

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра физики

ФИЗИКА

Учебно-методическое пособие для поступающих в ТУСУР

под редакцией доцента кафедры физики
Томского университета систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР)

А.В. Лячина

2018

Физика. Учебно-методическое пособие для поступающих в ТУСУР. 9-е издание / Под редакцией А.В. Лячина. Томск, ТУСУР, 2018, 269 с.

Учебно-методическое пособие представляет собой банк задач, из которых формируются билеты для вступительных экзаменов в Томский университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Этот банк в течение более 25 лет составляли и записывали в компьютер преподаватели кафедры физики ТУСУР. Задачи в банке – восьми классов трудности. В данное пособие *не включены* задачи *первого* и *второго классов трудности*, т.к. они не используются при составлении билетов. Задачи с *третьего по седьмой* классы трудности опубликованы *в полном объёме*. Задачи восьмого класса опубликованы выборочно.

Весь материал пособия разбит на 11 разделов по тематическому принципу. Ещё один раздел посвящён комбинированным задачам, для решения которых потребуются знания из нескольких разделов физики.

Каждый из 11 разделов банка задач сопровождается краткой теорией по рассматриваемой теме. Также приводится подробный разбор решений нескольких задач каждой темы.

Пособие полезно всем, кто собирается поступать в ТУСУР и другие высшие учебные заведения технического и естественно-научного профиля, а также школьникам старших классов.

©Томск, ТУСУР, 2018

© Под редакцией А.В. Лячина

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Программа по физике для подготовки к поступлению в ТУСУР	5
Инструкция по оформлению решений задач по физике	8
Тема 1. КИНЕМАТИКА	12
Тема 2. ДИНАМИКА	37
Тема 3. ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ	68
Тема 4. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ	92
Тема 5. СИЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	114
Тема 6. ПОТЕНЦИАЛ И ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	128
Тема 7. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК	142
Тема 8. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ	163
Тема 9. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	186
Тема 10. ОПТИКА	206
Тема 11. МИКРОФИЗИКА	229
Тема 12. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ	248
Ответы к задачам	257
Приложение 1. Некоторые физические постоянные и единицы. Значения приставок единиц измерения	269

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие предназначено, в первую очередь, для желающих поступить в ТУСУР и для преподавателей осуществляющих их подготовку. Поскольку вступительная работа является письменной, то первостепенное значение имеет умение абитуриента уверенно решать задачи и грамотно оформлять их решение. Поэтому основная цель данного пособия – способствовать приобретению этих навыков. Пособие призвано помочь лучше усвоить курс при самостоятельной работе или при обучении на подготовительных курсах.

В начале данного пособия приводится «Программа по физике для подготовки к поступлению в ТУСУР», инструкция по оформлению решения задач по физике, правила вычислений (знание которых позволит абитуриенту избежать наиболее распространённых ошибок при получении численного ответа), критерии проверки работ.

Данное пособие базируется на банке задач для вступительных испытаний, который разработан преподавателями кафедры физики ТУСУР.

Задачи в банке разбиты на восемь классов трудности. В данное пособие *не включены* задачи *первого и второго классов трудности*, т.к. они не используются при составлении билетов. Задачи с *третьего по седьмой* классы трудности опубликованы *в полном объёме*. Задачи восьмого класса опубликованы выборочно.

Весь материал пособия разбит на 11 разделов по тематическому принципу. Ещё один раздел посвящён комбинированным задачам, для решения которых потребуются знания из нескольких разделов физики.

Каждый из 11 разделов предваряется кратким обзором теоретических положений по рассматриваемой теме. Следует иметь в виду, что этот обзор преследует, в основном, справочные цели и не может заменить углубленное, систематическое изучение материала физики по школьным учебникам. Применение изложенных сведений демонстрируется на примерах решения нескольких характерных задач, охватывающих содержание рассматриваемой темы.

В заключении раздела читателю предлагается база задач различного класса трудности для самостоятельного решения. Ответы ко всем задачам банка приведены в конце пособия. Там же помещено приложение к билету для вступительных испытаний по физике (приложение 1).

Сжатый объём пособия естественным образом повлиял на стиль изложения и оформления материала. В тексте возможны неточности и опечатки, замеченные автором. Свои предложения и замечания можете направлять по адресу lavp@sibmail.com.

ПРОГРАММА ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ПОСТУПЛЕНИЮ В ТУСУР

Программа по физике для подготовки к вступительным испытаниям, проводимым ТУСУРом самостоятельно разработана на основе федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования и федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования.

ТЕМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ

1. Кинематика. Равномерное и равнопеременное движение

Траектория (путь) и перемещение. Средняя скорость; сложение скоростей, относительная скорость. Принцип независимости движения. Равномерное движение по окружности, центростремительное ускорение, связь между линейной и угловой скоростями.

2. Динамика материальной точки

Законы Ньютона. Импульс. Импульс силы. Закон сохранения импульса. Силы в механике: сила тяжести, вес тела, сила упругости, сила трения, центробежная сила инерции. Работа, мощность, коэффициент полезного действия в механике. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения механической и полной энергии. Абсолютно неупругий и упругий удары, скорости тел в результате этих ударов. Момент силы, условие равновесия относительно оси вращения.

3. Жидкости и газы

Идеальный газ, уравнение состояния идеального газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ). Температура, средняя энергия теплового хаотического движения молекул, число степеней свободы. Закон Дальтона. Давление в жидкостях. Сила Архимеда.

4. Тепловые явления

Первый закон термодинамики и его применение к изопроцессам идеального газа: изохорному, изобарному, изотермическому и адиабатическому. Внутренняя энергия. Удельная и молярная теплоемкости, уравнение Майера. Удельная теплота плавления, парообразования, удельная теплота сгорания. Уравнение теплового баланса. Тепловые машины, коэффициент полезного действия (к.п.д.) идеальных и обычных тепловых машин.

5. Силовое действие поля

Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие зарядов, закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Электрическое поле заряженной плоскости. Электрическое поле между двумя заряженными плоскостями. Электрическое поле в веществе, диэлектрическая проницаемость.

6. Потенциальная энергия

Энергия взаимодействия заряженных тел, потенциал, разность потенциалов. Работа электростатического поля. Связь между напряженностью однородного электрического поля и потенциалом. Конденсаторы. Электроемкость плоского конденсатора, сферы. Параллельное и последовательное соединение конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора, плотность энергии электростатического поля.

7. Электрический ток

Сила тока. Закон Ома для участка цепи и замкнутой цепи. Сторонние силы, ЭДС источника тока, внутреннее сопротивление. Сопротивление проводников, удельное сопротивление, зависимость сопротивления проводников от температуры. Последовательное и параллельное соединение проводников. Закон Джоуля-Ленца. Работа, мощность тока. Переменный ток: действующие значения тока и напряжения. Реактивное сопротивление индуктивности и емкости, импеданс.

8. Электромагнетизм

Взаимодействие проводников с током, сила Ампера. Вектор магнитной индукции, сложение магнитных полей. Линии магнитной индукции прямолинейного тока и контура с током. Вращающий момент контура с током. Сила Лоренца: радиус орбиты и период обращения заряженной частицы, движущейся в магнитном поле. Явление электромагнитной индукции. Магнитный поток. Величина ЭДС индукции. Правило Ленца о направлении индукционного тока. Индуктивность. Связь между магнитным потоком (потокосцеплением) и индуктивностью. ЭДС самоиндукции. Энергия магнитного поля катушки и плотность энергии магнитного поля.

9. Колебания и волны

Механические гармонические колебания. Характеристика колебаний: смещение, скорость, ускорение, период, частота, круговая частота, амплитуда, фаза. Период колебаний математического и пружинного маятника. Закон сохранения энергии при гармонических колебаниях. Электромагнитные колебания в контуре. Колебания заряда, напряжения на конденсаторе, тока в контуре. Частота и период колебаний. Резонанс тока, резонансная частота. Закон сохранения энергии при электрических колебаниях. Волны механические и электромагнитные. Уравнение плоской волны, фаза волны. Длина волны, связь между длиной волны и скоростью распространения волны.

10. Оптика

Законы отражения и преломления света. Показатель преломления вещества. Явление полного внутреннего отражения. Тонкие линзы. Построение изображения в тонких собирающих и рассеивающих линзах, в том числе, изображение точки, лежащей на главной оптической оси. Формула тонкой линзы. Оптическая сила линзы. Увеличение линзы. Интерференция света. Оптическая разность хода. Условие максимума и минимума интерференции. Дифракция света. Дифракционная решетка, условие главных максимумов дифракционной

решетки. Максимальный порядок дифракции.

11. Микрофизика

Двойственная природа света. Фотоны: энергия, импульс, масса, давление света. Внешний фотоэффект, формула Эйнштейна. Задерживающее напряжение, красная граница фотоэффекта. Элементы специальной теории относительности: полная энергия, кинетическая энергия и энергия покоя, импульс релятивистской частицы. Взаимосвязь массы и энергии. Состав, характеристики атомного ядра. Дефект масс, энергия связи ядра, удельная энергия связи. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Предметная олимпиада по физике проводится в письменной форме. Продолжительность олимпиады – 240 мин.

В билете содержится 8 задач, которые расположены в порядке нарастания трудности и состоят из трех блоков А, В, С. Блок «А» содержит пять первых задач и оценивается в 50 баллов. Блок «В» содержит две следующие задачи и оценивается в 30 баллов. Блок «С» содержит одну задачу и оценивается в 20 баллов. Максимальный балл за работу – 100 баллов.

Блок	А					В		С
Номер задачи	1	2	3	4	5	6	7	8
Класс трудности	3	3	4	4	4	5	5	6-7
Максимальный балл	50					30		20

Информация о продолжительности олимпиады, количестве задач и о количестве баллов за задачи соответствующего блока справедлива на момент выхода в печать данного пособия.

Работа должна иметь **подробное физически верное решение, приводящее к правильному ответу**. В решении задачи выделяются следующие обязательные элементы.

Анализ. Суть его в том, что абитуриент должен описать основные процессы и явления, о которых идёт речь в задаче.

Пример: в задаче надо найти время полёта камня, брошенного вертикально вверх. Абитуриент должен написать, что: 1) движение камня в поле тяжести Земли является равноускоренным; 2) ускорение равно $g=9,8 \text{ м/с}^2$ и направлено оно вертикально вниз; 3) камень движется по прямолинейной траектории, поэтому для описания его движения достаточно одной оси координат.

Рисунок. Рисунок, иллюстрирующий условие задачи и ход рассуждений по ее решению, обязателен во всех задачах:

- а) кинематики, динамики, где используются векторные величины (при этом необходимо указать направления всех векторных величин в выбранной системе отсчета);
- б) молекулярной физики и термодинамики (графики процессов);
- в) на расчет электрических и магнитных полей и движение тел в этих полях (направление силовых характеристик полей, направление движения, направление силы);
- г) на явление электромагнитной индукции и поток вектора магнитной индукции (направление вектора магнитной индукции, положение контура, направление нормали к поверхности ограниченной контуром, направление тока в контуре, в том числе индукционного);
- д) на электрические цепи (электрическая схема, колебательный контур, соединения конденсаторов и сопротивлений);
- е) геометрической оптики (показать ход лучей на границе раздела сред, в оптических системах с линзами и зеркалами) и волновой оптики (показать

ход лучей, изобразить дифракционную решётку и распределение интенсивности света на экране).

Название формул. Примеры: «по определению», «закон Джоуля-Ленца», «уравнение кинематики равноускоренного движения», «формула тонкой линзы», «из геометрии».

Условия применимости формул. Примеры: 1. «Будем решать задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Эту систему можно приближённо считать инерциальной. Тогда справедлив второй закон Ньютона». 2. «При протекании тока в проводниках справедлив закон Ома».

Пояснения к выкладкам. Это элемент может отсутствовать, если задача решается с помощью одной формулы, применённой один раз.

Пояснения к вводимым обозначениям, если они не являются общепринятыми и не трактуются однозначно. Примеры: 1. «Пусть t_1 – время полёта первого тела, а t_2 – время полёта второго тела». 2. «Пусть L – длина поезда, S – путь пройденный поездом, x – расстояние между поездами». 3. «Пусть v – скорость лодки относительно берега, u – скорость течения реки, v' – скорость лодки относительно реки».

Проверка размерности.

Правильный числовой ответ.

Указание единиц измерения искомой величины (искомых величин, если задача решена по действиям).

При отсутствии каких-либо элементов налагаются штрафные санкции (см. «Критерии оценки работы», приведённые ниже).

В конце решения задачи необходимо записать ответ в виде:

Ответ: $A=23,5 \text{ кДж}$

Ответ должен включать численное значение результата в виде десятичной дроби и единицы измерения. **Необходимо давать ответ в тех единицах измерения, которые указаны в условии задачи.**

Численные данные в задачах подобраны так, чтобы вычисления были простыми и не требующими округления. При правильном решении задачи ответ не должен содержать более пяти значащих цифр (12345 или $12,345 \cdot 10^3$). При вычислениях следует использовать только те значения констант, которые приведены в справочном листе. *Данная информация справедлива на момент выхода в печать данного пособия.*

ВЫЧИСЛЕНИЯ

Ответ любой задачи – это целое число или десятичная дробь. В процессе вычислений не допускается округления чисел. В случае решения задачи по действиям, результаты соответствующих промежуточных вычислений, являющиеся иррациональными числами, представляйте без округлений (например, в виде простой дроби, корня или степени числа). Например, результаты промежуточ-

ных вычислений могут иметь вид: $\frac{2}{3}$, $\sqrt{3}$ или $10^{-1/2}$. В окончательном расчёте иррациональности должны исчезать.

Обращайте внимание на те численные данные условия задачи, которые кратны числу π . Например, круговая (циклическая частота) колебаний или угловая скорость $\omega = 62,8$ рад/с или период колебаний маятника $T = 0,314$ мс.

Кроме того, Вам предлагается π^2 принимать равным 10. Это касается также и возведения в квадрат чисел, кратных π . Например, если $\omega = 62,8$ рад/с, то $\omega^2 = (20 \cdot 3,14)^2 = 20^2 \cdot 3,14^2 = 400 \cdot 10 = 4000$ рад²/с².

В расчётах используйте только те физические постоянные, которые приведены в приложении к билету по физике. Например, в процессе решения задачи Вы можете оперировать с числом Авогадро N_A и с постоянной Больцмана k_B . Однако, в окончательном выражении они должны отсутствовать, войдя, например, в комбинацию $N_A \cdot k_B = R$, где R – универсальная газовая постоянная.

Комбинация величин $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, часто встречающаяся в задачах на электричество, и называемая коэффициентом пропорциональности в законе Кулона, используется как единое целое $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ или $\frac{м}{Ф}$. Электрическая постоянная ϵ_0 используется в расчётах отдельно только в формулах для ёмкости плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$ и напряженности электрического поля бесконечной равномерно заряженной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАБОТ

За каждый из перечисленных ниже недочётов оценка задачи любого блока снижается на 3 балла:

- отсутствует требуемый рисунок, либо рисунок выполнен неверно;
- арифметическая ошибка в расчетах;
- ошибка в записи одной формулы, не приводящая к неверному результату;
- ошибка при переводе из одних единиц измерения в другие;
- ответ представлен не в единицах измерения, требуемых по условию задачи;
- используемый в решении задачи физический закон назван неверно или не назван вообще;
- не указана или неверно указана единица измерения физической величины;
- приводится правильное окончательное выражение, но оно не выведено через основные законы и формулы.

При частично правильном решении оценка ставится по усмотрению эксперта, но не выше 50% от максимального балла.

Если присутствует полный набор основных законов и формул, позволяющий правильно решить задачу, но они неправильно применены, либо дальнейшее решение отсутствует, то оценка ставится по усмотрению эксперта, но не выше 30% от максимального балла.

Задача не считается решённой, если присутствует только ответ.

Если при проверке работы будет установлено, что решение задачи выполнено несамостоятельно или коллективно, решение не проверяется и выставляется оценка 0 баллов. Если количество несамостоятельно решённых задач $\geq 50\%$, работа аннулируется полностью.

ТЕМА 1. КИНЕМАТИКА

1.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Система отсчета – это тело, с которым жестко связаны система координат и регистратор времени (часы).

Материальная точка – тело, размеры и форма которого несущественны в рассматриваемом движении.

Механическое движение – это перемещение материальной точки в пространстве относительно некоторой системы координат.

Траектория – это линия, описываемая движущейся материальной точкой в пространстве. Если траектория – прямая линия, то движение называется **прямолинейным**. В противном случае – **криволинейным**.

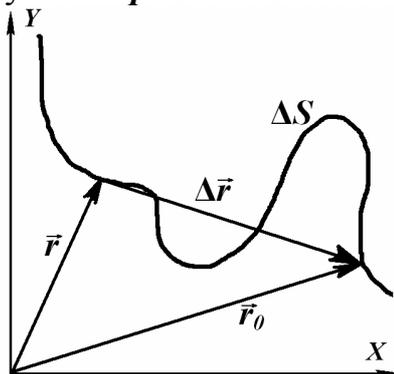


Рисунок 1.1 – Двумерное движение. Путь. Перемещение

Пространственное положение материальной точки в выбранной системе отсчета определяется её **радиусом-вектором** \mathbf{r} , проведенным из начала системы координат. В случае двумерного движения, изображенного на рисунке 1.1, задание радиуса-вектора эквивалентно указанию двух его проекций r_x и r_y на оси выбранной системы X и Y , называемых координатами материальной точки. Часто для проекций r_x и r_y используются обозначения x и y .

При движении точки её радиус-вектор изменяется с течением времени: $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$. **Законом движения** материальной точки называется зависимость координат этой точки от времени: $r_x = r_x(t)$ и $r_y = r_y(t)$.

Перемещение материальной точки за промежуток времени $\Delta t = t - t_0$ – это вектор $\Delta \mathbf{r}$, соединяющий положения точки в моменты времени t_0 и t . Из рисунка видна связь между вектором $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ и вектором $\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}(t_0)$:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \Delta \vec{r} \quad \text{или} \quad \Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 \quad (1.1)$$

Путь ΔS , пройденный материальной точкой за интервал времени Δt , – это расстояние между начальным и конечным положениями точки, отсчитанное вдоль траектории движения. В случае прямолинейного движения в одном направлении $\Delta S = |\Delta \mathbf{r}|$, при криволинейном движении $\Delta S > |\Delta \mathbf{r}|$.

Средняя скорость материальной точки V_{cp} – это векторная величина, равная отношению перемещения точки $\Delta \mathbf{r}$ за промежуток времени Δt к величине этого промежутка:

$$V_{cp} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}. \quad (1.2)$$

Средняя путевая скорость материальной точки v_{cp} (скорость прохождения пути) – это скалярная величина, равная отношению пути ΔS , пройденного за промежуток времени Δt , к величине этого промежутка:

$$v_{cp} = \frac{\Delta S}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

При прямолинейном движении в одном направлении $|V_{cp}| = v_{cp}$, при криволинейном – $|V_{cp}| < v_{cp}$.

Скорость материальной точки $v(t)$ в момент времени t (мгновенная скорость) – это предел, к которому стремится средняя скорость v_{cp} при $\Delta t \rightarrow 0$, т.е.

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}. \quad (1.4)$$

Вектор скорости v в каждой точке направлен по касательной к траектории. В случае двумерного движения задание вектора скорости v эквивалентно указанию двух его проекций v_x и v_y на оси X и Y выбранной системы координат. Единица измерения скорости $[v] = 1 \text{ м/с}$.

Среднее ускорение материальной точки a_{cp} – это векторная величина, равная отношению приращения скорости Δv материальной точки за промежуток времени Δt , к величине этого промежутка:

$$a_{cp} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (1.5)$$

Ускорение материальной точки $a(t)$ в момент времени t (мгновенное ускорение) – это предел, к которому стремится среднее ускорение a_{cp} при $\Delta t \rightarrow 0$, т.е.

$$a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}. \quad (1.6)$$

В случае двумерного движения задание вектора ускорения a эквивалентно указанию двух его проекций a_x и a_y на оси X и Y выбранной системы координат. Единица измерения ускорения $[a] = 1 \text{ м/с}^2$.

1.2. УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Движение материальной точки с постоянным ускорением ($a = \text{const}$), называется **равнопеременным движением**, которое описывается двумя векторными кинематическими уравнениями – законом изменения приращения:

$$\Delta \vec{r}(t) = \vec{v}_0 \Delta t + \frac{\vec{a}(\Delta t)^2}{2}. \quad (1.7)$$

и законом изменения скорости:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} \Delta t. \quad (1.8)$$

где $v_0 = v(t_0)$ – начальная скорость. Если, в соответствии с (1.1), вместо приращения ввести начальный и конечный радиус-векторы материальной точки, то (1.7) переписется в виде:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 \Delta t + \frac{\vec{a}(\Delta t)^2}{2} \quad (1.9)$$

Если отсчет времени начинается с нуля ($t_0 = 0$), а начало системы координат совпадает с начальным положением точки ($\mathbf{r}_0 = 0$), то уравнения движения (1.8) и (1.9) приобретают следующую форму:

$$\vec{r}(t) = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad (1.10)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t. \quad (1.11)$$

Векторным уравнениям движения (1.10) и (1.11) соответствуют системы скалярных уравнений для проекций на координатные оси:

$$r_x(t) = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad r_y(t) = v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \quad (1.12)$$

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x t, \quad v_y(t) = v_{0y} + a_y t. \quad (1.13)$$

При определении проекций следует придерживаться следующего правила: если направление проекции на некоторую ось совпадает с выбранным положительным направлением этой оси, то проекция считается положительной. В противоположном случае – отрицательной.

Если вектор ускорения \mathbf{a} параллелен вектору начальной скорости v_0 , то движение является **равноускоренным** (и прямолинейным); при этом скорость материальной точки возрастает: $v > v_0$. Если вектор ускорения \mathbf{a} антипараллелен вектору начальной скорости v_0 , то движение является **равнозамедленным** (и прямолинейным); при этом скорость материальной точки убывает: $v < v_0$.

Если при движении материальной точки ее ускорение равно нулю, то такое **движение** называется **равномерным**. Из выражений (1.10) и (1.11), как частный случай, следуют уравнения равномерного движения:

$$\vec{r}(t) = \vec{v}_0 t, \quad (1.14)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0. \quad (1.15)$$

Отсюда видно, что равномерное движение происходит без изменения скорости ($v = \text{const}$).

1.3. ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Движение одной и той же точки M можно рассматривать в различных системах отсчета. Пусть система K является неподвижной системой отсчета, а система K' движется относительно системы K со скоростью u . Обозначим через v скорость точки M в неподвижной системе отсчета K , а через v' – скорость этой же точки в подвижной системе K' . Связь между скоростями точки M в указанных системах отсчета дается классическим законом сложения скоростей (законом Галилея):

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}. \quad (1.16)$$

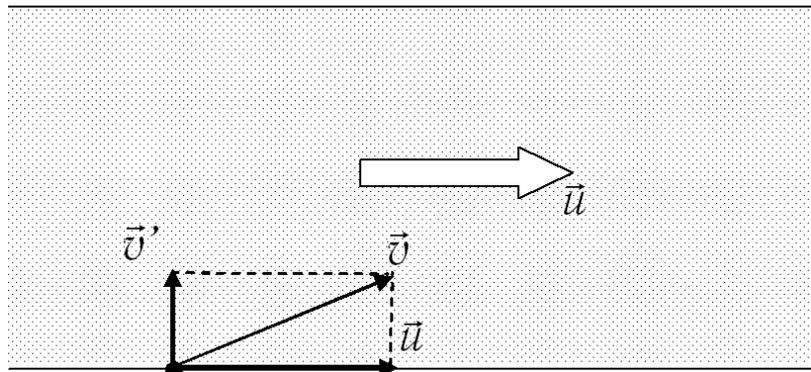


Рисунок 1.2 – Сложение скоростей

1.4. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

При равномерном движении материальной точки по окружности абсолютное значение её скорости постоянно во времени ($v = \text{const}$). Однако вектор скорости \vec{v} изменяет при этом своё направление, т.е. приращение вектора скорости $\Delta \vec{v}$ зависит от времени. Это означает, что материальная точка движется с ускорением.

Центростремительное ускорение $a_{\text{цс}}$ материальной точки характеризует быстроту изменения её скорости по направлению и направлено по радиусу к оси вращения. Абсолютное значение центростремительного ускорения точки, движущейся со скоростью v по окружности радиуса R , определяется выражением:

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}. \quad (1.17)$$

Период обращения T – это время, затрачиваемое материальной точкой на один полный оборот.

Частота вращения ν – это число оборотов, которое делает точка в единицу времени. Если за время t она совершает N оборотов, то для периода и частоты вращения справедливы следующие соотношения:

$$T = \frac{t}{N}; \quad \nu = \frac{N}{t}; \quad T = \frac{1}{\nu}. \quad (1.18)$$

Единица измерения частоты – обратная секунда или герц: $[\nu] = 1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц}$.

Линейная скорость v материальной точки при её равномерном движении по окружности может быть найдена как отношение длины этой окружности к периоду обращения:

$$v = 2\pi R/T = 2\pi R\nu. \quad (1.19)$$

Угловая скорость ω материальной точки при её равномерном движении по окружности – это отношение угла поворота $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ радиуса-вектора точки, проведенного из центра окружности, за промежуток времени Δt к величине этого промежутка:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (1.20)$$

Другими словами, угловая скорость есть скорость изменения угла поворота материальной точки во времени. Угол поворота, обычно измеряется в радианах. Единица измерения угловой частоты $[\omega] = 1 \text{ рад/с}$.

Если угол поворота отсчитывается от нуля ($\varphi_0 = 0$) и отсчет времени начинается в момент $t_0 = 0$, то угол поворота φ точки к моменту времени t определяется выражением:

$$\varphi = \omega t. \quad (1.21)$$

Так как за один период ($t = T$) материальная точка совершает полный оборот ($\varphi = 2\pi$), то легко прийти к следующим важным соотношениям:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu; \quad a_{uc} = \omega^2 R; \quad v = \omega R. \quad (1.22)$$

1.5. ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ

1.5.1. Движение тела, брошенного с поверхности Земли вертикально вверх с начальной скоростью v_0

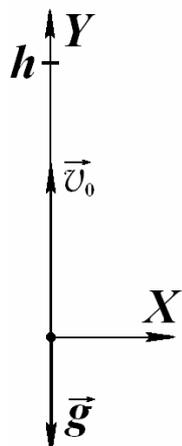


Рисунок 1.3

Пусть начало отсчета времени совпадает с моментом броска. Начало системы координат совместим с начальным положением материальной точки, представляющей тело (рисунок 1.3). Поскольку движение тела происходит под действием лишь одной силы – силы тяжести, его ускорение равно ускорению свободного падения g . Таким образом, мы имеем дело с равнопеременным движением: равнозамедленным – при подъеме тела и равноускоренным – при его падении. Для данного случая уравнения движения в проекции на ось Y принимают следующий вид (проекции на ось X равны нулю):

$$r_y(t) = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}, \quad (1.23)$$

$$v_y(t) = v_{0y} - gt, \quad \text{где } v_{0y} = v_0. \quad (1.24)$$

В верхней точке подъема на высоте $h = r_y(t_h)$ в момент времени t_h , тело останавливается: $v_y(t_h) = 0$. Из уравнения (1.24) получаем время подъема тела:

$$t_h = v_0/g. \quad (1.25)$$

Высоту подъема тела h определяем из уравнения (1.23):

$$h = v_0 t_h - \frac{gt_h^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g}. \quad (1.26)$$

В точке падения тела O в момент времени t_{II} координата $r_y(t_{II}) = 0$. Из уравнения (1.23) находим момент падения тела на поверхность Земли:

$$t_{II} = \frac{2v_0}{g} = 2t_h. \quad (1.27)$$

Скорость падения тела $v_{II} = v_y(t_{II})$ следует из уравнения (1.24):

$$v_{II} = -v_0$$

Знак минус здесь означает, что направление вектора скорости тела в момент падения противоположно положительному направлению оси Y .

