного пузыря, чтобы увеличить его объём от $V_1 = 8$ см³ до $V_2 = 16$ см³? Считать процесс изотермическим.
273. Какая энергия E выделится при слиянии двух капель ртути диаметром $d_1 = 0,8$ мм и $d_2 = 1,2$ мм в одну каплю?
274. Определить давление p внутри воздушного пузырька диаметром $d = 4$ мм, находящегося в воде у самой ее поверхности. Считать атмосферное давление нормальным.

275. Пространство между двумя стеклянными параллельными пластинками с площадью поверхности $S = 100 \text{ см}^2$ каждая, расположенными на расстоянии $L = 20 \text{ мкм}$ друг от друга, заполнено водой. Определить силу F , прижимающую пластинки друг к другу. Считать мениск вогнутым с диаметром d , равным расстоянию между пластинками.
276. Глицерин поднялся в капиллярной трубке диаметром канала $d = 1 \text{ мм}$ на высоту $h = 20 \text{ мм}$. Определить поверхностное натяжение α глицерина. Смачивание считать полным.
277. В воду опущена на очень малую глубину стеклянная трубка с диаметром канала $d = 1 \text{ мм}$. Определить массу m воды, вошедшей в трубку.
278. На сколько давление p воздуха внутри мыльного пузыря больше нормального атмосферного давления p_0 , если диаметр пузыря $d = 5 \text{ мм}$?
279. Воздушный пузырек диаметром $d = 2,2 \text{ мкм}$ находится в воде у самой ее поверхности. Определить плотность ρ воздуха в пузырьке, если воздух над поверхностью воды находится при нормальных условиях.
280. Две капли ртути радиусом $R = 1,2 \text{ мм}$ каждая слились в одну большую каплю. Определить энергию E , которая выделится при этом слиянии. Считать процесс изотермическим.

3. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Основные формулы

Закон Кулона

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2},$$

где F — сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2 ; r — расстояние между зарядами; ϵ — диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 — электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля и потенциал

$$E = \frac{F}{Q}, \varphi = \frac{\Pi}{Q},$$

где Π — потенциальная энергия точечного положительного заряда Q , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда

$$F = QE, \Pi = Q\varphi.$$

Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей),

$$E = \sum_{i=0}^N E_i, \varphi = \sum_{i=0}^N \varphi_i,$$

где E_i, φ_i — напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого i -м зарядом.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом,

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}, \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r},$$

где r — расстояние от заряда Q до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

а) $E = 0, \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R}$ (при $r < R$);

б) $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R^2}, \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R}$ (при $r = R$);

в) $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}, \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r}$ (при $r > R$),

где Q — заряд сферы.

Линейная плотность заряда

$$\tau = Q / l.$$

Поверхностная плотность заряда

$$\sigma = Q / S.$$

Напряженность и потенциал поля, создаваемого распределенными зарядами. Если заряд равномерно распределен вдоль линии с линейной плотностью τ , то на линии выделяется малый участок длиной dl с зарядом $dQ = \tau dl$. Такой заряд можно рассматривать как точечный и применять формулы

$$dE = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{r}{r}; d\varphi = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

где r — радиус-вектор, направленный от выделенного элемента dl к точке, в которой вычисляется напряженность.

Используя принцип суперпозиции электрических полей, находим интегрированием напряженность E и потенциал φ поля, создаваемого распределенным зарядом:

$$E = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int \frac{dl}{r^2} \frac{r}{r}; d\varphi = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int \frac{dl}{r}.$$

Интегрирование ведется вдоль всей длины l заряженной линии.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной линией или бесконечно длинным цилиндром,

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

где r — расстояние от нити или оси цилиндра до точки, напряженность поля в которой определяется.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью,

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

Связь потенциала с напряженностью:

а) $E = -grad\varphi$, или $E = -\left(i \frac{\partial\varphi}{\partial x} + j \frac{\partial\varphi}{\partial y} + k \frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$ в общем случае;

б) $E = (\varphi_1 - \varphi_2) / d$ в случае однородного поля;

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

Электрический момент диполя

$$P = |Q|l,$$

где Q — заряд; l — плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному и численно равная расстоянию между зарядами).

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

$$A_{12} = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Емкость

$$C = Q / \varphi, \text{ или } C = Q / U,$$

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

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S / d,$$

где S — площадь пластины (одной) конденсатора; d — расстояние между пластинами.

Емкость батареи конденсаторов:

а) $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$, при последовательном соединении;

б) $C = \sum_{i=1}^N C_i$ при параллельном соединении,

где N — число конденсаторов в батарее.

Энергия заряженного конденсатора:

$$W = QU / 2, W = CU^2 / 2, W = Q^2 / (2C).$$

Сила постоянного тока

$$I = Q / t,$$

где Q — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

Плотность тока

$$j = I / S,$$

где S — площадь поперечного сечения проводника.

Связь плотности тока со средней скоростью $\langle v \rangle$ направленного движения заряженных частиц

$$j = Qn \langle v \rangle,$$

где Q — заряд частицы; n — концентрация заряженных частиц.

Закон Ома:

а) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$ для участка цепи, не содержащего ЭДС, где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ — разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи; R — сопротивление участка;

б) $I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \xi}{R}$ для участка цепи, содержащего ЭДС, где ξ — ЭДС источника тока; R — полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений);

в) $I = \frac{\xi}{R + R_i}$ для замкнутой (полной) цепи, где R — внешнее сопротивление цепи; R_i — внутреннее сопротивление цепи.

Законы Кирхгофа:

а) $\sum I_i = 0$ — первый закон;

б) $\sum I_i R_i = \sum \xi_i$ — второй закон,

где $\sum I_i$ — алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле; $\sum I_i R_i$ — алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков; $\sum \xi_i$ — алгебраическая сумма ЭДС.

Сопротивление R и проводимость G проводника

$$R = \rho l / S, G = \gamma S / l,$$

где ρ — удельное сопротивление; γ — удельная проводимость; l — длина проводника; S — площадь поперечного сечения проводника.

Сопротивление системы проводников:

а) $R = \sum R_i$ при последовательном соединении;

б) $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$ при параллельном соединении, где R_i — сопротивление i -го проводника.

Работа тока:

$$A = IUt, A = I^2 Rt, A = U^2 t / R..$$

Первая формула справедлива для любого участка цепи, на концах которого поддерживается напряжение U , последние две — для участка, не содержащего ЭДС.

Мощность тока:

$$P = IU, P = I^2 R, R = U^2 / R..$$

Закон Джоуля—Ленца

$$Q = I^2 Rt.$$

Закон Ома в дифференциальной форме

$$j = \gamma E,$$

где γ — удельная проводимость; E — напряженность электрического поля; j — плотность тока.

Связь удельной проводимости γ с подвижностью b заряженных частиц (ионов)

$$\gamma = Qn(b_+ + b_-),$$

где Q — заряд иона; n — концентрация ионов; b_+ и b_- — подвижности положительных и отрицательных ионов.

Контрольная работа 3

Вариант	Номера задач							
	0	310	320	330	340	350	360	370
1	301	311	321	331	341	351	361	371
2	302	312	322	332	342	352	362	372
3	303	313	323	333	343	353	363	373
4	304	314	324	334	344	354	364	374
5	305	315	325	335	345	355	365	375
6	306	316	326	336	346	356	366	376
7	307	317	327	337	347	357	367	377
8	308	318	328	338	348	358	368	378
9	309	319	329	339	349	359	369	379

301. Точечные заряды $q_1 = 20$ мкКл и $q_2 = -10$ мкКл находятся на расстоянии $R = 5$ см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на $L_1 = 3$ см от первого и $L_2 = 4$ см от второго заряда. Определить также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $q = 1$ мкКл.

302. Три одинаковых точечных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = 2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со сторонами $a = 10$ см. Определить модуль и направление силы F , действующей на один из зарядов со стороны двух других.

303. Два положительных точечных заряда $q_1 = Q$ и $q_2 = 9Q$ закреплены на расстоянии $L = 100$ см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещения зарядов возможны только вдоль прямой, проходящей через закрепленные заряды.

304. Два одинаково заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шарик погружают в масло. Какова плотность ρ_0 масла, если угол расхождения нитей при погружении в масло остается неизменным? Плотность материала шариков $\rho = 1,5 \times 10^3$ кг/м³, диэлектрическая проницаемость масла $\epsilon = 2,2$.

305. Четыре одинаковых заряда $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 40$ нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найти силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

306. Точечные заряды $q_1 = 30$ мкКл и $q_2 = -20$ мкКл находятся на расстоянии $R = 20$ см друг от друга. Определить напряженность электрического поля E в точке, удаленной от первого заряда на расстояние $L_1 = 30$ см, а от второго – на $L_2 = 15$ см.
307. В вершинах правильного треугольника со стороной $a = 10$ см находятся заряды $q_1 = 10$ мкКл, $q_2 = -20$ мкКл и $q_3 = 30$ мкКл. Определить силу F , действующую на заряд q_1 со стороны двух других зарядов.
308. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 8 \times 10^{-10}$ Кл. Какой отрицательный заряд Q нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?
309. На расстоянии $a = 20$ см находятся два точечных заряда: $q_1 = -50$ нКл и $q_2 = 100$ нКл. Определить силу F , действующую на заряд $q_3 = -10$ нКл, удаленный от обоих зарядов на одинаковое расстояние, равное a .
310. Расстояние L между двумя точечными зарядами $q_1 = 2$ нКл и $q_2 = 4$ нКл равно 60 см. Определить точку, в которую нужно поместить третий заряд q так, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Определить заряд q и его знак. Устойчивое или неустойчивое будет равновесие?
311. Тонкий стержень длиной $L = 20$ см несет равномерно распределенный заряд $Q = 0,1$ мкКл. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от его конца.
312. По тонкому полукольцу радиуса $r = 10$ см равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 1$ мкКл/м. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке O , совпадающей с центром кольца.
313. Тонкое кольцо несет распределенный заряд $Q = 0,2$ мкКл. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , равноудаленной от всех точек кольца на расстояние $R = 20$ см. Радиус кольца $r = 10$ см.
314. Треть тонкого кольца радиуса $r = 10$ см несет распределенный заряд $Q = 50$ нКл. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке O , совпадающей с центром кольца.
315. Бесконечный тонкий стержень, ограниченный с одной стороны, несет равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\rho = 0,5$ мкКл/м. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от его начала.
316. По тонкому кольцу радиусом $r = 20$ см равномерно распределен с линейной плотностью $\tau = 0,2$ мкКл/м заряд. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , находящейся на оси кольца на расстоянии $h = 2R$ от его центра.

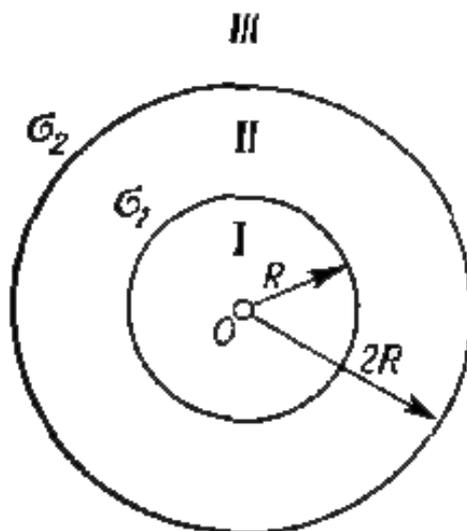
317. По тонкому полукольцу равномерно распределен заряд $Q = 20$ мкКл с линейной плотностью $\tau = 0,1$ мкКл/м. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке O , совпадающей с центром кольца.

318. Четверть тонкого кольца радиусом $r = 10$ см несет равномерно распределенный заряд $Q = 0,05$ мкКл. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке O , совпадающей с центром кольца.

319. По тонкому кольцу равномерно распределен заряд $Q = 10$ нКл с линейной плотностью $\tau = 0,01$ мкКл/м. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , лежащей на оси кольца и удаленной от его центра на расстояние, равное радиусу кольца.

320. Две трети тонкого кольца радиусом $r = 10$ см несут равномерно распределенный с линейной плотностью $\tau = 0,2$ мкКл/м заряд. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке O , совпадающей с центром кольца.

321. На двух concentрических сферах радиусом R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса, найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 30$ нКл/м², $r = 1,5R$; 3) построить график $E(x)$.

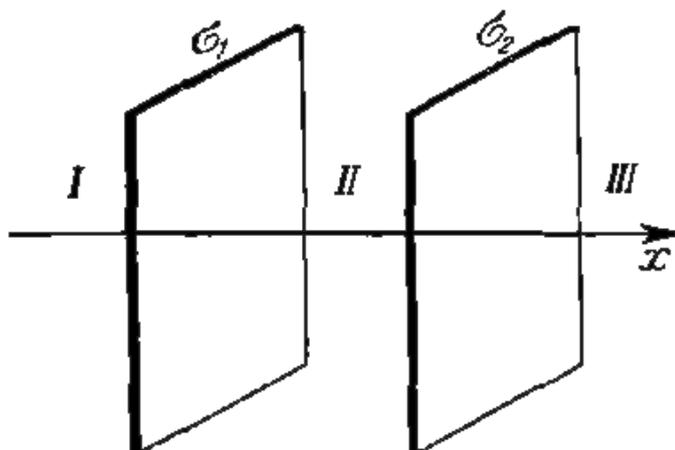


322. На двух concentрических сферах радиусом R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса, найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -\sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 0,1$ мкКл/м², $r = 3R$; 3) построить график $E(x)$.

