МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Общая физика»

ФИЗИКА
Часть 1

(Физические основы механики, основы молекулярной физики и термодинамики, основы электродинамики)

Методические указания и контрольные
задания для студентов заочной формы обучения
направлений: 13.03.01; 13.03.02; 15.03.01; 15.03.04; 15.03.05;
20.03.01; 23.03.01; 23.03.03; 27.03.01; 23.05.01; 27.03.04.

Курган 2018

Кафедра: «Общая физика»

Дисциплина: «Физика»
(направления 13.03.01; 13.03.02; 15.03.01; 15.03.04; 15.03.05; 20.03.01; 23.03.01; 23.03.03; 27.03.01; 23.05.01; 27.03.04).

Составили: д-р техн. наук, профессор Б.С. Воронцов,
канд. физ.-мат. наук, доцент Т.Н. Новгородова,
канд. физ.-мат. наук, доцент В.М. Овсянов.

Утверждены на заседании кафедры «21» февраля 2018 г.

Рекомендованы методическим советом университета «20» декабря 2017 г.

Введение

Физика – наука о наиболее простых и вместе с тем наиболее общих формах движения материи и их взаимных превращениях. Изучаемые физикой формы движения (механическая, тепловая и др.) присутствуют во всех высших и более сложных формах движения материи (химических, биологических и др.). Поэтому они, будучи наиболее простыми, являются в то же время наиболее общими формами движения материи.

Курс физики вместе с другими дисциплинами цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин составляет основу теоретической подготовки инженеров и играет роль фундаментальной физико-математической базы, без которой невозможна успешная деятельность инженеров любого профиля.

Дисциплина «Физика» представляет собой целостный и фундаментальный курс, единый в своих частях и демонстрирующий роль физики как основы всего современного естествознания.

Изучение курса физики совместно с другими дисциплинами цикла способствует формированию у студентов знаний и умений, являющихся основой формирования соответствующих компетенций, а также современного естественнонаучного мировоззрения.

Цель настоящих методических указаний – оказать помощь студентам заочной формы обучения технических специальностей КГУ в изучении курса физики.

1 Общие методические указания

Дисциплина «Физика» изучается студентами технических специальностей заочной формы обучения Курганского государственного университета в течение двух семестров.

Основной формой обучения студента заочной формы обучения является самостоятельная работа с учебным материалом. Эта работа организуется и направляется кафедрой общей физики КГУ. Преподаватели кафедры читают студентам установочные и обзорные лекции, проводят консультации, практические и лабораторные занятия, осуществляют текущий и итоговый контроль приобретенных знаний.

Процесс изучения физики студентами заочной формы обучения в каждом из учебных семестров состоит из следующих этапов:

1) проработка установочных и обзорных лекций;
2) самостоятельная работа с учебниками и учебными пособиями;
3) выполнение и защита контрольных работ;
4) прохождение лабораторного практикума;
5) сдача зачетов (если они предусмотрены учебным планом) и экзаменов.

Важнейшим аспектом самостоятельной работы студентов является выполнение контрольных работ, которые позволяют закрепить теоретический материал курса. В процессе изучения физики студент должен выполнить две контрольные работы (по одной в семестр). Контрольные работы рецензируются преподавателем и, в случае необходимости, отправляются на доработку. Обязательным элементом является последующая защита контрольной работы студентом, которая может происходить как в течение семестра, так и во время сессии.

Основные разделы курса физики для инженерно-технических специальностей распределены по контрольным работам следующим образом.

Первая контрольная работа включает в себя физические основы механики, основы молекулярной физики и термодинамики, основы электродинамики.

Вторая – электромагнетизм, волновую оптику, элементы квантовой физики, элементы физики атомного ядра и элементарных частиц.

Вариант задания контрольной работы для каждого студента определяет преподаватель.

Перед её выполнением необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач, уравнениями и формулами, а также со справочными материалами, приведенными в методических указаниях.

Каждая контрольная работа оформляется в отдельной тетради. На титульном листе должны быть указаны: номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилия и инициалы студента, номер учебной группы, шифр и домашний адрес.

При решении задач по физике необходимо:

1 Внимательно прочитать условие задачи. Полностью переписать условие задачи в тетрадь. Сделать краткую запись, выразить все данные в СИ. Если позволяет характер задачи, необходимо сделать рисунок, поясняющий ее сущность.

2 Уточнить, какие величины требуется найти в результате решения задачи. Дать определения этих величин, записать для них соответствующие математические соотношения.

3 Установить круг физических явлений, относящихся к данной задаче, и физические законы, лежащие в их основе. Записать в общем виде математические выражения этих законов, а также соотношения между величинами, характеризующими установленные явления с количественной точки зрения.

4 Переписать все уравнения в соответствии с условиями задачи. (Ввести обозначения величин, учесть начальные и конечные условия, число состояний и количественный состав представленной в задаче физической системы).

5 Исходя из полученных соотношений, составить замкнутую систему уравнений (число уравнений совпадает с числом неизвестных). Решить ее любым известным математическим методом. (Следует помнить, что в ряде случаев «лишние» неизвестные могут сокращаться в процессе промежуточных математических преобразований).

6 Если конечное выражение для искомой величины является достаточно сложным, то его правильность желательно проверить методом размерности.

7 Необходимо помнить, что численные значения физических величин всегда являются приближенными. Поэтому при расчетах надо руководствоваться правилами действий с приближенными числами.

Отметим, что для инженерных расчетов, как, впрочем, и для большинства физических, достаточна точность, обеспечиваемая тремя значащими цифрами.

8 Получив численный ответ, оценить его правдоподобность с позиций современной физики.

2 Содержание курса «ФИЗИКА»

(1 семестр изучения)

Тема 1. Физические основы механики

Введение. Цели и задачи изучения дисциплины. Требования по изучению дисциплины. Элементы кинематики. Кинематические уравнения движения. Динамика частиц и твердого тела. Динамика поступательного движения системы материальных точек. Динамика вращательного движения. Законы сохранения импульса, момента импульса, энергии. Элементы специальной (частной) теории относительности.

Тема 2. Гармонический и ангармонический осциллятор

Гармонические колебания и их характеристики. Колебания: груз на пружине, математический и физический маятники. Энергия гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний. Свободные затухающие колебания. Вынужденные колебания осциллятора. Нелинейный осциллятор. Автоколебания.

Тема 3. Основы молекулярной физики и термодинамики

Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Закон Максвелла для распределения молекул по скоростям и энергиям теплового движения. Распределение Больцмана для частиц во внешнем силовом поле. О явлениях переноса в термодинамических неравновесных системах.

Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа газа при изменении его объема. Первое начало термодинамики. Теплоемкость многоатомных газов. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Энтропия, ее статистическое толкование. Третье начало термодинамики (теорема Нернста). Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Фазы и фазовые превращения. Фазовые переходы I и II рода.

Тема 4. Электростатика

Электрический заряд, его свойства. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электростатического поля. Потенциал электростатического поля. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Остроградского-Гаусса к расчету электрических полей. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле. Конденсаторы. Емкость конденсаторов различной геометрической конфигурации. Энергия электростатического поля.

Тема 5. Постоянный электрический ток

Электрический ток, условия его существования, характеристики. Законы Ома и Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Обобщенный закон Ома. Правила Кирхгофа. Расчет разветвленных цепей. Элементарная классическая теория электропроводности металлов.

3 Основные формулы

Средняя скорость материальной точки

в векторном виде: $\langle\vec{v}\rangle = \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$,

в скалярном виде: $\langle v\rangle = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$,

где $\vec{r}$ – радиус-вектор точки; $\Delta\vec{r}$ – вектор перемещения точки за промежуток времени Δt; Δs – путь, пройденный точкой за промежуток времени Δt.

Мгновенная скорость материальной точки

в векторном виде: $\vec{v} = \dfrac{d\vec{r}}{dt}$,

в скалярном виде: $v = \dfrac{ds}{dt}$.

Среднее ускорение материальной точки: $\langle\vec{a}\rangle = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.

Мгновенное ускорение материальной точки: $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$.

Полное ускорение при криволинейном движении

в векторном виде: $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$,

в скалярном виде: $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$.

Тангенциальное ускорение: $a_\tau = \dfrac{dv}{dt}$.

Нормальное ускорение: $a_n = \dfrac{v^2}{R}$,

где R – радиус кривизны траектории в данной точке.

Путь и скорость для равнопеременного прямолинейного движения: $s = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$,

$v = v_0 + at$,

где v_0 – начальная скорость.

Угловая скорость

в векторном виде: $\vec{\omega} = \dfrac{d\vec{\varphi}}{dt}$,

в скалярном виде: $\omega = \dfrac{d\varphi}{dt}$,

где $\vec{\varphi}$ –угловое перемещение.

Угловое ускорение

в векторном виде: $\vec{\varepsilon} = \dfrac{d\vec{\omega}}{dt}$,

в скалярном виде: $\varepsilon = \dfrac{d\omega}{dt}$.

Связь угловой скорости с периодом и частотой вращения: $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$,

где T – период, ν – частота вращения, N – число оборотов, совершаемых телом за время t. $\nu = \frac{N}{t}$,

Угловое перемещение и угловая скорость для равнопеременного вращательного движения:

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2},$$

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t,$$

где ω_0 – начальная скорость.

Связь между линейными и угловыми величинами:

$$s = R\varphi, \quad v = R\omega,$$

$$a_\tau = R\varepsilon,$$

$$a_n = R\omega^2 = \frac{v^2}{R},$$

где R – радиус кривизны траектории.

Уравнение динамики поступательного движения материальной точки (II закон Ньютона):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$$

или

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i,$$

где $\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ – геометрическая сумма сил, действующих на материальную точку; m – масса, $\vec{a}$ – ускорение, $\vec{p} = m\vec{v}$ – импульс точки.

Сила тяжести:

$$\vec{F}_т = m\vec{g},$$

где $\vec{g}$ – ускорение свободного падения.

Сила гравитационного взаимодействия:

$$F_{гр} = G\frac{m_1 m_2}{R^2},$$

где G – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел, находящихся на расстоянии R друг от друга.

Сила упругости:

$$F_{упр} = -kx,$$

где k – коэффициент упругой силы (коэффициент жесткости – в случае пружины); x – абсолютная деформация.

Сила трения скольжения:

$$F_{тр} = \mu \cdot N,$$

где μ – коэффициент трения скольжения; N – сила нормального давления.

Момент силы относительно оси вращения:

$$M = F \cdot L.$$

(При условии, что сила $\vec{F}$, действующая на тело, лежит в плоскости перпендикулярной оси вращения). Здесь L – плечо силы $\vec{F}$ (кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы).

Момент инерции относительно оси вращения материальной точки:

$$J = mr^2,$$

где m – масса точки; r – расстояние от оси вращения;

системы материальных точек: $$J = \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i r_i^2 ,$$
где Δm_i – масса i-й точки; r_i – расстояние этой точки от оси вращения; n – общее число материальных точек системы;

твердого тела: $$J = \int r^2 dm .$$

Таблица 1 – Моменты инерции некоторых тел правильной геометрической формы

Тело	Ось, относительно которой определяется момент инерции	Момент инерции
1	2	3
Однородный тонкий стержень массой m и длиной l	Проходит перпендикулярно стержню через его центр масс	$\frac{1}{12} ml^2$
Однородный тонкий стержень массой m и длиной l	Проходит перпендикулярно стержню через его конец	$\frac{1}{3} ml^2$
Тонкое кольцо, обруч, труба радиусом R и массой m, равномерно распределенной по ободу	Проходит перпендикулярно плоскости основания через центр масс	mR^2
Круглый однородный диск (цилиндр) радиусом R и массой m	Проходит перпендикулярно плоскости основания через центр масс	$\frac{1}{2} mR^2$
Однородный шар массой m и радиусом R	Проходит через геометрический центр	$\frac{2}{5} mR^2$

Момент импульса L тела, вращающегося относительно неподвижной оси: $$\vec{L} = J\vec{\omega},$$
где J – момент инерции тела относительно *этой же* оси вращения, ω – угловая скорость.

Уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси: $$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$

Если момент инерции тела не изменяется с течением времени, то уравнение динамики вращательного движения принимает вид: $$\vec{M} = J\vec{\varepsilon},$$
где ε – угловое ускорение.

Закон сохранения импульса для замкнутой системы: $$\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i = const ,$$
где n – число материальных точек (тел), входящих в систему.