1.5.2. Движение тела, брошенного под углом α горизонту с начальной скоростью v_0

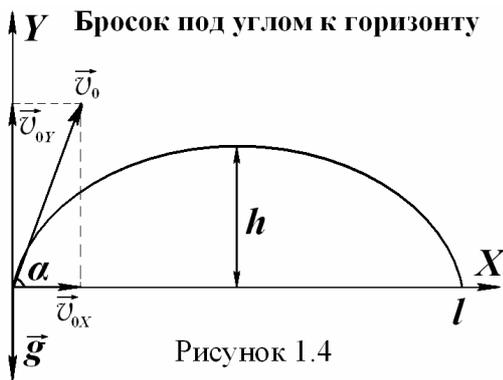


Рисунок 1.4

В этой ситуации мы сталкиваемся со случаем криволинейного двумерного движения, которое совершается телом с ускорением свободного падения g (рисунок 1.4). Уравнения движения тела в проекциях на координатные оси X и Y для данного случая записываются в следующем виде:

$$r_x(t) = v_{0x}t, \quad v_x(t) = v_{0x}, \quad (1.28)$$

$$r_y(t) = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}, \quad v_y(t) = v_{0y} - gt. \quad (1.29)$$

Возможность рассматривать уравнения движения отдельно для каждой из проекций означает, что криволинейное движение тела распалось на два независимых прямолинейных движения, которые совершаются телом одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Из уравнений (1.28) видно, что движение вдоль оси X является равномерным с начальной скоростью $v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$. Из уравнений (1.29) следует, что движение вдоль оси Y есть равнопеременное движение с начальной скоростью $v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$, направленной вертикально вверх. Этот тип движения уже рассмотрен нами в пункте 1.5.1. Применяя полученные там результаты, сразу можем записать окончательные выражения для высоты подъема тела:

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}, \quad (1.30)$$

для времени полета тела:

$$t_{\Pi} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}. \quad (1.31)$$

Обратившись к уравнениям движения для X -проекций (1.28), нетрудно найти дальность броска:

$$l = r_x(t_{\Pi}) = v_{0x}t_{\Pi} = v_0 \cos \alpha \cdot 2v_0 \sin \alpha / g = v_0^2 \sin 2\alpha / g \quad (1.32)$$

1.5.3. Движение тела, брошенного горизонтально с высоты h с начальной скоростью v_0

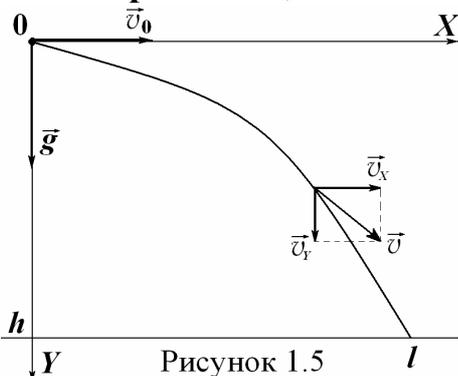


Рисунок 1.5

Если выбрать систему координат так, как показано на рисунке 1.5, то уравнения движения тела для проекций на координатные оси X и Y в данном случае принимают вид:

$$r_x(t) = v_0t, \quad v_x(t) = v_0, \quad (1.33)$$

$$r_y(t) = \frac{gt^2}{2}, \quad v_y(t) = gt. \quad (1.34)$$

Тем самым, криволинейное движение тела мы раскладываем на два более простых прямолинейных движения вдоль осей OX и OY . Из уравнений (1.34) видно, что дви-

жение вдоль оси Y – это равноускоренное движение вниз с нулевой начальной скоростью и ускорением g . В точке падения в момент времени t_{II} координата тела $r_y(t_{II}) = h$. Из этого условия находим время падения:

$$t_{II} = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (1.35)$$

Движение вдоль оси X представляет собой равномерное движение со скоростью v_0 . Из (1.33) определяем дальность броска:

$$l = r_x(t_{II}) = v_0 t_{II} = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (1.36)$$

Скорость тела $v(t)$ в любой момент времени легко найти из векторного треугольника скоростей, изображенного на рисунке 1.5:

$$v(t) = \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t)} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}. \quad (1.37)$$

В частности, в точке падения ($t = t_{II}$) скорость тела определяется выражением:

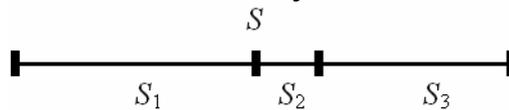
$$v_{II} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}. \quad (1.38)$$

1.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Автомобиль проехал половину пути со скоростью $v_1 = 60$ км/ч. Половину оставшегося времени движения он ехал со скоростью $v_2 = 15$ км/ч, а последний участок пути – со скоростью $v_3 = 45$ км/ч. Чему равна средняя скорость автомобиля на всем пути? Ответ дать в км/ч.

Решение:

Т.к. ответ в задаче требуется дать в км/ч, то перевод единиц измерения в СИ делать не будем.



Представим себе весь путь S в виде отрезка прямой (см. рисунок). Весь путь можно разбить на три отрезка: $S = S_1 + S_2 + S_3$.

По определению средней скорости:

$$v_{cp} = \frac{S}{t} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \text{ где } t_1, t_2, t_3 \text{ – соответственно время,}$$

за которое были пройдены участки пути S_1, S_2, S_3 :

$$S_1 = v_1 \cdot t_1, \quad S_2 = v_2 \cdot t_2, \quad S_3 = v_3 \cdot t_3.$$

Из условия известно, что $S_1 = S_2 + S_3 = S/2$, а $t_2 = t_3$. Отсюда получаем:

$$v_1 \cdot t_1 = v_2 \cdot t_2 + v_3 \cdot t_2 = (v_2 + v_3) \cdot t_2, \quad t_2 = \frac{v_1}{(v_2 + v_3)} \cdot t_1.$$

$$S = 2S_1 = 2v_1 \cdot t_1, \quad t = t_1 + 2t_2 = t_1 + 2 \frac{v_1}{(v_2 + v_3)} \cdot t_1 = \frac{2v_1 + v_2 + v_3}{v_2 + v_3} \cdot t_1.$$

В итоге, подставляя получившиеся выражения для S и t в формулу средней скорости, получим:

$$v_{cp} = \frac{2v_1 \cdot t_1}{\frac{2v_1 + v_2 + v_3}{v_2 + v_3} \cdot t_1} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3} = 40 \text{ км/ч.}$$

Ответ: $v_{cp} = 40 \text{ км/ч}$

2. Моторная лодка проходит расстояние между двумя пунктами А и В по течению реки за время $t_1 = 3$ ч, а плот – за время $t = 12$ ч. Сколько времени t_2 затратит моторная лодка на обратный путь? Ответ дать в часах.

Решение:

Дано:

$$t_1 = 3 \text{ ч}$$

$$t = 12 \text{ ч}$$

Найти:

$$t_2 = ?$$

Обозначим расстояние между пунктами А и В через s , скорость моторной лодки относительно воды v , скорость течения реки (т.е. скорость плота) u . Тогда $t = \frac{s}{u}$, $t_1 = \frac{s}{v + u}$.

$$\text{Отсюда } s = ut, v = u \left(\frac{t}{t_1} - 1 \right).$$

Обратный путь у лодки займет время:

$$t_2 = \frac{s}{v - u} = \frac{u \cdot t \cdot t_1}{u(t - t_1) - ut_1} = \frac{t \cdot t_1}{t - 2t_1} = 6 \text{ ч.}$$

Полученное решение имеет смысл лишь при $t > 2t_1$ (т.е. при $v > u$).

Ответ: $t_2 = 6 \text{ ч}$

3. Крейсер движется по прямому курсу в неподвижной воде с постоянной скоростью 54 км/ч. Катер, имеющий скорость 72 км/ч, проходит расстояние от кормы крейсера до его носа и обратно за 40 с. Найти длину крейсера в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$v_1 = 54 \text{ км/ч} = 15 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с}$$

$$t = 40 \text{ с}$$

Найти:

$$L = ?$$

Для упрощения решения задачи выберем систему отсчёта, связанную с крейсером. Тогда движение катера по ходу крейсера (от кормы до носа) будет происходить со скоростью $u' = v_2 - v_1$ за время $t_1 = L/u'$, а в обратную сторону со скоростью $u'' = v_2 + v_1$ за время $t_2 = L/u''$.

Тогда весь путь туда и обратно будет проделан за время: $t = t_1 + t_2 = \frac{L}{(v_2 - v_1)} + \frac{L}{(v_2 + v_1)} = \frac{2Lv_2}{(v_2^2 - v_1^2)}$.

Откуда, выражая L , получаем: $L = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2v_2} t = 175 \text{ м.}$

Ответ: $L = 175 \text{ м}$

4. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, увеличив свою скорость в 3 раза. Определите в СИ конечную скорость тела.

Решение:

Дано:
 $l = 20$ м
 $v = 3v_0$
 $t = 2$ с
Найти:
 $v = ?$

Запишем основное уравнение кинематики поступательного движения:

$$S(t) = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (1) \quad v(t) = v_0 + at. \quad (2)$$

Учтём, что $v = 3v_0$, $S = 20$ м, $t = 2$ с. Выразим из (2) ускорение, подставим в (1) и найдём v_0 :

$$at = v(t) - v_0, \quad a = \frac{3v_0 - v_0}{t} = 2 \frac{v_0}{t} \rightarrow (1)$$

$$S(t) = v_0 t + \frac{2v_0 \cdot t^2}{t \cdot 2} = v_0 t + v_0 t = 2v_0 t, \quad v_0 = \frac{S(t)}{2t}.$$

Тогда конечная скорость: $v(t) = 3v_0 = \frac{3S(t)}{2t} = \frac{3 \cdot 20}{2 \cdot 2} = 15$ м/с.

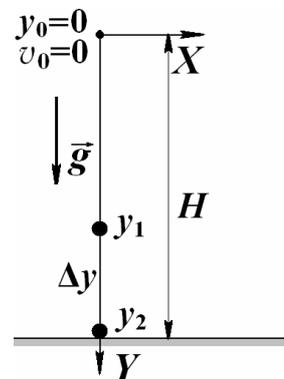
Ответ: $v = 15$ м/с

5. Свободно падающее тело с начальной скоростью, равной нулю, за последнюю секунду своего движения переместилось по вертикали на 45 м. Сколько времени и с какой высоты падало тело? Ответ дать в СИ.

Решение:

Дано:
 $\Delta y = 45$ м
 $\Delta t = 1$ с
Найти:
 $t = ?$
 $H = ?$

Направим ось OY вертикально вниз, начало координат расположим на высоте H от поверхности Земли (рисунок). Заметим, что высота, отсчитываемая от поверхности Земли, – величина всегда положительная. В нашем случае высота, с которой падает тело, равна значению координаты тела, находящегося, на поверхности



Земли в выбранной системе отсчета.

Уравнение зависимости координаты тела от времени имеет вид:

$$y = \frac{gt^2}{2}.$$

Т.к. $\Delta y = y_2 - y_1$, то $\Delta y = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t - \Delta t)^2}{2} = \frac{2gt\Delta t - g\Delta t^2}{2} = \frac{g\Delta t(2t - \Delta t)}{2}$.

Выразив полное время падения, получим: $t = \frac{2\Delta y}{2g\Delta t} + \frac{\Delta t}{2} = \frac{2\Delta y + g\Delta t^2}{2g\Delta t} = 5$ с.

Высоту, с которой упало тело, можно найти по формуле:

$$H = y = \frac{gt^2}{2} = 122,5 \text{ м}$$

Ответ: $t = 5$ с, $H = 122,5$ м.

6. Из ружья произведен выстрел вертикально вверх. Начальная скорость пули $v_0 = 49$ м/с. Какова максимальная высота полета пули и время ее движения до этой высоты? Найти путь и скорость пули через 10 с после выстрела. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ дать в СИ.

Решение:

Дано:

$$v_0 = 49 \text{ м/с}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

Найти:

$$t_{\max} = ?$$

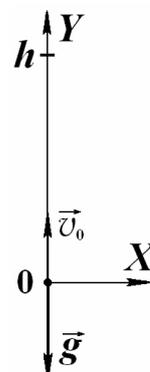
$$h = ?$$

$$S = ?$$

$$v = ?$$

Начало координат выберем в точке, совпадающей с положением пули в момент вылета из ствола ружья, ось OY укажем в направлении ее движения (рисунок). Движение пули происходит с ускорением $9,8 \text{ м/с}^2$, направленным вертикально вниз. Тогда координата пули и проекция ее скорости на ось OY в произвольный момент времени t соответственно равны:

$$y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad v(t) = v_0 - gt. \quad (1)$$



Время полета пули до верхней точки траектории определим из условия, что скорость в ней равна нулю: $0 = v_0 - gt_{\max}$. Отсюда $t_{\max} = v_0/g = 49/9,8 = 5$ с.

Такое же время пуля падала вниз, т.е. за 10 с своего движения пуля вернется в исходную точку. В этом легко убедиться, если в первом уравнении системы (1) положить координату $y = 0$ и найти соответствующие моменты времени:

$$0 = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad 0 = t \left(v_0 - \frac{gt}{2} \right), \quad t_1 = 0, \quad t_2 = \frac{2v_0}{g} = 10 \text{ с.}$$

Таким образом, пуля пребывает в этой точке дважды: первый раз в момент выстрела, двигаясь вверх, и второй раз – в момент падения на Землю. Скорость пули v момент времени t определим, подставив значение t во второе уравнение системы (1):

$$v(t) = v_0 - gt = 49 - 9,8 \cdot 10 = -49 \text{ м/с.}$$

Знак «минус» свидетельствует о том, что направление вектора скорости противоположно направлению оси OY . Заметим, что модуль скорости пули в момент падения равен модулю начальной скорости пули при выстреле.

Максимальную высоту подъема пули найдем, подставив значение t_{\max} , в первое уравнение системы (1):

$$h = y(t) = v_0 t_{\max} - \frac{gt_{\max}^2}{2} = v_0 \frac{v_0}{g} - \frac{g v_0^2}{2g^2} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{49^2}{2 \cdot 9,8} = 122,5 \text{ м.}$$

Путь, пройденный пулей за время t , равен удвоенной высоте подъема h , т.е. $S = 2h = 2 \cdot 122,5 = 245$ м.

Ответ: $t_{\max} = 5$ с, $h = 122,5$ м, $S = 245$ м, $v = -49$ м/с.

7. С вышки в горизонтальном направлении бросили камень, который через 2 секунды приземлился со скоростью 25 м/с. На каком расстоянии от основания вышки упал камень? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в единицах СИ.

Решение:Дано:

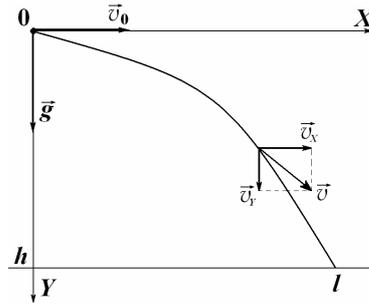
$t = 2 \text{ с}$

$v = 25 \text{ м/с}$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

Найти:

$l = ?$



Движение тела, брошенного горизонтально с некоторой высоты, было рассмотрено в пункте 1.5.3.

1) Горизонтальное перемещение происходит с постоянной скоростью $v_x = v_0$. За время падения камень проходит горизонтальный путь $l = v_x \cdot t$.

2) По вертикали движение камня равноускоренное с ускорением g , с нулевой начальной скоростью $v_{0y} = 0$. За время падения камень набирает вертикальную скорость: $v_y = v_{0y} + gt = gt$.

3) Т.к. нам известна полная скорость $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, то мы можем найти v_x :

$$v_x = \sqrt{v^2 - v_y^2} = \sqrt{v^2 - (gt)^2}. \text{ В итоге, } l = t\sqrt{v^2 - (gt)^2} = 30 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 30 \text{ м.}$

8. Вертолет начал снижаться вертикально с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Лопать винта вертолета имеет длину 5 м и совершает вращение вокруг оси с частотой 300 с^{-1} . Определить число оборотов лопасти за время снижения вертолета на 40 м .

Решение:Дано:

$a = 0,2 \text{ м/с}^2$

$n = 300 \text{ с}^{-1}$

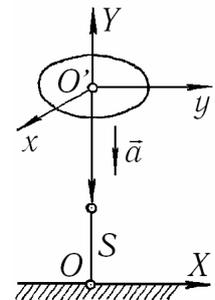
$l = 5 \text{ м}$

$S = 40 \text{ м}$

Найти:

$N = ?$

Неподвижную систему отсчёта свяжем с Землёй, а ось OY направим вертикально вверх вдоль траектории вертолета. Подвижную систему отсчёта свяжем с осью винта вертолета так, чтобы вращение лопасти происходило в плоскости $xO'y$. В подвижной системе отсчёта траекторией конца лопасти вертолета является окружность, что дает основание применять уравнение движения точки по окружности, т.е. $\varphi = \omega t = 2\pi n t$, где φ – угол поворота лопасти за время t , n — частота вращения.



Число оборотов N лопасти винта вертолета можно найти по формуле $N = \varphi/2\pi$ или

$$N = nt. \tag{1}$$

Относительно неподвижной системы отсчёта траектория конца лопасти – винтовая линия, однако движение самого вертолета прямолинейное равноускоренное. Уравнение зависимости перемещения от времени для этого движения имеет вид (в скалярной форме):

$$-S = -\frac{at^2}{2}, \quad S = \frac{at^2}{2}.$$

Откуда время снижения вертолета $t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$. Подставив значение t в формулу (1), получим

$$N = n\sqrt{\frac{2S}{a}} = 300\sqrt{\frac{2 \cdot 40}{0,2}} = 6000 \text{ оборотов.}$$

Ответ: $N = 6000$ оборотов.

9. Вал двигателя автомобиля вращается с угловой скоростью 180 рад/с. Определить в СИ линейную скорость ремня и угловую скорость шкива вентилятора автомобиля, если диаметр на валу двигателя 9 см, а вентилятора – 6 см. Сравнить периоды обращения и центростремительные ускорения периферийных точек каждого шкива.

Решение:

Дано:

$$\omega_d = 180 \text{ рад/с}$$

$$d_d = 9 \text{ см} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$d_b = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Найти:

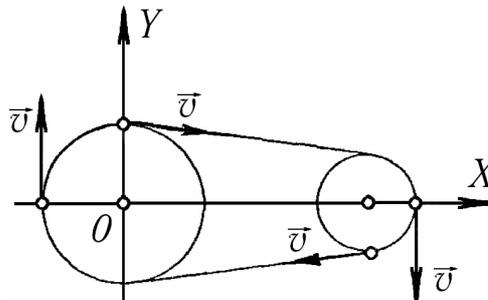
$$v_b = ?$$

$$\omega_b = ?$$

$$T_d/T_b = ?$$

$$a_d/a_b = ?$$

Систему отсчета OXY свяжем с валом двигателя так, чтобы вращение шкивов происходило в плоскости OXY (рисунок).



Если проскальзывание ремня по поверхности шкива отсутствует, то все точки ремня и периферийные точки обоих шкивов обладают одинаковыми по модулю скоростями v . Используя эту особенность, а также связь линейной скорости с угловой скоростью, получаем:

$$v_b = v = \omega_d \cdot R_d = \omega_d \cdot d_d / 2 = 180 \cdot 4,5 \cdot 10^{-2} = 8,1 \text{ м/с};$$

$$\omega_b = v_b / R_b = 2v_b / d_b = 2 \cdot 8,1 / 6 \cdot 10^{-2} = 270 \text{ рад/с.}$$

Так как, $\omega_d = 2\pi/T_d$, $\omega_b = 2\pi/T_b$, то разделив второе равенство на первое, получим: $T_d/T_b = \omega_b/\omega_d = 1,5$.

Центростремительное ускорение определяется по формуле $a_n = v^2/R$. Тогда $a_d/a_b = d_b/d_d = 1/1,5 = 0,67$.

Ответ: $v_b = 8,1$ м/с, $\omega_b = 270$ рад/с, $T_d/T_b = 1,5$, $a_d/a_b = 0,67$.

10. Спутник Земли движется по круговой орбите на высоте $h = 630$ км над поверхностью и облетает Землю за время $T = 97$ мин. Найти скорость v спутника и ускорение свободного падения g_h , на этой высоте. Радиус Земли принять равным 70 км. Ответ дать в СИ.

Дано:

$$h = 630 \text{ км} = 6,3 \cdot 10^5 \text{ м}$$

$$R_3 = 70 \text{ км} = 7 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$T = 97 \text{ мин} = 5,82 \cdot 10^3 \text{ с}$$

Найти:

$$v = ?$$

$$g_h = ?$$

Решение:

Зная период вращения T спутника, находим его

угловую скорость: $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Радиус орбиты:

$R = R_3 + h$. Отсюда находим скорость:

$$v = \omega R = 2\pi(R_3 + h)/T = 7560 \text{ м/с},$$

и нормальное ускорение:

$$a_n = \omega^2 R = 4\pi^2(R_3 + h)/T^2 = 8,16 \text{ м/с}^2.$$

Поскольку спутник вращается равномерно, нормальное ускорение совпадает с полным, которое и есть ускорение свободного падения g_h , на этой высоте.

Ответ: $v = 7560 \text{ м/с}$, $g_h = a_n = 8,16 \text{ м/с}^2$.

1.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Мяч брошен вертикально вверх с начальной скоростью 14,7 м/с. Через сколько секунд его скорость станет равной 9,8 м/с? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.2. Диск вращается вокруг оси, проходящей через его центр, с постоянной угловой скоростью. Линейная скорость материальных точек на расстоянии 0,2 м от центра диска равна 3 м/с. Найти в СИ угловую скорость вращения диска.

3.3. Камень падает с некоторой высоты над поверхностью Земли с нулевой начальной скоростью. Время падения равно 1 с. Найти в СИ среднюю скорость движения камня.

3.4. Колесо радиусом 0,3 м вращается с постоянной угловой скоростью. Линейная скорость материальных точек, расположенных на ободе колеса, равна 1 м/с. Найти в СИ период вращения колеса.

3.5. С крыши дома высотой 19,6 м над поверхностью Земли срывается сосулька. Найти в СИ время падения сосульки.

3.6. Угловая скорость вращения диска постоянна и равна 6,28 рад/с. Определить в СИ период вращения диска.

3.7. Скорость велосипедиста 10 м/с, а скорость встречного ветра 4 м/с. Определить в СИ скорость ветра в системе отсчета, связанной с велосипедистом.

3.8. Автомобиль движется с постоянным ускорением 1 м/с². Определить в СИ путь, пройденный автомобилем за пятую секунду, если его начальная скорость равна нулю.

3.9. Грузовик за 10 с прошёл путь 100 м. Определить в СИ ускорение, с которым двигался грузовик, если начальная скорость грузовика равна 5 м/с.

3.10. При наборе высоты самолет летит по прямой, составляющей угол 30° с горизонтом, с постоянным ускорением 2 м/с². На какую высоту поднимется самолет за 10 секунд, считая от момента времени, когда его скорость была равна 30 м/с? Ответ дать в СИ.

3.11. Велосипедист, двигаясь с ускорением 1 м/с², за 5 с проехал 25 м. Найти в СИ начальную скорость велосипедиста.

3.12. Центростремительное ускорение поезда, движущегося по закруглению радиусом 800 м, равно $0,5 \text{ м/с}^2$. Найти в км/час скорость поезда.

3.13. Линейная скорость конца спиц колеса 3 м/с, а угловая скорость их вращения 6 рад/с. Определить в СИ длину спицы.

3.14. Частота вращения якоря электродвигателя 1200 об/мин. Вычислить в СИ его угловую скорость.

3.15. С некоторой высоты вертикально вверх брошен камешек. Через 0,5 с после начала движения его скорость стала равна 5 м/с. С какой начальной скоростью брошен камешек? Ответ дать в СИ.

3.16. Товарный поезд двигался равноускоренно с ускорением $1,5 \text{ м/с}^2$ в течение 8 с. Начальная скорость равна 5 м/с. Найти в СИ среднюю скорость движения поезда.

3.17. Тело свободно падает на Землю из состояния покоя. Через сколько секунд оно достигло скорости 49 м/с?

3.18. Тело начало свободное падение из состояния покоя с высоты 490 м. Сколько секунд оно будет падать до момента удара о Землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.19. Участок пути длиной 1000 м мотоциклист, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, проходит за 100 с. Определить в СИ ускорение мотоциклиста.

3.20. Двигаясь равнозамедленно, материальная точка прошла путь 3,75 м с ускорением, равным $0,5 \text{ м/с}^2$. Найти в СИ начальную скорость материальной точки, если время движения равно 3 с.

3.21. С некоторой высоты вертикально вниз падает мяч. Определить в СИ путь, пройденный мячом за вторую секунду падения, если начальная скорость мяча равна нулю.

3.22. Мальчик на санках съехал с горы за 10 с, двигаясь равноускоренно. Скорость санок с мальчиком в конце горы была 8 м/с. Определить в СИ длину спуска, если начальная скорость санок равна нулю.

3.23. Пассажирский поезд движется со скоростью 54 км/ч и обгоняет товарный поезд. Скорость товарного поезда 36 км/ч. Определить в км/ч скорость пассажирского поезда относительно товарного во время обгона.

3.24. Шарик, скатываясь с наклонного желоба из состояния покоя, за 3 секунды прошёл путь 0,9 м. Считая движение шарика равноускоренным, определить в СИ его ускорение.

3.25. Человек шёл из деревни в город со скоростью 3 км/ч. Обрато он возвращался с покупками и шёл со скоростью 2 км/ч. Определить в км/ч среднюю скорость пешехода за время движения.

3.26. Первые 2 секунды после начала отсчёта времени шарик катился со скоростью 5 м/с, а затем в течение 3 секунд – со скоростью 3 м/с. Определить в СИ среднюю скорость шарика.