323. На двух concentрических сферах радиусом R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса, найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = -4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 50$ нКл/м², $r = 1,5R$; 3) построить график $E(x)$.

324. На двух concentрических сферах радиусом R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса, найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = -2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 0,1$ мкКл/м², $r = 3R$; 3) построить график $E(x)$.

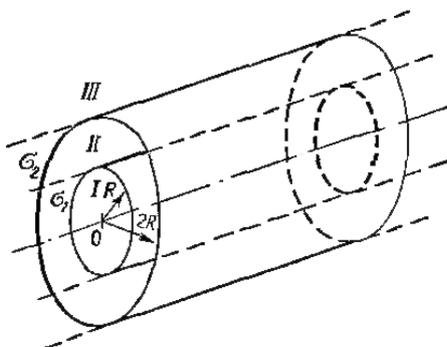
325. На двух бесконечных параллельных плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса и принцип суперпозиции электрических полей, найти выражение $E(x)$ напряженности электрического поля в трех областях: I, II и III. Принять $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; 2) вычислить напряженность E поля в точке, расположенной слева от плоскостей, и указать направление вектора E ; 3) построить график $E(x)$.



326. На двух бесконечных параллельных плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса и принцип суперпозиции электрических полей, найти выражение $E(x)$ напряженности электрического поля в трех областях: I, II и III. Принять $\sigma_1 = -4\sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma$; $\sigma = 40$ нКл/м²; 2) вычислить напряженность E поля в точке, расположенной между плоскостями, и указать направление вектора E ; 3) построить график $E(x)$.

327. На двух бесконечных параллельных плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса и принцип суперпозиции электрических полей, найти выражение $E(x)$ напряженности электрического поля в трех областях: I, II и III. Принять $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -2\sigma$; $\sigma = 20$ нКл/м²; 2) вычислить напряженность E поля в точке, расположенной между плоскостями, и указать направление вектора E ; 3) построить график $E(x)$.

328. На двух коаксиальных бесконечных цилиндрах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса: найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = -2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от оси цилиндров на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 50$ нКл/м², $r = 1,5R$; 3) построить график $E(x)$.

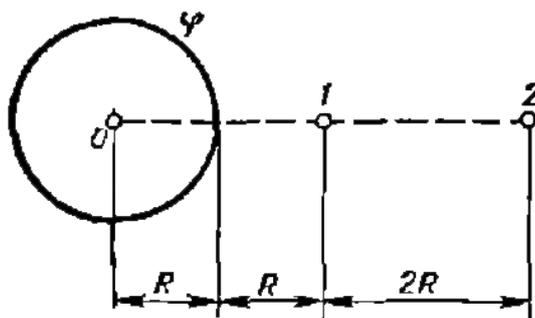


329. На двух коаксиальных бесконечных цилиндрах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса: найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -\sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от оси цилиндров на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 60$ нКл/м², $r = 3R$; 3) построить график $E(x)$.

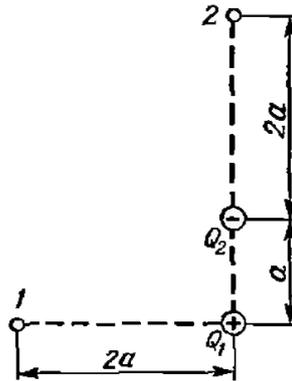
330. На двух коаксиальных бесконечных цилиндрах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 . Требуется: 1) используя теорему Остроградского—Гаусса: найти зависимость $E(x)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I, II и III. Принять $\sigma_1 = -\sigma$, $\sigma_2 = 4\sigma$; 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от оси цилиндров на расстояние r , и указать направление вектора E . Принять $\sigma = 30$ нКл/м², $r = 4R$; 3) построить график $E(x)$.

331. Два точечных заряда $q_1 = 6$ нКл и $q_2 = 3$ нКл находятся на расстоянии $r_1 = 60$ см друг от друга. Какую работу необходимо совершить внешним силам, чтобы уменьшить расстояние между зарядами вдвое?

332. Электрическое поле создано заряженным проводящим шаром, потенциал которого $\varphi = 300$ В. Определить работу сил поля по перемещению заряда $q = 0,2$ мкКл из точки 1 в точку 2, как показано на рисунке.



333. Электрическое поле создано зарядами $q_1 = 2$ мкКл и $q_2 = -2$ мкКл, находящимися на расстоянии $a = 10$ см друг от друга, определить работу сил поля, совершаемую при перемещении заряда $q = 0,5$ мкКл из точки 1 в точку 2.



334. Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности заряда которых $\sigma_1 = 2$ мкКл/м² и $\sigma_2 = -0,8$ мкКл/м², находятся на расстоянии $d = 0,6$ см друг от друга. Определить разность потенциалов U между плоскостями.

335. Диполь с электрическим моментом $p = 100$ пКл×м свободно установился в свободном электрическом поле напряженностью $E = 200$ кВ/м. Определить работу внешних сил, которую необходимо совершить для поворота диполя на угол $\alpha = 180^\circ$.

336. Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала $\varphi = 10$ В, сливаются в одну. Каков потенциал образовавшейся капли?

337. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $r = 10$ см. Он равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 800$ нКл/м. Определить потенциал в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $h = 10$ см от его центра.

338. Поле образовано точечным диполем с электрическим моментом $P = 200$ пКл×м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, расположенных симметрично относительно диполя на его оси на расстоянии $R = 40$ см от центра диполя.

339. Электрическое поле образовано бесконечно длинной нитью, заряженной с линейной плотностью $\tau = 20$ пКл/м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $R_1 = 8$ см и $R_2 = 12$ см.

340. Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда $\tau = 200$ пКл/м. Определить потенциал φ поля в точке пересечения диагоналей.

341. Пылинка массой $m = 200$ мкг, несущая на себе заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U = 200$ В пылинка имела скорость $V_2 = 10$ м/с. Определить скорость пылинки до того, как она влетела в поле.

342. Электрон, обладавший кинетической энергией $T = 10$ эВ, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $U = 8$ В?

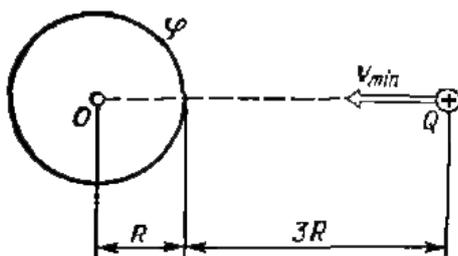
343. Найти отношение скоростей ионов Cu^{++} и Na^+ , прошедших одинаковую разность потенциалов.

344. Электрон с энергией $T = 400$ эВ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10$ см. Определить минимальное расстояние, на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд ее $Q = -10$ нКл.

345. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость $V = 10^5$ м/с. Расстояние между пластинами $d = 8$ мм. Найти: 1) разность потенциалов между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах.

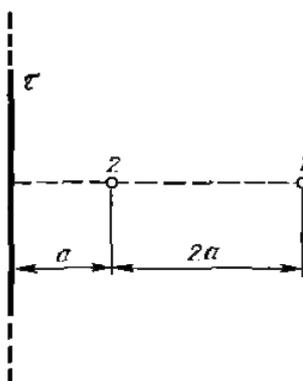
346. Пылинка массой $m = 5$ нг, несущая на себе $N = 10$ электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ МВ. Какова кинетическая энергия пылинки? Какую скорость приобрела пылинка?

347. Какой минимальной скоростью V_{min} должен обладать протон, чтобы он мог достигнуть поверхности заряженного до потенциала $\varphi_0 = 400$ В металлического шара.



348. В однородное электрическое поле напряженностью $E = 200$ В/м влетает (вдоль силовой линии) электрон со скоростью $V_0 = 2$ Мм/с. Определить расстояние L , которое пройдет электрон до точки, в которой его скорость будет равна половине начальной.

349. Электрическое поле создано бесконечной заряженной прямой линией с равномерно распределенным зарядом ($\tau = 10$ нКл/м). Определить кинетическую энергию T_2 электрона в точке 2, если в точке 1 его кинетическая энергия $T_1 = 200$ эВ.



350. Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 100$ В электрон имел скорость $V_1 = 6$ Мм/с. Определить потенциал φ_2 точки поля, дойдя до которой электрон потеряет половину своей скорости.
351. Конденсаторы емкостью $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 10$ мкФ заряжены до напряжений $U_1 = 60$ В и $U_2 = 100$ В соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими одноименные заряды.
352. Конденсатор емкостью $C_1 = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 10$ В. Определить заряд на обкладках этого конденсатора после того, как параллельно ему был подключен другой, незаряженный, конденсатор емкостью $C_2 = 20$ мкФ.
353. Конденсаторы емкостями $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 15$ мкФ и $C_3 = 10$ мкФ соединены последовательно и находятся под напряжением $U = 850$ В. Определить напряжение и заряд на каждом из конденсаторов.
354. Два конденсатора емкостями $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 5$ мкФ заряжены до напряжений $U_1 = 100$ В и $U_2 = 150$ В соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими разноименные заряды.
355. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью $C = 100$ пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определить, на сколько изменится емкость C батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином.
356. Два конденсатора емкостью $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с э.д.с. $\varepsilon = 80$ В. Определить заряд Q_1 и Q_2 каждого из конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.
357. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом $R = 10$ см каждая. Расстояние между пластинами $d = 2$ мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения $U = 80$ В. Определить заряд и напряженность поля конденсатора, если диэлектриком будут: а) воздух; б) стекло.
358. Два металлических шарика радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 10$ см имеют заряды $Q_1 = 40$ нКл и $Q_2 = -20$ нКл соответственно. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.
359. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков: слоем стекла толщиной $d_1 = 0,2$ см и слоем парафина толщиной $d_2 = 0,3$ см. Разность потенциалов между обкладками $U = 300$ В. Определить напряженность поля и падение потенциала в каждом из слоев.
360. Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 200$ см² каждая заряжен до разности потенциалов $U = 2$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 2$ см. Диэлектрик – стекло. Определить энергию W поля конденсатора и плотность ω энергии поля.

361. Катушка и амперметр соединены последовательно и присоединены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4$ кОм. Амперметр показывает $I = 0,3$ А, вольтметр $U = 120$ В. Определить сопротивление катушки. Сколько процентов составит ошибка, если при определении сопротивления катушки не будет учтено сопротивление вольтметра?
362. ЭДС батареи $\varepsilon = 80$ В, внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определить силу тока в цепи, напряжение, под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление.
363. От батареи, э. д. с. которой $\varepsilon = 600$ В, требуется передать энергию на расстояние $L = 1$ км. Потребляемая мощность $P = 5$ кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов $d = 0,5$ см.
364. При внешнем сопротивлении $R_1 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,8$ А, при сопротивлении $R_2 = 15$ Ом сила тока $I_2 = 0,5$ А. Определить силу тока короткого замыкания источника э. д. с.
365. Э. д. с. батареи $\varepsilon = 24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{\text{макс}} = 10$ А. Определить максимальную мощность $P_{\text{макс}}$, которая может выделяться во внешней цепи.
366. Аккумулятор с ЭДС $\varepsilon = 12$ В заряжается от сети постоянного тока с напряжением $U = 15$ В. Определить напряжение на клеммах аккумулятора, если его внутреннее сопротивление $R = 10$ Ом.
367. От источника с напряжением $U = 800$ В необходимо передать потребителю мощность $P = 10$ кВт на некоторое расстояние. Какое наибольшее сопротивление может иметь линия передачи, чтобы потери энергии в ней не превышали 10% от передаваемой мощности?
368. При включении электромотора в сеть с напряжением $U = 220$ В он потребляет ток $I = 5$ А. Определить мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление R обмотки мотора равно 6 Ом.
369. В сеть с напряжением $U = 100$ В включили катушку с сопротивлением $R_1 = 2$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определить сопротивление другой катушки.
370. ЭДС батареи $\varepsilon = 12$ В. При силе тока $I = 4$ А к. п. д. батареи $\eta = 0,6$. Определить внутреннее сопротивление r батареи.
371. За время $T = 20$ с при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике сопротивлением $R = 5$ Ом выделилось количество теплоты $Q = 4$ кДж. Определить скорость нарастания силы тока, если сопротивление проводника $R = 5$ Ом.
372. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-at}$, где $I_0 = 20$ А, а $a = 10^2$ с⁻¹. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике за время $T = 10^{-2}$ с.

373. Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 10$ Ом за время $T = 50$ с равномерно нарастает от $I_1 = 5$ А до $I_2 = 10$ А. Определить количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.
374. В проводнике за время $T = 10$ с при равномерном возрастании силы тока от $I_1 = 1$ А до $I_2 = 2$ А выделилось количество теплоты $Q = 5$ кДж. Найти сопротивление R проводника.
375. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 \sin \omega t$. Найти заряд Q , проходящий через поперечное сечение проводника за время t , равное половине периода T , если начальная сила тока $I_0 = 10$ А, циклическая частота $\omega = 50\pi$ с⁻¹.
376. За время $T = 10$ с при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике выделилось количество теплоты $Q = 40$ кДж. Определить среднюю силу тока $\langle I \rangle$ в проводнике, если его сопротивление $R = 25$ Ом.
377. За время $T = 8$ с при равномерно возрастающей силе тока в проводнике сопротивлением $R = 8$ Ом выделилось количество теплоты $Q = 500$ Дж. Определить заряд q , проходящий в проводнике, если сила тока в начальный момент времени равна нулю.
378. Определить количество теплоты Q , выделившееся за время $T = 10$ с в проводнике сопротивлением $R = 10$ Ом, если сила тока в нем, равномерно уменьшаясь, изменилась от $I_1 = 10$ А до $I_2 = 0$.
379. Сила тока в цепи изменяется по закону $I = I_0 \sin \omega t$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R = 10$ Ом за время, равное четверти периода от $t_1 = 0$ до $t_2 = T/4$, где $T = 10$ с.
380. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-at}$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R = 20$ Ом за время, в течение которого ток уменьшится в e раз. Коэффициент a принять равным 2×10^{-2} с⁻¹.

4. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Основные формулы

Связь магнитной индукции B с напряженностью H магнитного поля

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

где μ — магнитная проницаемость изотропной среды; μ_0 — магнитная постоянная. В вакууме $\mu = 1$, и тогда магнитная индукция в вакууме

$$B = \mu_0 H.$$

Закон Био—Савара—Лапласа

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} dlr \frac{I}{r^3} \text{ или } dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl,$$

где dB — магнитная индукция поля, создаваемого элементом провода длиной dl с током I ; r — радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция; α — угол между радиусом-вектором и направлением тока в элементе провода.

Магнитная индукция в центре кругового тока

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

где R — радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока

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

где h — расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

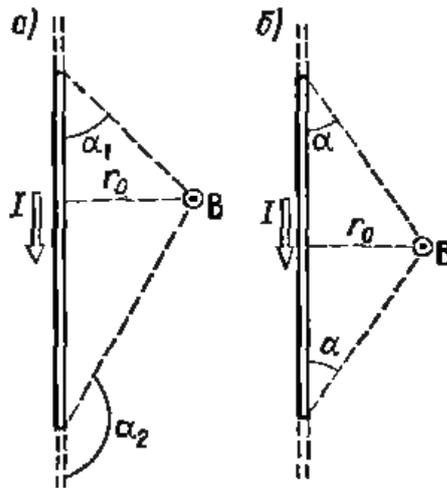
Магнитная индукция поля прямого тока

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

где r_0 — расстояние от оси провода до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рисунок, а),

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



Обозначения ясны из рисунка. Направление вектора магнитной индукции B обозначено точкой — это значит, что B направлен перпендикулярно плоскости чертежа к нам.

При симметричном расположении концов провода относительно точки, в которой определяется магнитная индукция (рисунок, б), $-\cos \alpha_2 = \cos \alpha_1 = \cos \alpha$, тогда

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0} \cos \alpha.$$

Магнитная индукция поля соленоида

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

где n — отношение числа витков соленоида к его длине.

Сила, действующая на провод с током в магнитном поле (закон Ампера),

$$F = I l B, \text{ или } F = I l B \sin \alpha,$$

где l — длина провода; α — угол между направлением тока в проводе и вектором магнитной индукции B . Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка провода. Если поле неоднородно и провод не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу провода в отдельности:

$$dF = I dl B.$$

Магнитный момент плоского контура с током

$$p_m = nIS,$$

где n — единичный вектор нормали (положительной) к плоскости контура; I — сила тока, протекающего по контуру; S — площадь контура.

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

$$M = p_m B, \text{ или } M = p_m B \sin \alpha,$$

где α — угол между векторами p_m и B .

Потенциальная энергия (механическая) контура с током в магнитном поле

$$\Pi_{\text{мех}} = -p_m B, \text{ или } \Pi_{\text{мех}} = -p_m B \cos \alpha.$$

Отношение магнитного момента p_m механическому L (моменту импульса) заряженной частицы, движущейся по крутой орбите,

$$\frac{p_m}{L} = \frac{1}{2} \frac{Q}{m},$$

где Q — заряд частицы; m — масса частицы.

Сила Лоренца

$$F = Q v B, \text{ или } F = Q v B \sin \alpha,$$

где v — скорость заряженной частицы; α — угол между векторами v и B .

Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS \cos \alpha, \text{ или } \Phi = B_n S,$$

где S — площадь контура; α — угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции;

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS$$

(интегрирование ведется по всей поверхности).

Потокоцепление (полный поток)

$$\Psi = N\Phi.$$

Эта формула верна для соленоида и тороида с равномерной намоткой плотно прилегающих друг к другу N витков.

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле

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

ЭДС индукции

$$\xi_i = - \frac{d\Psi}{dt}.$$

Разность потенциалов на концах провода, движущегося со скоростью v в магнитном поле,

$$U = Blv \sin \alpha,$$

где l — длина провода; α — угол между векторами v и B .

Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур,

$$Q = \Delta \Phi / R, \text{ или } Q = N \Delta \Phi / R = \Delta \Psi / R,$$

где R — сопротивление контура.

Индуктивность контура

$$L = \Phi / I.$$

ЭДС самоиндукции

$$\xi_s = -L \frac{dI}{dt}.$$

Индуктивность соленоида

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

где n — отношение числа витков соленоида к его длине; V — объем соленоида.

Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением R и индуктивностью L :

а) $I = \frac{\xi}{R} (1 - e^{-Rt/L})$ (при замыкании цепи), где ξ — ЭДС источника тока; t — время, прошедшее после замыкания цепи;

б) $I = I_0 e^{-Rt/L}$ (при размыкании цепи), где I_0 — сила тока в цепи при $t = 0$, t — время, прошедшее с момента размыкания цепи.

Энергия магнитного поля

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

Объемная плотность энергии магнитного поля (отношение энергии магнитного поля соленоида к его объему)

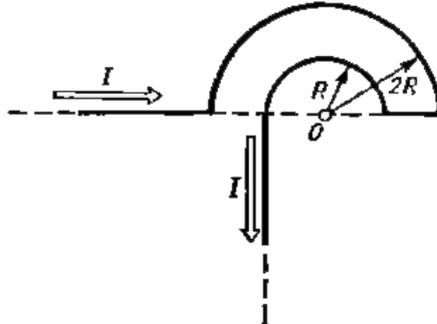
$$\omega = BH / 2, \text{ или } \omega = B^2 / (2\mu\mu_0), \text{ или } \omega = \mu\mu_0 H^2 / 2,$$

где B — магнитная индукция, H — напряженность магнитного поля.

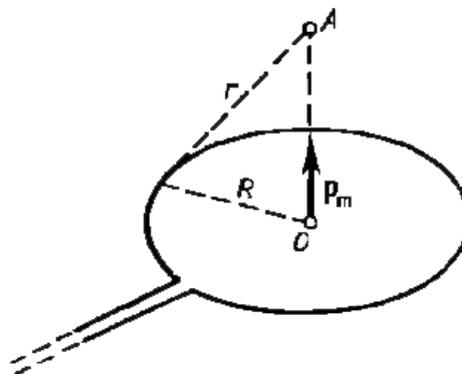
Контрольная работа 4

Вариант	Номера задач							
0	410	420	430	440	450	460	470	480
1	401	411	421	431	441	451	461	471
2	402	412	422	432	442	452	462	472
3	403	413	423	433	443	453	463	473
4	404	414	424	434	444	454	464	474
5	405	415	425	435	445	455	465	475
6	406	416	426	436	446	456	466	476
7	407	417	427	437	447	457	467	477
8	408	418	428	438	448	458	468	478
9	409	419	429	439	449	459	469	479

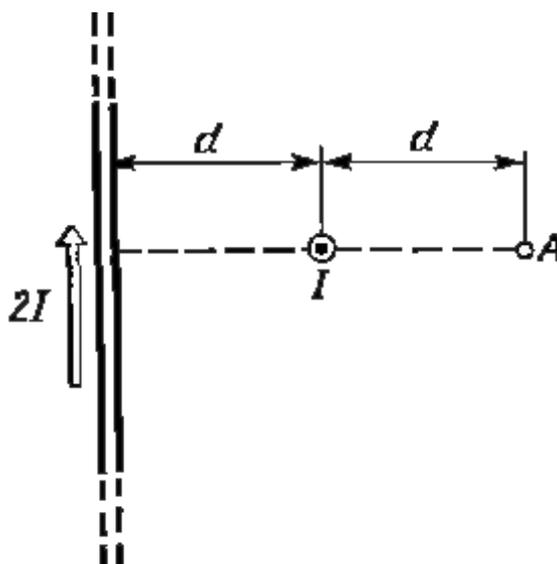
401. Бесконечно длинный провод с током $I = 100$ А изогнут так, как это показано на рисунке. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.



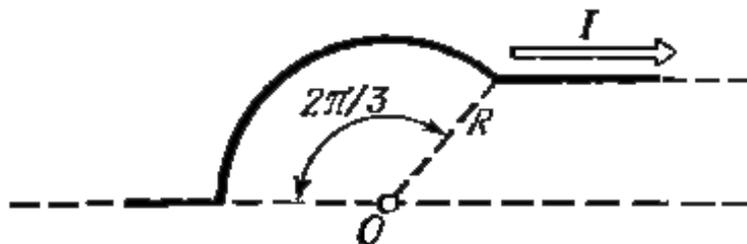
402. Магнитный момент P_m тонкого проводящего кольца $P_m = 5A \times m^2$. Определить магнитную индукцию B в точке A , находящейся на оси кольца и удаленной от точек кольца на расстояние $r = 20$ см.



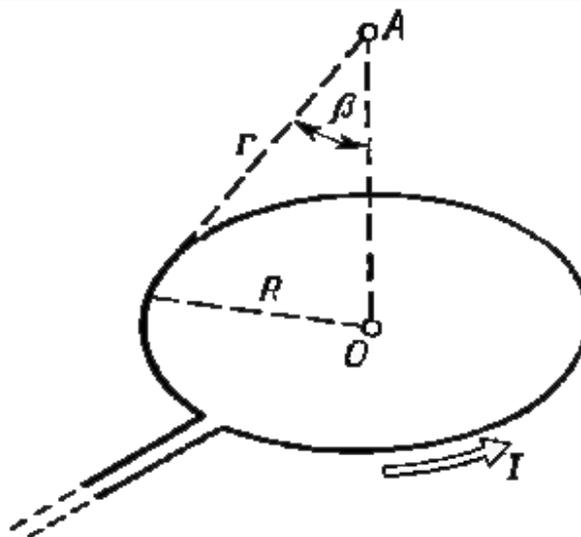
403. По двум скрещенным под прямым углом бесконечно длинным проводам текут токи I и $2I$ ($I = 100$ А). Определить магнитную индукцию B в точке A . Расстояние $d = 10$ см.



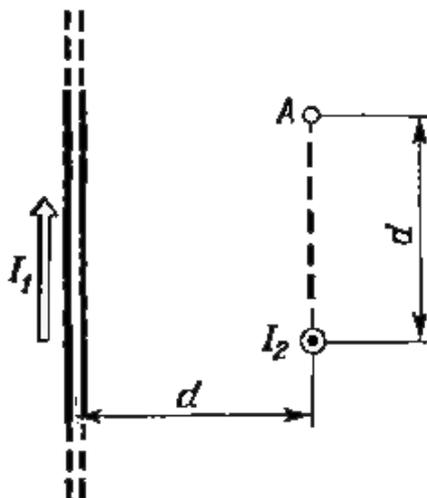
404. По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рисунке, течет ток $I = 200$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.



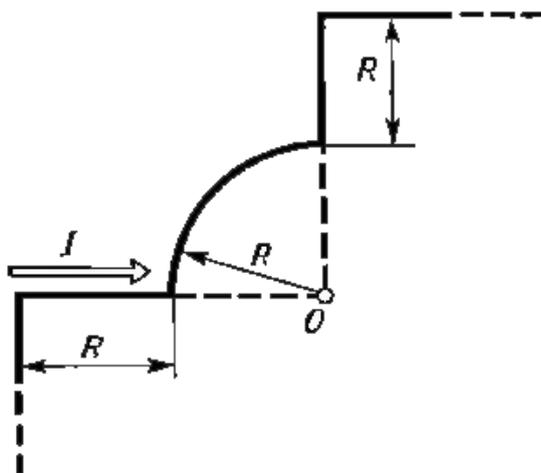
405. По тонкому кольцу радиусом $R = 20$ см течет ток $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B на оси кольца в точке A . Угол $\alpha = \pi/3$.