Закон сохранения момента импульса для замкнутой системы: $\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} J_i\vec{\omega}_i = \text{const}.$

Элементарная работа силы: $dA = (\vec{F} \cdot d\vec{S}) = F_S \cdot dS = F \cdot dS \cdot \cos\alpha,$

где $F_S = F \cdot \cos\alpha$ – проекция силы $\vec{F}$ на направление перемещения $d\vec{S}$, α – угол между направлениями силы и перемещения.

Работа, совершаемая переменной силой, на пути S: $A = \int_S (\vec{F} \cdot d\vec{S}) = \int_S F_S dS = \int_S F \cdot \cos\alpha \cdot dS.$

Мгновенная мощность: $N = \frac{dA}{dt};$

$N = (\vec{F} \cdot \vec{v}) = F_S \cdot v = F \cdot v \cdot \cos\alpha.$

Кинетическая энергия поступательного движения тела массы m: $E_к = \frac{mv^2}{2}.$

Кинетическая энергия вращательного движения тела, имеющего момент инерции J, вокруг неподвижной оси: $E_к = \frac{J\omega^2}{2}.$

Кинетическая энергия катящегося тела: $E_к = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c\omega^2}{2},$

где v_c – скорость центра масс, J_c – момент инерции, относительно оси, проходящей через центр масс тела.

Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли на высоту h: $E_п = mgh,$

где g – ускорение свободного падения.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела: $E_п = \frac{kx^2}{2},$

где k – коэффициент упругой силы; x – абсолютная деформация.

Уравнение гармонических колебаний: $x = A\cos(\omega t + \varphi_0),$

где x – смещение колеблющейся точки от положения равновесия; t – время; A, ω, φ_0 – соответственно, амплитуда, круговая (циклическая) частота, начальная фаза колебаний; $(\omega t + \varphi_0)$ – фаза колебаний в момент времени t.

Круговая (циклическая) частота колебаний: $\omega = 2\pi\nu$,
где ν и T – частота и период колебаний. $\omega = 2\pi / T$,

Скорость точки, совершающей гармонические колебания: $v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$.

Ускорение точки, совершающей гармонические колебания: $a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0)$.

Энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

– кинетическая:

$$E_к = \frac{mA^2\omega^2}{2}\sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2}\sin^2(\omega t + \varphi_0),$$

– потенциальная:

$$E_п = \frac{mA^2\omega^2}{2}\cos^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2}\cos^2(\omega t + \varphi_0),$$

– полная:

$$E = \frac{mA^2\omega^2}{2} = \frac{kA^2}{2},$$

где m – масса точки, k – коэффициент упругой (квазиупругой) силы.

Период колебаний тела, подвешенного на пружине (пружинный маятник): $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$,
где m – масса тела, k – коэффициент жесткости пружины.

Период колебаний математического маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$,
где ℓ – длина маятника; g – ускорение свободного падения.

Период колебаний физического маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mag}}$,
где J – момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний, a – расстояние центра масс маятника от оси колебаний; $L = J / ma$ – приведенная длина физического маятника.

Количество вещества тела (системы): $\nu = N / N_A$,
где N – число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т.п.), составляющих тело (систему); N_A – постоянная Авогадро.

Молярная масса вещества: $M = m / \nu$,
где m – масса однородного тела (системы); ν – количество вещества этого тела.

Молярная масса смеси газов:

$$M_{см} = \frac{\sum_i^k m_i}{\sum_{i=1}^k \nu_i},$$

где m_i – масса i-го компонента смеси; ν_i – количество вещества i -го компонента смеси; k – число компонентов смеси.

Уравнение состояния идеальных газов (уравнение Менделеева - Клапейрона):

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

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

или

$$pV = \nu RT.$$

Закон Дальтона:

$$p = \sum_{1}^{k} p_i,$$

где p – давление смеси газов; p_i – парциальное давление i-го компонента смеси, k – число компонентов смеси.

Концентрация частиц (молекул, атомов и т.п.) однородной системы:

$$n=N/V,$$

где N – число частиц, V – объем системы.

Основное уравнение молекулярно - кинетической теории газов:

$$p = 2/3 \cdot n\langle\varepsilon\rangle_{п},$$

где p – давление газа, n – концентрация молекул, $\langle\varepsilon\rangle_{п}$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

Средняя кинетическая энергия,

приходящаяся на одну степень свободы молекулы:

$$\langle\varepsilon\rangle_1 = \frac{1}{2}\cdot kT,$$

приходящаяся на все степени свободы молекулы (полная энергия молекулы):

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

где k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; i – число степеней свободы молекулы. Для одноатомной молекулы – i=3, для двухатомной – i=5, для молекул, состоящих из трех и более атомов, – i=6.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры:

$$p=nkT.$$

Скорости молекул газа:

– среднеквадратичная:

$$\langle v\rangle_{ср.кв} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

– средняя арифметическая:

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

– наиболее вероятная:

$$v_{н.в.} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$$

Внутренняя энергия идеального газа:

$$U = \nu\frac{i}{2}RT,$$

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

где ν – количество вещества; m – масса газа; M – молярная масса газа; R – молярная газовая постоянная.

Первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A$,

где Q – количество теплоты, полученное системой; ΔU – изменение внутренней энергии системы; A – работа, совершенная системой против внешних сил.

Первое начало термодинамики для бесконечно малого изменения состояния системы: $dQ = dU + dA$.

Связь между молярной (C_m) и удельной (c) теплоемкостями газа: $C_m = cM$,

где M – молярная масса газа.

Молярные теплоемкости газа

при постоянном объеме: $C_V = \frac{i}{2}R$,

при постоянном давлении: $C_P = \frac{i+2}{2}R$.

Уравнение Майера: $C_P = C_V + R$,

где R – молярная газовая постоянная.

Показатель адиабаты: $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$.

Уравнение адиабатного процесса (уравнение Пуассона):

$$pV^{\gamma} = \text{const},$$
$$TV^{\gamma-1} = \text{const},$$
$$T^{\gamma}p^{1-\gamma} = \text{const},$$

где γ – показатель адиабаты.

Количество теплоты, полученное системой или отданное ею,

при изохорном процессе: $Q = c_V m\Delta T$, $Q = C_V \nu\Delta T$,

при изобарном процессе: $Q = c_P m\Delta T$, $Q = C_P \nu\Delta T$,

где c_V и c_P – удельные теплоемкости при постоянном объеме и давлении, а C_V и C_P – соответствующие молярные теплоемкости, ν – количество вещества.

Изменение внутренней энергии идеального газа: $dU = \frac{m}{M}C_V dT$.

Элементарная работа, совершаемая газом при изменении его объема: $dA = pdV$.

Полная работа газа при изменении объема: $A = \int_{V_1}^{V_2} pdV$,

где V_1 и V_2 – соответственно начальный и конечный объемы газа.

Работа газа

при изобарном процессе: $A = p(V_2 - V_1)$,

$A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$;

при изотермическом процессе: $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$,

$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$;

при адиабатном процессе: $A = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2)$,

где T_1, T_2 и V_1, V_2 – соответственно, начальные и конечные температуры и объемы газа.

Коэффициент полезного действия тепловой машины: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$,

где Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику.

Максимальный коэффициент полезного действия тепловой машины (КПД цикла Карно): $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$,

где T_1 и T_2 – температуры нагревателя и холодильника, соответственно.

Изменение энтропии системы при переходе из состояния 1 в состояние 2: $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$.

Сила взаимодействия точечных зарядов (закон Кулона): $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$,

где F – сила взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2, направленная вдоль прямой, соединяющей их центры; r – расстояние между зарядами; ε – диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – электрическая постоянная.

Вектор напряженности электрического поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$.

Напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r от заряда: $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q}{r^2}$.

Напряженность электрического поля, создаваемого металлической сферой радиусом R с общим зарядом q, на расстоянии r от центра сферы:

а) внутри сферы (r<R): E=0;

б) на поверхности сферы (r=R): $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q}{R^2}$;

в) вне сферы (r>R): $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{q}{r^2}$.

Напряженность поля, создаваемого бесконечно длинной равномерно заряженной нитью (или цилиндром), на расстоянии r от ее (его) оси: $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{2\tau}{r}$,
где τ – линейная плотность заряда.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью: $E = \frac{1}{2}\frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$,
где σ – поверхностная плотность заряда.

Напряженность поля в пространстве между двумя параллельными бесконечными равномерно и *разноименно* заряженными плоскостями с одинаковой по величине поверхностной плотностью заряда σ: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$.

Потенциал электрического поля: $\varphi = \frac{W_п}{q_0}$,
где $W_п$ – потенциальная энергия точечного заряда q_0, помещенного в данную точку поля.

Потенциал электрического поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r от заряда: $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{q}{r}$.

Потенциал электрического поля, создаваемого металлической сферой радиусом R с общим зарядом q, на расстоянии r от центра сферы:

а) внутри сферы (r<R): $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$;

б) на поверхности сферы (r=R): $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$;

в) вне сферы (r>R): $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$.

Связь потенциала с напряженностью электрического поля: $\vec{E} = -\mathrm{grad}\,\varphi$.

Вектор электрического смещения: $\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}$.

Поток вектора $\vec{E}$ через поверхность S: $\Phi_E = \int_S (\vec{E}\cdot d\vec{S}) = \int_S E_n \cdot dS$,
где E_n – проекция вектора $\vec{E}$ на направление нормали к элементарной площадке dS.

Если поле однородно, поверхность S – плоская, то: $\Phi_E = ES\cos\alpha$,
где α – угол между вектором $\vec{E}$ и нормалью к поверхности S.

Теорема Остроградского-Гаусса: $\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon}\sum_{i=1}^{n} q_i$,
где Φ_E – поток вектора напряженности $\vec{E}$ через про-

извольную замкнутую поверхность S, охватывающую заряды $q_1, q_2, \ldots q_n$.

Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда q из одной точки поля, имеющей потенциал φ_1, в другую, имеющую потенциал φ_2:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q\int_1^2 \vec{E}\cdot d\vec{\ell}.$$

Электрическая емкость уединенного проводника:
где q – заряд проводника, φ – его потенциал.

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

Электрическая емкость конденсатора:
где q – заряд конденсатора, $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов между обкладками конденсатора.

$$C = \frac{q}{U},$$

Электрическая емкость уединенной проводящей сферы радиусом R, находящейся в бесконечной среде с диэлектрической проницаемостью ε:

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R.$$

Электрическая емкость плоского конденсатора:
где S – площадь каждой из обкладок конденсатора; d – расстояние между обкладками; ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего пространство между обкладками.

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

Электрическая емкость плоского слоистого конденсатора:
где d_i – толщина i-го слоя диэлектрика, ε_i – его диэлектрическая проницаемость.

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\sum (d_i/\varepsilon_i)},$$

Электроемкость батареи конденсаторов, соединенных:

– последовательно:

$$\frac{1}{C_{посл}} = \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{C_i};$$

– параллельно:

$$C_{пар} = \sum_{i=1}^{N} C_i,$$

где C_i – емкость i-го конденсатора, N – число конденсаторов.

Энергия электрического поля заряженного проводника:
где q – заряд, φ – потенциал, C – электрическая емкость проводника.

$$W_П = \frac{1}{2}C\varphi^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}q\varphi,$$

Энергия электрического поля заряженного конденсатора:
где C – электрическая емкость конденсатора; U – разность потенциалов на его обкладках.

$$W_П = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}qU,$$

Объемная плотность энергии электрического поля:
где E – напряженность электрического поля в среде с диэлектрической проницаемостью ε; D – электрическое смещение.

$$w = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}ED,$$

Сила тока:

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

Плотность тока:

$$j = dI / dS_{\perp}.$$

Сопротивление однородного проводника:
где ρ – удельное сопротивление, ℓ – длина, S – площадь поперечного сечения проводника.

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

Сопротивление при последовательном и параллельном соединении проводников:
где R_i – сопротивление i –го проводника, N – число проводников.

$$R_{посл} = \sum_{i=1}^{N} R_i,$$

$$\frac{1}{R_{пар}} = \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{R_i},$$

Закон Ома в дифференциальной форме:
где $\sigma = 1/\rho$ – удельная электрическая проводимость, $\vec{E}$ – напряженность электрического поля.

$$\vec{j} = \sigma\vec{E},$$

Закон Ома для однородного участка цепи:
где I – сила тока, текущего по однородному проводнику, U – напряжение на его концах, R – электрическое сопротивление проводника.