3.27. Вагонетка движется прямолинейно и равноускоренно с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Определить в СИ путь, который проходит вагонетка за третью секунду движения, если начальная скорость равна 2 м/с.

- 3.28. С высоты 6,4 м над поверхностью Луны вертикально вниз падает камень. Начальная скорость камня равна нулю. Определить в СИ время падения камня на поверхность Луны. Ускорение свободного падения на Луне равно $1,6 \text{ м/с}^2$.
- 3.29. Тележка, двигаясь под уклон, проходит за 10 с путь 2 м. Начальная скорость тележки равна нулю. Найти в СИ ускорение тележки.
- 3.30. Угловая скорость вращающегося колеса равна 2 рад/с. Определить в СИ период вращения колеса.
- 3.31. Угловая скорость вращающегося диска равна 31,4 рад/с. Определить в СИ частоту вращения диска.
- 3.32. Линейная скорость точек, лежащих на ободе колеса, равна 0,5 м/с. Период вращения колеса равен 3,14 с. Определить в СИ радиус колеса.
- 3.33. Трактор, движущийся прямолинейно с ускорением 1 м/с^2 , за 10 с от начала движения прошёл путь 100 м. Определить в СИ начальную скорость трактора.
- 3.34. Грузовик движется прямолинейно с начальной скоростью 10 м/с равноускоренно. За 5 с от начала движения он проходит путь 75 м. Определить в СИ ускорение, с которым движется грузовик.
- 3.35. Материальная точка движется прямолинейно и её скорость за 2 с после начала движения изменилась от 2 м/с до 3 м/с. Определить в СИ скорость материальной точки через 7 секунд после начала движения.
- 3.36. Маховик равномерно вращается с угловой скоростью 1,57 рад/с. Сколько оборотов сделает маховик за 20 с?
- 3.37. Автомобиль начинает движение с нулевой начальной скоростью и движется прямолинейно с постоянным ускорением 1 м/с^2 . За сколько секунд он пройдёт 200 м пути?
- 3.38. Центробежное ускорение автомобиля, делающего разворот, 2 м/с^2 . Радиус разворота 50 м. Определить в км/ч скорость автомобиля при развороте.
- 3.39. На некотором участке пути скорость трактора увеличилась за 10 секунд от 3 м/с до 5 м/с. Определить в СИ путь, пройденный трактором за это время.
- 3.40. Велосипедист движется под уклон с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Определить в СИ скорость велосипедиста через 20 секунд после начала спуска, если его начальная скорость равна 36 км/ч.
- 3.41. Грузовик движется по мосту с радиусом кривизны 72 м с центростремительным ускорением 2 м/с^2 . Найти в км/ч скорость грузовика.
- 3.42. Катер движется по озеру со скоростью 30 км/ч. С какой скоростью он будет двигаться относительно берега после того, как выйдет в реку, вытекающую из озера? Скорость течения реки 6 км/ч. Ответ дать в СИ.
- 3.43. Пассажир идёт по коридору вагона против движения поезда со скоростью 3 км/ч. Определить в СИ скорость пассажира относительно Земли, если поезд движется относительно Земли со скоростью 75 км/ч.
- 3.44. Камень бросили вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с. Через сколько секунд камень поднимется на максимальную высоту? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

3.45. Скорость поезда увеличилась за 15 секунд от 12 м/с до 15 м/с. Определить в СИ скорость поезда через 7 секунд после начала движения.

3.46. Ледяная сосулька падала с крыши дома 2 секунды. Определить в СИ среднюю скорость падения сосульки.

3.47. Материальная точка за 4 секунды прошла путь 10 м. Определить в СИ начальную скорость материальной точки, если её ускорение равно 1 м/с^2 .

3.48. Из двух пунктов, расстояние между которыми 300 км, выехали два мотоциклиста навстречу друг другу. Скорость одного 50 км/ч, скорость другого 100 км/ч. Через сколько часов мотоциклисты встретятся?

3.49. Поезд движется со скоростью 54 км/ч. Приближаясь к станции, он начинает тормозить с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Определить в СИ скорость поезда через 30 секунд после начала торможения.

3.50. Катер движется против течения реки относительно берега со скоростью 10 м/с. Скорость катера в стоячей воде 12 м/с. Определить в СИ скорость течения реки.

3.51. Вал вращается с частотой 10 об/с. Определить в СИ линейную скорость точек на его поверхности, если радиус вала равен 0,5 м.

3.52. Камень бросили вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с. Через сколько секунд камень поднимется на максимальную высоту? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

3.53. Автомобиль начинает движение с нулевой начальной скоростью и движется прямолинейно с постоянным ускорением 1 м/с^2 . За сколько секунд он пройдёт 200 м пути?

3.54. Лыжник начал спускаться с горы со скоростью 2 м/с и ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Через сколько секунд после начала спуска скорость лыжника станет равной 4 м/с?

3.55. Автомобиль первую половину пути двигался со скоростью 30 км/ч, а вторую половину пути – со скоростью 60 км/ч. Найти в км/ч среднюю скорость движения автомобиля.

3.56. Тело, выведенное из состояния покоя, двигалось равноускоренно и прошло 180 м пути за 15 секунд. Определить в СИ расстояние, которое тело прошло за первые 5 секунд.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Автобус начинает движение с нулевой начальной скоростью и движется прямолинейно с постоянным ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Какой путь пройдёт автобус к тому моменту времени, когда его скорость достигнет 10 м/с? Ответ дать в СИ.

4.2. Вал вращается с частотой 10 Гц. Определить в СИ линейную скорость точек на его поверхности, если радиус вала равен 0,5 м.

4.3. С балкона высотой 15 м бросили вертикально вверх мяч с начальной скоростью 10 м/с. Найти в СИ время, через которое мяч упадёт на Землю. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.4. Камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с с высоты 10 м над Землёй. Через сколько секунд он упадёт на Землю? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.5. С высоты 19,6 м свободно падает тело с нулевой начальной скоростью. За сколько секунд оно пройдёт последние три четверти пути?

4.6. На соревнованиях саночник, разогнавшись, начал движение вниз со скоростью 5 м/с. Угол наклона горы к горизонту 30° . Через 10 секунд он пересек финишную черту, находящуюся на 75 м ниже уровня старта. С каким ускорением катился спортсмен? Ответ дать в СИ. Движение считать равноускоренным.

4.7. Камень брошен вертикально вверх с поверхности Земли с начальной скоростью 15 м/с. Через сколько секунд он будет первый раз на высоте 10 м над поверхностью Земли? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.8. Эскалатор движется горизонтально со скоростью 0,8 м/с. Найти в СИ расстояние, на которое переместится пассажир за 40 с относительно Земли, если он сам идёт в направлении движения эскалатора со скоростью 0,2 м/с относительно него.

4.9. Автомобиль, двигаясь равномерно, проходит третью часть пути со скоростью 20 м/с, а остальной путь – со скоростью 10 м/с. Определить в СИ среднюю скорость на всём пути.

4.10. Катер, переправляясь через реку, движется перпендикулярно течению реки со скоростью 4 м/с в системе отсчета, связанной с водой. На сколько метров катер за время переправы будет снесён течением, если ширина реки 800 м, а скорость течения 3 м/с?

4.11. От пункта *A* электричка двигалась равномерно со скоростью 20 м/с в течение 100 с. Затем она начала торможение с отрицательным ускорением -1 м/с^2 , и через 20 с остановилась в пункте *B*. Определить в СИ расстояние между пунктами *A* и *B*.

4.12. Автомобиль начинает движение с постоянным ускорением 2 м/с^2 . Определить в СИ путь, который прошёл автомобиль до того момента, когда его скорость стала равной 20 м/с.

4.13. Сосулька падает с крыши дома. Первую половину пути она пролетела за 2 с. Найти в СИ время движения сосульки до Земли.

4.14. Мяч, брошенный вертикально вверх, вернулся в точку бросания через 2 с. На какую максимальную высоту поднялся мяч? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ дать в СИ.

4.15. Автомобиль, двигавшийся прямолинейно со скоростью 20 м/с, начал тормозить с ускорением 4 м/с^2 . Какой путь прошёл автомобиль до остановки? Ответ дать в СИ.

4.16. Грузовик движется с постоянным ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$ и через некоторое время имеет скорость 10 м/с. Начальная скорость движения равна нулю. Найти в СИ путь, пройденный грузовиком к этому моменту времени.

4.17. На пути 120 м скорость спортсмена возросла от 7 м/с до 9 м/с. Определить в СИ время движения спортсмена.

4.18. Двигаясь равноускоренно, автомобиль прошёл путь 150 м за 10 с. Найти в СИ скорость автомобиля в конце пути, если начальная скорость равна 12 м/с.

4.19. Диск вращается вокруг оси, проходящей через центр масс, с постоянной угловой скоростью 3 рад/с. Радиус диска 0,2 м. Найти в СИ центростремительное ускорение точек диска, находящихся на расстоянии 10 см от оси вращения.

4.20. Поезд трогается со станции с нулевой начальной скоростью и движется с постоянным ускорением $1,5 \text{ м/с}^2$. Какой путь пройдёт поезд до того момента, когда скорость его станет равной 54 км/ч ? Ответ дать в СИ.

4.21. Камень падает вертикально вниз с высоты 20 м с нулевой начальной скоростью. С какой скоростью камень упадёт на Землю? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

4.22. Шарик бросили вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с . Найти в СИ максимальную высоту, на которую поднимется шарик. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.23. Тележка скатывается по наклонной плоскости длиной 2 м . С каким ускорением скатывается тележка, если её скорость в конце пути 4 м/с , а начальная скорость равна нулю? Ответ дать в СИ.

4.24. При посадочной скорости самолёта 80 м/с длина его пробега до остановки равна 1 км . Найти в СИ абсолютное значение ускорения самолёта во время торможения.

4.25. Пуля при вылете из ствола ружья имеет скорость 100 м/с . Сколько секунд пуля движется в стволе ружья, если длина его равна $0,5 \text{ м}$? Движение пули в стволе считать равноускоренным.

4.26. С вышки на высоте $4,9 \text{ м}$ над Землёй бросили мяч в горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с . На каком расстоянии от основания вышки мяч упадёт на Землю? Ответ дать в СИ.

4.27. При равномерном сматывании тонкого провода с катушки за 10 с было смотано $6,28 \text{ м}$. Средняя частота вращения катушки 2 об./с . Найти в см средний радиус окружности, с которой сматывается провод.

4.28. Найти в СИ радиус вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость точек, лежащих на ободе колеса, в 3 раза больше линейной скорости точек, лежащих на 5 см ближе к оси колеса.

4.29. Мальчик на санках начал спуск и съехал с горы длиной 50 м за 20 с , а затем проехал 25 м по горизонтальному пути до остановки. Найти в СИ модуль ускорения санок на горизонтальном участке пути.

4.30. Во сколько раз надо увеличить начальную скорость брошенного вверх тела, чтобы максимальная высота подъёма увеличилась в 4 раза?

4.31. Тело, двигаясь равноускоренно и имея начальную скорость 2 м/с , прошло за пятую секунду путь $6,5 \text{ м}$. Определить в СИ путь, пройденный телом за 10 с .

4.32. Половину пути автомобиль прошёл со скоростью 36 км/ч , а вторую половину – со скоростью 54 км/ч . Найти в км/ч среднюю скорость движения автомобиля.

4.33. На некоторой высоте одновременно из одной точки брошены два шарика под углом 60° к вертикали со скоростью 20 м/с . Один – вниз, а другой – вверх. Определить в СИ разность высот, на которых будут шарики через 2 с .

4.34. Камень брошен вертикально вверх с поверхности Земли с начальной скоростью 20 м/с . Найти в СИ высоту, на которой его скорость будет равна 10 м/с . Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.35. У автобуса при скорости 12 м/с тормозной путь оказался равным 54 м. Сколько секунд после начала торможения автобус шёл до остановки?

4.36. Какой путь прошёл автомобиль за время, в течение которого его скорость увеличилась с 4 м/с до 12 м/с, если ускорение равно 2 м/с². Ответ дать в СИ.

4.37. Определить в СИ путь, который пройдёт катер, если он будет двигаться 5 секунд с постоянной скоростью 10 м/с, а затем 5 секунд с постоянным ускорением 0,4 м/с²?

4.38. Вагон наехал на тормозной башмак в тот момент, когда скорость равнялась 2,5 м/с. Через 4 с вагон остановился. Найти в СИ путь, пройденный вагоном при торможении.

4.39. Тормозной путь поезда, движущегося с ускорением $-0,5 \text{ м/с}^2$, оказался равным 100 м. Найти в СИ скорость поезда в момент начала торможения.

4.40. Автомобиль, двигаясь прямолинейно с постоянным ускорением 1 м/с², прошёл путь 32 м. Начальная скорость его была равна 6 м/с. Найти в СИ время движения автомобиля.

4.41. По прямолинейному шоссе в одном направлении равномерно движутся два мотоциклиста. Скорость первого мотоциклиста 10 м/с. Второй догоняет его со скоростью 20 м/с. Расстояние между мотоциклистами в начальный момент времени равно 200 м. Через сколько секунд второй мотоциклист догонит первого?

4.42. Девочка бросила вверх мяч с начальной скоростью 9,8 м/с. Через сколько секунд от момента бросания мяч упадёт на Землю?

Задачи 5 класса трудности

5.1. Тележка скатывается по наклонной плоскости длиной 2 м. С каким ускорением скатывается тележка, если её скорость в конце пути 4 м/с, а начальная скорость равна нулю? Ответ дать в СИ.

5.2. Воздушный шар поднимается вверх с постоянной скоростью. В какой-то момент времени из гондолы падает камешек, который летит до Земли 10 с. На какой высоте находился шар, когда камешек упал на Землю? Ответ дать в СИ.

5.3. Камень падает вертикально вниз с высоты 20 м с нулевой начальной скоростью. С какой скоростью камень упадёт на Землю? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с². Ответ дать в СИ.

5.4. С башни высотой 80 м бросили камень в горизонтальном направлении с некоторой начальной скоростью. Камень упал на расстоянии 20 м от основания башни. С какой начальной скоростью брошен камень? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с². Ответ дать в СИ.

5.5. С вышки высотой 20 м бросили мяч в горизонтальном направлении со скоростью 2 м/с. На каком расстоянии от основания вышки упадёт мяч? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с². Ответ дать в СИ.

5.6. Шарик катится по гладкой горизонтальной поверхности стола с постоянной скоростью 2 м/с. Докатившись до края стола, шарик падает на пол на расстоянии 0,8 м от основания стола. Найти в СИ высоту стола. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с².

5.7. Два поезда идут навстречу друг другу: один со скоростью 36 км/час, другой – 54 км/час. Пассажир в первом поезде замечает, что второй поезд проходит мимо него в течении 6 с. Какова длина второго поезда? Ответ дать в СИ.

5.8. По двум параллельным путям в одном направлении идут товарный поезд длиной 600 м со скоростью 10 м/с и пассажирский длиной 150 м со скоростью 25 м/с. В течение какого времени пассажирский поезд будет обгонять товарный? За начало обгона считать момент времени, когда электровоз пассажирского догнал последний вагон товарного. Ответ дать в СИ.

5.9. Камень падает с нулевой начальной скоростью с высоты 20 м над поверхностью Земли. Найти в СИ среднюю скорость, с которой камень проходит последние 15 м своего пути. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.10. С балкона высотой 10 м над поверхностью Земли вертикально вверх бросили камешек с начальной скоростью 5 м/с. Найти в СИ модуль скорости, с которой камешек упадет на Землю? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.11. По одному направлению из одного пункта одновременно выходят два автомобиля. Один из них движется равномерно со скоростью 10 м/с, другой – равноускоренно с нулевой начальной скоростью и ускорением 1 м/с^2 . За сколько секунд второй автомобиль догонит первый?

5.12. С крыши дома падают одна за другой две капли. Через 2 с после начала падения второй капли расстояние между каплями стало равно 25 м. На сколько секунд раньше первая капля оторвалась от крыши? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.13. Найти в СИ радиус маховика, если при вращении с постоянной угловой скоростью линейная скорость точек на его ободе равна 6 м/с, а скорость точек, находящихся на 15 см ближе к оси, равна 5,5 м/с.

5.14. Шарик скатился с наклонной плоскости длиной 40 м за 10 с, а затем катился по горизонтальному участку еще 20 м до остановки. Найти в СИ время движения шарика на горизонтальном участке.

5.15. С крыши дома высотой 24,5 м над поверхностью Земли брошено вертикально вверх тело с начальной скоростью 19,6 м/с. Найти в СИ величину скорости, с которой тело упадет на Землю.

5.16. Тело, свободно падающее на Землю, пролетело точку A со скоростью 9,8 м/с. С какой скоростью оно пролетит точку B , находящуюся ниже A на расстоянии 14,7 м? Ответ дать в СИ.

5.17. Снаряд вылетел из орудия, стоящего на поверхности Земли, под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 196 м/с и через время t упал на Землю. Определить в СИ величину t .

5.18. Из точки, расположенной на высоте 300 м от поверхности Земли, одновременно бросают два камня с одинаковой скоростью 20 м/с, первый – вертикально вниз, второй – вертикально вверх. Определить в СИ, через какое время от начала движения камни будут находиться на расстоянии 200 м друг от друга.

5.19. Вертикально вверх с Земли со скоростью 4 м/с выброшен шарик. В этот же момент навстречу ему из состояния покоя с высоты 2 м начал свободно падать второй шарик. Через сколько секунд шары столкнутся?

5.20. Поезд двигался равномерно со скоростью 72 км/ч. Перед станцией он начал торможение с ускорением 1 м/с^2 . Какое расстояние прошёл поезд до полной остановки? Ответ дать в СИ.

5.21. С неподвижного аэростата, находящегося на высоте 980 м, упал груз. Определить в СИ скорость груза в момент, когда он находился на высоте 490 м от Земли. Сопротивлением воздуха пренебречь.

5.22. При вращении вала с постоянной угловой скоростью линейная скорость точек на его поверхности равна 9 м/с, а скорость точек, находящихся на 10 см ближе к оси, равна 6 м/с. Найти в СИ радиус вала.

5.23. Два корабля идут навстречу друг другу. Скорость первого корабля 54 км/ч, второго – 72 км/ч. Капитан первого корабля замечает, что второй корабль проходит мимо него за 2 с. Определить в СИ длину второго корабля.

5.24. Найти в СИ длину лопасти винта вертолета, если винт делает 50 оборотов за 10 секунд, и центростремительное ускорение точек на конце винта равно 2000 м/с^2 .

5.25. Секундная стрелка часов в три раза короче минутной. Определить отношение линейной скорости конца секундной стрелки к линейной скорости конца минутной.

5.26. С неподвижного аэростата сбросили два груза с начальной скоростью, равной нулю. Второй груз сбросили на 1 с позже первого. Определить в СИ расстояние между грузами через 2 с после начала падения первого груза. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.27. Пункты *A* и *B* находятся на противоположных берегах реки точно напротив друг друга. Определить в СИ минимальное время, за которое можно переехать из *A* в *B* на моторной лодке, скорость которой 2,5 м/с. Скорость течения реки 1,5 м/с, а ширина реки 720 м.

5.28. Мотоциклист мчится с постоянной скоростью по борту арены цирка, объезжая всю арену диаметром 15 метров за 10 секунд. Найти в СИ центростремительное ускорение мотоциклиста.

5.29. Пустотелый цилиндр диаметром 1 м вращается с постоянной частотой 100 Гц вокруг своей оси, расположенной вертикально. Горизонтально летевшая с постоянной скоростью пуля пробила цилиндр вдоль его диаметра. При этом входное и выходное отверстия совпали. Определить в СИ максимальную скорость пули внутри цилиндра.

5.30. Материальная точка, двигаясь равноускоренно с начальной скоростью 1 м/с и ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$, прошла путь 3 м. Найти в СИ среднюю скорость движения материальной точки.

5.31. Два поезда прошли одинаковый путь за одно и то же время. Один поезд, трогаясь с места, прошёл весь путь равноускоренно с ускорением $0,03 \text{ м/с}^2$, а другой поезд половину пути шёл со скоростью 18 км/ч, а другую половину – со скоростью 54 км/ч. Найти в км путь, пройденный каждым поездом.

5.32. Материальная точка, движущаяся равноускоренно с начальной скоростью 1 м/с, приобретает скорость 7 м/с, пройдя расстояние 24 м. Найти в СИ ускорение материальной точки.

5.33. Лифт поднимается с ускорением $6,2 \text{ м/с}^2$. В некоторый момент с потолка кабины падает болт. Высота кабины 2 м. Определить в СИ время падения болта на пол кабины.

5.34. Какую линейную скорость имеет верхняя точка обода велосипедного колеса, если велосипедист едет по горизонтальной дороге с постоянной скоростью 20 км/ч? Ответ дать в км/ч.

5.35. Камень, брошенный вертикально вверх с поверхности Земли, дважды проходил через точку на высоте 10 м с интервалом в 1 с. Найти в СИ время от начала движения камня до момента его падения на Землю. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.36. Лифт поднимается вверх. При этом его скорость нарастает с ускорением $6,2 \text{ м/с}^2$. В тот момент, когда скорость лифта равна $1,2 \text{ м/с}$, с потолка падает болт и ударяется о пол кабины. Определить в СИ расстояние, пройденное болтом относительно шахты за время его падения, если высота кабины лифта равна 2 м.

5.37. С высоты 10 м над Землёй падает камень. Одновременно с высоты 8 м вертикально вверх бросают другой камень. С какой начальной скоростью был брошен второй камень, если камни столкнулись на высоте 5 м над Землёй? Сопротивление воздуха не учитывать, ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

5.38. Парашютист спускается с постоянной скоростью 5 м/с. На высоте 10 м над поверхностью Земли у него обрывается пуговица. На сколько секунд позже пуговицы приземлится парашютист? Действием силы сопротивления воздуха на пуговицу пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.39. Найти в км расстояние между двумя пристанями, если известно, что катер проходит это расстояние по течению за 2 часа, а против течения – за 3 часа. Скорость катера в стоячей воде 25 км/ч.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Из окопа на уровне Земли под углом 45° к горизонту брошена граната с начальной скоростью $9,8 \text{ м/с}$. Определить в СИ расстояние между точкой бросания и падения гранаты.

6.2. При снижении вертолёт опускался вертикально с постоянной скоростью 10 м/с . Начиная с некоторой высоты h и до посадки он опускался равнозамедленно с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Сколько оборотов сделал винт вертолёта за время снижения с высоты h до посадки, если угловая скорость вращения винта $31,4 \text{ рад/с}$?

6.3. На горизонтальной поверхности лежит клин, а на его наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 58° (тангенс этого угла равен 1,6), лежит монета. С каким наименьшим ускорением должен двигаться клин по горизонтали, чтобы монета свободно падала вниз? Ответ дать в СИ.

6.4. С вышки бросили камень в горизонтальном направлении. Через 2 секунды камень упал на Землю на расстоянии 30 м от основания вышки. Найти в

СИ конечную скорость падения камня. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

6.5. С вышки в горизонтальном направлении бросили камень, который через 2 секунды приземлился со скоростью 25 м/с . На каком расстоянии от основания вышки упал камень? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

6.6. Самолёт летит на высоте 6000 м по прямой со скоростью 360 км/ч . Лётчик должен сбросить бомбу в цель, лежащую впереди самолёта. Под каким углом к вертикали он должен видеть цель в момент бомбометания? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в градусах.

6.7. Время отправления электрички по расписанию 12 часов дня. На Ваших часах 12^{00} , но мимо Вас уже начинает проезжать предпоследний вагон, который движется мимо Вас в течение 10 с . Последний вагон проходит мимо Вас в течение 8 с . Электричка отправилась вовремя и движется равноускоренно. На сколько секунд отстают Ваши часы?

6.8. Тело, движущееся равноускоренно, проходит одинаковые, следующие друг за другом отрезки пути длиной 15 м за время, равное 2 с и 1 с соответственно. Найти в СИ модуль ускорения тела.

6.9. Теплоход, длина которого 300 м , движется по прямому курсу в неподвижной воде с постоянной скоростью. Катер, имеющий скорость 90 км/ч , проходит расстояние от кормы движущегося теплохода до его носа и обратно за $37,5 \text{ с}$. Найти в СИ скорость теплохода.

6.10. Крейсер движется по прямому курсу в неподвижной воде с постоянной скоростью 54 км/ч . Катер, имеющий скорость 72 км/ч , проходит расстояние от кормы движущегося крейсера до его носа и обратно за 40 с . Найти в СИ длину крейсера.

6.11. Длина шкалы спидометра 15 см . Он измеряет скорость автомобиля в пределах от нуля до 150 км/ч . Найдите в см/с скорость указателя спидометра, если автомобиль движется с ускорением 2 м/с^2 .

6.12. Самолёт летит на высоте 4500 м по прямой со скоростью 100 м/с . Лётчик должен сбросить бомбу в цель, лежащую впереди самолёта. На каком расстоянии от цели должна находиться точка на Земле, над которой лётчик должен нажать кнопку "пуск" бомбометателя? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в км.

6.13. Мяч бросают горизонтально с вершины горы. Склон горы – плоский и составляет угол 30° к горизонту. С какой скоростью должен быть брошен мяч, чтобы он упал на гору на расстоянии $4,8 \text{ м}$ от вершины? Сопротивление воздуха не учитывать. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

6.14. Мяч брошен вертикально вверх с некоторой высоты с начальной скоростью 3 м/с . Найти в СИ среднюю скорость мяча в течение первой секунды полёта. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

6.15. Два груза разной массы связаны тонкой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок радиусом 5 см (машина Атвуда). Найти в СИ

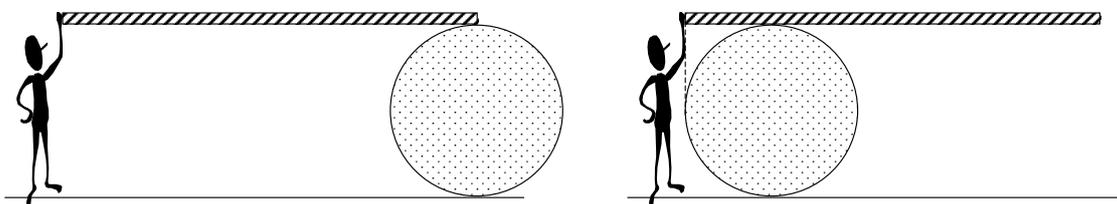
угловую скорость блока через 10 с после начала движения грузов, если более тяжелый груз опустился за это время на 0,5 м.

6.16. Автобус, отходя от остановки, движется равноускоренно и за третью секунду проходит 2,5 м. Определить в СИ путь, пройденный автобусом за пятую секунду.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Каждые 5 минут с конечных остановок, расстояние между которыми 6 км, одновременно во встречном направлении отправляются троллейбусы, движущиеся со средней скоростью 18 км/ч. Сколько троллейбусов встретит на протяжении всего маршрута пассажир, выехавший с конечной остановки? Встречи на конечных остановках не учитывать.