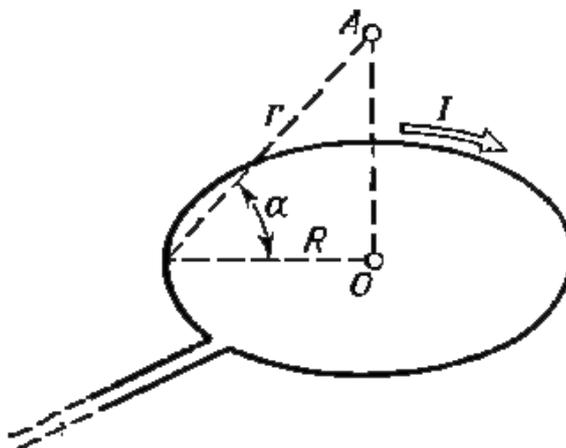
406. По двум бесконечно длинным проводам, скрещенным под прямым углом, текут токи I_1 и $I_2 = 2 \times I_1$ ($I_1 = 100$ А). Определить магнитную индукцию B в точке A , равноудаленной от проводов на расстояние $d = 10$ см.



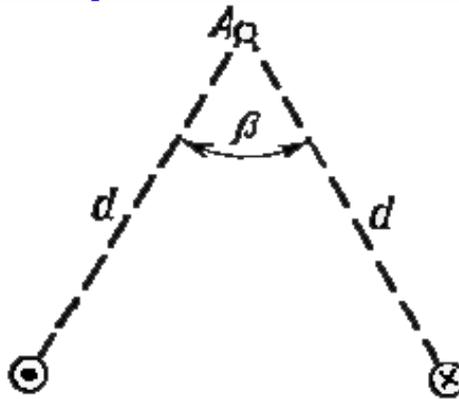
407. По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рисунке, течет ток $I = 200$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.



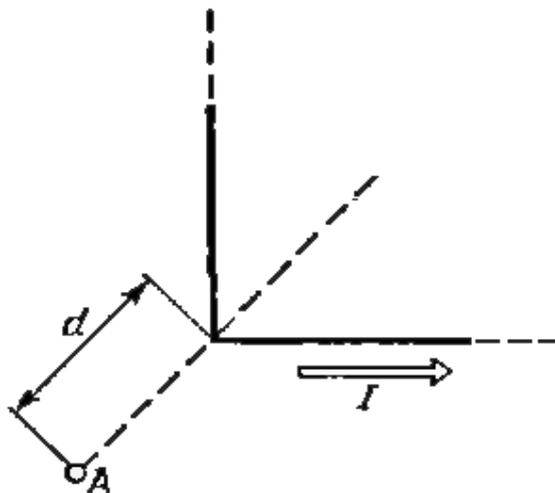
408. По тонкому кольцу течет ток $I = 80$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A , равноудаленной от точек кольца на расстояние $r = 10$ см. Угол $\beta = \pi/6$.



409. По двум бесконечно длинным, прямым параллельным проводам текут одинаковые токи $I = 60$ А. Определить магнитную индукцию B в точке B , равноудаленной от проводов на расстояние $L = 10$ см. Угол $\beta = \pi/3$.



410. Бесконечно длинный провод с током $I = 50$ А изогнут так, как это показано на рисунке. Определить магнитную индукцию B в точке A , лежащей на биссектрисе прямого угла на расстоянии $d = 10$ см от его вершины.



411. По двум параллельным проводам длиной $S = 3$ м каждый текут одинаковые токи $I = 500$ А. Расстояние L между проводами равно 10 см. Определить силу F взаимодействия проводов.

412. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $R = 20$ см друг от друга, текут одинаковые токи $I = 400$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

413. 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 $I = 200$ А. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном ее длине.

414. Короткая катушка площадью поперечного сечения $s = 250 \text{ см}^2$, содержащая $N = 500$ витков провода, по которому течет ток силой $I = 5 \text{ А}$, помещена в однородное магнитное поле напряженностью $H = 1000 \text{ А/м}$. Найти: 1) магнитный момент P_m катушки; 2) вращающий момент M , действующий на катушку со стороны поля, если ось катушки составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с линиями поля.
415. Тонкий провод длиной $L = 20 \text{ см}$ изогнут в виде полукольца и помещен в магнитное поле ($B = 10 \text{ мТл}$) так, что площадь полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. По проводу пропустили ток $I = 50 \text{ А}$. Определить силу F , действующую на провод. Подводящие провода направлены вдоль линий магнитной индукции.
416. Шины генератора длиной $S = 4 \text{ м}$ находятся на расстоянии $L = 10 \text{ см}$ друг от друга. Найти силу взаимного отталкивания шин при коротком замыкании, если ток $I_{кз}$ короткого замыкания равен 5 кА .
417. Квадратный контур со стороной $d = 10 \text{ см}$, по которому течет ток $I = 50 \text{ А}$, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 10 \text{ мТл}$). Определить изменение ΔW потенциальной энергии контура при повороте вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha = 180^\circ$.
418. Тонкое проводящее кольцо с током $I = 40 \text{ А}$ помещено в однородное магнитное поле ($B = 80 \text{ мТл}$). Плоскость кольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. Радиус R кольца равен 20 см . Найти силу F , растягивающую кольцо.
419. Квадратная рамка из тонкого провода может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из сторон. Масса m рамки равна 20 г . Рамку поместили в однородное магнитное поле ($B = 0,1 \text{ Тл}$), направленное вертикально вверх. Определить угол φ , на который отклонилась рамка от вертикали, когда по ней пропустили ток $I = 10 \text{ А}$.
420. По круговому витку радиусом $R = 5 \text{ см}$ течет ток $I = 20 \text{ А}$. Виток расположен в однородном магнитном поле ($B = 40 \text{ мТл}$) так, что нормаль к плоскости контура составляет угол $\theta = \pi/6$ с вектором B . Определить изменение ΔW потенциальной энергии контура при его повороте на угол $\varphi = \pi/2$ в направлении увеличения угла θ .
421. По тонкому кольцу радиусом $R = 10 \text{ см}$ равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 50 \text{ нКл/м}$. Кольцо вращается относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр, с частотой $\nu = 10 \text{ с}^{-1}$. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением кольца.
422. Диск радиусом $R = 8 \text{ см}$ несет равномерно распределенный по поверхности заряд $\sigma = 100 \text{ нКл/м}^2$. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением диска, относительно оси, проходящей через его центр и перпендикулярной плоскости диска. Угловая скорость вращения диска $\omega = 60 \text{ рад/с}$.

423. Стержень длиной $R = 20$ см заряжен равномерно распределенным зарядом с линейной плотностью $\tau = 0,2$ мкКл/м. Стержень вращается с частотой $\nu = 10$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением стержня.
424. Протон движется по окружности радиусом $R = 0,5$ см с линейной скоростью $V = 10^6$ м/с. Определить магнитный момент P_m , создаваемый эквивалентным круговым током.
425. Тонкое кольцо радиусом $R = 10$ см несет равномерно распределенный заряд $Q = 80$ нКл. Кольцо вращается с угловой скоростью $\omega = 50$ рад/с относительно оси, совпадающей с одним из диаметров кольца. Найти магнитный момент P_m , обусловленный вращением кольца.
426. Заряд $Q = 0,1$ мкКл равномерно распределен по стержню длиной $L = 50$ см. Стержень вращается с угловой скоростью $\omega = 20$ рад/с относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину. Найти магнитный момент P_m , обусловленный вращением стержня.
427. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра (протона) по окружности радиусом $r = 53$ пм. Определить магнитный момент μ эквивалентного кругового тока.
428. Сплошной цилиндр радиусом $R = 4$ см и высотой $H = 15$ см несет равномерно распределенный по объему заряд ($\rho = 0,1$ мкКл/м³). Цилиндр вращается с частотой $\nu = 10$ с⁻¹ относительно оси, совпадающей с его геометрической осью. Найти магнитный момент P_m цилиндра, обусловленный его вращением.
429. По поверхности диска радиусом $R = 15$ см равномерно распределен заряд $\sigma = 0,2$ мкКл. Диск вращается с угловой скоростью $\omega = 30$ рад/с относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением диска.
430. По тонкому стержню длиной $L = 40$ см равномерно распределен заряд $Q = 60$ нКл. Стержень вращается с частотой $\nu = 12$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через стержень на расстоянии $a = L/3$ от одного из его концов. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением, стержня.
431. Два иона разных масс с одинаковыми зарядами влетели в однородное магнитное поле, стали двигаться по окружностям радиусами $R_1 = 3$ см и $R_2 = 1,73$ см. Определить отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.
432. Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ и влетел перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное поле ($B = 0,5$ Тл). Определить относительную атомную массу A иона, если он описал окружность радиусом $R = 4,37$ см.

433. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 800$ В и, влетев в однородное магнитное поле $B = 47$ мТл, стал двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6$ см. Определить радиус R винтовой линии.
434. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и, попав в однородное магнитное поле, стала двигаться по винтовой линии радиусом $R = 1$ см и шагом $h = 4$ см. Определить магнитную индукцию B поля.
435. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 100$ В и, влетев в однородное магнитное поле ($B = 0,1$ Тл), стала двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6,5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определить отношение заряда частицы к ее массе.
436. Электрон влетел в однородное магнитное поле ($B = 200$ мТл) перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить силу эквивалентного кругового тока I , создаваемого движением электрона в магнитном поле.
437. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и влетел в однородное магнитное поле ($B = 20$ мТл) под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции. Определить шаг h и радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон в магнитном поле.
438. Альфа-частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов U , стала двигаться в однородном магнитном поле ($B = 50$ мТл) по винтовой линии с шагом $h = 5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определить ускоряющую разность потенциалов, которую прошла альфа-частица.
439. Ион с кинетической энергией $E = 1$ кэВ попал в однородное магнитное поле ($B = 21$ мТл) и стал двигаться по окружности. Определить магнитный момент P_m эквивалентного кругового тока.
440. Ион, попав в магнитное поле ($B = 0,01$ Тл), стал двигаться по окружности. Определить кинетическую энергию E (в эВ) иона, если магнитный момент P_m эквивалентного кругового тока равен $1,6 \times 10^{-14}$ А \times м².
441. Протон влетел в скрещенные под углом $\varphi = 120^\circ$ магнитное ($B = 50$ мТл) и электрическое ($E = 20$ кВ/м) поля. Определить ускорение a протона, если его скорость V ($|V| = 4 \times 10^5$ м/с) перпендикулярна векторам E и B .
442. Ион, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 645$ В, влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($B = 1,5$ мТл) и электрическое ($E = 200$ В/м) поля. Определить отношение заряда иона к его массе, если ион в этих полях движется прямолинейно.
443. Альфа-частица влетела в скрещенные под прямым углом магнитное ($B = 5$ мТл) и электрическое ($E = 30$ кВ/м) поля. Определить ускорение a альфа-частицы, если ее скорость V ($|V| = 2 \times 10^6$ м/с) перпендикулярна векторам B и E , причем силы, действующие со стороны этих полей, противоположны.

444. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 1,2$ кВ, попал в скрещенные под прямым углом однородные магнитное и электрическое поля. Определить напряженность E электрического поля, если магнитная индукция B поля равна 6 мТл.
445. Однородные магнитное ($B = 2,5$ мТл) и электрическое ($E = 10$ кВ/м) поля скрещены под прямым углом. Электрон, скорость V которого равна 4×10^6 м/с, влетает и эти поля так, что силы, действующие на него со стороны магнитного и электрического полей, сонаправлены. Определить ускорение a электрона.
446. Однозарядный ион лития массой $m = 7$ а. е. м. прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное и электрическое поля. Определить магнитную индукцию B поля, если траектория иона в скрещенных полях прямолинейна. Напряженность E электрического поля равна 2 кВ/м.
447. Альфа-частица, имеющая скорость $V = 2$ Мм/с, влетает под углом $\varphi = 30^\circ$ к сонаправленному магнитному ($B = 1$ мТл) и электрическому ($E = 1$ кВ/м) полям. Определить ускорение a альфа-частицы.
448. Протон прошел некоторую ускоряющую разность потенциалов U и влетел в скрещенные под прямым углом однородные поля: магнитное ($B = 5$ мТл) и электрическое ($E = 20$ кВ/м). Определить разность потенциалов U , если протон в скрещенных полях движется прямолинейно.
449. Магнитное ($B = 2$ мТл) и электрическое ($E = 1,6$ кВ/м) поля сонаправлены. Перпендикулярно векторам B и E влетает электрон со скоростью $V = 0,8$ Мм/с. Определить ускорение a электрона.
450. В скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($H = 1$ МА/м) и электрическое ($E = 50$ кВ/м) поля влетел ион. При какой скорости V иона (по модулю и направлению) он будет двигаться в скрещенных полях прямолинейно?
451. Плоский контур площадью $S = 20$ см² находится в однородном магнитном поле ($B = 0,03$ Тл). Определить магнитный поток Φ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\varphi = 60^\circ$ с направлением линий индукций.
452. Магнитный поток Φ через сечение соленоида равен 50 мкВб. Длина соленоида $L = 50$ см. Найти магнитный момент P_m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.
453. В средней части соленоида, содержащего $n = 8$ витков/см, помещен круговой виток диаметром $d = 4$ см. Плоскость витка расположена под углом $\varphi = 60^\circ$ к оси соленоида. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток $I = 1$ А.
454. На длинный картонный каркас диаметром $D = 5$ см уложена однослойная обмотка (виток к витку) из проволоки диаметром $d = 0,2$ мм. Определить магнитный поток Φ , создаваемый таким соленоидом при силе тока $I = 0,5$ А.