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

Закон Ома для неоднородного участка цепи в интегральной форме:
где ε_{12} – суммарная ЭДС на данном участке,
R – суммарное сопротивление внешней цепи,
r – внутреннее сопротивление источника ЭДС.

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

Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме:
где w – тепловая мощность тока, σ – удельная электрическая проводимость, E – напряженность электрического поля.

$$w = \sigma E^2,$$

Закон Джоуля – Ленца в интегральной форме:
где dQ – количество теплоты, выделяющейся в неподвижном и химически не изменяющемся проводнике при протекании через него тока силой I в течение времени dt.

$$dQ = IUdt = I^2Rdt = \frac{U^2}{R}dt,$$

Мощность в цепи постоянного тока:

– полная (выделяющаяся во всей замкнутой цепи): $P_0 = I\varepsilon$,

– полезная (выделяющаяся на внешнем сопротивлении R):

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

К.П.Д. источника тока:

$$\eta = \frac{P}{P_0}\cdot 100\% = \frac{U}{\varepsilon}\cdot 100\% = \frac{R}{R+r}\cdot 100\%.$$

Правила Кирхгофа

Первое. Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_k I_k = 0.$$

Второе. В любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов I_i на сопротивления R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС ε_k, встречающихся в этом контуре:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k.$$

4 Примеры решения задач

Пример 1. Кинематическое уравнение движения материальной точки по прямой имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4м$, $B = 2м/с$, $C = -0{,}5м/с^3$. Для момента времени $t_1 = 2с$ определить: 1) координату x_1 точки; 2) мгновенную скорость v_1; 3) мгновенное ускорение a_1; 4) среднюю скорость за промежуток времени с момента начала движения до $t_1 = 2с$.

Дано:
$x = A+Bt+Ct^3$
$A = 4$ м
$B = 2$ м/с
$C = -0{,}5$ м/с^3
$t_1 = 2$с

x_1 –?
v_1 –?
a_1 –?
$\langle v \rangle$ – ?

Решение

1 Координату точки, для которой известно кинематическое уравнение движения, найдем, подставив в уравнение движения заданное значение времени t_1:

$$x(t_1) = A + Bt_1 + Ct_1^3.$$

Подставив в это выражение значения постоянных A, B, C, и t_1, произведем вычисления: $x_1 = 4м$.

2 Уравнение, описывающее зависимость скорости от времени, найдем, продифференцировав координату x по времени:

$$v = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2.$$

Тогда в заданный момент времени t_1 мгновенная скорость $v_1 = B + 3Ct_1^2$.
Подставим сюда значения B, C, t_1 и произведем вычисления: $v_1 = -4\,м/с$.

Знак минус в полученном значении скорости указывает на то, что в данный момент времени скорость материальной точки направлена в сторону, противоположную положительному направлению оси X.

3 Функциональную зависимость ускорения от времени найдем, используя определение ускорения как второй производной от координаты x по времени:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = 6Ct.$$

Подставим значения C, t_1 и произведем вычисления: $a_1 = -6\,м/с^2$.

4 По определению, среднее значение скорости равно: $\langle v \rangle = \frac{S}{\Delta t}$, где S – путь, пройденный точкой за время Δt.

Если в течение рассматриваемого промежутка времени скорость точки не изменяется по направлению, то

$$S = x(t_1) - x(t_0),$$

где $x(t_1)$ и $x(t_0)$ – координаты материальной точки в конечный и начальный моменты времени, соответственно.

В нашем случае в начальный момент времени $t_0 = 0$с, скорость точки равна 2 м/с, а в момент времени t_1 скорость – $v_1 = -4\,м/с$. Следовательно, в некоторый момент времени t' скорость точки обращается в нуль, т.е. в этот момент времени материальная точка изменяет направление своего движения. Тогда весь путь, пройденный точкой, можно представить в виде: $S = S_1 + S_2$, где $S_1 = x(t') - x(t_0)$ – путь, пройденный точкой до остановки, а $S_2 = x(t') - x(t_1)$ – путь, пройденный в обратном направлении.

Найдем момент времени, в который скорость точки равна нулю:

$$B + 3C(t')^2 = 0.$$

Отсюда $t' = \sqrt{\frac{-B}{3C}}$. Подставив численные значения, получим: t'=1,155 с.

Тогда $x(t') = A + Bt' + C(t')^3$=7,08 м,

$x(t_0) = A$=4 м,

$x(t_1) = A + Bt_1 + Ct_1^3 = 4\,м$.

Следовательно, S=(7,08-4)+(7,08-4)=6,16 м, средняя скорость <v> =3,08м/с.

Пример 2. Тело массой 10 кг движется вверх по наклонной плоскости. На тело действует сила F=100 Н, направленная вверх под углом $\alpha = 30^0$ к поверхности наклонной плоскости. Коэффициент трения μ=0,1. Угол наклона плоскости $\beta = 30^0$. Определить ускорение, с которым движется тело.

Дано:
$m=10$ кг
$F=100$ Н
$\alpha = 30^0$
$\beta = 30^0$
$\mu=0{,}1$

---

a –?

Решение

При движении тела, кроме силы $\vec{F}$, на него действуют также: сила тяжести – $m\vec{g}$, сила реакции опоры – $\vec{N}$ и сила трения – $\vec{F}_{тр}$, показанные на рисунке 1.

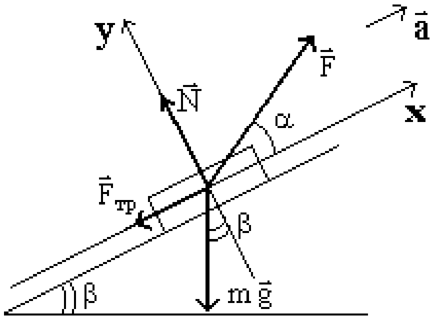


Рисунок 1

Ускорение тела определим, используя основной закон динамики, который в векторной форме в условиях данной задачи имеет вид:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}. \qquad (1)$$

Направим ось X вдоль наклонной плоскости в сторону движения тела, а ось Y – перпендикулярно к ней.

Запишем уравнение (1) в проекциях на выбранные оси координат.

$$\text{На ось X:} \quad ma = -mg \cdot \sin\beta - F_{тр} + F \cdot \cos\alpha, \qquad (2)$$

$$\text{на ось Y:} \quad 0 = -mg \cdot \cos\beta + N + F \cdot \sin\alpha. \qquad (3)$$

По определению, сила трения: $F_{тр} = \mu N$.

Силу реакции опоры найдем из уравнения (3):

$$N = mg \cdot \cos\beta - F \cdot \sin\alpha.$$

Тогда $F_{тр} = \mu \cdot mg \cdot \cos\beta - \mu \cdot F \cdot \sin\alpha$.

Подставим это выражение в (2) и получим рабочую формулу:

$$a = \frac{F}{m}(\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha) - g(\mu \cdot \cos\beta + \sin\alpha).$$

Проведя подстановку данных и вычисления, найдем: $a=3{,}3$м/с^2.

Пример 3. К ободу однородного диска радиусом 0,2 м, вращающегося вокруг своей оси, приложена касательная сила F=98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения $M_{тр} = 4{,}9$ Н·м (рисунок 2). Найти массу диска, если известно, что диск вращается с угловым ускорением $\varepsilon = 100$ рад/с^2.

Дано:
$R=0{,}2$ м
$F=98{,}1$ Н
$M_{тр} = 4{,}9$ Н м
$\varepsilon = 100$ рад/с^2

---

m –?

Решение

Известно, что момент инерции диска относительно оси, проходящей через его центр, равен:

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

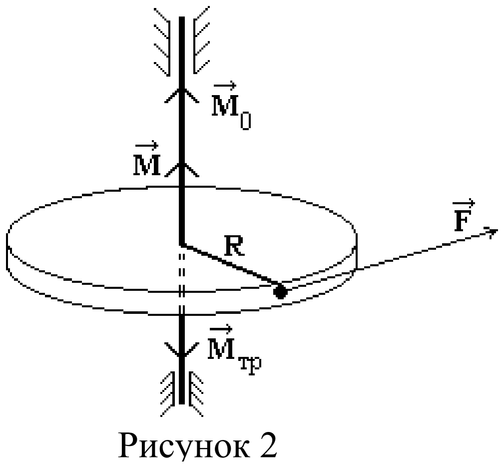


Рисунок 2

Отсюда масса диска:

$$m = \frac{2J}{R^2}. \qquad (1)$$

Воспользовавшись законом динамики вращательного движения твердого тела, найдем момент инерции J:

$$J = \frac{M}{\varepsilon}, \qquad (2)$$

где M – результирующий момент сил, под действием которого вращается диск. С учетом направлений моментов, показанных на рисунке 2,

$$M = M_0 - M_{тр} = FR - M_{тр}. \qquad (3)$$

Здесь $M_0 = F \cdot R$ – момент силы F относительно оси вращения.

Подставляя (2) и (3) в (1), находим:

$$m = \frac{2}{\varepsilon R^2}\left(FR - M_{тр}\right).$$

Проведя необходимые расчеты, получим: m=7,36 кг.

Пример 4. Два свинцовых шара массами m_1=2 кг и m_2=3 кг подвешены на нитях длиной L=70 см (рисунок 3). Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол $\alpha = 60^0$ и отпустили. Считая удар центральным и неупругим, определить: 1) высоту h, на которую поднимутся шары после удара; 2) энергию ΔE, израсходованную на деформацию шаров при ударе.

Дано:	СИ:
$m_1 = 2$ кг	
$m_2 = 3$ кг	
$L = 70$ см	0,7 м
$\alpha = 60°$	$\pi/3$ рад
h –?	
ΔE – ?	

Решение

Проведем анализ движения тел в данной задаче. Движение шаров можно разбить на три этапа.

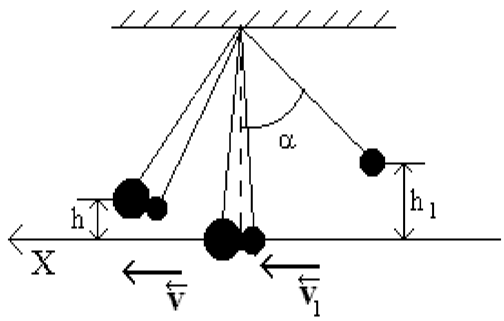


Рисунок 3

На первом этапе (до соударения) шар массой m_1 движется под действием только консервативных сил (сила трения отсутствует). Следовательно, на этом участке движения выполняется закон сохранения механической энергии:

$$m_1 g h_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \qquad (1)$$

где $h_1 = L(1 - \cos\alpha)$ – начальная высота, на которой находился отклоненный шар, v_1 – скорость этого шара непосредственно перед ударом.

Второй этап – неупругое соударение шаров, при котором выполняется закон сохранения импульса:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v},$$

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ – скорости шаров до удара, $\vec{v}$ – скорость шаров, движущихся как единое целое, непосредственно после удара.

С учетом того, что $\vec{v}_2 = 0$, получим:

$$m_1\vec{v}_1 = (m_1 + m_2)\vec{v} \quad . \tag{2}$$

Из уравнения (2) очевидно, что скорость шаров $\vec{v}$ сразу после удара будет направлена вдоль оси X так же, как и скорость $\vec{v}_1$ первого шара непосредственно перед соударением. Поэтому уравнение (2) в проекциях на ось X будет иметь вид:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)v. \tag{3}$$

На третьем этапе движения шаров после удара снова выполняется закон сохранения механической энергии:

$$(m_1 + m_2)\frac{v^2}{2} = (m_1 + m_2)gh. \tag{4}$$

Отсюда искомая высота $h = \dfrac{v^2}{2g}$.

Используя уравнения (3) и (1), получим: $v = \dfrac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$,

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2gL(1-\cos\alpha)} = 2\sqrt{gL}\sin\frac{\alpha}{2}.$$

Тогда $$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{2m_1^2 L\sin^2\dfrac{\alpha}{2}}{(m_1 + m_2)^2}.$$

Энергия, израсходованная на деформацию шаров при ударе:

$$\Delta E = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)}{2}v^2. \tag{5}$$

Проведя подстановку и преобразования, получим:

$$\Delta E = 2gL\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}\sin^2\alpha.$$

Вычислим: 1) h=0,056 м; 2) ΔE=4,12 Дж.