7.2. Человек держит один конец доски длиной 3,14 м, другой её конец лежит на цилиндре диаметром 1 м так, что доска горизонтальна. Затем человек



двигает доску вперед, вследствие чего цилиндр катится без скольжения по горизонтальной плоскости. Какой путь должен пройти человек, чтобы достичь цилиндра? Ответ дать в СИ.

7.3. Въезжая на поврежденный участок шоссе, каждый автомобиль в колонне уменьшает скорость с 90 км/ч до 15 км/ч. Какой должна быть минимальная дистанция между автомобилями, чтобы они не сталкивались? Длина каждого автомобиля 5 м. Ответ дать в СИ.

7.4. Под каким углом к горизонту брошен с поверхности Земли камень, если известно, что дальность его полёта в 4 раза превышает максимальную высоту подъёма? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ дать в градусах.

7.5. Под каким углом к горизонту надо бросить шарик, чтобы центр кривизны его траектории в верхней точке находился ниже уровня земной поверхности на величину, равную максимальной высоте подъёма шарика? Ответ дать в градусах.

7.6. На пути шарика, свободно падающего с высоты 6 м, находится расположенная под углом 45° к горизонту площадка. В результате удара о площадку направление скорости шарика становится горизонтальным. На какой высоте (в СИ) должна находиться площадка, чтобы время падения шарика было максимальным?

7.7. Вагонетка должна в кратчайший срок перевозить груз на расстояние 1 км. Она может ускорять или замедлять свое движение только с одинаковым по величине ускорением $0,9 \text{ м/с}^2$, переходя затем в равномерное движение или останавливаясь. Какую наибольшую скорость (в СИ) должна развивать вагонетка, чтобы выполнить указанное требование?

7.8. Два мальчика играют в мяч, бросая его друг другу. Какой наибольшей высоты над точкой бросания достигает мяч, если он от одного игрока к другому летит 2 с? Считать, что точки приёма и бросания мяча находятся на одинаковой высоте над Землёй. Ответ дать в СИ.

7.9. Автомобиль с колесами радиусом 40 см движется со скоростью 10 м/с по горизонтальной дороге. На какую максимальную высоту может быть заброшена вверх грязь, срывающаяся с колес автомобиля? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

7.10. Найти в СИ время подъёма лифта на высоту 60 м, считая его движение при разгоне и торможении равнопеременным с одинаковым по величине ускорением 1 м/с^2 . На среднем участке движение лифта считать равномерным со скоростью 2 м/с.

7.11. Барон Мюнхгаузен увидел, что точно над его головой со скоростью 3 м/с летит утка. Он отыскал на земле подходящий камень, прицелился, бросил камень в улетающую утку и... попал! В момент броска скорость камня была направлена на утку, составляла с горизонтом 60° и равнялась 15,8 м/с. Определить в СИ высоту, на которой летела утка.

7.12. Из миномёта, расположенного у основания горы, ведётся обстрел объектов противника, расположенных на плоском склоне горы. Склон составляет с горизонтом угол 30° . Ствол миномёта установлен под углом 60° к горизонту, и мины вылетают из него со скоростью 90 м/с. Определить в СИ минимальное расстояние между миномётом и местом падения мины. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.13. Камень брошен с поверхности Земли под некоторым углом к горизонту. Наивысшая точка его траектории оказалась на высоте 25 м над Землёй. В этой точке радиус кривизны траектории составил 40 м. Определить в СИ начальную скорость камня. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.14. С отвесного обрыва в каньон упал камень. Человек, стоящий у обрыва, услышал звук падения камня на дно через 4,2 с. Определить в СИ глубину каньона. Принять скорость звука равной 400 м/с, ускорение свободного падения – 10 м/с^2 .

7.15. Теплоход плывёт по морю со скоростью 36 км/ч. На палубе мальчик играет с мячом. В некоторый момент он бросает мяч вертикально вверх со скоростью 20 м/с, и спустя время τ мяч достигает высшей точки своей траектории. Определить в СИ перемещение мяча относительно Земли за время τ . Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.16. Камень брошен с Земли со скоростью 21 м/с под углом 60° к горизонту. Определить в СИ высоту, на которой вектор скорости камня будет составлять с горизонтом угол 30° . Сопротивлением воздуха пренебречь.

ТЕМА 2. ДИНАМИКА

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Динамика – раздел механики, изучающий законы взаимодействия тел.

Взаимодействие тел – воздействие тел друг на друга, являющееся причиной изменения их состояния (например, состояния движения – скорости).

Инерционность (инертность) – свойство тел сопротивляться изменению состояния своего движения.

Масса тела – физическая величина, характеризующая его инерционные свойства.

Инерциальная система отсчёта – система, относительно которой тело при отсутствии внешних воздействий движется прямолинейно и равномерно.

Инерция – свойство тел сохранять неизменным состояние своего движения по отношению к инерциальной системе отсчёта, когда внешние воздействия на тела отсутствуют или взаимно компенсируются.

Сила \vec{F} – физическая векторная величина, являющаяся мерой взаимодействия тел. Сила характеризуется направлением в пространстве, величиной и точкой приложения. Единица измерения силы – ньютон: $[F] = 1 \text{ Н}$.

Линия действия силы – это прямая, вдоль которой направлен вектор силы.

Принцип суперпозиции сил. Равнодействующая сил: Если на тело действует одновременно несколько сил \vec{F}_i , то их совокупное действие на тело эквивалентно действию одной силы \vec{F}_R , равной векторной (геометрической) сумме всех действующих на тело сил (см. рис. 2.1):

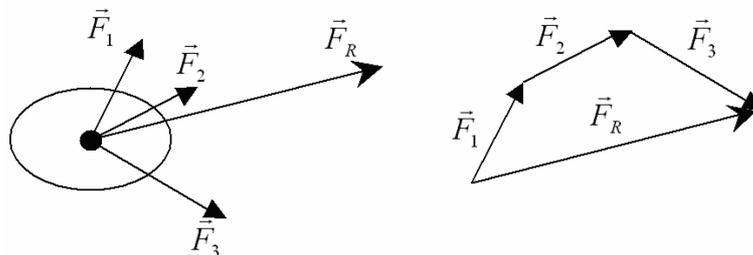


Рисунок 2.1 – Суперпозиция сил

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i. \quad (2.1)$$

Равнодействующая сила \vec{F}_R – это сила, которая производит на тело такое же действие, какое производит на него совокупность сил.

2.2. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Первый закон Ньютона (закон инерции): существуют такие системы отсчёта (называемые *инерциальными*), относительно которых тела находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, если на них не действуют другие тела.

Второй закон Ньютона: в инерциальной системе отсчёта ускорение тела \vec{a} пропорционально векторной сумме (равнодействующей) всех сил, прило-

женных к телу, обратно пропорционально его массе и направлено в сторону равнодействующей силы:

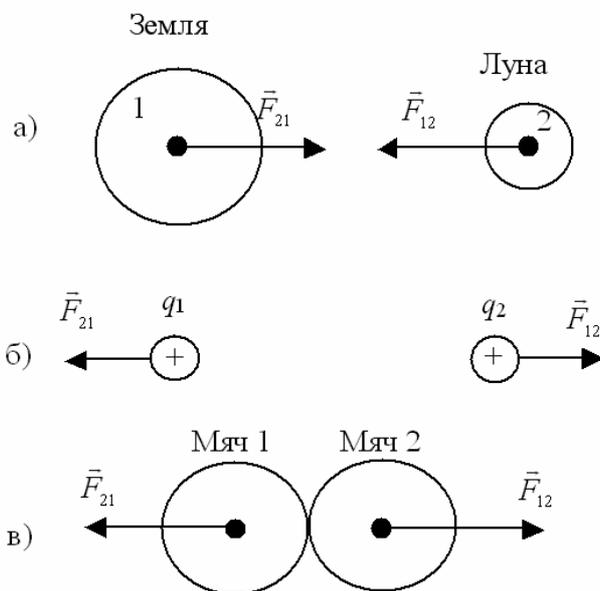
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}. \quad (2.2)$$

Из выражения (2.2) становится понятным и смысл массы, как меры инертности тела. Чем больше масса, тем труднее (нужна большая сила) изменить состояние движения тела.

Третий закон Ньютона (закон взаимодействия): силы, с которыми тела действуют друг на друга, направлены вдоль прямой, соединяющей центры масс тел, равны по модулю и противоположны по направлению:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \quad (2.3)$$

где \vec{F}_{21} – сила, действующая на первое тело со стороны второго, а \vec{F}_{12} – сила, действующая на второе тело со стороны первого.



- а) силы взаимного притяжения Земли и Луны: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ (бесконтактное взаимодействие посредством гравитационного поля);
- б) силы кулоновского взаимодействия двух одноименных электрических зарядов: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ (бесконтактное взаимодействие посредством электрического поля);
- в) силы упругости: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ (контактное взаимодействие посредством силы упругости);

Рисунок 2.2 – Третий закон Ньютона

Следует отметить, что равные по модулю и противоположные по направлению *силы действия и противодействия* приложены к разным телам и поэтому не могут уравнивать друг друга.

2.3. СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

Рассмотрим основные силы, которыми оперирует динамика.

2.3.1. Силы упругости

Силы упругости – силы, возникающие при деформации тела и направленные в сторону, противоположную смещению частиц при деформации.

При малых по сравнению с размерами тел деформациях сжатия или растяжения ($|\Delta l| \ll l$) модуль силы упругости прямо пропорционален модулю вектора перемещения свободного конца стержня (пружины). Направление вектора силы упругости противоположно направлению вектора перемещения при деформации (см. рис. 2.3).

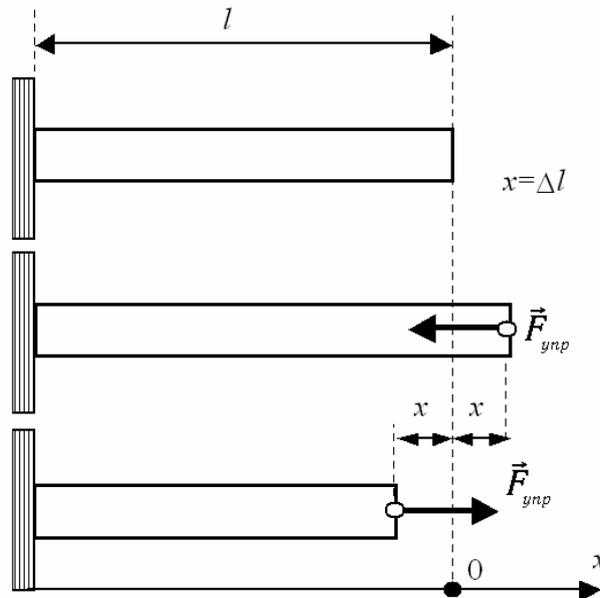


Рисунок 2.3 – Сила упругости

Закон Гука: сила упругости, возникающая при деформации тела, пропорциональна удлинению тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещений частиц тела при деформации:

$$\vec{F}_{упр} = -k\vec{\Delta l}, \quad (2.4)$$

где k – жесткость (коэффициент упругости), $\vec{\Delta l}$ – вектор перемещения конца тела (стержня, пружины) при деформации сжатия или растяжения. Знак «минус» в выражении (2.4) указывает на то, что направление силы упругости и направление вектора деформации (сжатия или растяжения) противоположны. Единица измерения жесткости $[k] = 1 \text{ Н/м}$

Модуль силы упругости:

$$F_y = k|x| = k|\Delta l|. \quad (2.5)$$

Сила (нормальной) реакции опоры \vec{N} – это упругая сила, возникающая при деформации поверхности лежащим на ней телом и действующая перпендикулярно поверхности соприкосновения (см. рис. 2.4).

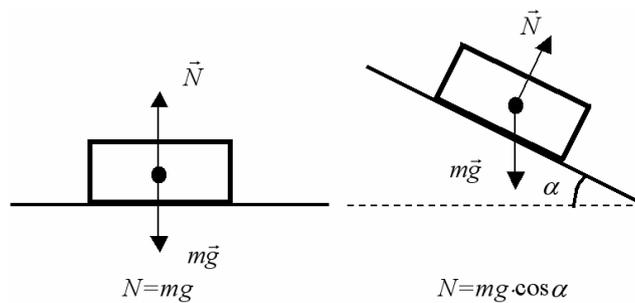


Рисунок 2.4 – Сила реакции опоры при действии на тело силы тяжести

2.3.2. Силы трения

Силы трения – силы, препятствующие относительному перемещению соприкасающихся тел, а также их частей (слоёв жидкости или газа).

Сила трения скольжения \vec{F}_{TP} – это сила, действующая на тело, движущееся по поверхности другого тела. Вектор силы трения скольжения \vec{F}_{TP} направлен вдоль поверхности соприкосновения тел противоположно вектору их относительной скорости (см. рис. 2.5). Поэтому сила трения скольжения всегда приводит к уменьшению модуля относительной скорости тел.

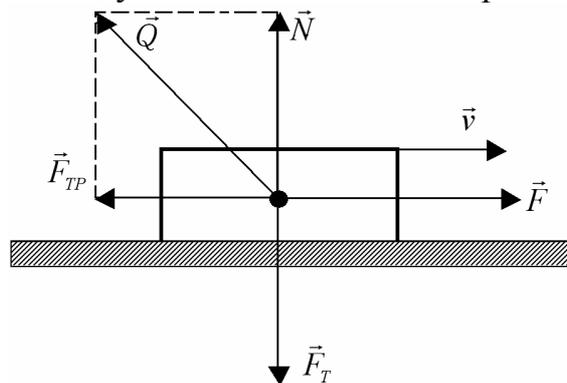


Рисунок 2.5 – Сила трения

Сила трения \vec{F}_{TP} и сила нормальной реакции \vec{N} – это составляющие одной силы \vec{Q} , с которой поверхность действует на тело (см. рис. 2.5). Величины этих сил связаны между собой законом Кулона–Амонтона:

$$F_{TP} = \mu N, \quad (2.6)$$

где коэффициент трения μ – безразмерная физическая величина, зависящая от природы соприкасающихся тел и степени обработки их поверхности ($0 < \mu < 1$).

Сила трения покоя F_{TP}^0 – это сила, направленная по касательной к поверхности соприкасающихся тел и возникающая в случае, если эти тела неподвижны относительно друг друга. Сила трения покоя может изменяться (в зависимости от приложенной к телу силе) в пределах от нуля до некоторого максимального значения, которое принимается равным силе трения скольжения:

$$(F_{TP}^0)_{\max} = F_{TP}. \quad (2.7)$$

2.3.3. Гравитационные силы

Сила гравитационного взаимодействия (тяготения) определяется по **закону всемирного тяготения**: любые два тела, обладающие массами, притягиваются друг к другу, с силой прямо пропорциональной произведению их масс (m_1 и m_2) и обратно пропорциональной квадрату расстояния r между ними:

$$F_r = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.8)$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ – гравитационная постоянная. Векторы сил всемирного тяготения направлены вдоль прямой, соединяющей тела (см. рис. 2.6).

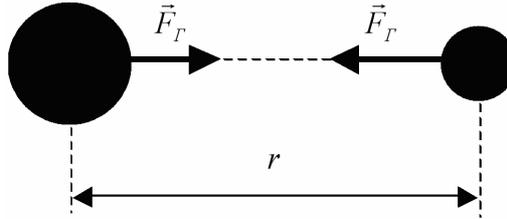


Рисунок 2.6 – Гравитационное взаимодействие

Закон всемирного тяготения в форме (2.8) может быть использован для вычисления сил взаимодействия между телами любой формы, если размеры тел значительно меньше расстояния между ними (в этом случае тела можно считать материальными точками). Ньютон доказал, что для однородных шарообразных тел выражение в форме (2.8) применимо при любых расстояниях между ними. В этом случае за расстояние r в выражении (2.8) принимается расстояние между центрами шаров (см. рис. 2.6).

Обратите внимание, что значение гравитационной постоянной отсутствует в приложении к билету, содержащем физические постоянные и единицы. Поэтому численное значение этой константы не используется при решении задач (если оно не задано в условии).

2.3.4. Сила тяжести и вес

Сила тяжести \vec{F}_T – это сила гравитационного притяжения, действующая на тело со стороны планеты (Земли). Если m – масса тела, M и R – масса и радиус планеты, соответственно, то вблизи её поверхности (при высоте тела над поверхностью планеты $h \ll R$) сила гравитационного взаимодействия

$F_T = G \frac{mM}{R^2}$. Здесь величина

$$g = G \frac{M}{R^2} - \quad (2.9)$$

есть величина постоянная для конкретной планеты, и называется **ускорением свободного падения** (вблизи поверхности планеты). Численное значение ускорения свободного падения на Земле приведено в приложении к билету. Именно оно должно быть использовано при расчётах, если в условии задачи не оговаривается иное.

Ускорение свободного падения на высоте h :

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}. \quad (2.10)$$

Таким образом, сила тяжести:

$$F_T = mg. \quad (2.11)$$

Вес тела \vec{P} – это сила, с которой тело, находящееся в поле тяжести Земли (планеты), действует на опору или подвес.

Сила тяжести и вес – это не одно и то же:

1) эти силы приложены к различным телам: сила тяжести приложена к телу, вес тела – к опоре (подвесу);

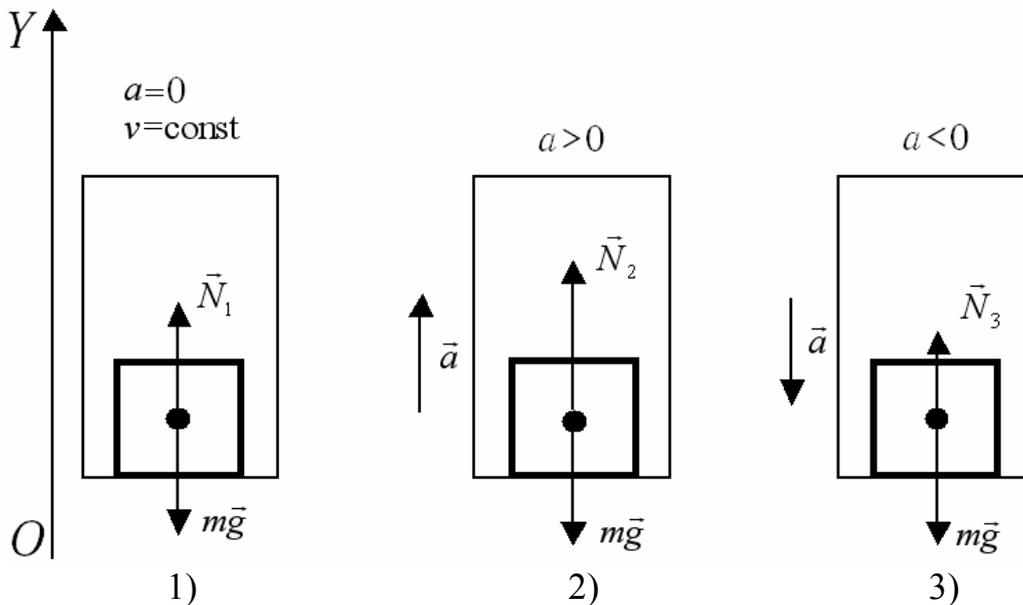
2) сила тяжести и вес могут отличаться по величине (при движении тела и опоры с ускорением по вертикали).

Согласно третьему закону Ньютона, вес тела P (действует на опору) равен силе нормальной реакции опоры N (приложенной к телу):

$$P = N. \quad (2.12)$$

Поэтому в на практике прямое определение веса P часто заменяют нахождением силы нормальной реакции N .

Рассмотрим, например, задачу о нахождении веса тела находящегося в лифте (см. рис. 2.7).



- 1) состояние покоя или равномерного движения;
- 2) разгон при подъёме или торможение при спуске;
- 3) торможение при подъёме или разгон при спуске.

Рисунок 2.7 – Вес тела, находящегося в лифте

Будем находить силу реакции опоры, которая равна весу ($P = N$). Это позволяет перейти к рассмотрению сил, приложенных к телу, а не к полу лифта. Равнодействующая сила $\vec{F}_R = \vec{N} + \vec{F}_T$, приложенная к телу, складывается из двух сил: силы нормальной реакции опоры и силы тяжести. Запишем уравнение движения (второй закон Ньютона) для тела в лифте:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}. \quad (2.13)$$

В проекции на ось OY выражение (2.13) соответственно принимает вид:

- 1) $0 = N_1 - mg \Rightarrow P_1 = N_1 = mg$ (вес равен силе тяжести);
- 2) $ma = N_2 - mg \Rightarrow P_2 = N_2 = m(g + a)$ (вес больше силы тяжести);
- 3) $-ma = N_3 - mg \Rightarrow P_3 = N_3 = m(g - a)$ (вес меньше силы тяжести).

В общем виде выражение для веса будет выглядеть следующим образом:

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}). \quad (2.14)$$

2.4. ИМПУЛЬС

Импульс тела (количество движения) \vec{p} – векторная физическая величина, равная произведению массы тела на скорость его движения:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (2.15)$$

Единица измерения импульса $[p] = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$.

Импульс системы тел \vec{p}_Σ – это векторная величина, равная векторной сумме импульсов всех материальных тел, образующих систему:

$$\vec{p}_\Sigma = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_N. \quad (2.16)$$

С помощью понятия импульса второму закону Ньютона можно придать другую (импульсную форму):

$$\vec{F}_R = m\vec{a} = m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}.$$

Таким образом, второй закон Ньютона в импульсной форме:

$$\vec{F}_R = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}. \quad (2.17)$$

Из выражения (2.17) следует, что

$$\vec{F}_R \cdot \Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \Delta\vec{p}. \quad (2.18)$$

Произведение в левой части (2.18) носит название **импульс силы** $\vec{F}_R \cdot \Delta t$ – величина, равная произведению действующей на тело силы на промежуток времени действия силы. Единица измерения импульса силы такая же что и у импульса тела $[\vec{F}_R \cdot \Delta t] = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$.

Из (2.18) видно, что импульс тела (или системы тел) может изменяться только лишь под действием внешних сил. Если на систему не действуют внешние силы (либо они компенсируют друг друга $\sum_i \vec{F}_i^{\text{ВНЕШ}} = 0$), то такая **система тел** называется **замкнутой**.

В замкнутой системе тел выполняется **закон сохранения импульса**: в замкнутой системе тел геометрическая сумма импульсов тел остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой:

$$\vec{p}_\Sigma = \sum_i \vec{p}_i = \text{const}. \quad (2.19)$$

Векторный характер выражения (2.19) подразумевает, что **сохраняются все проекции импульса** замкнутой системы на выбранные координатные оси. Например, для двухмерного движения закон сохранения импульса записывается в виде: $p_x = \text{const}_x$, $p_y = \text{const}_y$. Может оказаться, что в **незамкнутой** системе

равна нулю проекция внешних сил на какое либо направление. В этом случае сохраняется проекция импульса этой системы на данное направление.

Часто взаимодействие тел между собой носит кратковременных характер – удар, выстрел, взрыв и т.д. Например, при взаимодействии двух тел выражение (2.19) запишется в виде:

$$\begin{aligned}\vec{p}_1 + \vec{p}_2 &= \vec{p}_1' + \vec{p}_2', \\ m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 &= m\vec{v}_1' + m\vec{v}_2',\end{aligned}\tag{2.20}$$

где \vec{p}_1, \vec{p}_2 (\vec{v}_1, \vec{v}_2) – импульсы (скорости) тел непосредственно перед их взаимодействием; \vec{p}_1', \vec{p}_2' (\vec{v}_1', \vec{v}_2') – импульсы (скорости) тел после взаимодействия. Следует отметить, что в законе сохранения импульса импульсы (скорости) для всех тел берутся (до взаимодействия и после взаимодействия) в одной и той же системе отсчёта.

2.5. РАБОТА. МОЩНОСТЬ. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Работа A постоянной силы \vec{F} – скалярная физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла α между векторами силы \vec{F} и перемещения \vec{S} :

$$A = FS \cos \alpha.\tag{2.21}$$

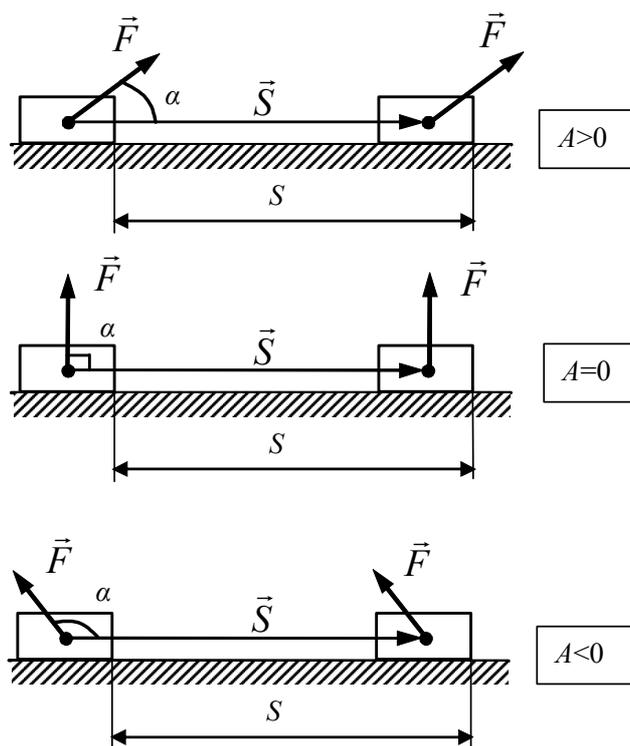


Рисунок 2.8 – Работа силы

Единица измерения работы – $[A] = 1$ Дж (джоуль).

Мощность P – скалярная физическая величина, равная отношению работы A к промежутку времени Δt , в течение которого она совершена:

$$P = \frac{A}{\Delta t}.\tag{2.22}$$

Мощность численно равна работе совершаемой в единицу времени.

Единица измерения мощности – $[P] = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$ (ватт).

Если тело движется с постоянной скоростью v , то с учётом (2.21) выражение (2.22) может быть преобразовано к виду:

$$P = \frac{FS \cos \alpha}{\Delta t} = Fv \cos \alpha. \quad (2.23)$$

Механическая энергия E – скалярная физическая величина, являющаяся мерой механического движения и взаимодействия тел. Энергия характеризует работу, которую может совершить тело.

Единица измерения энергии – $[E] = 1 \text{ Дж}$ (джоуль).

Кинетическая энергия E_K (**энергия движения**) – энергия, которой обладает любое тело массой m вследствие своего движения:

$$E_K = \frac{mv^2}{2}. \quad (2.24)$$

Кинетическая энергия – положительная величина, не зависящая от направления движения тела. Кинетическая энергия системы тел равна алгебраической (скалярной) сумме кинетических энергий отдельных тел системы:

$$E_{K\Sigma} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + \dots + \frac{m_N v_N^2}{2}. \quad (2.25)$$

Связь между кинетической энергией и работой: Работа равнодействующей всех сил, приложенных к телу, равна приращению (изменению) кинетической энергии тела:

$$A = \Delta E_K = E_{K2} - E_{K1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}, \quad (2.26)$$

где E_{K1} , E_{K2} (v_1 , v_2) – кинетическая энергия (скорость) тела в начальный и конечный моменты времени, соответственно. Таким образом, совершенная работа является мерой изменения энергии.