455. Квадратный контур со стороной $a = 10$ см, в котором течет ток $I = 6$ А, находится в магнитном поле ($B = 0,8$ Тл) под углом $\alpha = 50^\circ$ к линиям индукции. Какую работу A нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?
456. Плоский контур с током $I = 5$ А свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 0,4$ Тл). Площадь контура $S = 200$ см². Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\varphi = 40^\circ$. Определить совершенную при этом работу A .
457. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока $I = 60$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 20$ мТл). Диаметр витка $d = 10$ см. Какую работу A нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол $\varphi = \pi/3$?
458. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100$ см². Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50$ А, его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию B магнитного поля, если при перемещении контура была совершена работа $A = 0,4$ Дж.
459. Плоский контур с током $I = 50$ А расположен в однородном магнитном поле ($B = 0,6$ Тл) так, что нормаль к контуру перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить работу, совершаемую силами поля при медленном повороте контура около оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\varphi = 30^\circ$.
460. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий соленоид, если его длина $l = 50$ см и магнитный момент $P_m = 0,4$ А \times м².
461. В однородном магнитном поле ($B = 0,1$ Тл) равномерно с частотой $n = 5$ с⁻¹ вращается стержень длиной $L = 50$ см так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U .
462. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5$ Тл вращается с частотой $n = 10$ с⁻¹ стержень длиной $L = 20$ см. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов U на концах стержня.
463. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $\Delta Q = 50$ мкКл. Определить изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра $R = 10$ Ом.
464. Тонкий медный проводник массой $m = 5$ г согнут в виде квадрата и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B = 0,2$ Тл) так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определить заряд ΔQ , который протечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

465. Рамка из провода сопротивлением $R = 0,04$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0,6$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200$ см². Определить заряд Q , который протечет через рамку при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0 до 45°; 2) от 45° до 90°.
466. Проволочный виток диаметром $D = 5$ см и сопротивлением $R = 0,02$ Ом находится в однородном магнитном поле ($B = 0,3$ Тл). Плоскость витка составляет угол $\varphi = 40^\circ$ с линиями индукции. Какой заряд Q протечет по витку при выключении магнитного поля?
467. Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S = 50$ см². Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0,05$ Тл). Определить максимальную ЭДС E_{\max} , которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой $\nu = 40$ с⁻¹.
468. Прямой проводящий стержень длиной $L = 40$ см водится в однородном магнитном поле ($B = 0,1$ Тл). Концы стержня замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи $R = 0,5$ Ом. Какая мощность P потребуется для равномерного перемещения стержня перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $V = 10$ м/с?
469. Проволочный контур площадью $S = 500$ см² и сопротивлением $R = 0,1$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0,5$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости кольца и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную мощность P_{\max} , необходимую для вращения контура с угловой скоростью $\omega = 50$ рад/с.
470. Кольцо из медного провода массой $m = 10$ г помещено в однородное магнитное поле ($B = 0,5$ Тл) так, что плоскость кольца составляет угол $\varphi' = 60^\circ$ с линиями магнитной индукции. Определить заряд ΔQ , который пройдет по кольцу, если снять магнитное поле.
471. Соленоид сечением $S = 10$ см² содержит $N = 10^3$ витков. Индукция B магнитного поля внутри соленоида при силе тока $I = 5$ А равна 0,05 Тл. Определить индуктивность L соленоида.
472. На картонный каркас длиной $l = 0,8$ м и диаметром $D = 4$ см намотан в один слой провод диаметром $d = 0,25$ мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Вычислить индуктивность L получившегося соленоида.
473. Катушка, намотанная на немагнитный цилиндрический каркас, имеет $N_1 = 250$ витков и индуктивность $L_1 = 36$ мГн. Чтобы увеличить индуктивность катушки до $L_2 = 100$ мГн, обмотку катушки сняли и заменили обмоткой из более тонкой проволоки с таким расчетом, чтобы длина катушки осталась прежней. Сколько витков оказалось в катушке после перемотки?

474. Индуктивность L соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна $0,5$ мГн. Длина соленоида $l = 0,6$ м, диаметр $D = 2$ см. Определить число витков n , приходящихся на единицу длины соленоида.
475. Соленоид содержит $N = 800$ витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала) $S = 10$ см². По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B = 8$ мТл. Определить среднее значение э. д. с. самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если ток уменьшается практически до нуля за время $\Delta t = 0,8$ мс.
476. По катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн течет ток силой $I = 6$ А. При выключении тока он изменяется практически до нуля за время $\Delta t = 5$ мс. Определить среднее значение э. д. с. самоиндукции, возникающей в контуре.
477. В электрической цепи, содержащей сопротивление $R = 20$ Ом и индуктивность $L = 0,06$ Гн, течет ток силой $I_0 = 20$ А. Определить силу тока в цепи через $t = 0,2$ мс после ее размыкания.
478. Цепь состоит из катушки индуктивностью $L = 0,1$ Гн и источника тока. Источник тока можно отключать, не разрывая цепь. Время, по истечении которого сила тока уменьшится до $0,001$ первоначального значения, равно $t = 0,07$ с. Определить сопротивление катушки.
479. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 10$ Ом и индуктивностью $L = 0,2$ Гн. Через сколько времени сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения?
480. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 20$ Ом. По истечении времени $t = 0,1$ с сила тока I замыкания достигла $0,95$ предельного значения. Определить индуктивность катушки.

5. ОПТИКА

Основные формулы

Скорость света в среде

$$v = c / n,$$

где c — скорость света в вакууме; n — показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны

$$L = nl,$$

где l — геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Зависимость разности фаз от оптической разности хода световых волн

$$\Delta\varphi = 2\pi \left(\frac{\Delta}{\lambda} \right),$$

где λ — длина световой волны.

Условие максимального усиления света при интерференции

$$\Delta = \pm k\lambda (k = 0, 1, 2, \dots).$$

Условие максимального ослабления света

$$\Delta = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки,

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} \pm \frac{\lambda}{2}, \text{ или } \Delta = 2dn \cos i_2 \pm \frac{\lambda}{2},$$

где d — толщина пленки; n — показатель преломления пленки; i_1 — угол падения; i_2 — угол преломления света в пленке.

Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R\lambda / 2} \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

где k — номер кольца; R — радиус кривизны.

Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}.$$

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия

$$a \sin \varphi = (2k + 1)\lambda / 2 \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где a — ширина щели; k — порядковый номер максимума.

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где d — период дифракционной решетки.

Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \lambda / \Delta\lambda = kN,$$

где $\Delta\lambda$ — наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны отдельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N — полное число щелей решетки.

Формула Вульфа — Брэггов

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

где θ — угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле); d — расстояние между атомными плоскостями кристалла.

Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \varepsilon_B = n_{21},$$

где ε_B — угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} — относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Закон Малюса

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

где I_0 — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I — интенсивность этого света после анализатора; α — угол между направлением колебаний электрического вектора света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора (если колебания электрического вектора падающего света совпадают с этой плоскостью, то анализатор пропускает данный свет без ослабления).

Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) $\varphi = \alpha d$ (в твердых телах),

где α — постоянная вращения; d — длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) $\varphi = \alpha \rho d$ (в растворах),

где $[\alpha]$ — удельное вращение; ρ — массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Релятивистская масса

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \text{ или } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где m_0 — масса покоя частицы; v — ее скорость; c — скорость света в вакууме; β — скорость частицы, выраженная в долях скорости света ($\beta = v/c$).

Взаимосвязь массы и энергии релятивистской частицы

$$E = mc^2 \text{ или } E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где $E_0 = m_0 c^2$ — энергия покоя частицы.

Полная энергия свободной частицы

$$E = E_0 + T,$$

где T — кинетическая энергия релятивистской частицы.

Кинетическая энергия релятивистской частицы

$$T = (m - m_0)c^2, \text{ или } T = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

Импульс релятивистской частицы

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \text{ или } p = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2.$$

Закон Стефана — Больцмана

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

где R_e — энергетическая светимость (излучательность) абсолютно черного тела; σ — постоянная Стефана — Больцмана; T — термодинамическая температура Кельвина.

Закон смещения Вина

$$\lambda_m = b/T,$$

где λ_m — длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b — постоянная Вина.

Энергия фотона

$$\varepsilon = h\nu, \text{ или } \varepsilon = \hbar\omega,$$

где h — постоянная Планка; \hbar — постоянная Планка, деленная на 2π ; ν — частота фотона; ω — циклическая частота.

Масса фотона

$$m = \varepsilon / c^2 = h / (c\lambda),$$

где c — скорость света в вакууме; λ — длина волны фотона.

Импульс фотона

$$p = mc = h / \lambda.$$

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + T_{\max} = A + mv_{\max}^2 / 2,$$

где $h\nu$ — энергия фотона, падающего на поверхность металла; A — работа выхода электрона; T_{\max} — максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Красная граница фотоэффекта

$$\nu_0 = A / h, \text{ или } \lambda_0 = hc / A,$$

где ν_0 — минимальная частота света, при которой еще возможен фотоэффект; λ_0 — максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотоэффект; h — постоянная Планка; c — скорость света в вакууме.

Формула Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta), \text{ или } \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где λ — длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабосвязанным электроном; λ' — длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 — масса покоящегося электрона.

Комптоновская длина волны

$$\Lambda = h / (m_0c) \quad (\Lambda = 2,436 \text{ нм}).$$

Давление света при нормальном падении на поверхность

$$p = E_e(1 + \rho) / c = \omega(1 + \rho),$$

где E_e — энергетическая освещенность (облученность); ω — объемная плотность энергии излучения; ρ — коэффициент отражения.

Контрольная работа 5

Вариант	Номера задач							
0	510	520	530	540	550	560	570	580
1	501	511	521	531	541	551	561	571
2	502	512	522	532	542	552	562	572
3	503	513	523	533	543	553	563	573
4	504	514	524	534	544	554	564	574
5	505	515	525	535	545	555	565	575
6	506	516	526	536	546	556	566	576
7	507	517	527	537	547	557	567	577
8	508	518	528	538	548	558	568	578
9	509	519	529	539	549	559	569	579

501. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус r_3 третьего темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм равен $0,82$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 0,5$ м.

502. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d пленки, если показатель преломления материала пленки $n = 1,4$.

503. Расстояние L от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной $S = 1$ см укладывается $k = 10$ темных интерференционных полос. Длина волны $\lambda = 0,7$ мкм.

504. На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линза освещена монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 500$ нм. Найти радиус R линзы, если радиус четвертого, темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_4 = 2$ мм.

505. На тонкую глицериновую пленку толщиной $d = 1,5$ мкм нормально к ее поверхности падает белый свет. Определить длины волн λ лучей видимого участка спектра ($0,4 \leq \lambda \leq 0,8$ мкм), которые будут ослаблены в результате интерференции.

506. На стеклянную пластину нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления $n_1 = 1,3$. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны $\lambda = 640$ нм, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d должен иметь слой, чтобы отраженный пучок имел наименьшую яркость?

507. На тонкий стеклянный клин падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете $L = 0,5$ мм. Определить угол α между поверхностями клина. Показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин $n = 1,6$.
508. Плосковыпуклая стеклянная линза с $F = 1$ м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_5 = 1,1$ мм. Определить длину световой волны λ .
509. Между двумя плоскопараллельными пластинами на расстоянии $H = 10$ см от границы их соприкосновения находится проволока диаметром $D = 0,01$ мм, образуя воздушный клин. Пластины освещаются нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить ширину L интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном свете.
510. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 590$ нм). Радиус кривизны R линзы равен 5 см. Определить толщину δ воздушного промежутка в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.
511. Какое наименьшее число N штрихов должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть отдельно две желтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм? Какова длина L такой решетки, если постоянная решетки $d = 5$ мкм?
512. На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4,6$ раза больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.
513. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается граница ($\lambda_1 = 780$ нм) спектра третьего порядка?
514. На дифракционную решетку, содержащую $N = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину ΔX спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 1,2$ м. Границы видимого спектра: $\lambda_{\text{к}} = 780$ нм, $\lambda_{\text{ф}} = 400$ нм.
515. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние d между атомными плоскостями равно 280 пм. Под углом $\alpha = 65^\circ$ к атомной плоскости наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину волны λ рентгеновского излучения.
516. На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 600$ нм). Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\theta = 20^\circ$. Определить ширину b щели.