Пример 5. Материальная точка массой 5 г совершает гармонические колебания с частотой 0,5 Гц вдоль оси X. Амплитуда колебаний равна 3 см. Определить: 1) скорость точки в момент времени, когда смещение x=1,5 см; 2) максимальную силу, действующую на точку.

Дано:	СИ:
m=5 г	$5\cdot10^{-3}$ кг
ν=0,5 Гц	
A=3 см	$3\cdot10^{-2}$ м
x=1,5 см	$1{,}5\cdot10^{-2}$ м
v –?	
F_{max}–?	
E – ?	

Решение

1 Уравнение гармонического колебания имеет вид:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi). \qquad (1)$$

По определению, скорость точки равна первой производной по времени от смещения:

$$v = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi). \qquad (2)$$

Чтобы выразить скорость через смещение, надо исключить из формул (1) и (2) время. Для этого возведем оба уравнения в квадрат:

$$x^2 = A^2\cos^2(\omega t + \varphi), \qquad (3)$$

$$v^2 = A^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi). \qquad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) выразим $\cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{x^2}{A^2}$, $\sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{v^2}{A^2\omega^2}$.

Воспользовавшись известным соотношением $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$, получим:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} = 1.$$

Так как круговая частота $\omega = 2\pi\nu$, тогда

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{4\pi^2\nu^2A^2} = 1.$$

Решая последнее уравнение относительно v, найдем:

$$v = \pm 2\pi\nu\sqrt{A^2 - x^2}.$$

Вычисляя, получим v=±8,2 м/с.

Знак «плюс» соответствует случаю, когда направление скорости совпадает с положительным направлением оси X, знак «минус» – когда направление скорости противоположно.

2 Силу, действующую на точку, найдем, используя второй закон Ньютона:

$$F = ma, \qquad (5)$$

где a – ускорение точки.

По определению:

$$a = \ddot{x} = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$$

или: $$a = -4\pi^2\nu^2A\cos(\omega t + \varphi).$$

Подставим это выражение в (5) и получим:

$$F = -4\pi^2\nu^2 mA\cos(\omega t + \varphi).$$

Отсюда максимальное значение силы (при $\cos(\omega t + \varphi) = -1$):

$$F_{max} = 4\pi^2\nu^2 mA.$$

Подставим в это уравнение значения величин π, ν, m, A и найдем $F_{max} = 1{,}49 \cdot 10^{-3}$ Н.

Пример 6. Кислород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,5 МПа, температуре T_1=350 К и занимающий объем V_1=1л, перевели в состояние 2, подвергнув адиабатическому расширению до объема V_2=2 л. Затем изобарно объем газа был увеличен до V_3=3 л. В состояние 4 кислород был переведен путем изотермического увеличения объема V_3 в два раза. После этого последовал изохорный нагрев на ΔT_{5-4}= 150К, который перевел газ в пятое состояние. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

Дано:	СИ:
O_2	
p_1=0,5МПа	$0{,}5 \cdot 10^6$ Па
T_1=350 К	
V_1=1 л	$1 \cdot 10^{-3}$ м^3
$\Delta Q_{1-2} = 0$	
V_2=2 л	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3
p_{2-3}=const	
V_3=3 л	$3 \cdot 10^{-3}$ м^3
T_{3-4}=const	
V_4=0,5 V_3	
V_{4-5}=const	
$\Delta T_{5-4} = 150$ K	

P_i, T_i , V_i , i=1-5 - ?

$\left.\begin{array}{l} A - ? \\ \Delta U - ? \\ Q - ? \end{array}\right\}$ Для каждого из процессов

Решение

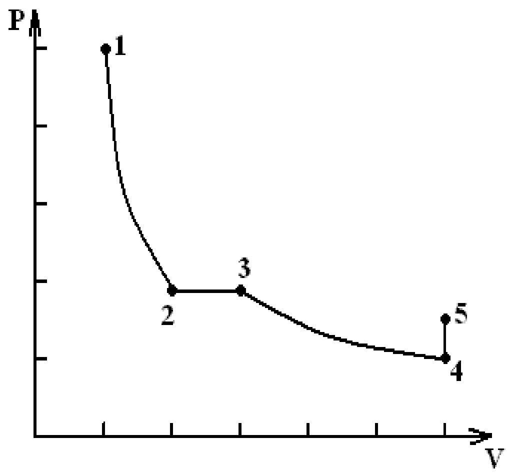


Рисунок 5 – Диаграмма процессов

Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты Q, полученное газом, расходуется на изменение его внутренней энергии (ΔU) и совершение газом работы (A) против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A. \qquad (1)$$

<u>Параметры состояния 1 известны из условия задачи</u>:

$$p_1 = 0{,}5 \cdot 10^6 \text{ Па}, \ V_1 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \ T_1 = 350 \text{ К}.$$

1 Адиабатный процесс совершается, по определению, без теплообмена с окружающей средой, и описывает, в рамках нашей задачи, переход системы из 1-го во 2-е состояние.

Поэтому $$Q_{12} = 0 . \qquad (2)$$

Уравнение (1), записанное для адиабатного процесса, имеет вид:

$$\Delta U_{12} = -A_{12} . \qquad (3)$$

Известно, что изменение внутренней энергии для любого термодинамического процесса: $\Delta U = \frac{m}{M} C_V \Delta T$.

Тогда, в нашем случае:

$$\Delta U_{12} = \frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1), \qquad (4)$$

где m – масса газа, $C_V = \frac{i}{2} R$ – молярная теплоемкость при постоянном объеме, i=5 – число степеней свободы двухатомной молекулы, какой является молекула кислорода; R=8,31 Дж/(моль К) – молярная газовая постоянная;
$M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса кислорода.

Температуру T_2 найдем, используя уравнение Пуассона, описывающее адиабатный процесс:

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

где $\gamma = {}^{i+2}\!/_{i} = {}^{7}\!/_{5} = 1{,}4$ – показатель адиабаты.

Отсюда $$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} . \qquad (5)$$

После подстановки исходных данных получим T_2= 265 К.

Массу газа найдем из уравнения Менделеева – Клапейрона, записанного для состояния 1:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1,$$

откуда $$m = \frac{M p_1 V_1}{R T_1}. \qquad (6)$$

Подстановка данных и расчет дает массу газа m=0,0055 кг.
Из уравнения Менделеева – Клапейрона для состояния 2 найдем давление p_2:

$$p_2 = \frac{m}{M \cdot V_2} R T_2 .$$

После подстановки в это уравнение выражения для массы (6) получим:

$$p_2 = \frac{m}{M \cdot V_2} R T_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{V_2 T_1} .$$

Подстановка данных и расчет приводят к результату p_2=$0{,}189 \cdot 10^6$ Па.

Термодинамические параметры состояния 2:

p_2=0,189$\cdot 10^6$ Па, V_2= $2\cdot 10^{-3}$ м^3, T_2=265 К.

Подставив выражения для T_2, m и C_V в уравнение (4), получим

$$\Delta U_{12} = \frac{p_1 V_1 \cdot i}{2} \cdot \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right]. \qquad (7)$$

Подстановка в (7) численных значений приводит к результату: $\Delta U_{12} = -303$ Дж.
Из (3) следует: $A_{12} = -\Delta U_{12} = 303$ Дж.

Итак, для адиабатного процесса, переводящего систему из состояния 1 в состояние 2, получили: $Q_{12} = 0$ Дж, $\Delta U_{12} = -303$ Дж, $A_{12} = 303$ Дж.

2 Изобарный процесс характеризуется постоянством давления. Для этого процесса первое начало термодинамики имеет вид:

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

При изобарном расширении (в нашей задаче это переход из состояния 2 в состояние 3) работа газа, по определению, равна:

$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_2), \qquad (8)$$

где p_2=0,189$\cdot 10^6$ Па=const. Из условия задачи известны V_2 и V_3. Подстановка численных значений в формулу (8) дает

A_{23}=189 Дж.

Температуру T_3 найдем, воспользовавшись законом Гей-Люссака для изобарного процесса: $\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2}$.

Отсюда $T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2}$=397 К.

Отметим, что так как процесс $2 \Rightarrow 3$ – изобарный, следовательно, p_2=p_3.

Определили термодинамические параметры состояния 3:

$p_3 = 0{,}189 \cdot 10^6$ Па, $V_3 = 3 \cdot 10^{-3}$ м^3, T_3=397 К.

Изменение внутренней энергии газа рассчитаем по уже известной формуле:

$$\Delta U_{23} = \frac{m}{M} C_V \Delta T = \frac{m}{M} C_V (T_3 - T_2) = 471 \text{ Дж}. \qquad (9)$$

Количество теплоты Q_{23}, полученное газом в изобарном процессе, найдем согласно (1):

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = 660 \text{ Дж} \qquad (10)$$

Итак, для изобарного процесса, переводящего систему из состояния 2 в состояние 3, получили: A_{23}=189 Дж; $\Delta U_{23} = 471$ Дж; Q_{23}=660 Дж.

3 Изотермический процесс характеризуется постоянством температуры. Для этого процесса первое начало термодинамики имеет вид:

$$Q = A,$$

так как при постоянной температуре внутренняя энергия системы не изменяется, то есть $\Delta U = 0$.

Следовательно, при изотермическом изменении объема (в нашей задаче это переход из состояния 3 в состояние 4) количество полученной газом теплоты будет совпадать с работой газа, которая, в свою очередь, равна:

$$A_{3,4} = \frac{m}{M} RT_4 \ln(V_4 / V_3)\,. \qquad (11)$$

Определим параметры 4-го состояния: T_4=T_3, так как процесс – изотермический, V_4=2V_3 – по условию. Давление кислорода p_4 найдем из закона Бойля-Мариотта:

$$\frac{p_4}{p_3} = \frac{V_3}{V_4}\,.$$

Отсюда $p_4 = p_3 \frac{V_3}{V_4}$. Подстановка числовых данных и расчет приводят к результату: p_4=$0{,}099 \cdot 10^6$ Па.

Таким образом, <u>термодинамические параметры 4-го состояния:</u>

p_4=$0{,}099 \cdot 10^6$ Па, V_4= $6 \cdot 10^{-3}\,м^3$, T_4=397 К.

Теперь, когда известны все необходимые данные, проведем расчет по формуле (11) и получим: $Q_{34} = A_{34}$ =393 Дж.

<u>Для изотермического процесса, переводящего систему из состояния 3 в состояние 4, получили:</u> A_{34}=393 Дж; $\Delta U_{34} = 0$; Q_{34}=393 Дж.

4 Изохорный процесс характеризуется неизменностью объема, занимаемого газом. Так как, по определению, работа газом совершается только при изменении его объема, то для изохорного процесса она равна нулю.

Это значит, что первое начало термодинамики имеет вид: $Q = \Delta U$.

Или, в наших обозначениях: $Q_{45} = \Delta U_{45}$.

Следовательно, при изохорном процессе количество подведенной к газу теплоты будет совпадать с изменением его внутренней энергии, которое, в свою очередь, равно:

$$\Delta U_{45} = \frac{m}{M} C_V (T_5 - T_4)\,. \qquad (12)$$

Определим параметры 5-го состояния: T_5=T_4+150=547 К – по условию задачи. Процесс – изохорный, следовательно, V_5=V_4 =$6 \cdot 10^{-3}\,м^3$. Давление кислорода p_5 найдем из закона Шарля:

$$\frac{p_5}{p_4} = \frac{T_5}{T_4}\,.$$

Отсюда: $p_5 = p_4 \frac{T_5}{T_4} = 0{,}136 \cdot 10^6$ Па.

Таким образом, <u>термодинамические параметры 5- го состояния:</u>

p_5=$0{,}136 \cdot 10^6$ Па, V_5= $6 \cdot 10^{-3}\,м^3$, T_4=547 К.

Проведя уже стандартный расчет по формуле (12), получим:

$$Q_{45} = \Delta U_{45} = 536 \text{ Дж}.$$

Итак, <u>для изохорного процесса, переводящего систему из состояния 4 в состояние 5, получили:</u> $A_{45}=0$; $\Delta U_{45} = 536$ Дж; $Q_{45}=536$ Дж.

Пример 7. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma=400$ нКл/м^2, и бесконечной прямой нитью, заряженной с линейной плотностью $\tau=100$ нКл/м. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от нити, если эта точка и нить лежат в плоскости, параллельной заряженной плоскости.