Из (2.26) следует, что если работа силы, приложенной к телу, положительна, то кинетическая энергия тела увеличивается. Если сила перпендикулярна перемещению, то работа равна нулю и изменения кинетической энергии не происходит. Если работа силы отрицательна (например, работа силы трения $A_{TP} = -F_{TP} \cdot S$), то кинетическая энергия (скорость) тела уменьшается. В случае с трением происходит необратимое преобразование механической (кинетической) энергии во внутреннюю энергию соприкасающихся тел (теплоту).

Если на тело действуют несколько сил, то работа A_R равнодействующей силы F_R равна сумме работ, совершаемых отдельными силами:

$$A_R = A_1 + A_2 + \dots + A_N. \quad (2.27)$$

Все силы, в зависимости от свойств совершаемой ими работы, делятся на *потенциальные* и *непотенциальные* силы. **Потенциальная сила** – это сила, работа которой при перемещении тела не зависит от траектории движения, а определяется только начальным и конечным положениями тела. Примерами таких сил являются сила тяжести, сила упругости, кулоновская сила в электростатике.

Непотенциальными называются *силы*, работа которых зависит от формы пути. Примером такой силы является сила трения скольжения.

Потенциальная энергия $E_{\text{п}}$ тела в некоторой точке – это энергия, равная работе потенциальных сил, совершаемой при перемещении тела из данной точки пространства в другую точку, где потенциальная энергия тела принята равной нулю (выбор этой точки определяется из конкретных условий).

Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести:

$$E_{\text{п}} = mgh, \quad (2.28)$$

где h – высота тела над уровнем с нулевой потенциальной энергией.

Потенциальная энергия тела при его упругой деформации:

$$E_{\text{п}} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}, \quad (2.29)$$

где k – коэффициент жесткости, Δl – изменение длины тела.

Если несколько тел взаимодействует между собой только силами тяготения и силами упругости, и никакие внешние силы на них не действуют, то при любых взаимодействиях тел работа сил упругости или/и сил тяготения равна изменению потенциальной энергии тел, взятому с противоположным знаком:

$$A = -(E_{\text{п}2} - E_{\text{п}1}) = -\Delta E_{\text{п}}, \quad (2.30)$$

где $E_{\text{п}1}$, $E_{\text{п}2}$ – потенциальные энергии тела в начальный и конечный моменты времени, соответственно, а $\Delta E_{\text{п}}$ – приращение потенциальной энергии.

Полная механическая энергия E – это сумма кинетической и потенциальной энергий:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}. \quad (2.31)$$

Закон сохранения полной механической энергии: полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих только силами тяготения и упругости, остается неизменной:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_2 = \text{const}, \\ E_{\text{к}1} + E_{\text{п}1} &= E_{\text{к}2} + E_{\text{п}2}. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Индексы 1 и 2 в (2.32) соответствуют энергиям в различные моменты времени. Закон сохранения энергии (2.32) устанавливает возможность взаимных превращений кинетической и потенциальной энергии тел друг в друга.

Отметим, что закон сохранения полной механической энергии не выполняется, если в системе присутствуют силы трения (сопротивления). В этом случае механическая энергия тел превращается в энергию теплового движения молекул (внутреннюю энергию тел, тепло).

Закон сохранения полной энергии системы тел: При любых физических взаимодействиях энергия не возникает и не исчезает, а только превращается из одной формы в другую (механическая в тепловую или электромагнитную и наоборот).

Примером взаимодействия тел является **удар** – столкновение двух тел. В отсутствие действия других тел (или если внешние силы скомпенсированы), эту систему можно считать замкнутой.

Абсолютно упругий удар – это столкновение, после которого остаточная деформация тел отсутствует (упругая деформация). В этом случае, суммарная кинетическая энергия столкнувшихся тел не изменяется. Происходит лишь пе-

перераспределение кинетической энергии тел. Кроме этого выполняется закон сохранения импульса. Систему уравнений, описывающую абсолютно упругий удар можно записать в виде:

$$\begin{cases} \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2', \\ E_{K1} + E_{K2} = E_{K1}' + E_{K2}'; \end{cases} \quad (2.33a)$$

$$\begin{cases} m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2', \\ \frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} = \frac{m_1v_1'^2}{2} + \frac{m_2v_2'^2}{2}. \end{cases} \quad (2.33б)$$

Индексы 1 и 2 относятся к первому (m_1) и второму телу (m_2), соответственно. В левой части равенств находятся величины до удара, в правой части – после удара.

Абсолютно неупругий удар – столкновение, в результате которого тела начинают двигаться как единое целое с сохранением остаточной деформации (пластическая деформация). Кинетическая энергия в случае абсолютно неупругого удара не сохраняется: часть её преобразуется во внутреннюю энергию столкнувшихся тел (идёт на работу по деформации). Однако, т.к. система является замкнутой, то выполняется закон сохранения импульса (2.20), который в данном случае запишется в виде:

$$\begin{aligned} \vec{p}_1 + \vec{p}_2 &= \vec{p}, \\ m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 &= (m_1 + m_2)\vec{v}, \end{aligned} \quad (2.34)$$

где \vec{p}_1, \vec{p}_2 (\vec{v}_1, \vec{v}_2) – импульсы (скорости) тел перед взаимодействием; \vec{p} (\vec{v}) – импульс (скорость) тел после взаимодействия.

Часть кинетической энергии ΔE_K , перешедшей во внутреннюю энергию ΔU столкнувшихся тел (выделившаяся теплота Q) может быть найдена, как:

$$\Delta E_K = \Delta U = Q = E_{K1} + E_{K2} - E_K = \frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}, \quad (2.35)$$

где E_{K1} и E_{K2} – кинетическая энергия 1-го и 2-го тела, соответственно, перед взаимодействием; E_K – кинетическая энергия тел после взаимодействия.

Коэффициент полезного действия

Каждый вид энергии может полностью превратиться в любой другой вид энергии. Однако во всех реальных машинах (механизмах, преобразователях энергии) кроме полезной работы происходят превращения энергии, которые называют потерями энергии. Чем меньше относительные потери энергии, тем совершеннее машина. Степень совершенства машины характеризуется **коэффициентом полезного действия (КПД) η** : отношением полезно используемой энергии $E_{\text{полезн}}$ (или полезной работы $A_{\text{п}}$) к энергии E , подводимой к данной машине (затраченной работе A_3), либо как аналогичное отношение мощностей:

$$\eta = \frac{E_{\text{полезн}}}{E} = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} = \frac{P_{\text{п}}}{P_3}. \quad (2.36)$$

КПД может выражаться в относительных долях или в процентах. КПД любой реальной машины (механизма) всегда $\eta < 1$ ($\eta < 100\%$).

Момент \vec{M} силы \vec{F} (вращающий момент) – векторная физическая величина, являющаяся мерой действия одного тела на другое при вращательном движении. Величина момента силы определяется выражением:

$$M = F \cdot l = F \cdot d \cdot \sin \varphi, \quad (2.37)$$

где $l = d \cdot \sin \varphi$ называется **плечом силы**, и равно кратчайшему расстоянию от точки вращения O до линии действия силы, d – расстояние от точки вращения O до точки приложения силы N (рис. 2.9).

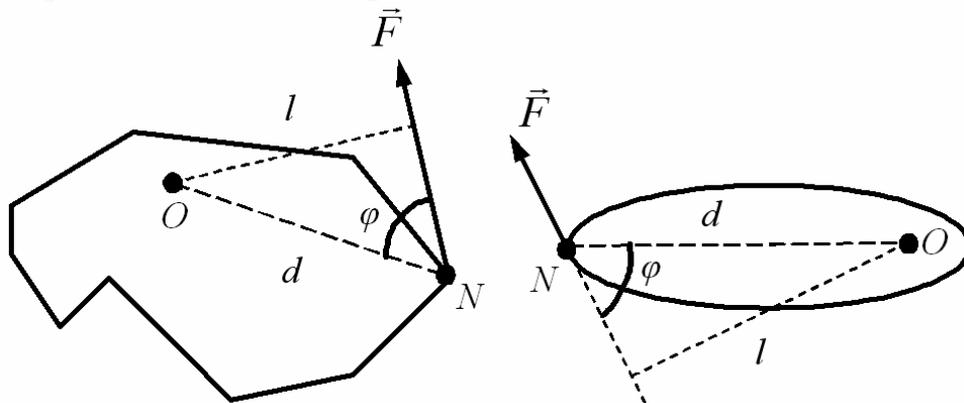


Рисунок 2.9 – Момент силы

Единица измерения момента силы – $[M] = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

2.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Балласт, какого веса P_B надо сбросить с равномерно спускающегося аэростата, чтобы он начал подниматься с той же скоростью? Вес аэростата с балластом $P = 16 \text{ кН}$, подъемная сила аэростата $F_{\Pi} = 12 \text{ кН}$. Силу сопротивления воздуха F_C считать одинаковой при подъеме и при спуске. Ответ дать в СИ.

Решение:

Дано:

$$P = 16 \text{ кН} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$F_{\Pi} = 12 \text{ кН} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$F_C = \text{const}$$

Найти:

$$P_B = ?$$

Так как движение равномерное, то по первому закону Ньютона равнодействующая сила равна нулю, т.е. $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$.

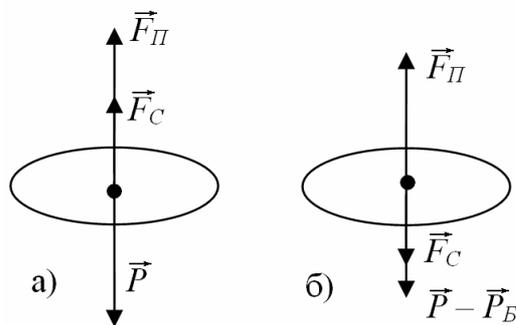


Рисунок 2.10

При спуске аэростата (рис. 2.10, а) это уравнение принимает вид:

$$F_{\Pi} + F_C - P = 0.$$

Когда балласт был сброшен, и аэростат начал подниматься (рис. 2.10, б), получим уравнение следующего вида: $F_{\Pi} - F_C - (P - P_B) = 0$.

Сложим оба уравнения, и найдем вес балласта:

$$2F_{\Pi} = 2P - P_{\text{Б}}.$$

Откуда $P_{\text{Б}} = 2P - 2F_{\Pi} = 32000 - 24000 = 8000 = 8 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Ответ: $P_{\text{Б}} = 8 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

2. Грузовик массой 5000 кг начинает движение с ускорением $1,5 \text{ м/с}^2$. С каким ускорением будет двигаться грузовик, если после загрузки его масса увеличилась вдвое? Сила тяги мотора постоянна и равна 8000 Н. Ответ дать в СИ.

Решение:

Дано:

$$m_1 = 5 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$a_1 = 1,5 \text{ м/с}^2$$

$$F = 8 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$m_2 = 2m_1$$

Найти:

$$a_2 = ?$$

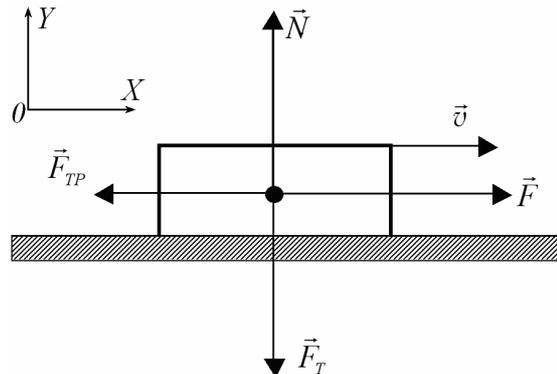


Рисунок 2.11

Векторы сил, действующих на грузовик при его движении, изображены на рисунке 2.11. Запишем второй закон Ньютона в векторной форме: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}$, где вектор равнодействующей силы складывается из четырёх векторов: $\vec{F}_R = \vec{F}_T + \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{TP}$. В проекции на ось Y имеем: $a_y = \frac{N - F_T}{m} = 0$, следовательно $N = F_T = mg$. В проекции на ось X второй закон Ньютона запишется:

$$ma_x = ma = F - F_{TP} = F - \mu N = F - \mu mg.$$

Запишем систему уравнений в проекции на ось X для случаев пустого и загруженного автомобиля:

$$F - \mu m_1 g = m_1 a_1, \quad F - \mu m_2 g = m_2 a_2.$$

Из первого уравнения найдём $\mu = \frac{F - m_1 a_1}{m_1 g}$.

Из первого уравнения вычтем второе, и с учётом ($m_2 = 2m_1$) получим:

$$\mu(m_2 - m_1)g = m_1 a_1 - m_2 a_2, \quad \mu m_1 g = m_1 a_1 - 2m_1 a_2, \quad \mu g = a_1 - 2a_2,$$

$$a_2 = \frac{a_1 - \mu g}{2} = \frac{m_1 a_1 - F + m_1 a_1}{2m_1} = a_1 - \frac{F}{2m_1} = 1,5 - \frac{8 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 10^3} = 0,7 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a_2 = 0,7 \text{ м/с}^2$.

3. Грузы одинаковой массы ($m_1 = m_2 = 0,5 \text{ кг}$) соединены нитью и перекинуты через невесомый блок, укрепленный на конце стола (рис. 2.12). Коэффициент трения груза m_2 о стол $\mu = 0,15$. Пренебрегая массой блока и трением в блоке,

определить в единицах СИ: а) ускорение, с которым движутся грузы; б) силу натяжения нити.

Решение:

Дано:

$$m_1 = m_2 = 0,5 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,15$$

Найти:

$$a = ?$$

$$T = ?$$

По второму закону Ньютона уравнения движения грузов имеют вид:

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T, \\ m_2 a = T - \mu m_2 g. \end{cases}$$

Сложим их, и получим

$$m_1 a + m_2 a = m_1 g - \mu m_2 g.$$

Откуда

$$a = \frac{(m_1 - \mu m_2)g}{m_1 + m_2} = \frac{(0,5 - 0,15 \cdot 0,5) \cdot 9,8}{0,5 + 0,5} = 4,17 \text{ м/с}^2;$$

$$T = m_1(g - a) = 0,5(9,8 - 4,17) = 2,82 \text{ Н.}$$

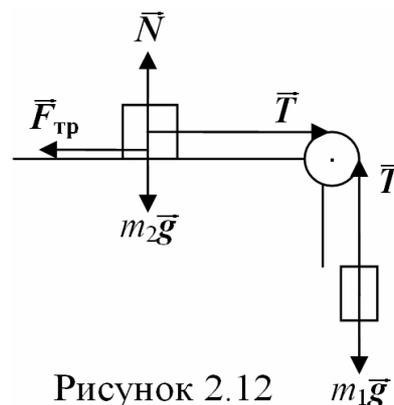


Рисунок 2.12

Ответ: $a = 4,17 \text{ м/с}^2$, $T = 2,82 \text{ Н.}$

4. Снаряд массой 5 кг, вылетевший из орудия, в верхней точке траектории имеет скорость 300 м/с. В этой точке он разорвался на два осколка, причем больший осколок массой 3 кг полетел в обратном направлении со скоростью 100 м/с. Определить в СИ скорость второго, меньшего, осколка.

Решение:

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

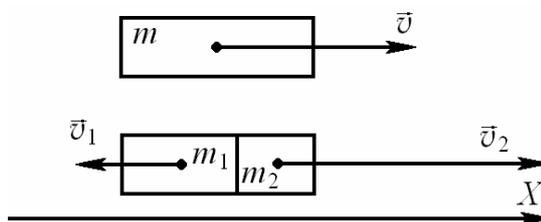
$$v = 300 \text{ м/с}$$

$$m_1 = 3 \text{ кг}$$

$$v_1 = 100 \text{ м/с}$$

Найти:

$$v_2 = ?$$



На рисунке изображены ситуации до и после разрыва снаряда. По закону сохранения импульса полный импульс системы до разрыва равен полному импульсу системы после разрыва снаряда: $m\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$. Возьмём проекцию на ось X :

$$mv = -m_1v_1 + m_2v_2.$$

Учтём, что $m_2 = m - m_1$. Тогда

$$v_2 = \frac{mv + m_1v_1}{m_2} = \frac{mv + m_1v_1}{m - m_1} = \frac{5 \cdot 300 + 3 \cdot 100}{2} = 900 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v_2 = 900 \text{ м/с.}$

5. С башни высотой 20 м горизонтально со скоростью 10 м/с брошен камень массой 400 г. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить кинетическую и потенциальную энергию камня через 1 с после начала движения. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$H = 20$ м
 $v_0 = 10$ м/с
 $m = 0,4$ кг
 $t = 1$ с

Найти:

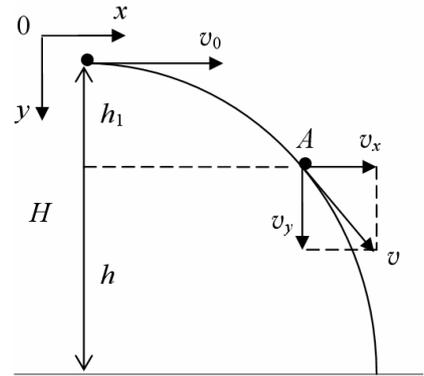
$E_k = ?$
 $E_n = ?$

В точке A (см. рисунок) кинетическая и потенциальная энергии будут определяться соответственно мгновенной скоростью v и высотой h в данный момент времени:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \quad E_n = mgh,$$

где $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$,

а высота: $h = H - h_1, \quad h_1 = \frac{gt^2}{2}$.



Тогда

$$E_k = \frac{m}{2}(v_0^2 + g^2t^2) = \frac{0,4}{2}(100 + 96,04 \cdot 1) = 39,2 \text{ Дж},$$

$$E_n = mg(H - \frac{gt^2}{2}) = 0,4 \cdot 9,8(20 - 4,9) = 59,2 \text{ Дж}.$$

Ответ: $E_k = 39,2$ Дж, $E_n = 59,2$ Дж.

6. Автомобиль массой 1,8 т равномерно движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути (рис. 2.13). Определить: а) работу (в МДж), совершаемую двигателем автомобиля на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1; б) развиваемую двигателем мощность (в кВт), если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин.

Решение:

Дано:

$m = 1800$ кг
 $h = 3$ м
 $l = 100$ м
 $s = 5000$ м
 $\mu = 0,1$
 $t = 300$ с

Найти:

$A = ?$ (МДж)
 $P = ?$ (кВт)

Определим \sin и \cos угла наклона дороги:

$$\sin \alpha = \frac{h}{l} = 0,03,$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \cong 1$$

Работу можно найти как произведение силы тяги двигателя на проделанный путь: $A = Fs$.

Силу тяги двигателя автомобиля найдём из второго закона Ньютона: $m\vec{g} + \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{TP} = m\vec{a} = 0$, т.к. движение равно-

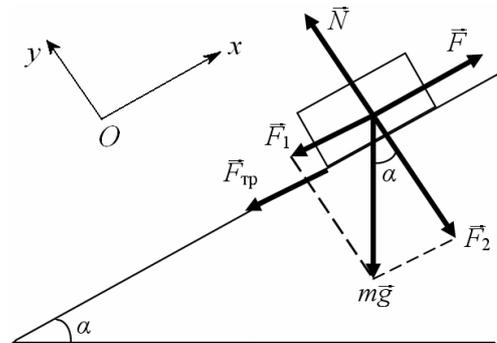


Рисунок 2.13

мерное ($a = 0$).

Запишем проекции второго закона Ньютона на координатные оси (см. рис.):

$$\begin{cases} F - F_1 - F_{TP} = F - mg \sin \alpha - F_{TP} = 0, \\ N - F_2 = N - mg \cos \alpha = 0. \end{cases}$$

Отсюда:

$$N = mg \cos \alpha, \quad F_{TP} = \mu N = \mu mg \cos \alpha,$$

$$F = mg \sin \alpha + F_{TP} = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

Тогда работа силы тяги:

$$A = mgs(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 1800 \cdot 9,8 \cdot 5000(0,03 + 0,1 \cdot 1) \cong 1,15 \cdot 10^7 \text{ Дж.}$$

$$P = \frac{mgs(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{t} = \frac{1800 \cdot 9,8 \cdot 5000(0,03 + 0,1 \cdot 1)}{300} \cong 3,8 \cdot 10^4 \text{ Вт}$$

Ответ: $A = 11,5 \text{ МДж}$, $P = 38,3 \text{ кВт}$.

7. Диск вращается в горизонтальной плоскости с постоянной угловой скоростью $3,14 \text{ рад/с}$. На расстоянии 12 см от оси на диске лежит тело. Каким должен быть минимальный коэффициент трения, чтобы тело не соскользнуло с диска? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

Решение:

Дано:

$$\omega = 3,14 \text{ рад/с}$$

$$R = 0,12 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$\mu_{\min} = ?$$

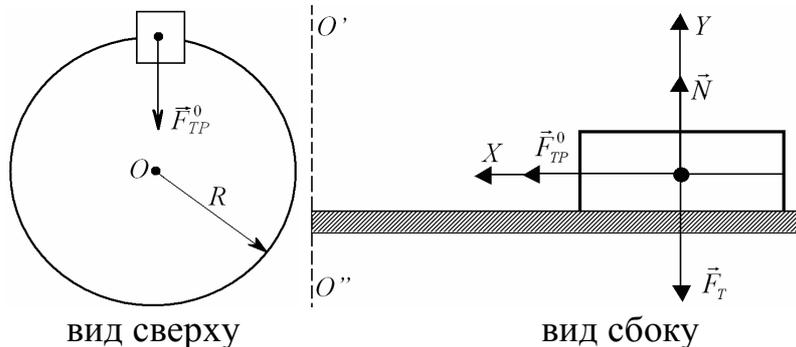


Рисунок 2.14

На рисунке 2.14 показаны силы, действующие на тело массой m , вращающееся вместе с диском. Запишем второй закон Ньютона: $\vec{F}_T + \vec{N} + \vec{F}_{TP}^0 = m\vec{a}$.

Проекция ускорения тела на ось Y равна нулю. Это означает, что сила нормальной реакции по величине равна силе тяжести: $F_T = N = mg$.

В проекции на ось X имеем: $F_{TP}^0 = ma_x$, где a_x – центростремительное ускорение: $a_x = v^2/R = \omega^2 R$. Таким образом, сила трения покоя, направленная к центру вращения и удерживающая тело на диске: $F_{TP}^0 = m\omega^2 R$. Эта сила не должна превышать силу трения скольжения: $F_{TP}^0 \leq F_{TP} = \mu N = \mu mg$. Тогда приходим к неравенству: $\mu \geq \frac{\omega^2 R}{g}$. Отсюда находим минимальный коэффициент трения, при котором тело ещё не соскальзывает с диска:

$$\mu_{\min} = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{10 \cdot 0,12}{10} = 0,12.$$

Ответ: $\mu_{\min} = 0,12$.

8. Через реку переброшен выпуклый мост, имеющий форму дуги окружности радиусом 100 м . Через мост необходимо проехать грузовику массой 5 т . При какой минимальной скорости грузовика это возможно? Максимальная нагрузка, которую может выдержать мост, равна 44 кН . Ответ дать в единицах СИ.

Решение:Дано:

$m = 5000 \text{ кг}$
 $R = 100 \text{ м}$
 $P_{\text{max}} = 44000 \text{ Н}$

Найти:

$v_{\text{min}} = ?$

Давление автомобиля на мост при движении с постоянной скоростью v будет максимально на вершине моста (см. рис. 2.15). Запишем второй закон Ньютона в векторном виде: $\vec{F}_T + \vec{N} = m\vec{a}$. В проекции на ось Y он запишется: $F_T - N = ma_y$, где сила тяжести $F_T = mg$. По третьему закону Ньютона сила нормальной реакции моста N равна весу автомобиля P (силе его давления на мост): $N = P$.

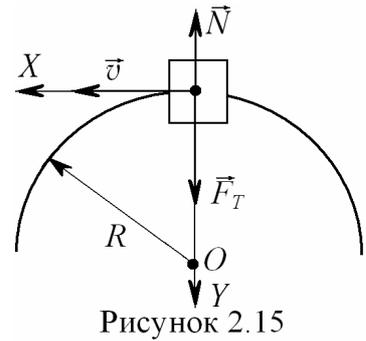


Рисунок 2.15

Ускорение автомобиля является центростремительным ускорением при движении по окружности: $a_y = v^2/R$. Сделав все подстановки, получим:

$mg - P = m \frac{v^2}{R}$. Выразим отсюда скорость:

$$v_{\text{min}} = \sqrt{R \left(g - \frac{P_{\text{max}}}{m} \right)} = \sqrt{100 \left(9,8 - \frac{44 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3} \right)} = 10 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v_{\text{min}} = 10 \text{ м/с.}$

9. Пуля массой 10 г вылетела из винтовки со скоростью 1000 м/с, в мишень вошла через 0,2 с со скоростью 600 м/с. Определить среднюю мощность силы сопротивления воздуха полёту пули. Ответ дать в киловаттах.

Решение:Дано:

$m = 10^{-2} \text{ кг}$
 $v_1 = 1000 \text{ м/с}$
 $v_2 = 600 \text{ м/с}$
 $\Delta t = 0,2 \text{ с}$

Найти:

$P_C = ? \text{ (кВт)}$

Мощность силы сопротивления воздуха можно рассчитать, как работу, совершённую этой силой за единицу времени. Учтём, что работа силы сопротивления отрицательна, т.е. приводит к уменьшению кинетической энергии пули:

$$A_c = -(E_{k2} - E_{k1}) = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2).$$

Тогда, искомая мощность

$$P_C = \frac{A_c}{\Delta t} = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2\Delta t} = \frac{10^{-2} \cdot (100 - 36) \cdot 10^4}{2 \cdot 0,2} = 16 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Ответ: $P_C = 16 \text{ кВт.}$

10. Пружина детского пистолета под действием силы 9,8 Н сжалась на 4 см. На какую высоту подлетит пулька массой 1 г при выстреле вертикально вверх? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $F = 9,8 \text{ Н}$
 $\Delta l = 0,04 \text{ м}$
 $m = 10^{-3} \text{ кг}$
Найти:
 $h = ?$

Проследим за превращениями механической энергии в данной ситуации. Потенциальная энергия сжатой пружины $E_{п1}$ при её распрямлении полностью переходит в кинетическую энергию E_k пульки в момент выстрела. По мере подъёма пульки вверх её кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию $E_{п2}$. В наивысшей точке подъёма скорость пульки (и соответственно кинетическая энергия) будет равна нулю, и вся механическая энергия пульки будет равна потенциальной на высоте h . Поскольку в системе действуют только потенциальные силы, то закон сохранения механической энергии можно записать в виде: $E_{п1} = E_k = E_{п2}$.