517. На дифракционную решетку, содержащую $N = 100$ штрихов на 1 мм, нормально падает монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 16^\circ$. Определить длину волны λ света, падающего на решетку.
518. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 410$ нм). Угол $\Delta\varphi$ между направлениями на максимумы первого и второго порядков равен $2^\circ 21'$. Определить число n штрихов на 1 мм дифракционной решетки.
519. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4$ раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.
520. Расстояние между штрихами дифракционной решетки $d = 4$ мкм. На решетку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0,58$ мкм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?
521. Пластинку кварца толщиной $L = 2$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 53^\circ$. Какой наименьшей толщины L_{\min} следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно темным?
522. Параллельный пучок света переходит из глицерина в стекло так, что пучок, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол φ между падающим и преломленным пучками.
523. Кварцевую пластинку поместили между скрещенными николями. При какой наименьшей толщине L_{\min} кварцевой пластины поле зрения между николями будет максимально просветлено. Постоянная вращения α кварца равна 27 град/мм.
524. При прохождении света через трубку длиной $L_1 = 20$ см, содержащую раствор сахара концентрацией $C_1 = 10\%$, плоскость поляризации света повернулась на угол $\theta_1 = 13,3^\circ$. В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной $L_2 = 15$ см, плоскость поляризации повернулась на угол $\theta_2 = 5,2^\circ$. Определить концентрацию C_2 второго раствора.
525. Пучок света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\alpha = 40^\circ$. Принимая, что коэффициент поглощения k каждого николя равен $0,15$, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый николю.
526. Угол падения α луча на поверхность стекла равен 60° . При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол β преломления луча.
527. Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 8$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

528. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле α падения отраженный пучок света максимально поляризован?
529. Пучок света переходит из жидкости в стекло. Угол падения α пучка равен 60° , угол преломления $\beta = 50^\circ$. При каком угле падения α' пучок света, отраженный от границы раздела этих сред, будет максимально поляризован?
530. Пучок света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину, нижняя поверхность которой находится в воде. При каком угле падения α свет, отраженный от границы стекло—вода, будет максимально поляризован?
531. Частица движется со скоростью $V = c/3$, где c - скорость света в вакууме. Какую долю энергии покоя составляет кинетическая энергия частицы?
532. Протон с кинетической энергией $T = 3$ ГэВ при торможении потерял треть этой энергии. Определить, во сколько раз изменился релятивистский импульс частицы.
533. При какой скорости β (в долях скорости света) релятивистская масса любой частицы вещества в $n = 3$ раза больше массы покоя?
534. Определить отношение релятивистского импульса P электрона с кинетической энергией $T = 1,53$ МэВ к комптоновскому импульсу m_0c электрона.
535. Скорость электрона $V = 0,8c$ (где c — скорость света в вакууме). Зная энергию покоя электрона в мегаэлектрон-вольтах, определить в тех же единицах кинетическую энергию E_k электрона.
536. Протон имеет импульс $P = 469$ МэВ/с. Какую кинетическую энергию необходимо дополнительно сообщить протону, чтобы его релятивистский импульс возрос вдвое?
537. Во сколько раз релятивистская масса электрона, обладающего кинетической энергией $T = 1,53$ МэВ, больше массы покоя m_0 ?
538. Какую скорость β (в долях скорости света) нужно сообщить частице, чтобы ее кинетическая энергия была равна удвоенной энергии покоя?
539. Релятивистский электрон имел импульс $P_1 = m_0c$. Определить конечный импульс этого электрона (в единицах m_0c), если его энергия увеличилась в $n = 2$ раза.
540. Релятивистский протон обладал кинетической энергией, равной энергии покоя. Определить, во сколько раз возрастет его кинетическая энергия, если его импульс увеличится в $n = 2$ раза.
541. Вычислить истинную температуру T вольфрамовой раскаленной ленты, если радиационный пирометр показывает температуру $T_{\text{рад}} = 2,5$ кК. Принять, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна $a = 0,35$.

542. Черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?
543. Температура абсолютно черного тела $T = 2$ кК. Определить длину волны λ , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) $(r_{\lambda,T})_{\max}$ для этой длины волны.
544. Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R_T абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda = 600$ нм.
545. Из смотрового окошечка печи излучается поток $P = 4$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см².
546. Поток излучения абсолютно черного тела $P = 10$ кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda = 0,8$ мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.
547. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_1 = 780$ нм) на фиолетовую ($\lambda_2 = 390$ нм)?
548. Определить поглотительную способность a серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{\text{рад}} = 1,4$ кК, тогда как истинная температура T тела равна $3,2$ кК.
549. Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1$ кВт, имеет отверстие площадью $S = 100$ см². Определить долю η мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1 кК.
550. Средняя энергетическая светимость R поверхности Земли равна $0,54$ Дж/(см²×мин). Какова должна быть температура T поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты $a = 0,25$?
551. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310$ нм. Определить максимальную кинетическую, энергию T_{\max} фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм.
552. На поверхность калия падает свет с длиной волны $\lambda = 150$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{\max} фотоэлектронов.
553. Фотон с энергией $\varepsilon = 10$ эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс P_k , полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.
554. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

555. Какова должна быть длина волны γ -излучения, падающего на платиновую пластину, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была $V_{\max} = 3 \text{ Мм/с}$?
556. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения ($\lambda = 0,25 \text{ мкм}$). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов $U = 0,96 \text{ В}$. Определить работу выхода A электронов из металла.
557. 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 энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?
558. На металл падает рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 1 \text{ нм}$. Пренебрегая работой выхода, определить максимальную скорость V_{\max} фотоэлектронов.
559. На металлическую пластину направлен монохроматический пучок света с частотой $\nu = 7,3 \times 10^{14} \text{ Гц}$. Красная граница λ_0 фотоэффекта для данного материала равна 560 нм . Определить максимальную скорость V_{\max} фотоэлектронов.
560. На цинковую пластину направлен монохроматический пучок света. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов $U = 1,5 \text{ В}$. Определить длину волны λ света, падающего на пластину.
561. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\varphi = \pi/2$. Определить импульс P_e (в МэВ/с), приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была $\varepsilon_{\text{ф}} = 1,02 \text{ МэВ}$.
562. Рентгеновское излучение ($\lambda = 1 \text{ нм}$) рассеивается электронами, которые можно считать практически свободными. Определить максимальную длину волны λ_{\max} рентгеновского излучения в рассеянном пучке.
563. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\varphi = \pi/2$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_{\text{ф}} = 0,51 \text{ МэВ}$.
564. Определить максимальное изменение длины волны $(\Delta\lambda)_{\max}$, при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.
565. Фотон с длиной волны $\lambda_1 = 15 \text{ пм}$ рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda_2 = 16 \text{ пм}$. Определить угол φ рассеяния.
566. Фотон с энергией $\varepsilon_{\text{ф}} = 0,51 \text{ МэВ}$ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\varphi = 180^\circ$. Определить кинетическую энергию E_k электрона отдачи.
567. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon_{\text{ф}} = 1,02 \text{ МэВ}$ рассеян на свободных электронах на угол $\varphi = 150^\circ$. Определить энергию $\varepsilon_{\text{ф}2}$ рассеянного фотона.
568. Определить угол φ , на который был рассеян квант с энергией $\varepsilon_{\text{ф}} = 1,53 \text{ МэВ}$ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи $E_k = 0,51 \text{ МэВ}$.

569. Фотон с энергией $\varepsilon_{\text{ф}} = 0,51$ МэВ при рассеянии на свободном электроне потерял половину своей энергии. Определить угол рассеяния φ .
570. Определить импульс P_e электрона отдачи, если фотон с энергией $\varepsilon_{\text{ф}} = 1,53$ МэВ в результате рассеяния на свободном электроне потерял $1/3$ своей энергии.
571. Определить энергетическую освещенность (облученность) E зеркальной поверхности, если давление P , производимое излучением, равно 40 мкПа. Излучение падает нормально к поверхности.
572. Давление p света с длиной волны $\lambda = 40$ нм, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм² этой поверхности.
573. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при энергетической освещенности $E = 120$ Вт/м² давление P света на нее оказалось равным 0,5 мкПа.
574. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p = 5$ мПа. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, $\lambda = 0,5$ мкм.
575. На расстоянии $R = 5$ м от точечного монохроматического ($\lambda = 0,5$ мкм) изотропного источника расположена площадка ($S = 8$ мм²) перпендикулярно падающим пучкам. Определить число N фотонов, ежесекундно падающих на площадку. Мощность излучения $P = 100$ Вт.
576. На зеркальную поверхность под углом $\alpha = 60^\circ$ к нормали падает пучок монохроматического света ($\lambda = 590$ нм). Плотность потока энергии светового пучка $\varphi = 1$ кВт/м². Определить давление P , производимое светом на зеркальную поверхность.
577. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $R = 10$ см от точечного изотропного излучателя. При какой мощности P излучателя давление p на зеркальную поверхность будет равным 1 мПа?
578. Свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление $P = 4$ мкПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм² этой поверхности.
579. На зеркальную поверхность площадью $S = 6$ см² падает нормально поток излучения $W = 0,8$ Вт. Определить давление P и силу давления F света на эту поверхность.
580. Точечный источник монохроматического ($\lambda = 1$ нм) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиусом $R = 10$ см. Определить световое давление P , производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника $W = 1$ кВт.

6. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ ФИЗИКИ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ. ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Основные формулы

Боровская теория водородоподобного атома. Момент импульса электрона (второй постулат Бора)

$$L_n = \hbar n, \text{ или } m v_n r_n = \hbar n,$$

где m — масса электрона; v_n — скорость электрона на n -й орбите; r_n — радиус n -й стационарной орбиты; \hbar — постоянная Планка; n — главное квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Радиус n -й стационарной орбиты

$$r_n = a_0 n^2,$$

где a_0 — первый боровский радиус.

Энергия электрона в атоме водорода

$$E_n = E_i / n^2,$$

где E_i — энергия ионизации атома водорода.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода,

$$\varepsilon = \hbar \omega = E_{n_2} - E_{n_1}, \text{ или } \varepsilon = E_i (1/n_1^2 - 1/n_2^2),$$

где n_1 и n_2 — квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

Спектроскопическое волновое число

$$\tilde{\nu} = 1/\lambda = R(1/n_1^2 - 1/n_2^2),$$

где λ — длина волны излучения или поглощения атомом; R — постоянная Ридберга.

Волновые свойства частиц. Длина волны де Бройля

$$\lambda = 2\pi\hbar / p,$$

где p — импульс частицы.

Импульс частицы и его связь с кинетической энергией T :

а) $p = m_0 v; p = \sqrt{2m_0 T};$

б) $p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}; p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + T)T},$

где m_0 — масса покоя частицы; m — релятивистская масса; v — скорость частицы; c — скорость света в вакууме; E_0 — энергия покоя частицы ($E_0 = m_0 c^2$).

Соотношение неопределенностей:

а) $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$ (для координаты и импульса),

где Δp_x — неопределенность проекции импульса на ось X ; Δx — неопределенность координаты;

б) $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ (для энергии и времени),

где ΔE — неопределенность энергии; Δt — время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi(x) = 0,$$

где $\psi(x)$ — волновая функция, описывающая состояние частицы; m — масса частицы; E — полная энергия; $U = U(x)$ — потенциальная энергия частицы.

Плотность вероятности

$$\frac{d\omega(x)}{dx} = |\psi(x)|^2,$$

где $d\omega(x)$ — вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на участке dx .

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2

$$\omega = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx.$$

Решение уравнения Шредингера для одномерного, бесконечно глубокого, прямоугольного потенциального ящика:

а) $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x$ (собственная нормированная волновая функция);

б) $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ml^2}$ (собственное значение энергии),

где n — квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$); l — ширина ящика. В области $0 \leq x \leq l$ $U = \infty$ и $\psi(x) = 0$.

Атомное ядро. Радиоактивность. Массовое число ядра (число нуклонов в ядре)

$$A = Z + N,$$

где Z — зарядовое число (число протонов); N — число нейтронов.

Закон радиоактивного распада

$$dN = -\lambda N dt, \text{ или } N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где dN — число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; N — число ядер, не распавшихся к моменту времени t ; N_0 — число ядер в начальный момент ($t = 0$); λ — постоянная радиоактивного распада.

Число ядер, распавшихся за время t ,

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

В случае, если интервал времени Δt , за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада $T_{1/2}$, то число распавшихся ядер можно определить по формуле

$$\Delta N = \lambda N \Delta t.$$

Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада

$$T_{1/2} = (\ln 2) / \lambda = 0,693 / \lambda.$$

Среднее время τ жизни радиоактивного ядра, т. е. интервал времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз,

$$\tau = 1 / \lambda.$$

Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе,

$$N = mN_A / M,$$

где m — масса изотопа; M — молярная масса; N_A — постоянная Авогадро.