Решение

Дано:	СИ:
$\sigma=400$ нКл/м^2	$4\cdot10^{-7}$ Кл/м^2
$\tau=100$ нКл/м	10^{-7} Кл/м
$r=10$ см	0,1 м
E – ?	

Согласно принципу суперпозиции вектор напряженности электрического поля равен векторной сумме напряженностей полей $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$, создаваемых, соответственно, плоскостью и нитью в данной точке:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \tag{1}$$

Поле, создаваемое бесконечной заряженной плоскостью, однородно. Вектор его напряженности в любой точке окружающего пространства направлен нормально по отношению к плоскости. Модуль этого вектора равен:

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}, \tag{2}$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Поле, создаваемое бесконечной заряженной нитью, неоднородно. Вектор напряженности электрического поля нити направлен радиально от нити. Его модуль в точке на расстоянии r от нити определяется выражением:

$$E_2 = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}. \tag{3}$$

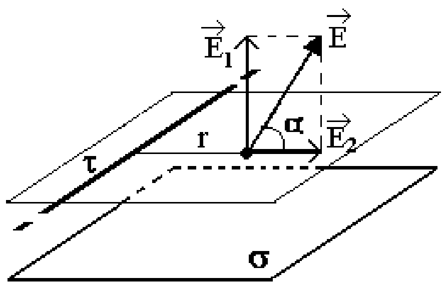


Рисунок 6

Как видно из рисунка 6, векторы $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ взаимно перпендикулярны, следовательно:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}.$$

Подставим выражения (2), (3) в эту формулу и проведем вычисления:

$$E = \frac{1}{2\varepsilon_0}\sqrt{\sigma^2 + \frac{\tau^2}{\pi^2 r^2}} = 2{,}89\cdot10^{-8} \text{ В/м}.$$

Вектор $\vec{E}$ направлен под углом α к заряженной плоскости. Из рисунка 6 видно, что $tg\alpha = \frac{E_1}{E_2}$. Используя формулы (2) и (3), получим:

$$tg\alpha = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot r}{\tau}.$$

Произведя вычисления, получим $tg\alpha = 0{,}4$. Следовательно, $\alpha = arctg 0{,}4 = 28{,}1°$.

Пример 8. Электрон, имевший скорость 60 Мм/с, влетел в пространство между пластинами плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов U =1000 В, по линии АВ, параллельной пластинам и проходящей на одинаковом расстоянии от них. Расстояние d между пластинами равно 2 см. Длина L_1 пластин конденсатора в направлении полета электрона равна 20 см. Определить: 1) работу электрического поля по изменению скорости электрона, прошедшего сквозь конденсатор; 2) расстояние ВС на экране Э, отстоящем от конденсатора на L_2=1 м.

Решение

Дано:	СИ:
v_0=60 Мм/с	$6\ 10^7$ м/с
U =1000 В	
d=2 см	0,02 м
L_1=20 см	0,2 м
L_2=1 м	
A –?	
BC –?	

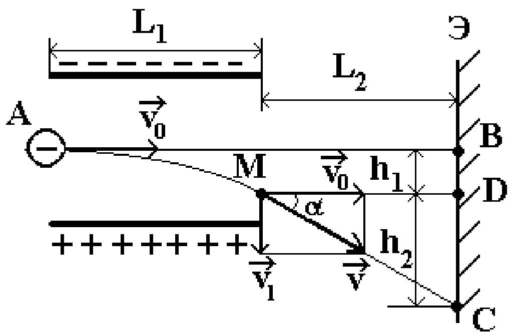


Рисунок 7

1 В соответствии с законом сохранения механической энергии искомая работа поля А будет равна разности кинетических энергий электрона на выходе из конденсатора ($E_к$) и на входе в него (E_0):

$$A = E_к - E_0 = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m}{2}(v^2 - v_0^2). \qquad (1)$$

Скорость $\vec{v}$ электрона при вылете из конденсатора в точке М можно представить в виде двух составляющих: вертикальной – $\vec{v}_1$ и горизонтальной – $\vec{v}_0$ (рисунок 7). Тогда

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_1^2}.$$

Между пластинами конденсатора электрон движется равноускоренно под действием постоянной силы электростатического поля конденсатора, направленной вертикально вниз (силой тяжести, действующей на электрон, можно пренебречь ввиду ее малой величины). Следовательно, $v_1 = a \cdot t$.

По второму закону Ньютона $\qquad a = F/m$,

где $F = eE$ – сила, с которой электрическое поле напряженностью Е действует на электрон, е – модуль заряда электрона, m – его масса.

Напряженность поля между пластинами плоского конденсатора связана с разностью потенциалов U между ними соотношением: $E = U/d$, где d – расстояние между пластинами. Тогда ускорение

$$a = \frac{eU}{md}. \quad (2)$$

Время полета электрона внутри конденсатора найдем из формулы пути равномерного движения $L_1 = v_0 t$, откуда

$$t = L_1 / v_0 , \quad (3)$$

где L_1 – длина конденсатора в направлении полета электрона.

Используя выражения для (2) и (3), получим:

$$v_1 = \frac{e \cdot UL_1}{d \cdot m \cdot v_0}. \quad (4)$$

Подстановка данных и расчет дают: $v_1 = 0{,}3 \cdot 10^8$ м/с, $v = 6{,}6 \cdot 10^7$ м/с.

Тогда по формуле (1) работа: $A = 3{,}2 \cdot 10^{-15}$ Дж.

2 На выходе из конденсатора (в точке М) электрон будет иметь смещение по вертикали h_1 (рисунок 7). На участке МС движение электрона прямолинейное, с постоянной скоростью $\vec{v}$. На этом участке электрон смещается по вертикали на расстояние h_2 относительно точки М.

Очевидно, что искомое расстояние: $BC = h_1 + h_2$.

Пользуясь формулой длины пути равноускоренного движения, найдем

$$h_1 = at^2 / 2, \quad (5)$$

где a – ускорение, полученное электроном под действием поля конденсатора; t – время полета электрона внутри конденсатора.

Подставляя в формулу (5) последовательно значения a и t из соответствующих выражений, получим:

$$h_1 = \frac{eUL_1^2}{2mdv_0^2}. \quad (6)$$

Из треугольника MDC (рисунок 7) длина отрезка h_2 равна:

$$h_2 = L_2 \cdot \mathrm{tg}\alpha, \quad (7)$$

где α – угол между векторами скоростей $\vec{v}_0$ и $\vec{v}$.

Из рисунка видно, что $\mathrm{tg}\alpha = v_1 / v_0$. (8)

После подстановки выражений (8) и (4) в уравнение (7), получим:

$$h_2 = \frac{L_2 v_1}{v_0} = \frac{eUL_1L_2}{mdv_0^2}.$$

Окончательно для искомого расстояния BC будем иметь:

$$BC = h_1 + h_2 = \frac{eUL_1^2}{2mdv_0^2} + \frac{eUL_1L_2}{mdv_0^2} = \frac{eUL_1}{mdv_0^2}\left(\frac{L_1}{2} + L_2\right).$$

Подставив значения величин в последнее выражение и произведя вычисления, получим $BC = 0{,}55$ м.

Пример 9. С каким коэффициентом полезного действия работает свинцовый аккумулятор, ЭДС которого $\varepsilon = 2{,}15$ В, если во внешней цепи с сопротивлением R = 0,25 Ом течет ток I=5 A? Какую максимальную полезную мощность может дать этот аккумулятор во внешней цепи? Какой КПД соответствует этой мощности?

Дано:
$\varepsilon = 2{,}15$ В
R=0,25 Ом
I=5 A

$\eta, \eta' - ?$
$P_{макс} - ?$

Решение

По определению, коэффициент полезного действия η есть отношение полезной мощности, выделяемой во внешней цепи, ко всей мощности, выделяемой аккумулятором:

$$\eta = \frac{I^2 R}{\varepsilon I} = \frac{IR}{\varepsilon}.$$

После подстановки численных значений получим: $\eta \approx 0{,}58$.

Известно, что полезная мощность электрической цепи (мощность, выделяемая на внешнем сопротивлении) равна:

$$P = IU = I^2 R. \qquad (1)$$

Воспользовавшись законом Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \qquad (2)$$

получим:

$$P = \varepsilon^2 \frac{R}{(R + r)^2}. \qquad (3)$$

Из формулы (3) очевидно, что величина мощности P, выделяемой во внешней цепи, зависит от величины внешнего сопротивления цепи (R). Чтобы найти экстремум функции (3), возьмем первую производную от этого выражения по R, приравняем ее нулю.

$$P' = \frac{\varepsilon^2 (R + r)^2 - \varepsilon^2 R \cdot 2(R + r)}{(R + r)^4} = 0.$$

Проведя преобразования, получим: $R = r$.

Следовательно, во внешней цепи выделяется максимальная мощность, если ее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника тока.

Из закона Ома (2) определим внутреннее сопротивление источника тока:

$$r = \varepsilon / I - R = 0{,}18 \text{ Ом}.$$

Подставив в (3) значение $R = r$ и проведя вычисления, получим:

$$P_{макс} = \left(\frac{\varepsilon}{2r}\right)^2 r = \frac{\varepsilon^2}{4r} = \frac{2{,}15^2}{4 \cdot 0{,}18} = 6{,}42 \text{ Вт}.$$

При этом коэффициент полезного действия:

$$\eta' = \frac{I \cdot R}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon \cdot r}{2r \cdot \varepsilon} = 0{,}5.$$

Пример 10. Источники тока с $\varepsilon_1 = 10$ В и $\varepsilon_2 = 4$ В включены в цепь, как показано на рисунке 8. Определить силы токов, текущих в сопротивлениях R_2 и R_3, если $R_1 = R_4 = 2$ Ом и $R_2 = R_3 = 4$ Ом. Сопротивлениями источников тока пренебречь.

Дано:	Решение
$\varepsilon_1 = 10$ В $\varepsilon_2 = 4$ В $R_1 = R_4 = 2$ Ом $R_2 = R_3 = 4$ Ом	Силы токов в разветвленной цепи можно определить с помощью правил Кирхгофа. Выберем направления токов, как показано на рисунке 8.
$I_2,\ I_3$ – ?	

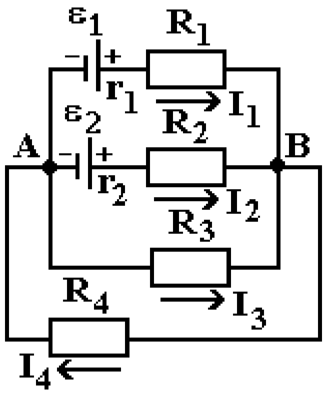


Рисунок 8

По первому правилу Кирхгофа для узла B имеем:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0. \qquad (1)$$

По второму правилу Кирхгофа имеем для контуров AR_1BR_2A, AR_1BR_3A, AR_3BR_4A, соответственно:

$$I_1R_1 - I_2R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2, \qquad (2)$$

$$I_1R_1 - I_3R_3 = \varepsilon_1, \qquad (3)$$

$$I_3R_3 + I_4R_4 = 0. \qquad (4)$$

Подставив в равенства (2) - (4) значения сопротивлений и ЭДС и объединив с (1), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0 \\ 2 \cdot I_1 - 4 \cdot I_2 = 6 \\ 2 \cdot I_1 - 4 \cdot I_3 = 10 \\ 4 \cdot I_3 + 2 \cdot I_4 = 0 \end{cases}$$

Поскольку нужно найти только два тока, то для решения этой системы линейных уравнений удобно воспользоваться методом Крамера. Запишем полученную систему уравнений в виде:

$$\begin{cases} 1 \cdot I_1 + 1 \cdot I_2 + 1 \cdot I_3 - 1 \cdot I_4 = 0 \\ 2 \cdot I_1 - 4 \cdot I_2 + 0 \cdot I_3 + 0 \cdot I_4 = 6 \\ 2 \cdot I_1 + 0 \cdot I_2 - 4 \cdot I_3 + 0 \cdot I_4 = 10 \\ 0 \cdot I_1 + 0 \cdot I_2 + 4 \cdot I_3 + 2 \cdot I_4 = 0 \end{cases}$$

Искомые значения токов найдем из выражений:

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad \text{и} \quad I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}, \tag{5}$$

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 \\ 2 & -4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 10 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 \\ 2 & -4 & 6 & 0 \\ 2 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix}.$$

Расчеты дают следующие значения определителей:

$$\Delta = 96; \qquad \Delta_2 = 0; \qquad \Delta_3 = -96.$$

Отсюда, по формулам (5), получаем: $I_2 = 0$, $I_3 = -1$ A.