Для потенциальной энергии сжатой пружины: $E_{п1} = \frac{k\Delta l^2}{2}$. Жёсткость пружины k найдём из третьего закона Ньютона: $F = |F_{ypp}| = k\Delta l$, $k = \frac{F}{\Delta l}$.

Тогда, $E_{п1} = \frac{F\Delta l}{2} = E_{п2} = mgh$. Отсюда, $h = \frac{F\Delta l}{2mg} = \frac{9,8 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} = 20 \text{ м}$.

Ответ: $h = 20 \text{ м}$.

2.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Упряжка собак тянет сани массой 500 кг по горизонтальному пути. Коэффициент трения равен 0,1. Определить в СИ силу трения. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

3.2. Импульс летящего мяча в некоторый момент времени равен $1,2 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$. Определить в СИ кинетическую энергию мяча, если его масса равна $0,3 \text{ кг}$.

3.3. Трактор ведёт прицеп массой 500 кг. Сила сопротивления движению прицепа равна 1500 Н , а сила тяги на крюке трактора 1600 Н . С каким ускорением трактор ведёт прицеп? Ответ дать в СИ.

3.4. Груз массой 1 кг падает с высоты 10 м над поверхностью Земли с нулевой начальной скоростью. Определить в СИ кинетическую энергию груза у поверхности Земли. Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.5. Камень падает с некоторой высоты с нулевой начальной скоростью. Определить в СИ потенциальную энергию камня в тот момент времени, когда его кинетическая энергия равна 50 Дж . Начальная потенциальная энергия камня равна 100 Дж . Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.6. Импульс движущегося велосипедиста равен $240 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$, а кинетическая энергия 480 Дж . Найти в СИ скорость велосипедиста.

3.7. Груз под действием силы 30 Н перемещают по горизонтальной поверхности на расстояние 10 м . Направление перемещения груза совпадает с направлением силы. Найти в СИ изменение кинетической энергии груза.

3.8. Потенциальная энергия балки, находящейся на высоте 10 м над поверхностью Земли, равна 196 кДж . Найти в тоннах массу балки.

3.9. Кинетическая энергия грузовика, движущегося равномерно, равна 337,5 кДж. Масса грузовика 3 т. Найти в СИ скорость грузовика.

3.10. Кинетическая энергия спринтера, бегущего со скоростью 8 м/с, равна 1600 Дж. Найти в СИ силу тяжести спринтера.

3.11. Сила тяги мотора мотороллера 100 Н. Масса мотороллера с человеком 150 кг. Определить в СИ ускорение, с которым движется мотороллер, если сила сопротивления движению 85 Н.

3.12. Молот массой 2 т свободно падает с высоты 2 м. Найти в кДж работу, совершённую при падении молота силой тяжести.

3.13. Футболист ударил по лежащему на поле мячу массой 0,5 кг. После удара, длящегося 0,01 сек, мяч полетел со скоростью 12 м/с. Определить в СИ силу, с которой был нанесен удар.

3.14. Молот массой 50 кг падает на наковальню с высоты 3 м. Определить в СИ кинетическую энергию молота в момент начала удара о наковальню? Сопротивление воздуха не учитывать.

3.15. Под действием силы 45 Н тело движется с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Определить в СИ массу тела.

3.16. Мотороллер массой 100 кг поднимается с постоянной скоростью по склону горы. Определить в СИ работу силы тяги, которую развивает мотор мотороллера, приходящуюся на каждые 2 м подъёма. Силу трения не учитывать.

3.17. Под действием силы тяги паровоза, равной 750 кН, состав равномерно движется со скоростью 10 м/с. Определить в кВт мощность, развиваемую паровозом.

3.18. Скорость движущегося тела 2 м/с, а импульс 1 кг·м/с. Найти в СИ кинетическую энергию тела.

3.19. С балкона падает мяч, потенциальная энергия которого на балконе была равна 4,9 Дж. Определить в СИ кинетическую энергию мяча в момент, когда его потенциальная энергия станет равной 3 Дж. Сопротивление воздуха не учитывать.

3.20. Пружину сжали силой 12 Н на 0,3 м. Найти в СИ жёсткость пружины.

3.21. Кинетическая энергия бегущего мальчика равна 180 Дж. Определить в СИ импульс мальчика, если его масса равна 40 кг.

3.22. Мотоцикл движется по горизонтальному шоссе. После выключения двигателя он останавливается под действием силы трения, равной 15 Н, пройдя при этом путь 15 м. Определить в СИ кинетическую энергию мотоцикла, которую он имел в момент выключения двигателя.

3.23. Сила тяги мотора мотоцикла равна 160 Н. Определить в СИ ускорение, с которым движется мотоцикл, если сила сопротивления движению равна 100 Н, а масса мотоцикла 300 кг.

3.24. При увеличении скорости велосипедиста с 5 м/с до 6 м/с его кинетическая энергия увеличилась на 385 Дж. Найти в СИ массу велосипедиста.

3.25. Два шара массой 1 кг и 0,5 кг движутся по одной прямой навстречу друг другу со скоростями 5 м/с и 4 м/с соответственно. При ударе шары слипаются и в дальнейшем движутся как одно тело. Определить в СИ импульс этого тела.

3.26. Мотоцикл движется равномерно со скоростью 5 м/с. Найти в СИ мощность, развиваемую двигателем, если сила тяги двигателя равна 1000 Н.

3.27. Мальчик тянет сани с грузом массой 50 кг по горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между санями и снегом равен 0,2. Определить в СИ силу трения, действующую на сани.

3.28. Импульс фигуриста в некоторый момент времени равен 500 кг·м/с. Найти в СИ кинетическую энергию фигуриста, если его масса равна 50 кг.

3.29. Определить в СИ кинетическую энергию шарика, падающего вертикально вниз, скорость которого равна 3 м/с, а величина силы тяжести 1,47 Н.

3.30. При торможении с ускорением $0,25 \text{ м/с}^2$ грузовик массой 2000 кг проходит путь 10 м. Найти в СИ работу силы торможения.

3.31. Пружина под действием силы 20 Н удлинилась на 0,04 м. Определить в СИ коэффициент жёсткости пружины.

3.32. Сани катятся с ускорением 5 м/с^2 под действием силы 200 Н. Направление силы совпадает с направлением движения. Определить в СИ массу саней. Силой трения пренебречь.

3.33. Кинетическая энергия конькобежца при изменении скорости от 5 м/с до 8 м/с увеличилась на 1950 Дж. Найти в СИ массу конькобежца.

3.34. Определить в СИ импульс тела, кинетическая энергия которого равна 4 Дж, а масса 2 кг.

3.35. При подготовке пружинного пистолета к выстрелу пружину жёсткостью 800 Н/м сжали силой 40 Н. На сколько сантиметров изменилась длина пружины?

3.36. Мяч упал на Землю со скоростью 36 км/ч. При этом его кинетическая энергия равна 100 Дж. Определить в СИ массу мяча.

3.37. Определить в СИ полную энергию мяча, движущегося со скоростью 10 м/с на высоте 5 м от поверхности Земли. Масса мяча 1 кг.

3.38. Тело под действием силы 30 Н движется с ускорением 6 м/с^2 . Определить в СИ массу тела.

3.39. Резиновый шнур под действием силы 50 Н удлиняется на 0,1 м. Определить в СИ жёсткость шнура.

3.40. Велосипедист, сила тяжести которого равна 490 Н, движется со скоростью 5 м/с. Найти в СИ кинетическую энергию велосипедиста.

3.41. Определить в СИ работу силы тяжести при падении камня, брошенного вертикально вниз с высоты 5 м. Масса камня 200 г.

3.42. Резиновый шнур, жёсткость которого 2 кН/м растягивается силой, равной 1 кН. Определить в СИ величину удлинения шнура.

3.43. Тело массой 2 кг под действием силы трения движется равнозамедленно с ускорением, равным 3 м/с^2 . Определить в СИ работу, которую совершит сила трения на пути 100 м.

3.44. Тело под действием силы в 10 Н проходит расстояние 100 м в направлении вектора силы. Определить в СИ величину изменения кинетической энергии тела.

3.45. Начальная скорость камня массой 0,5 кг, брошенного вертикально вверх, равна 4 м/с. Определить в СИ конечную скорость камня, если его кинетическая энергия в процессе движения уменьшилась на 3 Дж.

3.46. Человек, бегущий со скоростью 10 м/с, догоняет тележку, двигающуюся со скоростью 2 м/с, и вскакивает на неё. Определить в СИ импульс тележки с человеком. Масса человека 60 кг, тележки 100 кг.

3.47. Тело, брошенное с поверхности Земли вертикально вверх, в начальный момент имело кинетическую энергию 500 Дж. Определить в СИ потенциальную энергию тела в тот момент, когда кинетическая энергия его будет равна 200 Дж. Сопротивлением воздуха пренебречь.

3.48. Мяч массой 0,2 кг, летящий со скоростью 20 м/с, отбрасывается ударом ракетки в противоположном направлении со скоростью 15 м/с. Найти в СИ величину изменения импульса мяча.

3.49. Сила, растягивающая пружину, возросла с 50 Н до 75 Н. Во сколько раз при этом увеличилась деформация пружины?

3.50. Определить в СИ кинетическую энергию тела, движущегося со скоростью 4 м/с, если на него действует сила тяжести 1,96 Н.

3.51. Кинетическая энергия пули массой 0,02 кг при вылете из пистолета равна 100 Дж. Найти в СИ импульс пули при вылете из пистолета.

3.52. Кинетическая энергия камня равна 2 Дж, а величина его импульса в тот же момент времени равна 4 кг·м/с. Найти в СИ скорость камня.

3.53. Мотороллер, масса которого с водителем равна 150 кг, движется на расстоянии 20 м с ускорением 1 м/с^2 . Найти в СИ работу, совершённую двигателем мотороллера. Силу сопротивления движению мотороллера не учитывать.

3.54. Скорость баскетбольного мяча массой 0,5 кг в момент удара о стену равна 3 м/с и направлена перпендикулярно к стене. От стены мяч отскакивает в противоположном направлении. Величина скорости сразу же после удара равна 2,5 м/с. Найти в СИ величину изменения импульса мяча.

3.55. При изменении скорости движущегося тела от 2,5 м/с до 1,5 м/с его кинетическая энергия уменьшилась на 0,4 Дж. Найти в СИ массу тела.

3.56. При свободном падении камня массой 0,4 кг его импульс увеличился на 8 кг·м/с. Определить в СИ конечную скорость камня, если начальная была равна 2 м/с.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Человек прыгает со стоящей тележки со скоростью 10 м/с относительно Земли. Определить в СИ модуль скорости, с которой покатится тележка, если масса человека 60 кг, а тележки 100 кг.

4.2. Ракета массой 10 кг движется в течение 2 секунд с ускорением 30 м/с^2 . Найти в СИ величину импульса силы, полученного ракетой за это время.

4.3. Парашютист массой 60 кг опускается равномерно с раскрытым парашютом. Найти в СИ силу сопротивления воздуха.

4.4. Тело массой 10 кг свободно падает с высоты 10 м с нулевой начальной скоростью. Найти в СИ кинетическую энергию тела в тот момент падения, когда его потенциальная энергия равна 500 Дж.

4.5. Под действием постоянной силы вагонетка массой 500 кг перемещена по горизонтальному пути на расстояние 100 м. При этом совершена работа

1000 Дж. С каким ускорением двигалась вагонетка? Трением пренебречь. Ответ дать в СИ.

4.6. Грузовик массой 5000 кг движется по горизонтальному участку шоссе с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Найти в СИ силу сопротивления движению грузовика, если сила тяги двигателя автомобиля 1200 Н.

4.7. Брусок массой 2 кг неподвижно лежит на горизонтальной поверхности. Под действием силы 1 Н, направленной горизонтально, брусок начинает двигаться. Определить в СИ скорость, которую приобретёт брусок через 5 секунд после начала действия силы.

4.8. Тело массой 2 кг брошено с поверхности Земли с некоторой начальной скоростью. Найти в СИ начальную кинетическую энергию тела, если на высоте 1,25 м его скорость стала равна 5 м/с. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Сопротивлением воздуха пренебречь.

4.9. Мяч массой 0,2 кг падает с некоторой высоты над поверхностью Земли с начальной скоростью, равной нулю. Найти в СИ начальную потенциальную энергию мяча, если на высоте 2 м над поверхностью Земли он имеет скорость 5 м/с. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.10. Человек массой 60 кг, бегущий со скоростью 5 м/с, догоняет тележку массой 20 кг, движущуюся со скоростью 1 м/с, и вскакивает на неё. С какой скоростью станет двигаться тележка с человеком после этого? Ответ дать в СИ.

4.11. Мотоцикл массой 100 кг движется по горизонтальному участку шоссе с ускорением 2 м/с^2 . При этом мотор развивает силу тяги 500 Н. Определить в СИ силу сопротивления движению.

4.12. Ящик можно сдвинуть с места, если к нему приложить силу не менее, чем 60 Н. Определить в СИ силу, с которой ящик давит на пол, если коэффициент трения между ящиком и полом равен 0,3.

4.13. Вверх по склону, составляющему 30° с горизонтом, поднимается с постоянной скоростью мотоцикл массой 100 кг. Определить в СИ силу тяги, развиваемую мотором мотоцикла. Силу трения не учитывать.

4.14. Тепловоз развивает силу тяги 260 кН и ведет состав массой 250 т по горизонтальному участку пути. Определить в СИ ускорение, с которым движется состав, если на всём пути действует сила трения 10 кН.

4.15. Упругая стальная пружина под действием внешней силы 20 Н удлинилась на 0,04 м. Определить в СИ потенциальную энергию, которую вследствие этого приобрела пружина.

4.16. Снаряд, летящий со скоростью 15 м/с, разорвался на два осколка массами 6 кг и 14 кг, больший из которых полетел в прежнем направлении. В первый момент после взрыва скорость большего осколка равна 24 м/с. Найти в СИ скорость меньшего осколка.

4.17. Мяч массой 500 г бросили с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью 8 м/с. Найти в СИ полную энергию тела в точке максимального подъёма.

4.18. Коробка из картона массой 0,1 кг падает вертикально вниз. Сила сопротивления движению коробки равна 0,18 Н. Найти в СИ величину ускорения, с которым падает коробка.

4.19. Камень массой 3 кг падает с высоты 5 м на Землю. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти в СИ кинетическую энергию камня в момент времени, когда до поверхности Земли остаётся 2 метра.

4.20. Сила 60 Н сообщает телу ускорение $0,8 \text{ м/с}^2$. Найти в СИ силу, которая сообщит этому телу ускорение 2 м/с^2 .

4.21. Порожний грузовой автомобиль массой 4000 кг начинает движение с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$. Найти в СИ массу гружёного автомобиля, если он при той же силе тяги трогается с места с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Потери кинетической энергии автомобиля, вызванные силами трения, не учитывать.

4.22. Пушка, стоящая на очень гладкой горизонтальной поверхности, стреляет под углом 60° к горизонту. Масса снаряда 20 кг, начальная скорость 200 м/с, масса пушки 500 кг. Найти в СИ модуль скорости пушки после выстрела.

4.23. Импульс тела массой 2 кг под действием постоянной силы за 2 с изменяется на $10 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$. Найти в СИ величину ускорения тела.

4.24. Начальная кинетическая энергия мяча массой 0,25 кг, подброшенного вертикально вверх с поверхности Земли, равна 49 Дж. На какой высоте его кинетическая энергия равна потенциальной? Потенциальную энергию на поверхности Земли считать равной нулю. Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ дать в СИ.

4.25. Из ружья массой 5 кг вылетает пуля массой 0,005 кг со скоростью 600 м/с. Найти в СИ скорость отдачи ружья.

4.26. Тело массой 0,5 кг падает вертикально вниз с ускорением 8 м/с^2 . Найти в СИ силу сопротивления движению тела. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

4.27. Шайба пущена по льду катка со скоростью 7 м/с. Какое расстояние прокатится шайба, если сила трения между шайбой и льдом в 10 раз меньше силы тяжести, действующей на шайбу? Ответ дать в СИ.

4.28. На горизонтальном столе лежит брусок массой 3 кг. К бруску прикреплена нить, за которую его начинают тянуть с силой 15 Н, направленной параллельно поверхности стола. Определить в СИ ускорением бруска, считая, что действующая на него сила трения составляет 0,1 силы тяжести.

4.29. Тележка массой 20 кг движется со скоростью 1,5 м/с. Мальчик массой 40 кг, бегущий со скоростью 3 м/с навстречу тележке, прыгает на неё. Найти в СИ модуль скорости, с которой будет двигаться тележка после прыжка мальчика на неё.

4.30. Кинетическая энергия движущегося мотоциклиста 320 кДж, а импульс $8 \cdot 10^3 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$. Найти в СИ массу мотоциклиста.

4.31. Шар массой 3 кг сталкивается с другим шаром неизвестной массы. Во время столкновения первый шар имел ускорение 20 м/с^2 , второй – 40 м/с^2 . Определить в СИ массу второго шара.

4.32. Некоторая сила F сообщает телу массой m_1 ускорение 2 м/с^2 , а телу с массой m_2 ускорение 3 м/с^2 . Оба тела жёстко скрепляют друг с другом и на эту систему тел снова действуют силой F . Определить в СИ ускорение, с которым будет двигаться система.

4.33. Сани массой 20 кг к концу спуска приобрели скорость 3 м/с и, прокатившись 20 м по горизонтальной дорожке, остановились. Определить в СИ работу силы трения на горизонтальном участке пути.

4.34. Во сколько раз работа по увеличению скорости тела от 30 м/с до 40 м/с больше работы по увеличению скорости от 20 м/с до 30 м/с?

4.35. Тело массой 4 кг свободно без трения падает с высоты 30 м с нулевой начальной скоростью. Определить в СИ кинетическую энергию тела в тот момент, когда его потенциальная энергия уменьшится втрое.

4.36. Ледокол массой 6000 т, идущий с выключенным двигателем со скоростью 8 м/с, наталкивается на неподвижную льдину и продолжает движение вместе с ней со скоростью 6 м/с. Определить в тоннах массу льдины.

4.37. Двигатель самолёта при скорости 900 км/ч развивает мощность 30 МВт. Определить в кН силу тяги двигателя самолёта.

4.38. Пружину сначала растянули на 1,5 см, а затем ещё на 1 см. Какую долю от всей произведённой работы по растяжению пружины составляет первая часть работы?

4.39. По наклонному помосту длиной 2,45 м и высотой 0,7 м равномерно втащили груз массой 200 кг. Определить в СИ величину силы, применённой при затаскивании груза. Силу трения не учитывать.

4.40. Лифт опускается вниз с ускорением $1,3 \text{ м/с}^2$. Определить в СИ силу, с которой давит на пол лифта человек массой 80 кг.

4.41. Тело массой 2 кг лежит на горизонтальной поверхности. Сила трения между телом и поверхностью 4 Н. Какую силу в горизонтальном направлении нужно приложить к телу, чтобы сообщить ему ускорение $0,2 \text{ м/с}^2$? Ответ дать в СИ.

4.42. Мотоцикл массой 300 кг движется с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Сила сопротивления движению равна 100 Н. Какова при этом сила тяги мотора? Ответ дать в СИ.

4.43. При торможении поезда массой 540 т его скорость уменьшается в течение 1 минуты от 72 км/ч до 18 км/ч. Найти в кН силу торможения.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Мяч массой 0,5 кг брошен вертикально вверх с поверхности Земли с начальной кинетической энергией 150 Дж. Определить в СИ, на какую высоту поднимется мяч. Силу сопротивления воздуха принять постоянной и равной 1 Н, а ускорение свободного падения 10 м/с^2 .

5.2. Найти в СИ работу, которую нужно совершить, чтобы увеличить скорость движения тела от 2 м/с до 5 м/с на расстоянии 10 м. На всем пути действует сила трения 2 Н. Масса тела 2 кг.

5.3. В спортивном автомобиле установлен двигатель мощностью 250 кВт. Определить в СИ ускорение, с которым будет разгоняться автомобиль, если его двигатель при разгоне включить на полную мощность. Коэффициент трения скольжения колёс автомобиля равен 0,7.

5.4. Определить в СИ, с какой силой давит космонавт массой 50 кг на кресло при вертикальном взлёте ракеты с ускорением 20 м/с^2 . Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.5. Человек, стоящий на коньках на гладком льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой 1 кг со скоростью 5 м/с относительно льда, в результате чего сам приобретает кинетическую энергию. Определить в СИ величину этой кинетической энергии, если масса конькобежца 50 кг.

5.6. Строитель поднимает на верёвке ведро с раствором массой 10 кг с ускорением $1,2 \text{ м/с}^2$. Определить в СИ, с какой силой он должен тянуть верёвку. Сопротивление воздуха не учитывать.

5.7. При подготовке игрушечного пистолета к выстрелу пружину жёсткостью 800 Н/м сжали на 5 см. Какую скорость приобретёт пуля массой 20 г при выстреле в горизонтальном направлении? Ответ дать в СИ.

5.8. Подъёмный кран равномерно поднимает гранитную глыбу массой 3 т на высоту 15 м в течение 10 мин. С какой полезной мощностью работает мотор подъёмного крана? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

5.9. Тело массой 2 кг, брошенное вертикально вверх со скоростью 30 м/с, достигло максимальной высоты подъёма через 2 с. Определить в СИ силу сопротивления воздуха. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.10. Камень, привязанный к концу тонкой нити, заставляют двигаться в вертикальной плоскости по окружности радиусом 1 м с постоянной скоростью 2 м/с. Масса камня 0,5 кг. Определить в СИ силу натяжения нити при прохождении камня через нижнюю точку. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.11. Шофёр автомобиля выключил двигатель и резко затормозил при скорости 72 км/ч. Сколько секунд будет двигаться автомобиль до остановки, если коэффициент трения равен 0,2? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.12. Неподвижная лодка вместе с установленной на ней пушкой имеет массу 202 кг. Из пушки стреляют в горизонтальном направлении. Масса снаряда 2 кг, его скорость 400 м/с. Найти в кДж кинетическую энергию лодки сразу же после выстрела.

5.13. Человек тащит сани массой 40 кг по горизонтальной дороге, прикладывая в направлении движения силу 240 Н. Найти в СИ ускорение, с которым движутся сани, если коэффициент трения полозьев саней о снег равен 0,1. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.14. Груз массой 200 кг, лежащий на полу кабины поднимающегося лифта, давит на пол с силой 2200 Н. С каким ускорением движется лифт? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

5.15. К концам нити, переброшенной через невесомый блок, подвешены грузы массой 1 кг и 4 кг. С каким ускорением движутся грузы? Ответ дать в СИ.

5.16. К концам нити, переброшенной через невесомый блок, подвешены грузы массой 2 кг и 3 кг. Найти в СИ силу натяжения нити.

5.17. Какую силу нужно приложить к вагону массой 5 т, чтобы он начал двигаться равноускоренно и за 50 с прошёл путь 25 м? Сила трения равна 1000 Н. Ответ дать в СИ.

5.18. Один конец резинового шнура длиной 0,4 м закреплен в точке A , к другому привязан камень массой 0,1 кг. При вращении шнура в горизонтальной

плоскости вокруг точки A с угловой скоростью 6 рад/с шнур удлинился на $0,1$ м. Найти в СИ коэффициент жёсткости шнура.

5.19. Пружина детского пистолета под действием силы $9,8$ Н сжалась на 4 см. На какую высоту подлетит пулька массой 1 г при выстреле вертикально вверх? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ дать в СИ.

5.20. В пружинном пистолете заменили пружину. Жёсткость новой пружины в 4 раза больше жёсткости старой. Во сколько раз вследствие этого увеличится скорость вылета пули из пистолета? Считать, что выстрел производится в горизонтальном направлении.

5.21. С поверхности Земли вертикально вверх с начальной скоростью 2 м/с бросили шар массой $0,5$ кг. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной? Сопротивление воздуха не учитывать. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с². Ответ дать в СИ.

5.22. Аэросани начали торможение на горизонтальном участке шоссе при скорости 20 м/с. Найти в СИ тормозной путь аэросаней, если коэффициент трения полозьев аэросаней о снег равен $0,5$. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с².

5.23. Человек массой 70 кг опускается в лифте, движущемся равнозамедленно с ускорением 1 м/с². Определить в СИ вес человека. Принять ускорение свободного падения 10 м/с².

5.24. Рабочий равномерно перемещает сани массой 500 кг по заснеженному горизонтальному участку дороги на расстояние 10 м. Найти в СИ работу, совершаемую рабочим, если коэффициент трения саней о снег равен $0,02$.

5.25. Шар, движущийся со скоростью 4 м/с сталкивается с таким же покоящимся шаром. Найти в СИ полную кинетическую энергию шаров после их абсолютно неупругого соударения. Масса каждого шара равна 2 кг.

5.26. Хоккеист массой 70 кг, стоя на льду, бросает в горизонтальном направлении шайбу массой $0,35$ кг со скоростью 10 м/с. Найти в мДж кинетическую энергию хоккеиста сразу же после броска.

5.27. К телу массой 4 кг приложена направленная вертикально вверх сила 50 Н. Определить в СИ кинетическую энергию тела в момент, когда оно будет на высоте 10 м над Землёй. В начальный момент времени тело покоилось на поверхности Земли.

5.28. К бруску, лежащему на горизонтальном столе, приложили внешнюю силу F , параллельную столу. В результате брусок пришёл в движение в направлении силы с ускорением 2 м/с². Масса бруска 2 кг, коэффициент трения между столом и бруском $0,1$. Определить в СИ величину силы F .

5.29. Грузовик массой 5000 кг начинает движение с ускорением $1,5$ м/с². С каким ускорением будет двигаться грузовик, если после загрузки его масса увеличилась вдвое? Сила тяги мотора постоянна и равна 8000 Н.

5.30. На горизонтальной доске лежит груз. Какое минимальное ускорение в горизонтальном направлении следует сообщить доске, чтобы груз соскользнул с неё? Сила трения между доской и грузом равна $0,2$ его веса. Ответ дать в СИ.

5.31. На летящий самолёт действуют: в вертикальном направлении сила тяжести 200 кН и подъёмная сила 215 кН, в горизонтальном направлении сила

тяги 30 кН и сила лобового сопротивления воздуха 10 кН. Полагая ускорение свободного падения равным 10 м/с^2 , определить в СИ ускорение самолёта.

5.32. Полагая массу Луны в 100 раз меньше массы Земли, а диаметр Луны в 4 раза меньше диаметра Земли, определить в СИ ускорение свободного падения на поверхности Луны.

5.33. Два бруска с массами 200 г и 300 г лежат на гладкой поверхности и связаны нитью. К первому бруску приложили силу 1,5 Н в направлении от второго бруска. Определить в СИ величину силы натяжения нити, связывающей бруски.

5.34. К вертикальной стальной плите притянулся магнит массой 1,5 кг. Коэффициент трения магнита о плиту 0,3. С какой минимальной силой должен притягиваться магнит, чтобы не соскальзывать вниз? Ответ дать в СИ.