Активность A радиоактивного изотопа

$$A = -dN / dt = \lambda N, \text{ или } A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

где dN — число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; A_0 — активность изотопа в начальный момент времени.

Удельная активность изотопа

$$a = A / m.$$

Дефект массы ядра

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

где Z — зарядовое число (число протонов в ядре); A — массовое число (число нуклонов в ядре); $(A - Z)$ — число нейтронов в ядре; m_p — масса протона; m_n — масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ — масса ядра.

Энергия связи ядра

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2,$$

где Δm — дефект массы ядра; c — скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна $E_{\text{св}} = 931\Delta m$, где дефект массы Δm — в а. е. м.; 931 — коэффициент пропорциональности (1 а. е. м. \sim 931 МэВ).

Теплоемкость кристалла. Средняя энергии квантового одномерного осциллятора

$$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon_0 + \frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega/(kT)} - 1},$$

где ε_0 — нулевая энергия $\varepsilon_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega$; \hbar — постоянная Планка; ω — круговая частота колебаний осциллятора; k — постоянная Больцмана; T — термодинамическая температура.

Молярная внутренняя энергия системы, состоящей из невзаимодействующих квантовых осцилляторов,

$$U_m = U_{0m} + 3R\Theta_E / (e^{\Theta_E/T} - 1),$$

где R — молярная газовая постоянная; $\Theta_E = \hbar\omega / k$ — характеристическая температура Эйнштейна; $U_{0m} = \frac{2}{3}E\Theta_E$ — молярная нулевая энергия (по Эйнштейну).

Молярная теплоемкость кристаллического твердого тела в области низких температур (предельный закон Дебая)

$$C_m = \frac{12\pi^2}{5} R \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 = 234R \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 \quad (T \ll \Theta_D).$$

Теплота, необходимая для нагревания тела,

$$Q = \frac{m}{M} \int_{T_1}^{T_2} C_m dT,$$

где m — масса тела; M — молярная масса; T_1 и T_2 — начальная и конечная температуры тела.

Элементы квантовой статистики. Распределение свободных электронов в металле по энергиям при 0 К

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \varepsilon^{1/2} d\varepsilon,$$

где $dn(\varepsilon)$ — концентрации электронов, энергия которых заключена в пределах от ε до $\varepsilon+d\varepsilon$; m — масса электрона. Это выражение справедливо при $\varepsilon < \varepsilon_F$ (где ε_F — энергия или уровень Ферми).

Энергия Ферми в металле при $T = 0$ К

$$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3},$$

где n — концентрация электронов в металле.

Полупроводники. Удельная проводимость собственных полупроводников

$$\gamma = \gamma_0 \exp(-\Delta E / 2kT),$$

где ΔE — ширина запрещенной зоны; γ_0 — константа.

Сила тока в p - n -переходе

$$I = I_0 [\exp(eU / kT) - 1],$$

где I_0 — предельное значение силы обратного тока; U — внешнее напряжение, приложенное к p - n -переходу.

Контактные и термоэлектрические явления. Внутренняя контактная разность потенциалов

$$U_{12} = \frac{\varepsilon_{F_1} - \varepsilon_{F_2}}{e},$$

где ε_{F_1} и ε_{F_2} — энергия Ферми соответственно для первого и второго металлов; e — заряд электрона.

Контрольная работа 6

Вариант	Номера задач							
0	610	620	630	640	650	660	670	680
1	601	611	621	631	641	651	661	671
2	602	612	622	632	642	652	662	672
3	603	613	623	633	643	653	663	673
4	604	614	624	634	644	654	664	674
5	605	615	625	635	645	655	665	675
6	606	616	626	636	646	656	666	676
7	607	617	627	637	647	657	667	677
8	608	618	628	638	648	658	668	678
9	609	619	629	639	649	659	669	679

601. Невозбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны $\lambda = 102,6$ нм. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус r электронной орбиты возбужденного атома водорода.

602. Вычислить по теории Бора радиус r_2 второй стационарной орбиты и скорость v_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

603. Вычислить по теории Бора период T вращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом $n = 2$.

604. Определить изменение энергии ΔE электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с частотой $\nu = 6,28 \times 10^{14}$ Гц.

605. Во сколько раз изменится период T вращения электрона в атоме водорода, если при переходе в невозбужденное состояние атом излучил фотон с длиной волны $\lambda = 97,5$ нм?

606. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 435$ нм?

607. В каких пределах $\Delta \lambda$ должна лежать длина волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус орбиты электрона увеличился в 16 раз?

608. В однозарядном ионе лития электрон перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить длину волны λ излучения, испущенного ионом лития.

609. Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую E_k , потенциальную E_p и полную E энергию электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.
610. Фотон выбивает из атома водорода, находящегося в основном состоянии, электрон с кинетической энергией $E_{k\text{э}} = 10$ эВ. Определить энергию $E_{\text{ф}}$ фотона.
611. Вычислить наиболее вероятную дебройлевскую длину волны λ молекул азота, содержащихся в воздухе при комнатной температуре.
612. Определить энергию ΔE , которую необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от $\lambda_1 = 0,2$ нм до $\lambda_2 = 0,1$ нм.
613. На сколько по отношению к комнатной должна измениться температура идеального газа, чтобы дебройлевская длина волны λ его молекул уменьшилась на 20%?
614. Параллельный пучок моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму в виде узкой прямоугольной щели, ширина которой $a = 0,06$ мм. Определить скорость этих электронов, если известно, что на экране, отстоящем от щели на расстоянии $L = 40$ мм, ширина центрального дифракционного максимума $b = 10$ мкм.
615. При каких значениях кинетической энергии E_k электрона ошибка в определении дебройлевской длины волны λ , по нерелятивистской формуле не превышает 10%?
616. Из катодной трубки на диафрагму с узкой прямоугольной щелью нормально к плоскости диафрагмы направлен поток моноэнергетических электронов. Определить анодное напряжение, трубки, если известно, что на экране, отстоящем от щели на расстоянии $L = 0,5$ м, ширина центрального дифракционного максимума $b = 10,0$ мкм. Ширину a щели принять равной $0,10$ мм.
617. Протон обладает кинетической энергией $E_{k1} = 1$ кэВ. Определить дополнительную энергию ΔE которую необходимо ему сообщить для того, чтобы длина волны λ де Бройля уменьшилась в три раза.
618. Определить длины волн де Бройля α -частицы и протона, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ.
619. Электрон обладает кинетической энергией $E_k = 1,02$ МэВ. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия E_k электрона уменьшится вдвое?
620. Кинетическая энергия E_k электрона равна удвоенному значению его энергии покоя ($2m_0c^2$). Вычислить длину волны λ , де Бройля для такого электрона.

621. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию электрона, движущегося внутри сферы радиусом $R = 0,05$ нм.
622. Используя соотношение неопределенностей, оценить наименьшие ошибки ΔV в определении скорости электрона и протона, если координаты центра масс этих частиц могут быть установлены с неопределенностью 1 мкм.
623. Какова должна быть кинетическая энергия T протона в моноэнергетическом пучке, используемого для исследования структуры с линейными размерами $\Delta x = 10^{-13}$ см?
624. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину L одномерного потенциального ящика, в котором минимальная энергия электрона $T = 10$ эВ.
625. Альфа-частица находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину L ящика, если известно, что минимальная энергия α -частицы $T = 8$ МэВ.
626. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет $\Delta t = 10^{-8}$ с. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотом, средняя длина волны λ которого равна 600 нм. Оценить ширину $\Delta\lambda$, излучаемой спектральной линии, если не происходит ее уширения за счет других процессов.
627. Для приближенной оценки минимальной энергии электрона в атоме водорода можно предположить, что неопределенность Δr радиуса r электронной орбиты и неопределенность Δp импульса p электрона на такой орбите соответственно связаны следующим образом: $\Delta r \approx r$ и $\Delta p \approx p$. Используя эти связи, а также соотношение неопределенностей, найти значение радиуса электронной орбиты, соответствующего минимальной энергии электрона в атоме водорода.
628. Моноэнергетический пучок электронов высвечивает в центре экрана электронно-лучевой трубки пятно радиусом $r = 10^{-3}$ см. Пользуясь соотношением неопределенностей, найти, во сколько раз неопределенность Δx координаты электрона на экране в направлении, перпендикулярном оси трубки, меньше размера r пятна. Длину L электронно-лучевой трубки принять равной 0,50 м, а ускоряющее электрон напряжение U — равным 20 кВ.
629. Среднее время жизни Δt атома в возбужденном состоянии составляет около 10^{-8} с. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны λ которого равна 400 нм. Оценить относительную ширину $\Delta\lambda/\lambda$, излучаемой спектральной линии, если не происходит уширения линии за счет других процессов.
630. Для приближенной оценки минимальной энергии электрона в атоме водорода можно предположить, что неопределенность Δr радиуса r электронной орбиты и неопределенность Δp импульса p электрона на такой орбите соответственно связаны следующим образом: $\Delta r \approx r$ и $\Delta p \approx p$. Используя эти связи, а также соотношение неопределенностей, определить минимальное значение энергии T_{\min} электрона в атоме водорода.

631. Частица находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике. Найти отношение разности $\Delta E_{n,n+1}$ соседних энергетических уровней к энергии E_n частицы в трех случаях: 1) $n = 2$; 2) $n = 5$; 3) $n \rightarrow \infty$.
632. Электрон находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной $l = 0,1$ нм. Определить в электрон-вольтах наименьшую разность энергетических уровней электрона.
633. Частица в бесконечно глубоком, одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной L находится в возбужденном состоянии ($n = 3$). Определить, в каких точках интервала $0 < x < L$ плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значения.
634. В прямоугольной потенциальной яме шириной L с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < L$) находится частица в основном состоянии. Найти вероятность W местонахождения этой частицы в области $1/4l < x < 3/4l$.
635. Частица в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность W обнаружения частицы в крайней четверти ящика?
636. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-r/a_0}$, где A — некоторая постоянная; a_0 — первый боровский радиус. Найти для основного состояния атома водорода наиболее вероятное расстояние электрона от ядра.
637. Частица находится в основном состоянии в прямоугольной яме шириной L с абсолютно непроницаемыми стенками. Во сколько раз отличаются вероятности местонахождения частицы: W_1 — в крайней трети и W_2 — в крайней четверти ящика?
638. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-r/a_0}$, где A — некоторая постоянная; a_0 — первый боровский радиус. Найти для основного состояния атома водорода среднее значение $\langle F \rangle$ кулоновской силы.
639. Электрон находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной L . В каких точках в интервале $0 < x < L$ плотности вероятности нахождения электрона на втором и третьем энергетических уровнях одинаковы? Вычислить плотность вероятности для этих точек. Решение пояснить графиком.
640. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-r/a_0}$, где A — некоторая постоянная; a_0 — первый боровский радиус. Найти для основного состояния атома водорода среднее значение $\langle P \rangle$ потенциальной энергии.
641. Найти период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного изотопа, если его активность за время $t = 10$ сут уменьшилась на 24% по сравнению с первоначальной.

642. Определить, какая доля радиоактивного изотопа $^{225}\text{Ac}_{89}$ распадается в течение времени $t = 6$ сут.
643. Активность A некоторого изотопа за время $t = 10$ сут уменьшилась на 20%. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.
644. Определить массу m изотопа $^{131}\text{I}_{53}$, имеющего активность $A = 37$ ГБк.
645. Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта $^{60}\text{Co}_{27}$.
646. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал $N_1 = 1400$ частиц в минуту, а через время $T = 4$ ч — только $N_2 = 400$. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.
647. Во сколько раз уменьшится активность изотопа $^{32}\text{P}_{15}$ через время $t = 20$ сут?
648. На сколько процентов уменьшится активность изотопа иридия $^{192}\text{Ir}_{77}$ за время $t = 15$ сут?
649. Определить число N ядер, распадающихся в течение времени: 1) $t_1 = 1$ мин; 2) $t_2 = 5$ сут, — в радиоактивном изотопе фосфора $^{32}\text{P}_{15}$ массой $m = 1$ мг.
650. Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 200 атомов. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.
651. Определить количество теплоты Q , выделяющейся при распаде радона активностью $A_0 = 3,7 \times 10^{10}$ Бк за время $t = 20$ мин. Кинетическая энергия T вылетающей из радона α -частицы равна 5,5 МэВ.
652. Масса $m = 1$ г урана $^{238}\text{U}_{92}$ в равновесии с продуктами его распада выделяет мощность $P = 1,07 \times 10^{-7}$ Вт. Найти молярную теплоту Q_m , выделяемую ураном за среднее время жизни атомов урана.
653. Определить энергию, необходимую для деления ядра ^{20}Ne на две α -частицы и ядро ^{12}C . Энергии связи на один нуклон в ядрах ^{20}Ne , ^4He и ^{12}C равны соответственно 8,03; 7,07 и 7,68 МэВ.
654. В одном акте деления ядра урана ^{235}U освобождается энергия 200 МэВ. Определить: 1) энергию, выделяющуюся при распаде всех ядер этого изотопа урана массой $m = 1$ кг; 2) массу каменного угля с удельной теплотой сгорания $q = 29,3$ МДж/кг, эквивалентную в тепловом отношении 1 кг урана ^{235}U .
655. Мощность W двигателя атомного судна составляет 5 МВт, его КПД равен 30%. Определить месячный расход ядерного горючего при работе этого двигателя.
656. Считая, что в одном акте деления ядра урана ^{235}U освобождается энергия 200 МэВ, определить массу этого изотопа, подвергшегося делению при взрыве атомной бомбы с тротильным эквивалентом 30×10^6 кг, если тепловой эквивалент тротила q равен 4,19 МДж/кг.