Знак минус у значения силы тока I_3 свидетельствует о том, что при первоначальном выборе направлений токов, указанных на рисунке, направление тока I_3 было выбрано противоположно истинному.

5 Контрольная работа № 1

Таблица 2 – Таблица выбора вариантов индивидуального задания

Вари-ант	**Номера задач**									
1	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
2	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
3	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
4	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
5	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
6	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
7	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
8	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
9	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

1 При прямолинейном движении зависимость координаты тела от времени описывается уравнением $x=A+Bt+Ct^2+Dt^3$, где $B=2$ м/с, $C=0{,}14$ м/с^2, $D=0{,}1$ м/с^3. Через сколько времени после начала движения ускорение тела будет равно а) 1 м/с^2; б) 6 м/с^2? Чему равна средняя скорость тела за промежуток времени, в течение которого ускорение возросло от 1 м/с^2 до 6 м/с^2?

2 Зависимость координаты тела от времени задана уравнением $x=At+Bt^2+Ct^3$, где $A=12$ м/с, $B=-3$ м/с^2, $C=-4$ м/с^3. Найти в явном виде зависимость скорости и ускорения от времени; расстояние, пройденное телом, мгновенные скорость и ускорение тела через 2 секунды после начала движения; среднюю скорость за промежуток времени от $t_1=2$ с до $t_2=5$ с.

3 Две материальные точки движутся согласно уравнениям: $x_1=A_1t+B_1t^2+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где $A_1=4$ м/с, $B_1=8$ м/с^2, $C_1=-16$ м/с^3; $A_2=2$ м/с, $B_2=-4$ м/с^2, $C_2=1$ м/с^3. В какой момент времени ускорения этих точек будут одинаковы? Найти скорости точек в этот момент. Найти среднюю скорость второй материальной точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства их ускорений.

4 Движения двух материальных точек выражаются уравнениями: $x_1=A_1t+B_1t^2+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где $A_1=20$ м/с, $B_1=2$ м/с^2, $C_1= -4$ м/с^3; $A_2=2$ м/с, $B_2=2$ м/с^2, $C_2=0{,}5$ м/с^3. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Определить скорости и ускорения точек в этот момент. Найти среднюю скорость первой точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства их скоростей.

5 Движение материальной точки задано уравнением $x=At+Bt^2$, где $A=4$м/с, $B=-0{,}05$ м/с^2. Определить момент времени, в который скорость точки равна нулю. Найти путь, пройденный точкой, координату и ускорение точки в этот момент. Найти среднюю скорость точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства ее скорости нулю.

6 Движения двух материальных точек выражаются уравнениями: $x_1=A_1+B_1t^2+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где $A_1=-12$ м, $B_1=-2$ м/с^2, $C_1= 8$ м/с^3; $A_2=-4$ м/с, $B_2=-3$ м/с^2, $C_2=8$ м/с^3. В какой момент времени координаты этих точек будут одинаковыми? Определить скорости и ускорения точек в этот момент. Найти среднюю скорость первой точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства их координат.

7 Уравнение движения тела имеет вид $x=15t - 0{,}4t^2$. Определить промежуток времени после начала движения, в течение которого точка вернется в исходное положение. Найти путь, пройденный точкой и ее среднюю скорость за этот промежуток времени.

8 Уравнение движения материальной точки по прямой имеет вид $x=A+Bt+Ct^2$, где $A=4$ м, $B=2$ м/с, $C=-0{,}5$ м/с^2. Для момента времени $t_1=2$ с определить координату точки и мгновенное ускорение. Найти путь, пройденный точкой, и среднюю скорость за промежуток времени от $t_1=2$ с до $t_2=6$ с.

9 Зависимость координаты тела от времени дается уравнением $S=A-Bt+Ct^2+Dt^3$, где $A=6$ м, $B=3$м/с, $C=-2$ м/с^2, $D=0{,}2$ м/с^3. Считая движение прямолинейным, определить для тела в интервале времени от $t_1=1$ с до $t_2=4$ с 1) среднюю скорость; 2) путь, пройденный телом; 3) в какой момент времени после начала движения точка вернется в исходное положение?

10 Две материальные точки движутся согласно уравнениям: $x_1=A_1t+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где $A_1=14$ м/с, $C_1=-6$ м/с^3; $A_2=2$ м/с, $B_2=4$ м/с^2, $C_2=-5$ м/с^3. В какой момент времени t_1 ускорение первой точки будет вдвое больше ускорения второй? Найти скорости точек в этот момент. Найти среднюю скорость первой точки за промежуток времени с момента начала движения до момента времени t_1.

11 Тело некоторой массы скользит вниз по наклонной плоскости с постоянным ускорением, равным 0,05g. Найти угол наклона этой плоскости, если коэффициент трения равен 0,02.

12 За какое время тело спустится с вершины наклонной плоскости высотой 3 м и углом у основания 60^0, если максимальный угол у основания наклонной плоскости, при котором тело находится на ней в покое, равен 30^0?

13 Тело массой m скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 45^0. Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением $s=Ct^2$, где $C=1{,}73$ м/с^2. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

14 На автомобиль массой 1т во время движения действует сила трения, равная 0,1 действующей на него силы тяжести. Найти силу тяги, развиваемую мотором автомобиля, если автомобиль движется с ускорением 1 м/с^2 в гору с уклоном 1 м на каждые 25 м пути.

15 По наклонной плоскости с углом α наклона к горизонту, равным 30^0, скользит тело. Определить скорость тела в конце второй секунды от начала скольжения, если коэффициент трения $\mu=0{,}15$.

16 С каким ускорением будет скользить тело по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha=24^0$, если коэффициент трения равен 0,03? Какое время потребуется для прохождения при этих условиях пути 100 м? Какую скорость тело будет иметь в конце пути?

17 С вершины клина, длина которого $\ell=2$ м и высота h=1 м, начинает скользить небольшое тело. Коэффициент трения между телом и клином $\mu=0{,}15$. Определить: 1) ускорение, с которым движется тело; 2) время прохождения тела вдоль клина; 3) скорость тела у основания клина.

18 На автомобиль массой 2т во время движения действует сила трения, равная 0,1 действующей на него силы тяжести. Найти силу тяги, развиваемую мотором автомобиля, если автомобиль движется с постоянной скоростью в гору с уклоном 1 м на каждые 25 м пути.

19 Тело некоторой массы равномерно скользит вниз по наклонной плоскости. Найти угол наклона этой плоскости, если коэффициент трения равен 0,05.

20 Тело скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 45^0. Пройдя путь 36,4 см, тело приобретает скорость 2 м/с. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

21 Маховик, момент инерции которого равен J=63,7 $кг \cdot м^2$, вращается с постоянной угловой скоростью ω=31,4 рад/с. Найти тормозящий момент М, под действием которого маховик останавливается через t=20 с. Маховик считать однородным диском.

22 Определить, какая постоянная касательная сила приложена к ободу однородного сплошного диска радиусом 0,5 м и массой 24 кг, если при вращении на него действует момент сил трения 2 $Н \cdot м$. Угловое ускорение диска постоянно и равно 16 $рад/с^2$.

23 Маховое колесо, имеющее момент инерции 245 $кг \cdot м^2$, вращается, делая 20 об/с. Через минуту после того, как на колесо перестал действовать вращающий момент, оно остановилось. Найти момент сил трения.

24 К ободу однородного сплошного диска радиусом R=0,2 м приложена постоянная касательная сила F=98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения 5 $Н \cdot м$. Найти массу диска, если известно, что диск вращается с постоянным ускорением ε=100 $рад/с^2$.

25 Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J=150 $кг \cdot м^2$, вращается с частотой ν=240 об/мин. Через время t=1 мин, как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определить момент сил торможения.

26 Вал массой m=100 кг и радиусом R=5 см вращался с частотой ν=8 $с^{-1}$. К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой N=40 Н, под действием которой вал остановился через t=10 с. Определить коэффициент трения.

27 Диск массой m=2 кг и радиусом R=10 см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение движения диска имеет вид $\varphi = Ct^3$, где $C = -1 рад/с^3$. Определить вращающий момент М в момент времени t=2 с, если момент сил торможения постоянен и равен 12 $Н \cdot м$.

28 Маховик радиусом 0,5 м, вращаясь равнозамедленно, за 10 секунд изменил частоту вращения от 480 до 120 об/мин. Тормозящий момент постоянен и равен 40 $Н \cdot м$. Определить массу маховика.

29 К шару радиусом 0,2 м приложена касательная сила 100 Н. При вращении вокруг оси, проходящей через центр масс, на шар действует момент сил трения 5 $Н \cdot м$. С каким угловым ускорением вращается шар, если его масса 15 кг?

30 Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J=1,5 $кг \cdot м^2$, вращаясь при торможении равнозамедленно, за время t=1 мин уменьшил частоту своего вращения с ν_0=240 об/мин до ν_1=120 об/мин. Определить момент силы торможения.

31 На нитях одинаковой длины, равной 2,5 м, закрепленных в одной точке, подвешены два шарика массами 75 г и 100 г, соответственно. Нить с большим шариком отклонили на угол 60 градусов и отпустили. Считая удар абсолютно неупругим, определить, на какую высоту поднимутся шарики после соударения.

32 Пуля массой 15 г, летящая с горизонтальной скоростью 0,5 км/с, попадает в баллистический маятник[1)] массой 6 кг и застревает в нем. Определить высоту, на которую поднимется маятник, откачнувшись после удара.

33 Два тела массами 3 кг и 5 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 7 м/с и 9 м/с. Найти скорость движения тел после соударения и выделившуюся при неупругом ударе энергию.

34 Пуля массой 15 г, летящая горизонтально со скоростью 200 м/с, попадает в баллистический маятник[1)] длиной 1 м и массой 1,5 кг и застревает в нем. Определить угол отклонения маятника.

35 Тело массой 3 кг движется со скоростью 2 м/с и ударяется о неподвижное тело такой же массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты, выделившееся при ударе.

36 Пуля массой 12 г, летящая с горизонтальной скоростью 0,6 км/с, попадает в мешок с песком массой 10 кг, висящий на длинной нити, и застревает в нем. Определить: 1) высоту, на которую поднимется мешок, отклонившись после удара; 2) энергию, израсходованную на пробивание песка.

37 На нитях одинаковой длины, равной 0,8 м, закрепленных в одной точке, подвешены два шарика массами 40 г и 60 г, соответственно. Нить с меньшим шариком отклонили на угол 60 градусов и отпустили. Считая удар неупругим, определить, какая энергия пошла на нагревание шариков.

38 Пуля массой 9 г, летящая с горизонтальной скоростью 0,6 км/с, попадает в баллистический маятник[1)] массой 8 кг и застревает в нем. Определить выделившуюся при этом энергию.

39 Тело массой 8 кг движется со скоростью 3 м/с и ударяется о движущееся со скоростью 1 м/с в том же направлении тело вдвое большей массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты, выделившееся при ударе.

40 На нитях одинаковой длины, равной 1,2 м, закрепленных в одной точке, подвешены стальной и пластилиновый шарики одного размера массой 20 г и 8 г, соответственно. Нить со стальным шариком отклонили на угол 45 градусов и отпустили. Определить, на какую высоту поднимутся шарики после соударения.

41 Определить скорость и ускорение материальной точки через 5 с после начала движения, если она совершает гармонические колебания, согласно уравнению $x = 0{,}02\cos(\pi t + \pi/3)$, м. Написать уравнение для силы, вызывающей это движение, если масса точки 11 г.

42 Точка массой 20 г совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см и периодом 5 с под действием некоторой периодической силы. Определить для точки максимальные скорость, ускорение и действующую силу.

43 Определить максимальную скорость точки, совершающей гармонические колебания по закону $x = 3\cos(\pi t/2 + \pi/8)$, м. Найти массу этой точки, если максимальная сила, вызывающая эти колебания, равна 12 Н.

[1)] Баллистический маятник – массивное тело, подвешенное на тонких нерастяжимых нитях длиной L.