5.35. Определить в СИ ускорение свободного падения тела, находящегося на высоте, равной радиусу Земли, если вблизи поверхности Земли оно равно $9,8 \text{ м/с}^2$.

5.36. Пуля массой 20 г, пущенная из ружья вертикально вверх, достигла верхней точки через 10 с. Не учитывая сопротивление воздуха и длину ствола и полагая ускорение свободного падения равным 10 м/с^2 , определить в СИ работу пороховых газов в стволе ружья.

5.37. Мяч брошен под углом к горизонту со скоростью 17,5 м/с. Не учитывая сопротивления воздуха, определить в СИ скорость мяча на высоте 10 м от уровня бросания.

5.38. Снаряд массой 10 кг движется внутри ствола орудия в течение 0,005 с. Средняя сила давления пороховых газов 1,2 МН. Определить в СИ скорость снаряда в момент его вылета из ствола.

5.39. Пуля массой 10 г вылетела из винтовки со скоростью 1000 м/с, а в мишень вошла через 0,2 с со скоростью 600 м/с. Определить в кВт среднюю мощность силы сопротивления воздуха полёту пули.

5.40. Космический корабль массой 1000 т поднимается с Земли вертикально вверх. Сила тяги двигателя составляет 19,8 МН. Пренебрегая потерей массы топлива и сопротивлением среды, определить в СИ скорость корабля в конце первой минуты подъёма.

5.41. К ободу горизонтально расположенного диска радиусом 5,9 см прикреплена нить длиной 20 см. К другому концу нити прикреплен шарик. Нить с шариком висит вертикально. Диск приведён во вращение вокруг вертикальной оси, проходящей через центр диска. При этом шарик тоже начинает вращаться, а нить отклоняется от вертикали на угол 45° . Определить угловую скорость диска.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Воздушный шар, масса которого вместе с гондолой и балластом 600 кг, опускается с постоянной скоростью. Подъёмная сила шара равна 4900 Н. Определить в СИ массу балласта, который нужно сбросить из гондолы, чтобы воздушный шар стал подниматься вверх с той же скоростью. Считать силу сопротивления воздуха пропорциональной скорости.

6.2. Лошадь тянет сани массой 1000 кг по горизонтальной снежной дороге со скоростью 3 м/с. Найти в СИ мощность, развиваемую лошадью, если коэффициент трения саней о снег равен 0,02.

6.3. Автомобиль массой 5 т проходит по выпуклому мосту со скоростью 6 м/с. Определить в кН вес автомобиля на середине моста, если радиус кривизны моста 50 м. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

6.4. Буксир тянет баржу массой 150 т. После начала движения баржа, двигаясь равноускоренно, проходит за 5 минут путь, равный 600 м. Найти в кН силу тяги буксира, если сила сопротивления воды равна 3 кН.

6.5. Через реку переброшен выпуклый мост, имеющий форму дуги окружности радиусом 100 м. Через мост необходимо пройти грузовику массой 5 т. При какой минимальной скорости это возможно? Максимальная нагрузка, которую может выдержать мост, равна 44 кН. Ответ дать в СИ.

6.6. Два тела, массы которых 50 г и 100 г, лежат, связанные невесомой нитью, на гладкой горизонтальной поверхности стола. С какой максимальной силой можно тянуть первое тело, чтобы нить, способная выдержать нагрузку не более 5 Н, не оборвалась? Трением тел о плоскость стола пренебречь. Ответ дать в СИ.

6.7. Мальчик с санками стоит на ледяном катке. Какую работу должен совершить мальчик, толкнув санки, чтобы они после толчка покатались по льду со скоростью 4 м/с? Масса санок 5 кг, мальчика – 20 кг. Трением о лёд пренебречь. Ответ дать в СИ.

6.8. Тело, брошенное с поверхности Земли вертикально вверх с начальной скоростью 30 м/с, достигло максимальной высоты 10 м. Определить в СИ среднее значение силы сопротивления воздуха, действовавшей на тело во время полета, если масса тела 100 г.

6.9. На покоящийся шар налетает другой точно такой же шар. Происходит нецентральный упругий удар. Определить в градусах угол между скоростями разлетающихся шаров (угол разлёта).

6.10. Поворот дороги имеет радиус закругления 80 м. Определить в км/ч наибольшую скорость автомобиля, при которой его ещё не заносит на повороте, если коэффициент трения скольжения шин о дорогу 0,25.

6.11. В неподвижном лифте гирька, подвешенная на пружине, растягивает её на 14 см. На сколько сантиметров растягивается пружина при опускании лифта с ускорением $1,4 \text{ м/с}^2$, направленным вниз?

6.12. К аэростату, неподвижному относительно Земли и имеющему массу 180 кг, привязана верёвочная лестница, на которой находится человек массой 60 кг. С какой скоростью станет снижаться аэростат, если человек будет подниматься со скоростью 0,8 м/с относительно лестницы? Ответ дать в СИ.

6.13. Человек поднимает ведро с водой массой 20 кг из колодца с помощью ворота. Диаметр вала ворота 20 см. Длина рычага рукоятки ворота 40 см. К рукоятке непрерывно прикладывается сила 70 Н. Определить в процентах к.п.д. ворота.

6.14. Через невесомый блок переброшена нерастяжимая нить с двумя грузами. Масса меньшего из них 186 г. Определить в граммах массу большего груза, если грузы движутся с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$.

6.15. С какой скоростью нужно бросить упругий мяч вниз, чтобы он подпрыгнул на 10 м выше уровня, с которого был брошен? Сопротивление воздуха не учитывать. Ответ дать в СИ.

6.16. Диск вращается в горизонтальной плоскости с постоянной угловой скоростью $3,14 \text{ рад/с}$. На расстоянии 12 см от оси на диске лежит тело. Каким должен быть минимальный коэффициент трения, чтобы тело не соскользнуло с диска? Полагать ускорение силы тяжести равным 10 м/с^2 .

6.17. Мама везёт сына на саночках по заснеженному горизонтальному тротуару со скоростью $3,6 \text{ км/ч}$. Масса мальчика вместе с саночками 21 кг. Коэффициент трения полозьев об снег равен $0,05$. Верёвочка, за которую женщина тянет саночки, составляет с горизонтом угол 45° . Определить в СИ ту составляющую мощность, которую мама тратит на движение саночек с сыном.

6.18. Для определения скорости вылетающей из пистолета пули массой 6 г производится выстрел в мешок с песком, подвешенный на тросе длиной 20 см. Масса мешка 3 кг. Пуля застревает в песке и приводит мешок в движение. Максимальное отклонение троса от вертикали составляет 60° . Вычислить в СИ скорость пули.

6.19. Определить в СИ работу, которую надо совершить, чтобы с минимальным усилием втащить ящик массой 104 кг на высоту 3,8 м по наклонной доске. Расстояние *по горизонтали* между начальной и конечной точками расположения ящика равно 6 м. Коэффициент трения между ящиком и доской равен $0,2$.

6.20. На двух опорах лежит в горизонтальном положении труба длиной 10 м и массой 180 кг. Первая опора находится под одним из концов трубы, вторая – на расстоянии 1 м от другого конца. Выяснить, на какую из опор приходится большая часть веса трубы и вычислить в СИ этот вес.

6.21. Гимнаст выполняет «солнышко» на перекладине (вращается в вертикальной плоскости, держась руками за горизонтальную перекладину турника). Во сколько раз вес гимнаста в нижнем положении больше его веса в верхнем положении? Считать гимнаста материальной точкой, а его скорость в верхнем положении принять равной нулю.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Два мяча прижаты друг к другу и мгновенно отпущены. Первый мяч отскочил за некоторое время в горизонтальном направлении на 1,2 м, а другой за это же время на 1,5 м. Найти отношение кинетической энергии первого мяча к энергии второго в момент их разъединения.

7.2. В ракете общей массой 600 г содержится 350 г пороха. Выход газов произошёл мгновенно со скоростью 300 м/с . Сопротивление воздуха движению ракеты уменьшает высоту её подъёма в 6 раз. Полагая ускорение свободного падения равным 10 м/с^2 , определить в СИ высоту подъёма ракеты.

7.3. На покоящийся груз массой $1,5 \text{ кг}$ в течение двух секунд подействовала сила $F = 17,7 \text{ Н}$ в вертикальном направлении вверх. Пренебрегая затратами энергии на трение, найти в СИ работу силы F .

7.4. Тело массой 2 кг , брошенное с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью 24 м/с , достигает максимальной высоты 20 м . Определить в СИ среднюю силу сопротивления воздуха движению тела.

7.5. На корме неподвижной лодки длиной 5 м и массой 280 кг находится человек массой 70 кг . На какое расстояние относительно воды передвинется лодка, если человек перейдёт на нос лодки? Ответ дать в СИ.

7.6. Наждачный круг точильного станка диаметром 50 см во время обработки детали вращается с частотой 5 Гц . Деталь прижимается к точильному кругу с силой 20 Н . Коэффициент трения наждака о деталь $0,2$. Определить в СИ мощность, затрачиваемую на обработку детали.

7.7. Стальной шарик массой $0,2 \text{ кг}$ падает с высоты 595 см и вдавливаются в грунт на глубину 5 см . Определить в СИ среднюю силу сопротивления грунта. Сопротивлением воздуха пренебречь.

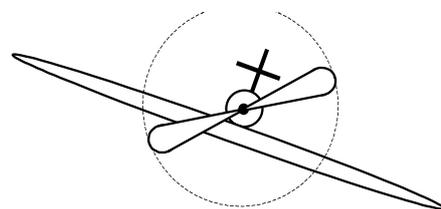
7.8. Тело соскальзывает без трения по наклонному желобу, переходящему в вертикальную петлю с радиусом 1 м . С какой минимальной высоты должно начать движение тело, чтобы не оторваться от желоба в верхней точке петли? Ответ дать в СИ.

7.9. С аэростата, неподвижно парящего в воздухе, сбросили два шарика, связанных тонкой невесомой нитью. Один шарик – железный, массой $0,6 \text{ кг}$, второй – алюминиевый, массой $0,2 \text{ кг}$. Радиусы шариков одинаковы. Определить в СИ силу натяжения нити после того, как она перестанет изменяться.

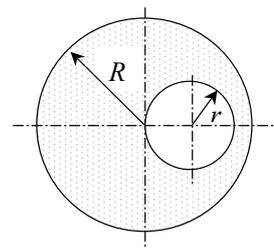
7.10. Насос выбрасывает струю воды диаметром 2 см в горизонтальном направлении со скоростью 2 м/с . Определить в СИ мощность насоса. Трением пренебречь.

7.11. Снаряд разорвался в наивысшей точке своей траектории на два одинаковых осколка. Расстояние по горизонтали между пушкой и точкой разрыва равно 400 м . Один из осколков вернулся назад к пушке по первоначальной траектории снаряда. Определить в СИ расстояние между пушкой и точкой падения второго осколка.

7.12. Спортивный самолет совершает вираж, двигаясь по горизонтальной окружности радиусом 250 м с постоянной скоростью 180 км/ч . Определить в градусах угол между плоскостью крыльев и горизонтом. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .



7.13. В однородном диске одинаковой толщины с радиусом $R = 12 \text{ см}$ вырезали круглое отверстие радиусом $r = 4 \text{ см}$. Определить, на сколько сантиметров при этом переместился центр тяжести диска.



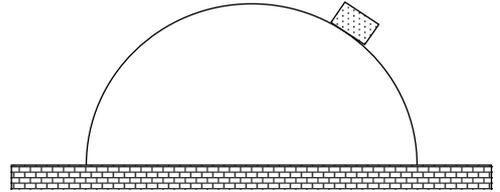
7.14. Самолет делает поворот в горизонтальной плоскости, двигаясь с постоянной скоростью 282 м/с . При каком радиусе кривизны лётчик будет испытывать трёхкратную пере-

грузку? Ответ дать в СИ. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.15. На горизонтальном диске, который может вращаться вокруг вертикальной оси, лежит шайба массой 150 г. Шайба соединена лёгкой пружинкой длиной 20 см с осью диска. Коэффициент трения между шайбой и поверхностью диска равен 0,2. При вращении диска с угловой скоростью 4 рад/с пружинка растягивается на 2 см. Определить в СИ жёсткость пружинки.

Задачи 8 класса трудности

8.1. С вершины полусферы радиусом 1,5 м, лежащей на горизонтальной подставке, соскальзывает небольшой грузик. Начальная скорость грузика равна нулю, трение отсутствует. На какой высоте от подставки грузик оторвется от поверхности полусферы?



ТЕМА 3. ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ
3.1. МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Плотность вещества ρ – величина, определяющая отношение массы вещества к его объему:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (3.1)$$

Единица измерения плотности – $[\rho] = 1 \text{ кг/м}^3$.

Давление p – величина, определяющая отношение модуля силы F , действующей нормально к поверхности, к площади этой поверхности S :

$$p = \frac{F}{S}. \quad (3.2)$$

Единица измерения давления – $[p] = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$.

На практике обычно применяются внесистемные единицы давления:

– физическая нормальная атмосфера – $1 \text{ атм} \approx 10^5 \text{ Па}$ и

– миллиметр ртутного столба – $1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133 \text{ Па}$.

Закон Паскаля. Гидравлическая машина

Когда силы действуют на твёрдые тела, то давление передаётся в направлении действия силы. По-другому ведут себя жидкости и газы.

Закон Паскаля: все жидкости и газы передают производимое на них силами давление одинаково во все стороны.

На основе использования закона Паскаля работают гидравлические машины. Схема гидравлической машины приведена на рисунке 3.1.

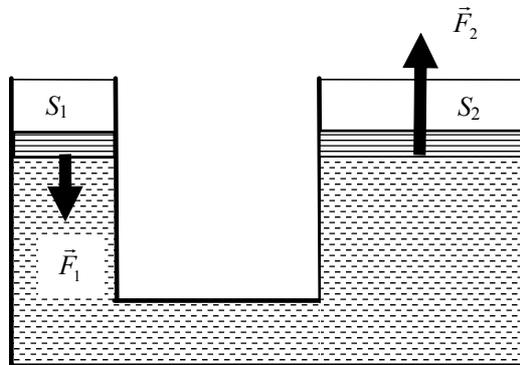


Рисунок 3.1 – Схема гидравлического пресса

Основными частями гидравлической машины являются два заполненных жидкостью цилиндра, с поршнями площадями S_1 и S_2 . При действии силы F_1 на поршень в узком цилиндре с площадью S_1 в жидкости под поршнем создается давление

$$p = \frac{F_1}{S_1}. \quad (3.3)$$

По закону Паскаля такое же давление будет внутри жидкости во втором цилиндре. В результате во втором цилиндре со стороны жидкости на поршень действует сила

$$F_2 = pS_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}. \quad (3.4)$$

Таким образом, гидравлическая машина даёт выигрыш в силе во столько раз, во сколько площадь её большого поршня больше площади малого поршня:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2. \quad (3.5)$$

Следует отметить, что получение с помощью гидравлической машины (также как и рычагов и блоков) выигрыша в силе не означает выигрыша в работе. Работа, совершенная силой F_1 :

$$A_1 = F_1 l_1 = p S_1 l_1 = p \cdot \Delta V, \quad (3.6)$$

где l_1 – путь, пройденный малым поршнем; ΔV – объем жидкости, вытесненной из малого цилиндра.

Работа, совершенная силой F_2 :

$$A_2 = F_2 l_2 = p S_2 l_2 = p \cdot \Delta V, \quad (3.7)$$

где l_2 – путь, пройденный малым поршнем; ΔV – объем жидкости, поступившей в большой цилиндр.

Из (3.6) и (3.7) следует, что $A_1 = A_2$. Равенство работ есть следствие закона сохранения энергии. Во сколько раз машина даёт выигрыш в силе, во столько раз даёт проигрыш в расстоянии.

Давление столба жидкости (газа). Гидростатическое давление

Сила давления столба жидкости (газа) равна его весу. **Давление столба жидкости:**

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \rho gh, \quad (3.8)$$

где m , V , h , S – масса, объём, высота, площадь поперечного сечения столба жидкости (газа), соответственно; ρ – плотность жидкости (газа).

Гидростатическое давление – суммарное давление, обусловленное весом столба жидкости ρgh и внешним давлением p_0 (например, атмосферным) на её свободной поверхности:

$$p = p_0 + \rho gh. \quad (3.9)$$

Закон Архимеда. Плавание тел

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость (газ) действует выталкивающая сила F_A (сила Архимеда), направленная вертикально вверх и равная по величине весу вытесненной жидкости (газа):

$$F_A = \rho_{ж} g V_{п}, \quad (3.10)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости (газа), $V_{п}$ – объем погруженной в жидкость (газ) части тела.

Сила Архимеда направлена противоположно силе тяжести ($\vec{F}_A \uparrow \downarrow m\vec{g}$). Поэтому вес тела при взвешивании в жидкости или газе оказывается меньше веса, измеренного в вакууме.

Уравнение движения тела, находящегося в жидкости:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_A. \quad (3.11)$$

Если сила тяжести по модулю больше силы Архимеда, то тело опускается вниз с ускорением a – тонет (рис. 3.2 а).

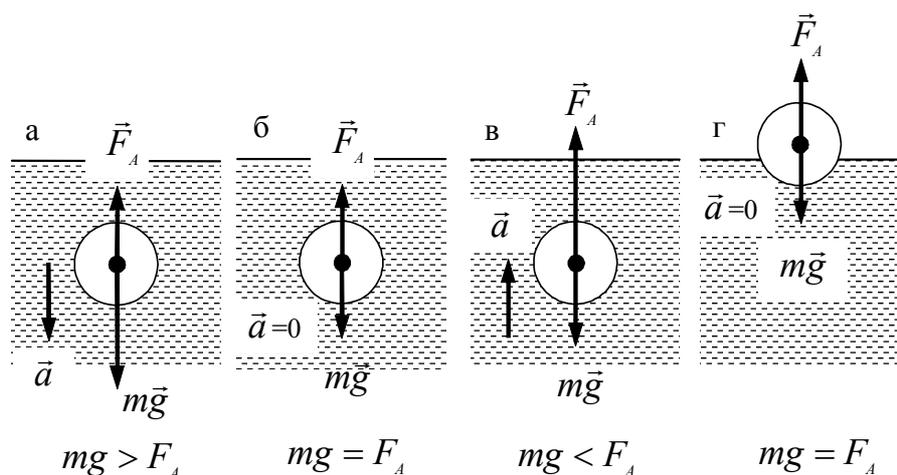


Рисунок 3.2 – Сила Архимеда.

Если модуль силы тяжести равен модулю силы Архимеда, то тело может находиться в равновесии (невесомости) на любой глубине (рис. 3.2 б).

Если сила Архимеда по модулю больше силы тяжести, то тело поднимается вверх с ускорением a – всплывает (рис. 3.2 в). Всплывшее тело частично выступает над поверхностью жидкости (рис. 3.2 г). Тело вытесняет такой объем жидкости, что вес вытесненной жидкости равен весу плавающего тела.

3.2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Любое тело (вещество) состоит из мельчайших частиц (молекул, атомов), которые находятся в непрерывном хаотическом (тепловом) движении.

Количество вещества ν – это величина, характеризующая число частиц, составляющих физическую систему. Единица измерения количества вещества – моль: $[\nu] = 1$ моль.

В одном моле любого вещества (независимо от агрегатного состояния) содержится одинаковое число молекул N_A , которое называется **числом Авогадро** (Эта константа отсутствует в приложении к билету, поэтому её численное значение нельзя использовать при расчётах!):

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Если однородная система содержит N частиц, то её количество вещества определяется числом содержащихся в ней молей:

$$\nu = N/N_A.$$

Молярная масса вещества μ – величина, равная отношению массы m системы к количеству вещества ν этой системы:

$$\mu = m/\nu. \quad (3.12)$$

Единица измерения молярной массы $[\mu] = 1$ кг/моль. Значение молярной массы, выраженной в г/моль, численно совпадает с относительной молекулярной массой. Для молярной массы можно записать:

$$\mu = m_0 \cdot N_A, \quad (3.13)$$

где $m_0 = m/N$ – масса одной молекулы вещества.

Концентрация n молекул (атомов) – величина, численно равная отношению числа N молекул, содержащихся в системе, к её объёму V :

$$n = N/V. \quad (3.14)$$

Единица измерения концентрации $[n] = 1/\text{м}^3$.

Связь концентрации молекул и плотности газа: $\rho = m_0 \cdot n$.

Идеальный газ – физическая модель, в которой предполагается, что суммарный объём молекул пренебрежимо мал по сравнению с объёмом сосуда, между молекулами не действуют силы притяжения, взаимодействие ограничивается упругими соударениями молекул между собой и стенками сосуда.

Равновесное состояние (тепловое равновесие) – это состояние, в которое при неизменных внешних условиях приходит система и дальше остаётся в этом состоянии сколь угодно долго. Температура во всех частях системы, находящейся в равновесном состоянии, одинакова.

Нормальные условия – условия, когда газ находится при *нормальной температуре* $T_0 = 273 \text{ К}$ и *нормальном давлении* $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

Температура тела характеризует энергию хаотического теплового движения молекул (атомов), составляющих это тело. То есть, температура – мера средней кинетической энергии молекул.

Абсолютная (термодинамическая) температура в системе СИ измеряется в кельвинах: $[T] = 1 \text{ К}$. Минимальное значение абсолютной температуры $T_{\min} = 0 \text{ К}$. Связь между температурой T по шкале Кельвина и температурой t по шкале Цельсия:

$$T = t + 273.$$

Температурный интервал градус Цельсия равен кельвину ($1^\circ\text{C} = 1 \text{ К}$).

Число степеней свободы i молекулы (атома) определяется числом независимых координат, однозначно задающих состояние движения молекулы (атома) (прямолинейное поступательное движение вдоль и вращение около трёх взаимно перпендикулярных осей). В таблице 3.1 приведены значения числа степеней свободы i для различных типов газов и видов движения молекул.

Таблица 3.1 Число степеней свободы

Газ	Вид движения		Всего i
	Поступательное	Вращательное	
Одноатомный (He, Ne, Ar и т.п.)	3	–	3
Двухатомный (H ₂ , N ₂ , O ₂ и т.п.)	3	2	5
Трёхатомный (и более) (CO ₂ , H ₂ O и т.п.)	3	3	6

Закон о равномерном распределении энергии по степеням свободы: на каждую степень свободы i молекулы приходится в среднем кинетическая энергия теплового хаотического движения, равная

$$\langle \varepsilon \rangle_i = \frac{1}{2} kT, \quad (3.15)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана. Эта константа отсутствует в приложении к билету, поэтому её численное значение нельзя использовать при расчётах!

Средняя кинетическая энергия теплового движения одной молекулы:

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad (3.16)$$

где i – число степеней свободы молекулы.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы:

$$\langle \varepsilon \rangle_{\text{пост}} = \frac{3}{2} kT. \quad (3.17)$$

Среднеквадратичная скорость v_{KB} – скорость таких молекул газа, кинетическая энергия поступательного движения которых равна *средней* кинетической энергии поступательного движения ($\varepsilon = \frac{m_0 v_{KB}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$):

$$v_{KB} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad (3.18)$$

где $R = k \cdot N_A = 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная.

3.3. СВОЙСТВА ГАЗОВ

При условиях, близких к нормальным, большинство газов подчиняется **уравнению Менделеева–Клапейрона (уравнению состояния идеального газа):**

$$pV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT. \quad (3.19)$$

где p , V и T – давление, объём и абсолютная температура газа соответственно, ν – количество вещества в молях, m – масса газа, μ – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная.

Таблица 3.2 Частные случаи уравнения Менделеева–Клапейрона

Процесс:	Изобарический	Изохорический	Изотермический
Признак:	$p = \text{const}$	$V = \text{const}$	$T = \text{const}$
Название закона:	<i>Гей–Люсака</i>	<i>Шарля</i>	<i>Бойля–Мариотта</i>
Запись:	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$
График процесса:			

В таблице 3.2 приведены три частных случая уравнения Менделеева–Клапейрона, которые называются **газовыми законами**. Эти законы связывают

друг с другом параметры начального (индекс 1) и конечного (индекс 2) состояний в ходе соответствующего процесса.

Давление газа p , согласно молекулярно-кинетической теории, обусловлено соударениями молекул со стенками сосуда и пропорционально абсолютной температуре газа T :

$$p = nkT. \quad (3.20)$$

Связь макроскопического параметра – давления – с такими микроскопическими параметрами газа, как среднеквадратичная скорость, средняя кинетическая энергия и концентрация молекул устанавливает **основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа**:

$$p = \frac{1}{3} nm_0 v_{KB}^2 = \frac{2}{3} m \langle \varepsilon \rangle_{\text{пост}}. \quad (3.21)$$

Давление идеального газа равно двум третям средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объёма.

Закон Дальтона: общее давление p газовой смеси равно сумме парциальных давлений p_i всех газов, входящих в смесь:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_N = \sum_{i=1}^N p_i, \quad (3.22)$$

где N – число компонентов смеси.

Парциальное давление – давление, которое бы создавал компонент смеси, находясь один в сосуде такого же объёма при той же температуре что и смесь.

Очевидно, что количество вещества смеси ν равно сумме количеств веществ компонентов смеси ν_i :

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_N = \sum_{i=1}^N \nu_i. \quad (3.23)$$

3.4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на 25 см, а большой поднимается на 5 см. Определить силу, действующую на большой поршень, если к малому поршню приложена сила 20 Н. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$\Delta h_1 = 0,25 \text{ м}$$

$$\Delta h_2 = 0,05 \text{ м}$$

$$F_1 = 20 \text{ Н}$$

Найти:

$$F_2 = ?$$

Согласно закону Паскаля на каждый из поршней оказывается одинаковое давление: $p_1 = p_2$ или $F_1/S_1 = F_2/S_2$, где S_1 и S_2 – площади поршней. Отсюда, $F_2 = F_1 \cdot (S_2/S_1)$. Т.к. жидкость несжимаема, то объём жидкости ΔV_1 , вытесненной при опускании малого поршня, равен объёму жидкости ΔV_2 , поднявшей большой поршень: $S_1 \Delta h_1 = S_2 \Delta h_2$. Очевидно, что отношение площадей равно обратному отношению высот: $S_2/S_1 = \Delta h_1/\Delta h_2$.

В итоге, искомая сила $F_2 = F_1 \cdot (\Delta h_1/\Delta h_2) = 20 \cdot 5 = 100 \text{ Н}$.

Ответ: $F_2 = 100 \text{ Н}$.

2. Тело в форме куба, с ребром 10 см, находится в воде. Нижняя грань куба удалена от поверхности воды на расстояние 1 м. Чему равна сила, действующая со стороны воды на нижнюю грань куба? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$a = 0,1 \text{ м}$$

$$h = 1 \text{ м}$$

Найти:

$$F = ?$$

Давление p , оказываемое водой на нижнюю грань куба (без учёта атмосферного давления) равно давлению столба жидкости на глубине h : $p = \rho gh$. Здесь ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения (см. приложение 1). От давления перейдём к силе давления: $F = pS$, где $S = a^2$ – площадь грани куба.