657. При делении ядра урана ^{235}U под действием замедленного нейтрона образовались осколки с массовыми числами $M_1 = 90$ и $M_2 = 143$. Определить число нейтронов, вылетевших из ядра в данном акте деления. Определить энергию и скорость каждого из осколков, если они разлетаются в противоположные стороны и их суммарная кинетическая энергия T равна 160 МэВ.
658. Ядерная реакция $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{13}\text{C}$ вызвана α -частицей, обладавшей кинетической энергией $T_\alpha = 4,2$ МэВ. Определить тепловой эффект этой реакции, если протон, вылетевший под углом 60° к направлению движения α -частицы, получил кинетическую энергию $T = 2$ МэВ.
659. Определить тепловые эффекты следующих реакций: $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$ и $^{16}\text{O}(d, \alpha)^{14}\text{N}$.
660. Определить скорости продуктов реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, протекающей в результате взаимодействия тепловых нейтронов с покоящимися ядрами бора.
661. Определить теплоту Q , необходимую для нагревания кристалла калия массой $m = 200$ г от температуры $T_1 = 4$ К до температуры $T_2 = 5$ К. Принять характеристическую температуру Дебая для калия $\Theta_D = 100$ К и считать условие $T \ll \Theta_D$ выполненным.
662. Вычислить характеристическую температуру Θ_D Дебая для железа, если при температуре $T = 20$ К молярная теплоемкость железа $C_m = 0,226$ Дж/К×моль. Условие $T \ll \Theta_D$ считать выполненным.
663. Система, состоящая из $N = 10^{20}$ трехмерных квантовых осцилляторов, находится при температуре $T = \Theta_D$ ($\Theta_D = 250$ К). Определить энергию E системы.
664. Медный образец массой $m = 100$ г находится при температуре $T_1 = 10$ К. Определить теплоту Q , необходимую для нагревания образца до температуры $T_2 = 20$ К. Можно принять характеристическую температуру Θ_D для меди равной 300 К, а условие $T \ll \Theta_D$ считать выполненным.
665. Используя квантовую теорию теплоемкости Эйнштейна, определить коэффициент упругости β связи атомов в кристалле алюминия. Принять для алюминия $\Theta_E = 300$ К.
666. Найти отношение средней энергии $\langle \varepsilon_{\text{кв}} \rangle$ линейного одномерного осциллятора, вычисленной по квантовой теории, к энергии $\langle \varepsilon_{\text{кл}} \rangle$ такого же осциллятора, вычисленной по классической теории. Вычисление произвести для двух температур: 1) $T = 0,1\Theta_E$; 2) $T = \Theta_E$, где Θ_E — характеристическая температура Эйнштейна.
667. Зная, что для алмаза $\Theta_D = 2000$ К, вычислить его удельную теплоемкость при температуре $T = 30$ К.
668. Молярная теплоемкость C_m серебра при температуре $T = 20$ К оказалась равной $1,65$ Дж/(моль×К). Вычислить по значению теплоемкости характеристическую температуру Θ_D . Условие $T \ll \Theta_D$ считать выполненным.

669. Вычислить (по Дебаю) удельную теплоемкость хлористого натрия три температуре $T = \Theta_D/20$. Условие $T < \Theta_D$ считать выполненным.
670. Вычислить по теории Дебая теплоемкость цинка массой $m = 100$ г при температуре $T = 10$ К. Принять для цинка характеристическую температуру Дебая $\Theta_D = 300$ К и считать условие $T \ll \Theta_D$ выполненным.
671. Определить долю свободных электронов в металле при температуре $T = 0$ К, энергии ϵ которых заключены в интервале значений от $1/2\epsilon_{\max}$ до ϵ_{\max} .
672. Германиевый кристалл, ширина $\Delta\epsilon$ запрещенной зоны в котором равна $0,72$ эВ, нагревают от температуры $T_1 = 0^\circ\text{C}$ до температуры $T_2 = 15^\circ\text{C}$. Во сколько раз возрастет его удельная проводимость?
673. При нагревании кремниевого кристалла от температуры $t_1 = 0^\circ$ до температуры $t_2 = 10^\circ\text{C}$ его удельная проводимость возрастает в $2,28$ раза. По приведенным данным определить ширину $\Delta\epsilon$ запрещенной зоны кристалла кремния.
674. p - n -переход находится под обратным напряжением $U = 0,1$ В. Его сопротивление $R_1 = 692$ Ом. Каково сопротивление R_2 перехода при прямом напряжении?
675. Металлы литий и цинк приводят в соприкосновение друг с другом при температуре $T = 0$ К. На сколько изменится концентрация электронов проводимости в цинке? Какой из этих металлов будет иметь более высокий потенциал?
676. Сопротивление R_1 p - n -перехода, находящегося под прямым напряжением $U = 1$ В, равно 10 Ом. Определить сопротивление R_2 перехода при обратном напряжении.
677. Найти минимальную энергию W_{\min} , необходимую для образования пары электрон—дырка в кристалле $GaAs$, если его удельная проводимость μ изменяется в 10 раз при изменении температуры от 20 до 3°C .
678. Сопротивление R_1 кристалла PbS при температуре $T_1 = 20^\circ\text{C}$ равно 10^4 Ом. Определить его сопротивление R_2 при температуре $T_2 = 80^\circ\text{C}$.
679. Каково значение энергии Ферми ϵ_F у электронов проводимости двухвалентной меди? Выразить энергию Ферми в джоулях и электрон-вольтах.
680. Прямое напряжение U , приложенное к p - n -переходу, равно 2 В. Во сколько раз возрастет сила тока через переход, если изменить температуру от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 273$ К?

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Стандартный объем*	V_m	$22,4 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана—Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Радиус Бора	a	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Комптоновская длина волны электрона	λ	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А·м ²
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6 эВ)
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

2. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^6$ м
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^6$ м

3. Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность, кг/м ³
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$
Железо	$7,88 \cdot 10^3$
Литий	$0,53 \cdot 10^3$
Медь	$8,93 \cdot 10^3$
Никель	$8,90 \cdot 10^3$
Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

4. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³
Вода (при 4С)	1,00·10 ³
Глицерин	1,26·10 ³
Ртуть	13,6·10 ³
Сероуглерод	1,26·10 ³
Спирт	0,80·10 ³

5. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³
Водород	0,09
Воздух	1,29
Гелий	0,18
Кислород	1,43

6. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72
Мыльная пена	40
Ртуть	500
Спирт	22

7. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$
Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость
Вода	81
Масло трансформаторное	2,2
Парафин	2,0
Стекло	7,0

9. Удельное сопротивление материалов

Металл	Удельное сопротивление, Ом·м
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

10. Энергия ионизации

Вещество	E_i , Дж	E_i , эВ
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Литий	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

11. Подвижность ионов в газах

Газ	Положительные ионы, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	Отрицательные ионы, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

12. Показатель преломления

Вещество	Показатель
Алмаз	2,42
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Стекло	1,50

13. Работа выхода электронов

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

14. Относительные атомные массы A_r порядковые изомера Z некоторых элементов

Элемент	Символ	A_r	Z
Азот	<i>N</i>	14	7
Алюминий	<i>Al</i>	27	13
Аргон	<i>Ar</i>	40	18
Барий	<i>Ba</i>	137	56
Ванадий	<i>V</i>	60	23
Водород	<i>H</i>	1	1
Вольфрам	<i>W</i>	184	74
Гелий	<i>He</i>	4	2
Железо	<i>Fe</i>	56	26
Золото	<i>Au</i>	197	79
Калий	<i>K</i>	39	19
Кальций	<i>Ca</i>	40	20
Кислород	<i>O</i>	16	8
Магний	<i>Mg</i>	24	12
Марганец	<i>Mn</i>	55	25
Медь	<i>Cu</i>	64	29
Молибден	<i>Mo</i>	96	42
Натрий	<i>Na</i>	23	11
Неон	<i>Ne</i>	20	10
Никель	<i>Ni</i>	59	28
Олово	<i>Sn</i>	119	50
Платина	<i>Pt</i>	195	78
Ртуть	<i>Hg</i>	201	80
Сера	<i>S</i>	32	16
Серебро	<i>Ag</i>	108	47
Углерод	<i>C</i>	12	6
Уран	<i>U</i>	238	92
Хлор	<i>Cl</i>	35	17

15. Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а. е. м.
Нейтрон	1_0n	1,00867
Водород	1_1H	1,00783
	2_1H	2,01410
	3_1H	3,01605
Гелий	3_2He	3,01603
	4_2He	4,00260
Литий	6_3Li	6,01513
	7_3Li	7,01601
Бериллий	7_4Be	7,01693
	9_4Be	9,01219
Бор	${}^{10}_5B$	10,01294
	${}^{11}_5B$	11,00930
Углерод	${}^{12}_6C$	12,00000
	${}^{13}_6C$	13,00335
	${}^{14}_6C$	14,00324
Азот	${}^{14}_7N$	14,00307
Кислород	${}^{16}_8O$	15,99491
	${}^{17}_8O$	16,99913

16. Период полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}_{89}^{225}Ar$	10 сут
Йод	${}_{53}^{131}I$	8 сут
Кобальт	${}_{27}^{60}Co$	5,3 г
Магний	${}_{12}^{27}Mg$	10 мин
Радий	${}_{86}^{226}Ra$	1620 лет
Радон	${}_{86}^{222}Rn$	3,8 сут
Стронций	${}_{38}^{90}Sr$	27 лет
Фосфор	${}_{15}^{32}P$	14,3 сут
Церий	${}_{58}^{144}Ce$	285 сут

17. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а. е. м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-10}$	135

18. Единицы СИ, имеющие специальные наименования

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через основные и дополнительные единицы
<i>Основные единицы</i>				
Длина	L	метр	м	
Масса	M	килограмм	кг	
Время	T	секунда	с	
Сила электрического тока	I	ампер	А	
Термодинамическая температура	θ	кельвин	К	
Количество вещества	N	моль	моль	
Сила света	J	Кандела	кд	
<i>Дополнительные единицы</i>				
Плоский угол	–	радиан	рад	
Телесный угол	–	стерадиан	ср	
<i>Производные единицы</i>				
Частота	T^{-1}	герц	Гц	c^{-1}
Сила, вес	LMT^{-2}	ньютон	Н	$m \cdot kg \cdot c^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-2}$
Мощность, поток энергии	L^2MT^{-3}	ватт	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-3}$

Количество электричества (электрический заряд)	TI	кулон	Кл	$C \cdot A$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	В	$M^2 \cdot KГ \cdot C^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	Ф	$M^{-2} \cdot KГ^{-1} \cdot C^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ом	$M^2 \cdot KГ \cdot C^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	См	$M^{-2} \cdot KГ^{-1} \cdot C^3 \cdot A^2$
Магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^1$	вебер	Вб	$M^2 \cdot KГ \cdot C^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^1$	тесла	Тл	$KГ \cdot C^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность, взаимная индукция	$L^2MT^{-2}I^2$	генри	Гн	$M^2 \cdot KГ \cdot C^{-2} \cdot A^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	кд·ср
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	лк	$M^{-2} \cdot KД \cdot Cр$
Активность изотопа (активность нуклида в радиоактивном источнике)	T^{-1}	беккерель	Бк	C^{-1}
Поглощенная доза излучения	L^2T^{-2}	грей	Гр	$M^2 \cdot C^{-2}$

19. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множитель
Наименование	Обозначение	
экса	Э	10^{18}
пэта	П	10^{15}
тера	Т	10^{12}
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
дека	да	10^1
деци	д	10^{-1}
санتي	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}
фемто	ф	10^{-15}
атто	а	10^{-18}

20. Греческий алфавит

Обозначение букв	Название букв
A, a	альфа
B, β	бета
Γ, γ	гамма
Δ, δ	дельта
E, ε	эпсилон
Z, ζ	дзета
H, η	эта
Θ, θ	тэта
I, ι	йота
K, κ	каппа
Λ, λ	лямбда
M, μ	ми
N, ν	ню
Ξ, ξ	кси
O, o	омикрон
Π, π	пи
ρ, ρ	ро
Σ, σ	сигма
T, τ	тау
Y, υ	ипсилон
Φ, ϕ	фи
X, χ	хи
Ψ, ψ	пси
Ω, ω	Омега