44 Скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, задается уравнением $v(t) = -6\sin(2\pi t)$, м/с. Записать зависимость смещения этой точки от времени. Найти силу, действующую на точку в момент времени t=6 с, если масса точки 4 г.

45 Определить скорость и ускорение материальной точки через 3 с после начала движения, если она совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}02\cos(\pi t + \pi/4)$, м. Найти силу, действующую на точку через 20 с после начала движения, если масса точки 2 г.

46 Амплитуда гармонических колебаний материальной точки равна 5 см, период – 4 с. Найти максимальные скорость и ускорение колеблющейся точки. Найти силу, действующую на точку через 2 с после начала движения, если масса точки 10 г, а начальная фаза равна 120^0.

47 Уравнение движения материальной точки $x = 2\sin(\pi t/2 + \pi/4)$, см. Найти максимальную скорость точки и ее максимальное ускорение, а также силу, действующую на эту точку в начальный момент времени, если масса точки 7 г.

48 Уравнение движения материальной точки $x = \sin(\pi t/6)$, м. Найти моменты времени, в которые достигаются минимальные по модулю скорость и ускорение. Найти силу, действующую на точку через 10 с после начала движения, если масса точки 12 г.

49 Определить максимальные по модулю значения скорости и ускорения материальной точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой 3 см и угловой частотой $\omega = \pi/2$ c^{-1}. Найти силу, действующую на точку через 3 с после начала движения, если масса точки – 30 г, а начальная фаза колебаний – 60^0.

50 Точка совершает колебания по закону $x = A\cos(\omega t)$, где A=5 см, $\omega = 2c^{-1}$. Определить ускорение точки в момент времени, когда ее скорость равна 8 см/с. Написать уравнение для силы, вызывающей это движение, если масса точки 9 г.

51 Азот, находившийся в состоянии 1 с параметрами p_1=0,2 МПа, T_1=450 К, V_1=2 л, изотермически перевели в состояние 2 с объемом V_2=6 л. Затем адиабатно объем газа был увеличен до V_3=9 л. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

52 Гелий, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,25 МПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=2,5 л, изобарно перевели в состояние 2 с температурой T_2=650 К. Затем адиабатно объем газа был увеличен на 3 л. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

53 Кислород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,25 МПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=2,5 л, изохорно перевели в состояние 2 с температурой T_2=650 К. Затем адиабатно давление газа было уменьшено в 2 раза. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

54 Водород, находящийся в состоянии 1 (p_1=0,1 МПа, T_1=300 К, V_1=1 л), перевели в состояние 2, адиабатно уменьшив давление на 20%. Затем изобарно объем газа был увеличен до V_3=2 л. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

55 Гелий, находящийся в состоянии 1 (p_1=310 кПа, T_1=400 К, V_1=10 л), перевели в состояние 2, адиабатно увеличив давление в два раза. Затем изотермически объем газа был увеличен на 6 литров. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

56 Кислород, находящийся в состоянии 1 (p_1=230 кПа, T_1=450 К, V_1 = 20 л), перевели в состояние 2, адиабатно уменьшив объем в три раза. Затем изохорно температура газа была увеличена на 100 К. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

57 Кислород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=250 кПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=12 л, изотермически перевели в состояние 2 с объемом V_2=6 л. Затем адиабатно объем газа был уменьшен на два литра. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

58 Азот, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=220 кПа, температуре T_1=430 К и занимающий объем V_1=25 л, изобарно перевели в состояние 2, уменьшив объем на семь литров. Затем адиабатно давление газа было уменьшено на 30%. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

59 Гелий, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=150 кПа, температуре T_1=500 К и занимающий объем V_1=12,5 л, изотермически перевели в состояние 2 с объемом 6,5 литра. Затем адиабатно температура газа была уменьшена на 100 К. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

60 Водород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,25 МПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=2,5 л, изохорно перевели в состояние 2 с давлением p_2=0,5 МПа. Затем адиабатно объем газа был увеличен в 1,5 раза. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

61 Электростатическое поле создано бесконечной заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда σ = 1 мкКл/м^2 и точечным зарядом q = -2 мкКл, находящимся на расстоянии a = 0,5 м от плоскости. Определить напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии r_1 = 0,5 м от плоскости и r_2 = 0,5 м от заряда.

62 Электрическое поле создано двумя концентрическими проводящими сферами радиусами R_1=10 см и R_2=90 см, несущими заряды q_1=2 нКл и q_2=1 нКл. Определить напряженность поля в точках на расстояниях r_1 = 80 см и r_2 = 1 м от центра сфер.

63 Электрическое поле создано двумя параллельными бесконечными плоскостями с поверхностными плотностями зарядов 150 мкКл/м^2 и 240 мкКл/м^2, соответственно. Определить напряженность поля между плоскостями, справа и слева от плоскостей.

64 Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными нитями, заряженными с линейными плотностями τ_1=0,1 мкКл/м, τ_2=0,01 мкКл/м, находящимися на расстоянии a=10 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке на расстоянии r_1=8 см от первой и r_2=12 см от второй нити.

65 Электрическое поле создано бесконечной плоскостью с поверхностной плотностью заряда σ=200 нКл/м^2 и бесконечной нитью с линейной плотностью τ=0,1 мкКл/м, проходящей параллельно плоскости на расстоянии a=0,2 м. Определить напряженность поля в точке на расстоянии r_1=0,5 м от плоскости и r_2=0,3 м от нити.

66 Электрическое поле создано бесконечной заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда σ = -1 мкКл/м^2 и точечным зарядом q = -2 мкКл, находящимся на расстоянии a = 0,5 м от плоскости. Определить напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии r_1 = 0,2 м от плоскости и r_2 = 0,5 м от заряда.

67 Электрическое поле создано бесконечной заряженной нитью с линейной плотностью заряда τ=100 мкКл/м и заряженной сферой радиусом R=0,2 м, с зарядом q = -500 мкКл. Расстояние между центром сферы и нитью a = 1 м. Определить напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии r_1=0,2 м от нити и r_2 = 1,2 м от центра сферы.

68 Электрическое поле создано двумя концентрическими сферами радиусами R_1=10 см и R_2=50 см, несущими заряды q_1=2 нКл и q_2=-1 нКл. Определить напряженность поля в точках на расстояниях r_1=0,3 м, r_2=1,4 м от центра сфер.

69 Электрическое поле создано двумя заряженными бесконечными нитями, лежащими в параллельных плоскостях и скрещенных под прямым углом. Линейные плотности зарядов нитей равны: τ_1 = -0,2 мкКл/м, τ_2 = 0,2 мкКл/м. Найти напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии r_1 = 13 см от первой и r_2 = 5 см от второй нити. Расстояние между нитями d = 13 см.

70 Электрическое поле создано бесконечной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma = -200$ нКл/м^2 и заряженной сферой радиусом R = 20 см, находящейся на расстоянии 0,5 м от плоскости. Заряд сферы q = 150 нКл. Определить напряженность поля в точке, одинаково удаленной от плоскости и центра сферы.

71 Вдоль силовой линии однородного электрического поля движется протон. В точке поля с потенциалом φ_1=300 В протон имел скорость v_1 = 0,1 Мм/с. Определить: 1) потенциал φ_2 точки поля, в которой скорость протона возрастает в 3 раза; 2) работу, которую при этом совершило поле.

72 Электрон, летевший горизонтально со скоростью v=1,6 Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью E=90 В/см, направленной вертикально вверх. Какова будет по модулю и направлению скорость электрона через 1 нс? Какую работу совершило при этом поле?

73 Протон, начальная скорость которого равна 100 км/с, влетел в однородное электрическое поле в направлении линий напряженности. Какой путь должен пройти протон, чтобы его скорость удвоилась? Какую работу совершит при этом поле? Напряженность поля E=300 В/см.

74 Пройдя ускоряющую разность потенциалов U=600 кВ, α-частица, летевшая со скоростью 5,4 Мм/с, увеличила свою скорость на 3,9 Мм/с. Заряд α-частицы равен $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл. Определить: 1) работу, совершенную полем при разгоне частицы; 2) удельный заряд α-частицы (отношение заряда к массе), считая массу неизвестной.

75 Пылинка массой m=1 пг, несущая на себе пять избыточных электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов 3 МВ. Найти: 1) изменение ее кинетической энергии; 2) работу сил поля; 3) изменение скорости пылинки. Начальная скорость пылинки 9 м/с.

76 Разность потенциалов между катодом и анодом электронной лампы равна 90 В, а расстояние между ними 24 мм. С каким ускорением движется электрон от катода к аноду? Какова скорость электрона в момент удара об анод? За какое время электрон пролетает расстояние от катода до анода? Какую работу при этом совершит электрическое поле лампы? Поле считать однородным.

77 Какой путь пройдет электрон в однородном электрическом поле напряженностью E = 200 кВ/м вдоль силовой линии за время t = 1 нс, если его начальная скорость была равна нулю? Какими скоростью и кинетической энергией будет обладать электрон в конце заданного интервала времени? Какую работу при этом совершит электрическое поле?

78 Вдоль силовой линии однородного электрического поля движется α-частица. В точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 120$ В α-частица имела скорость $v_1 = 50$ км/с. Определить: 1) потенциал φ_2 точки поля, в которой ее скорость возрастет в 2 раза; 2) работу, которую при этом совершило поле.

79 Электрон с начальной скоростью $v_0 = 3$ Мм/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью E=150 В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Найти: 1) силу F, действующую на электрон; 2) ускорение, приобретенное электроном; 3) скорость электрона через t=0,1 мкс; 4) работу, совершенную при этом полем.

80 Протон, летевший горизонтально со скоростью v = 0,6 Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью E = 120 В/см, направленной вертикально вверх. Какова будет по модулю и направлению скорость протона через 1 мкс? Какую работу совершит поле при таком изменении скорости?

81 Батарея, состоит из трех включенных параллельно одинаковых источников тока с ЭДС $\varepsilon = 12{,}2$ В и внутренним сопротивлением r = 3 Ом каждый. Соединенная с ней внешняя электрическая цепь имеет сопротивление R=24 Ом. Определить: 1) полезную мощность; 2) наибольшую мощность, которую можно получить во внешней цепи.

82 ЭДС источника тока $\varepsilon = 2$ В, внутреннее сопротивление r = 1 Ом. Определить силу тока, если внешняя цепь потребляет мощность P = 0,75 Вт. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

83 Определить силу тока короткого замыкания $I_{кз}$ для аккумуляторной батареи, если при токе нагрузки $I_1 = 5$А она отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 = 9{,}5$ Вт, а при токе нагрузки в 8 А – $P_2 = 14{,}4$ Вт. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

84 Батарея состоит из трех одинаковых включенных последовательно источников тока с ЭДС $\varepsilon = 2{,}2$ В и внутренним сопротивлением r = 1 Ом каждый. Соединенная с ней внешняя электрическая цепь имеет сопротивление R=48 Ом. Определить: 1) полезную мощность; 2) наибольшую мощность, которую можно получить во внешней цепи.

85 Батарея состоит из пяти последовательно соединенных элементов с ЭДС $\varepsilon = 1{,}4$ В и с внутренним сопротивлением r = 0,3 Ом каждый. При каком сопротивлении внешней нагрузки полезная мощность равна P = 8 Вт ? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

86 Аккумулятор с внутренним сопротивлением r = 0,08 Ом при токе нагрузки $I_1 = 4$ А отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 = 8$ Вт. Какую мощность P_2 отдаст он во внешнюю цепь при токе нагрузки $I_2 = 6$ А? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

87 Элемент питания замыкают сначала на внешнее сопротивление R_1=2 Ом, а затем на внешнее сопротивление R_2=0,5 Ом. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление, если известно, что в каждом из этих случаев, мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова и равна 2,54 Вт. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

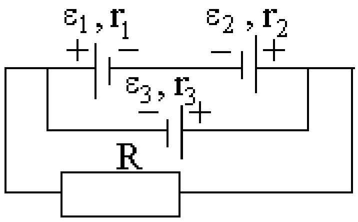
88 Два источника тока с ЭДС 24 В и с внутренними сопротивлениями 2 Ом и 3 Ом соединены параллельно. При каком сопротивлении внешней нагрузки полезная мощность равна 64 Вт? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

89 Лампочка и реостат, включенные последовательно, присоединены к источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом. Напряжение на зажимах лампочки равно 40 В, сопротивление реостата равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность 120 Вт. Найти силу тока в цепи. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

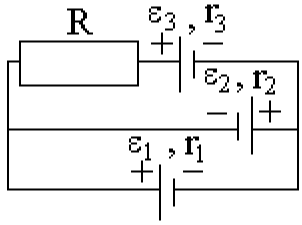
90 Батарея состоит из трех параллельно соединенных источников тока с ЭДС ε = 12 В и с внутренним сопротивлением r = 2 Ом каждый. При каком сопротивлении внешней нагрузки полезная мощность равна 32 Вт? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

В задачах **91-100,** с использованием правил Кирхгофа, найти силы токов на всех участках цепи и разность потенциалов между узлами.
В задаче известно: ε_1=2,5 В, ε_2=2,2 В, ε_3=3,0 В, $r_1 = r_2 = r_3$ = 0,2 Ом, R = 4,7 Ом.

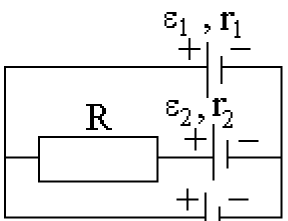
91



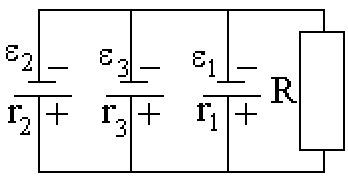
92



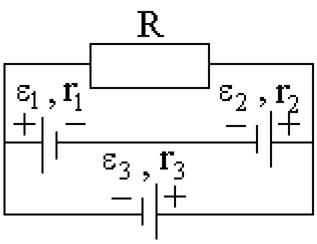
93



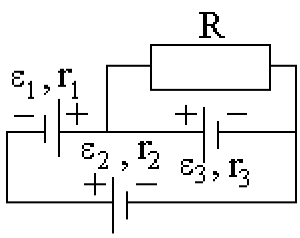
94



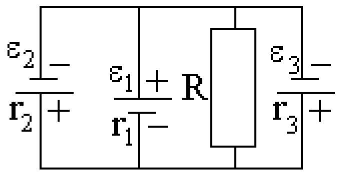
95



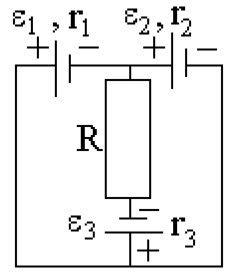
96



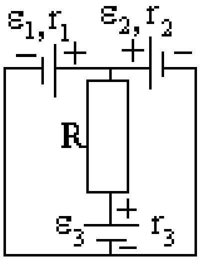
97


ε2 −
r2 +
ε1 +
r1 −
R
ε3 −
r3 +

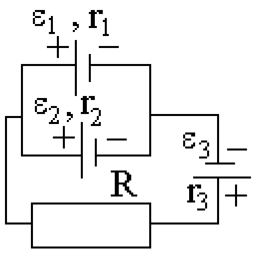
98


ε1 , r1
+ −
ε2 , r2
+ −
R
ε3 − r3
+

99


ε1,r1
− +
ε2, r2
+ −
R
ε3 + r3
−

100


ε1 , r1
+ −
ε2 , r2
+ −
ε3 −
r3 +
R

Список литературы

Основная учебная литература

1 Трофимова Т. И. Курс физики. – Москва : Высшая школа, 2003.

2 Савельев И. В. Курс физики. – Москва : АКТ, 2005. – Т. 1-5.

3 Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике. – Москва : Издательство физико-математической литературы, 2003.

4 Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. – Москва : Издательский центр «Академия», 2003.

5 Никеров В. А. Физика. Современный курс : учебник. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. – 452 с. – ЭБС «Консультант Студента».

Дополнительная учебная литература

1 Епифанов Г. И. Физика твердого тела. – Москва : Высшая школа, 1977.

2 Бордовский Г. А., Бурсиан Э. В. Общая физика : курс лекций. – Москва : Владос-Пресс, 2001. – Т. 1,2.

3 Федосеев В. Б. Физика : учебник. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2009.

4 Ландсберг Г. С. Оптика. – Москва : Физматлит, 2010.

5 Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику : учеб. пособие. – Санкт-Петербург : Изд – во «Лань», 2010.

Интернет-ресурсы

1 Физика для всех. URL: http://www.allphysics.ru

2 Федеральный интернет-экзамен. URL: http://www.fepo.ru

3 Открытая физика. URL: http://www.physics.ru

Приложения

Приложение А

Таблица А – Физические постоянные

Название физической постоянной	Обозначение и величина
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^{8}$ м / с
Нормальное ускорение свободного падения	$g = 9{,}81$ м/с^{2}
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^{3} /(кг $\cdot$ с^{2})
Постоянная Авогадро	$N_{A} = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8{,}31$ Дж /(К $\cdot$ моль)
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К
Элементарный заряд	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_{e} = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Удельный заряд электрона	$e / m_{e} = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл / кг
Масса покоя нейтрона	$m_{n} = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя протона	$m_{p} = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг
Атомная единица массы	1а.е.м. $= 1{,}6606 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса изотопа ${}_{1}H^{1}$	$m_{H} = 1{,}6736 \cdot 10^{-27}$ кг

Приложение Б

Таблица Б – Единицы измерения физических величин (СИ) и их связь с внесистемными единицами

Физическая величина	Рекомендуемые символы	Наименование единицы измерения	Обозначение единицы измерения	Некоторые внесистемные единицы
1	2	3	4	5
Основные единицы				
Длина	l, L	метр	м	1 мм = 10^{-3} м 1 см = 10^{-2} м
Масса	m, M	килограмм	кг	1 г = 10^{-3} кг 1 т = 10^{3} кг 1 а.е.м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	t, τ	секунда	с	1 мин = 60 с 1 час = 3600 с
Сила электрического тока	I, i	Ампер	А	
Термодинамическая температура	T	Кельвин	К	1^{0}C = 1 К
Количество вещества	ν	моль	моль	
Плоский угол	α, φ, θ	радиан	рад	$1^{0} = 1{,}75 \cdot 10^{-2}$ рад $1' = 2{,}91 \cdot 10^{-4}$ рад
Производные единицы				
Скорость	V, v, u	метр в секунду	м/с	1 км/ч = 0,2(7)м/с
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	$\frac{м}{с^2}$	
Частота	ν, n, f	герц	Гц	
Частота вращения	n	оборот в секунду	$с^{-1}$	1 $мин^{-1}$ = 1/60 $с^{-1}$
Циклическая частота	ω	секунда в минус первой степени	$с^{-1}$	1 $мин^{-1}$ = 1/60 $с^{-1}$
Угловая скорость	ω	радиан в секунду	$\frac{рад}{с}$	
Угловое ускорение	ε	радиан на секунду в квадрате	$\frac{рад}{с^2}$	

Продолжение таблицы Б

1	2	3	4	5
Момент инерции	J	килограмм-метр в квадрате	$кг \cdot м^2$	
Импульс	P, p	килограмм-метр в секунду	$кг \cdot \frac{м}{с}$	
Момент импульса	L	килограмм-метр в квадрате в секунду	$кг \cdot \frac{м^2}{с}$	
Сила	F	ньютон	Н	
Момент силы	M	ньютон-метр	$Н \cdot м$	
Работа, энергия	A, E, U	джоуль	Дж	1 эВ= $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж
Мощность	P, N	ватт	Вт	1 л.с.=736 Вт
Площадь	S	квадратный метр	$м^2$	$1\,мм^2 = 10^{-6}\,м^2$ $1\,см^2 = 10^{-4}\,м^2$
Объем	V	кубический метр	$м^3$	$1\,л = 10^{-3}\,м^3$
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	$кг / м^3$	1 г/см^3=10^{3}кг/м^3
Давление	p	паскаль	Па	1 атм=$1{,}01 \cdot 10^5$ Па 1 мм.рт.ст.=133Па
Количество теплоты	Q	джоуль	Дж	1 кал=4,19 Дж
Теплоемкость удельная	c	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг К)	
Теплоемкость молярная	C	джоуль на моль-кельвин	$\frac{Дж}{моль \cdot К}$	
Молярная масса	μ, M	килограмм на моль	кг/моль	1 г/моль= =10^{-3} кг/моль
Электрический заряд	Q, q	кулон	Кл	
Электрический потенциал, напряжение, ЭДС	φ, U, ε	вольт	В	
Напряженность электрического поля	E	вольт на метр	$\frac{В}{м}$	
Электрическая емкость	C	фарад	Ф	

Приложение В
Справочные таблицы

Таблица В.1 – Некоторые астрономические величины

Радиус Земли	$6{,}37 \cdot 10^{6}$ м
Радиус Солнца	$6{,}95 \cdot 10^{8}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1{,}49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3{,}84 \cdot 10^{8}$ м

Таблица В.2 – Порядковые номера (Z) и относительная атомная масса (А) некоторых химических элементов

Z	Элемент	Символ	А	Z	Элемент	Символ	А
1	Водород	H	1,01	16	Сера	S	32,1
2	Гелий	He	4,00	17	Хлор	Cl	35,5
3	Литий	Li	6,94	18	Аргон	Ar	40,0
4	Бериллий	Be	9,01	19	Калий	K	39,1
5	Бор	B	10,8	20	Кальций	Ca	40,1
6	Углерод	C	12,0	24	Хром	Cr	52,0
7	Азот	N	14,0	25	Марганец	Mn	54,9
8	Кислород	O	16.0	26	Железо	Fe	55,9
9	Фтор	F	19,0	27	Кобальт	Co	58,9
10	Неон	Ne	20,2	28	Никель	Ni	58,7
11	Натрий	Na	23,0	29	Медь	Cu	63,5
12	Магний	Mg	24,4	30	Цинк	Zn	65,4
13	Алюминий	Al	27,0	33	Мышьяк	As	74,9
14	Кремний	Si	28,1	35	Бром	Br	79,9
15	Фосфор	P	31,0	47	Серебро	Ag	108

Таблица В.3 – Масса покоя некоторых элементарных частиц и легких ядер

Частица	Масса	
	m_0, кг	m_0, а.е.м.
Электрон (позитрон)	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$	0,00055
Протон	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	$1{,}68 \cdot 10^{-27}$	1,00867
Дейтон	$3{,}35 \cdot 10^{-27}$	2,01355
α-частица	$6{,}64 \cdot 10^{-27}$	4,00149

Таблица В.4 – Диэлектрическая проницаемость (ε)

Вода	81
Масло (трансформаторное)	2,2
Парафин	2
Слюда	7
Стекло	7
Фарфор	5
Эбонит	3

Таблица В.5 – Таблица десятичных приставок

Приставка	Множитель	Обозначение	Приставка	Множитель	Обозначение
Тера	10^{12}	Т	Санти	10^{-2}	с
Гига	10^{9}	Г	Милли	10^{-3}	м
Мега	10^{6}	М	Микро	10^{-6}	мк
Кило	10^{3}	К	Нано	10^{-9}	н
Деци	10^{-1}	Д	Пико	10^{-12}	п

Таблица В.6 – Греческий алфавит

Альфа	Α α	Эта	Η η	Ню	Ν ν	Тау	Τ τ
Бета	Β β	Тэта	Θ θ	Кси	Ξ ξ	Ипсилон	Υ υ
Гамма	Γ γ	Йота	Ι ι	Омикрон	Ο ο	Фи	Φ φ
Дельта	Δ δ	Каппа	Κ κ	Пи	Π π	Хи	Χ χ
Эпсилон	Ε ε	Ламбда	Λ λ	Ро	Ρ ρ	Пси	Ψ ψ
Дзета	Ζ ζ	Мю	Μ μ	Сигма	Σ σ	Омега	Ω ω

Воронцов Борис Сергеевич
Новгородова Татьяна Назаровна
Овсянов Виктор Михайлович

ФИЗИКА
Часть 1

(Физические основы механики, основы молекулярной физики и термодинамики, основы электродинамики)

Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения направлений 13.03.01; 13.03.02; 15.03.01; 15.03.04; 15.03.05; 20.03.01; 23.03.01; 23.03.03; 27.03.01; 23.05.01; 27.03.04.

Редактор Л. П. Чукомина

Подписано в печать 16.01.19	Формат 60х84 1/16	Бумага 65 г/м^2
Печать цифровая	Усл. печ. л. 3,2	Уч.-изд. л. 3,2
Заказ 6	Тираж 100	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.