В итоге, получим: $F = \rho g h a^2 = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 0,01 = 98 \text{ Н}$.

Ответ: $F = 98 \text{ Н}$.

3. Сила Архимеда уменьшает вес тела, полностью погруженного в воду, в 6 раз. Чему равна плотность вещества, из которого изготовлено это тело? Выталкивающей силой воздуха пренебречь. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$\eta = P/P_B = 6$$

Найти:

$$\rho_T = ?$$

Положим тело на неподвижную опору. По третьему закону Ньютона вес тела P (сила давления на опору) равен силе реакции опоры N : $P = N$. Рассмотрим силы, действующие на тело в двух случаях: а) в воздухе; б) в воде (рис. 3.3). В первом случае сила реакции опоры равна силе тяжести: $N = F_T$. Во втором случае появляется сила Архимеда F_A , действующая на тело со стороны воды, и условие статического равновесия примет вид: $N_B + F_A = F_T$. При этом, $\eta = P/P_B = N/N_B = F_T/(F_T - F_A)$.

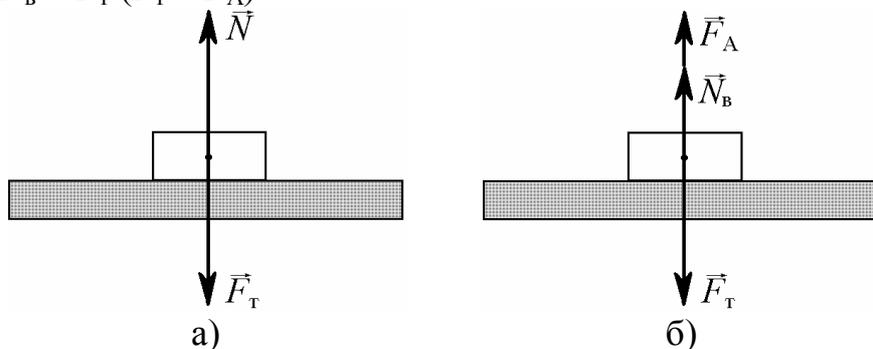


Рисунок 3.3 – Силы, действующие на тело: а) в воздухе; б) в воде

Выражение для силы тяжести: $F_T = mg = \rho_T Vg$, где V – объём тела. Выражение для силы Архимеда: $F_A = \rho Vg$, где ρ – плотность воды (см. приложение 1). Подставим их в выражение для η : $\eta = \rho_T Vg / (\rho_T Vg - \rho Vg) = \rho_T / (\rho_T - \rho)$.

Выражая ρ_T , получим: $\rho_T = \eta \rho / (\eta - 1) = 10^3 \cdot 6 / 5 = 1200 \text{ кг/м}^3$.

Ответ: $\rho_T = 1200 \text{ кг/м}^3$.

4. На сколько увеличилась температура идеального одноатомного газа, первоначально имевшего температуру 17°C , если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа в результате нагрева возросла в три раза. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $T_1 = 290 \text{ К}$
 $\eta = E_2/E_1 = 3$
Найти:
 $\Delta T = ?$

Запишем выражение для средней энергии поступательного движения ($i = 3$): $E = 3kT/2$.

Тогда, $\eta = E_2/E_1 = T_2/T_1$. Отсюда получим, что $T_2 = \eta T_1$.

Запишем искомую величину $\Delta T = T_2 - T_1 = T_1(\eta - 1) = 580 \text{ К}$.

Ответ: $\Delta T = 580 \text{ К}$.

5. Какова средняя квадратичная скорость движения молекул газа, который занимает объём $1,2 \text{ м}^3$ при давлении 30 кПа ? Масса газа $0,3 \text{ кг}$. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $V = 1,2 \text{ м}^3$
 $p = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$
 $m = 0,3 \text{ кг}$
Найти:
 $v_{\text{кв}} = ?$

Запишем выражение для средней квадратичной скорости молекул газа: $v_{\text{кв}} = (3RT/\mu)^{1/2}$. В это выражение входит несколько неизвестных величин. Избавимся от них, воспользовавшись уравнением Менделеева–Клапейрона: $pV = (m/\mu)RT$.

Отсюда, получим $RT/\mu = pV/m$.

Подставим это выражение в формулу для средней квадратичной скорости и произведём расчёты:

$$v_{\text{кв}} = (3pV/m)^{1/2} = (3 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 1,2 / 0,3)^{1/2} = 600 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{\text{кв}} = 600 \text{ м/с}$.

6. Некоторое количество водорода находится при температуре 200 К и давлении 400 Па . Газ нагревают до температуры 10^4 К , при которой молекулы водорода практически полностью распадаются на атомы. Определить новое значение давления газа, если его объём и масса остались без изменения. Ответ дать в килопаскалях.

Решение:

Дано:
 $T_1 = 200 \text{ К}$
 $p_1 = 400 \text{ Па}$
 $T_2 = 10^4 \text{ К}$
 $m = \text{const}$
 $V = \text{const}$
Найти:
 $p_2 = ? \text{ (кПа)}$

Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для двух состояний газа:

$$1) \text{ до диссоциации} \quad p_1 V = (m/\mu_1)RT_1,$$

$$2) \text{ после диссоциации} \quad p_2 V = (m/\mu_2)RT_2.$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:

$$p_2/p_1 = (\mu_1 \cdot T_2 / \mu_2 \cdot T_1), \quad p_2 = p_1 \cdot (\mu_1 \cdot T_2 / \mu_2 \cdot T_1).$$

Учтём, что молярная масса молекулярного водорода μ_1 в два раза больше, чем молярная масса атомарного водорода μ_2 : $\mu_1/\mu_2 = 2$. В итоге, для искомого давления получим выражение

и произведём расчёты: $p_2 = 2p_1 \cdot (T_2/T_1) = 2 \cdot 400 \cdot 10^4 / 200 = 4 \cdot 10^4 \text{ Па} = 40 \text{ кПа}$.

Ответ: $p_2 = 40 \text{ кПа}$.

7. Кислород при давлении 100 кПа и температуре 27°С занимает объём 5 л . При увеличении давления до 200 кПа объём газа уменьшился на 1 л . Чему равна температура газа в этом состоянии? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:Дано:

$$p_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$V_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\Delta V = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Найти:

$$T_2 = ?$$

Считая количество кислорода неизменным, запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для двух состояний:

$$1) \text{ начальное} \quad p_1 V_1 = (m/\mu)RT_1,$$

$$2) \text{ конечное} \quad p_2 V_2 = (m/\mu)RT_2.$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:

$$p_2 V_2 / p_1 V_1 = T_2 / T_1, \quad T_2 = T_1 \cdot (p_2 V_2 / p_1 V_1).$$

Учитывая, что конечный объём кислорода $V_2 = V_1 - \Delta V$, получим окончательно выражение для температуры T_2 и произведём расчёты: $T_2 = T_1 \cdot p_2 (V_1 - \Delta V) / p_1 V_1 = 24 \cdot 10^4 / 5 \cdot 10^2 = 480 \text{ К}$.

Ответ: $T_2 = 480 \text{ К}$.

8. Два баллона соединены тонкой трубкой с краном. В одном баллоне находится $1,5 \text{ м}^3$ азота при давлении 40 Па , в другом – 3 м^3 кислорода при давлении 25 Па . Какое давление установится в баллонах, если открыть кран? Температура газов одинакова и остаётся постоянной. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:Дано:

$$V_1 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_1 = 40 \text{ Па}$$

$$V_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_2 = 25 \text{ Па}$$

Найти:

$$p = ?$$

После того, как будет открыт кран, газы займут весь объём $V_1 + V_2$ обоих баллонов. Поскольку процесс перемешивания газов – изотермический ($T = \text{const}$), то для каждого газа должно выполняться равенства: $p_1 V_1 = p'_1 (V_1 + V_2)$, и $p_2 V_2 = p'_2 (V_1 + V_2)$, где p'_1, p'_2 – давления газов после перемешивания (парциальные давления). Из этих равенств найдём парциальные давления газов: $p'_1 = p_1 V_1 / (V_1 + V_2)$, $p'_2 = p_2 V_2 / (V_1 + V_2)$. Согласно закону Дальтона давление смеси газов p равно сумме парциальных давлений газов, входящих в смесь:

$$p = p'_1 + p'_2 = (p_1 V_1 + p_2 V_2) / (V_1 + V_2) = (40 \cdot 1,5 + 25 \cdot 3) \cdot 10^{-3} / (1,5 + 3) \cdot 10^{-3} = 30 \text{ Па}.$$

Ответ: $p = 30 \text{ Па}$.

9. Под поршнем в цилиндре, площадь основания которого равна $0,01 \text{ м}^2$, находится газ при температуре 280 К и давлении 100 кПа . На поршень положили груз весом 200 Н , вследствие чего поршень опустился. На сколько градусов нужно нагреть газ для того, чтобы поршень вернулся в начальное положение? Массу поршня и трение не учитывать.

Решение:Дано:

$$S = 0,01 \text{ м}^2$$

$$T_1 = 280 \text{ К}$$

$$p_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$P = 200 \text{ Н}$$

$$V_2 = V_1 = V$$

Найти:

$$\Delta T = ?$$

Поскольку в каждом из случаев, изображённых на рис. 3.4, поршень покоится, мы имеем право записать для них условие статического равновесия поршня: $F_1 = F_0$ и $F_2 = F_0 + P$. Здесь F_0 – сила атмосферного давления, F_1, F_2 – силы, действующие на поршень со стороны газа в цилиндре, в каждом из указанных состояний. Переходя от сил к давлениям, поделим оба уравнения на площадь поршня S :

$$p_1 = F_1 / S = F_0 / S = p_0, \quad \text{и} \quad p_2 = F_2 / S = F_0 / S + P / S = p_0 + P / S.$$

Здесь p_0 – атмосферное давление, а p_1, p_2 – давления газа под поршнем в первом и во втором случае.

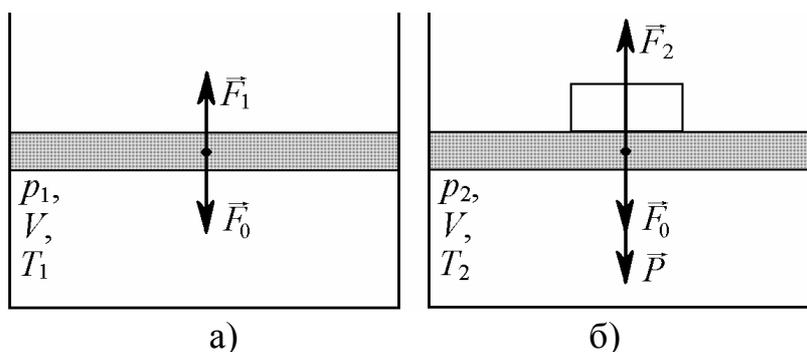


Рисунок 3.4 – Силы, приложенные к поршню:
а) в начале процесса; б) в конце процесса

Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для начального и конечного состояний: $p_1V = (m/\mu)RT_1$, $p_2V = (m/\mu)RT_2$. Разделив второе уравнение на первое, выразим T_2 : $T_2 = T_1p_2/p_1$.

Искомая разность температур $\Delta T = T_2 - T_1 = T_1(p_2 - p_1)/p_1$.

Подставляя выражения для p_1 и p_2 , получим:

$$\Delta T = PT_1/p_1S = 200 \cdot 280 / 10^5 \cdot 0,01 = 56 \text{ К.}$$

Ответ: $\Delta T = 56 \text{ К.}$

10. Определить плотность смеси 0,028 кг азота и 0,008 кг кислорода, при давлении 83,1 кПа и температуре 127 °С. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$m_1 = 0,028 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,008 \text{ кг}$$

$$p = 8,31 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$T = 400 \text{ К}$$

Найти:

$$\rho = ?$$

Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для смеси газов: $pV = (m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2)RT$, где μ_1 , μ_2 – молярные массы азота и кислорода (см. приложение 1). Поскольку плотность газовой смеси: $\rho = (m_1 + m_2)/V$, то выразим из уравнения Менделеева–Клапейрона объём V и подставим в выражение для плотности:

$$V = (m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2)RT/p = (m_1\mu_2 + m_2\mu_1)RT/p\mu_1\mu_2.$$

Окончательное выражение для ρ будет иметь вид:

$$\rho = (m_1 + m_2)p\mu_1\mu_2/(m_1\mu_2 + m_2\mu_1)RT.$$

Проведём расчёты, и получим: $\rho = 0,72 \text{ кг/м}^3$.

Ответ: $\rho = 0,72 \text{ кг/м}^3$.

3.5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Газ находится при нормальных условиях и занимает объём 4 м³. Определить в СИ объём газа после его нагревания при постоянном давлении до температуры 546 К.

3.2. При температуре 273 К давление газа составляло 20 Па. Определить в СИ давление газа после его нагревания при постоянном объёме до температуры 819 К.

3.3. На какой глубине давление воды на погруженное в неё тело составляет 9800 Па? Ответ дать в СИ. Атмосферное давление не учитывать.

3.4. Сосуд высотой 0,5 м заполнен жидкостью. Определить в СИ плотность жидкости, если давление жидкости на дно сосуда 3430 Па. Атмосферное давление не учитывать.

3.5. Определить в МПа давление воды на дно озерной впадины, глубина которой 1 км. Атмосферное давление не учитывать.

3.6. Определить в кПа давление воды на глубине 1 м. Атмосферное давление не учитывать.

3.7. Цилиндрический бак высотой 1 м заполнен нефтью. Определить в кПа давление нефти на дно бака. Плотность нефти 800 кг/м^3 , ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Атмосферное давление не учитывать.

3.8. Объём газа уменьшился в 2 раза, а температура увеличилась в 1,5 раза. Во сколько раз увеличилось давление газа?

3.9. При температуре 300 К давление газа в закрытом сосуде было 90 Па. Определить в СИ давление этого газа при его остывании до 200 К.

3.10. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания в начале такта сжатия температура газовой смеси была 300 К. Определить в СИ температуру в конце такта, если объём, занимаемый газовой смесью, уменьшился в 12 раз, а давление возросло в 36 раз.

3.11. При увеличении абсолютной температуры идеального газа в 3 раза давление газа увеличилось в 1,5 раза. Во сколько раз при этом увеличился объём?

3.12. Сила Архимеда, действующая на тело, погруженное в воду на $3/4$ объёма, равна 1,47 Н. Определить в СИ массу воды, вытесненной телом.

3.13. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся равные массы водорода и кислорода. Во сколько раз давление водорода больше давления кислорода?

3.14. В процессе сжатия водорода при постоянной температуре его давление увеличилось в 4 раза. Найти отношение первоначального объёма к конечному.

3.15. Газ, находящийся в баллоне объёмом $0,8 \text{ м}^3$ при температуре 400 К, оказывает давление на стенки баллона, равное $8,31 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Сколько киломолей газа находится в баллоне?

3.16. Объём, занимаемый газом при нормальных условиях, равен 3 м^3 . При неизменном давлении газ нагрели на 273 К. Определить в СИ объём газа после нагрева.

3.17. Газ, находящийся в закрытом стеклянном сосуде, нагрели от температуры 200 К до температуры 300 К. Во сколько раз увеличилось при этом давление газа на стенки сосуда?

3.18. В сосуде объёмом $0,831 \text{ м}^3$ находится 0,2 моля газа под давлением 600 Па. Определить в СИ температуру этого газа.

3.19. В сосуде объёмом $8,31 \text{ м}^3$ находится 0,04 кг водорода. Какую температуру должен иметь этот газ, чтобы его давление было равно 6 кПа? Ответ дать в СИ.

3.20. Объём, занимаемый идеальным газом при температуре 300 К, равен 2 м^3 . Какой объём будет занимать этот газ, если его изобарически нагреть до 600 К? Ответ дать в СИ.

3.21. В закрытом сосуде находится идеальный газ при температуре 273 К. Газ нагрели до температуры 546 К. Во сколько раз увеличилось давление в этом сосуде?

3.22. 1,6 кг газа находится в сосуде объёмом $0,831 \text{ м}^3$ при давлении 200 кПа и температуре 400 К. Найти в СИ молярную массу этого газа.

3.23. Отношение площадей поршней гидравлического пресса равно 30. Определить в СИ величину силы, с которой пресс действует на деталь, если сила, действующая на поршень меньшей площади, равна 600 Н.

3.24. Железная бочка плавает в реке, погружаясь на $1/5$ часть своего объёма. Сила Архимеда, действующая на бочку, равна 294 Н. Найти в СИ массу воды, вытесненную бочкой.

3.25. Баллон объёмом $0,8 \text{ м}^3$ заполнен воздухом под давлением 800 кПа. Его соединили с баллоном ёмкостью $0,2 \text{ м}^3$, из которого воздух выкачан. Температура в обоих баллонах одинакова и неизменна. Определить в СИ давление, установившееся в баллонах.

3.26. Определить в СИ среднеквадратичную скорость молекул газа, молярная масса которого равна $83,1 \text{ г/моль}$, если температура газа равна 300 К.

3.27. Молекулы некоторого газа, находящегося при температуре 600 К, имеют среднюю квадратичную скорость 300 м/с. Определить в кг/кмоль молярную массу этого газа.

3.28. Во сколько раз среднеквадратичная скорость молекул водорода больше среднеквадратичной скорости молекул кислорода? Газы находятся при одинаковой температуре.

3.29. Среднеквадратичная скорость молекул газа, молярная масса которого $8,31 \text{ кг/кмоль}$, равна 900 м/с. Определить в СИ температуру, при которой находится этот газ.

3.30. Разность высот, на которых находятся водопроводные краны на соседних этажах многоэтажного здания, составляет 3 м. Определить в СИ разность давлений воды в этих кранах.

3.31. Определить в МПа давление на дне скважины глубиной 10 км, полностью заполненной водой. Атмосферное давление не учитывать.

3.32. Определить в СИ силу, действующую на каждый квадратный сантиметр нашего тела со стороны атмосферы при нормальных условиях.

3.33. Определить в СИ давление в резервуаре с водородом объёмом $8,31 \text{ м}^3$ при температуре 300 К. Масса водорода 0,004 кг.

3.34. Давление в резервуаре с кислородом объёмом $8,31 \text{ м}^3$ равно 2000 Па. Масса кислорода 0,2 кг. Определить в СИ температуру газа.

3.35. Определить в СИ массу водорода, находящегося в резервуаре объёмом $8,31 \text{ м}^3$ при температуре 300 К и давлении 3000 Па.

3.36. В резервуаре объёмом $8,31 \text{ м}^3$ находится 0,4 кг газа при температуре 300 К и давлении 3000 Па. Определить в СИ молярную массу газа.

3.37. Определить в СИ массу воздуха в аудитории объёмом $166,2 \text{ м}^3$ при 290 К и нормальном атмосферном давлении. Молярную массу воздуха принять равной $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

3.38. Газ сжат изотермически от объёма 6 м^3 до объёма 4 м^3 . Давление при этом возросло на 40 Па . Каким было начальное давление? Ответ дать в СИ.

3.39. В результате изохорического нагрева газа от 300 К до 400 К давление газа возросло до 80 Па . Определить в СИ первоначальное давление газа.

3.40. В гидравлическом прессе площадь малого поршня 5 см^2 , площадь большого – 50 см^2 . Сила, действующая на малый поршень, равна 30 Н . Определить в СИ силу, действующую на большой поршень.

3.41. В результате изобарического нагрева газа от 300 К до 400 К объём газа увеличился до 2 м^3 . Определить в СИ первоначальный объём газа.

3.42. Давление нефти на дно бака равно 39200 Па . Определить в СИ плотность нефти, если высота столба нефти составляет 5 м . Давление атмосферы не учитывать.

3.43. Определить в кПа разность давлений на концах вертикально стоящей трубы длиной 10 м , заполненной нефтью. Плотность нефти равна 800 кг/м^3 .

3.44. Определить первоначальную абсолютную температура газа, если при его изохорическом нагревании на 150 К давление возросло в $1,5$ раза?

3.45. Резиновый шар, наполненный газом при температуре 300 К и под давлением 4 атмосферы, имеет объём 3 м^3 . После нагрева газа в шаре до 360 К объём шара увеличился до $3,2 \text{ м}^3$. Определить в атмосферах давление нагретого газа в шаре.

3.46. Объём газа уменьшили в 3 раза, при этом его температура увеличилась в $1,5$ раза. Во сколько раз увеличилось давление газа?

3.47. В одинаковых баллонах при одинаковых температурах содержатся равные массы водорода и кислорода. Во сколько раз давление водорода больше давления кислорода?

3.48. Во сколько раз объём двух киломолей кислорода больше объёма одного киломоля водорода при одинаковых условиях?

3.49. При увеличении абсолютной температуры в $1,8$ раза давление газа увеличилось в $1,2$ раза. Во сколько раз увеличился объём газа?

3.50. Давление газа в закрытом сосуде постоянного объёма при температуре 300 К равно 90 Па . Определить в СИ давление, которое установится в сосуде после остывания газа в нём на 20 К ?

3.51. В жидкости находится твёрдое тело массой 10 кг . Плотности жидкости и тела одинаковы. Определить в СИ выталкивающую силу, действующую на тело.

3.52. Газ, начальная температура которого составляла 500 К , изохорически охладили, вследствие чего давление газа уменьшилось вдвое. Найти в СИ температуру газа после охлаждения.

3.53. Давление газа изменили изотермически с 40 Па до 10 Па . Первоначальный объём газа 4 м^3 . Определить в СИ конечный объём газа.

3.54. В баллоне находится газ под давлением 100 атм . После того, как из баллона при постоянной температуре выпустили некоторое количество газа, давление в нём упало до 25 атм . Какая часть газа осталась в баллоне?

3.55. Газ нагревается при постоянном давлении на 200 К . Определить в СИ начальную температуру газа, если объём газа при нагревании увеличился в 2 раза.

3.56. Газ сжат изотермически от объёма 8 л до объёма 6 л. Давление при этом возросло на 4000 Па. Найти в СИ первоначальное давление газа.

3.57. При изотермическом сжатии газа в цилиндре с поршнем давление возрастает в 3 раза. Определить в литрах первоначальный объём, занимаемый газом, если конечный объём равен 210 л.

3.58. При постоянном объёме массу газа увеличили от 0,15 кг до 0,75 кг, а температуру – в 2 раза. Во сколько раз увеличилось давление?

3.59. Давление в газе при изохорическом нагревании увеличилось на 150 кПа. Во сколько раз возросла температура газа, если начальное давление равнялось 50 кПа.

3.60. Атмосферное давление равно 98 кПа. Определить в СИ величину силы, с которой воздух давит на горизонтальный участок поверхности Земли площадью 200 см^2 .

3.61. Определить в СИ высоту уровня жидкости в сосуде, если гидростатическое давление на дно сосуда равно 3136 Па, а плотность жидкости равна 800 кг/м^3 .

Задачи 4 класса трудности

4.1. Какое число молей воды содержится в ведре объёмом 9 л, если молярная масса воды $0,018 \text{ кг/моль}$?

4.2. Водород массой 5 г создаёт в баллоне давление 400 кПа. Неизвестный газ массой 10 г в таком же баллоне при той же температуре создаёт давление 100 кПа. Найти в г/моль молярную массу неизвестного газа.

4.3. Во сколько раз давление в озере на глубине 50 м больше атмосферного давления, составляющего 100 кПа?

4.4. Определить в СИ силу тяжести воды, занимающей объём 50 л.

4.5. За время такта сжатия двигателя внутреннего сгорания температура рабочей смеси повысилась с 47°C до 367°C , а объём уменьшился с 1,5 л до 0,3 л. Давление смеси в начале такта было 0,1 МПа. Какое давление рабочей смеси установилось в конце такта? Ответ дать в МПа.

4.6. Найти число киломолей газа, занимающего при давлении 600 кПа и температуре 300 К объём $8,31 \text{ м}^3$.

4.7. В баллоне находится газ при температуре 27°C . До какой температуры надо изохорно нагреть газ, чтобы давление газа увеличилось в 3 раза? Ответ дать в СИ.

4.8. Баллон, содержащий 120 л газа под давлением 400 кПа, соединили с баллоном ёмкостью $0,08 \text{ м}^3$, из которого выкачан воздух. Найти в кПа давление, установившееся в баллонах. Температура постоянна.

4.9. Объём, занимаемый водородом при температуре 27°C , равен 20 м^3 . Какой объём будет занимать этот газ, если его изобарически нагреть до температуры 177°C ? Ответ дать в СИ.

4.10. В сосуде находится 1 моль водорода под давлением 83100 Па и при температуре 800 К. Найти в СИ объём этого сосуда.

4.11. В баллоне находится кислород под давлением 83,1 кПа. Температура газа 320 К. Чему равна плотность кислорода в этом баллоне? Ответ дать в СИ.

4.12. 1 моль идеального газа находится в сосуде объёмом $0,4 \text{ м}^3$ при температуре 400 К . Найти в СИ давление, оказываемое этим газом на стенки сосуда.

4.13. Давление воздуха внутри плотно закупоренной бутылки при температуре $27 \text{ }^\circ\text{С}$ было равно 100 кПа . При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры нагрели бутылку, если известно, что пробка вылетела при давлении воздуха в бутылке 130 кПа ? Ответ дать в градусах Цельсия.

4.14. Определить число молей газа, если этот газ при температуре 600 К и давлении 6000 Па занимает объём $1,662 \text{ м}^3$.

4.15. Шар метеорологического зонда объёмом 100 м^3 прекратил подъём на высоте, где плотность воздуха составляет 1 кг/м^3 . Найти в СИ выталкивающую силу, действующую на шар на этой высоте.

4.16. 2 мг масла с плотностью 800 кг/м^3 расплывается на поверхности лужи в пятно площадью 10 м^2 . Полагая пятно одномолекулярным слоем, определить в нём диаметр молекул масла.

4.17. В сосуд, площадь поперечного сечения которого уменьшается в направлении от дна к верхней части, налита жидкость массой $1,6 \text{ кг}$. Объём жидкости равен 2 л . Высота жидкости в сосуде равна 20 см . Найти в СИ давление жидкости на дно сосуда.

4.18. Средняя квадратичная скорость молекул кислорода при комнатной температуре равна 500 м/с . Определить в СИ среднюю квадратичную скорость молекул водорода при этой же температуре.

4.19. Два киломоля водорода создают в баллоне давление 400 кПа . Известный газ массой 14 кг в таком же баллоне при той же температуре создаёт давление 100 кПа . Найти в г/моль молярную массу неизвестного газа.

4.20. В закрытом сосуде находится гелий при температуре 160 К . Давление газа равно 33240 Па . Молярная масса гелия равна $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Найти в СИ плотность гелия.

4.21. Газ, находящийся при нормальных условиях, нагрели при постоянном давлении так, что объём газа увеличился в 2 раза. До какой температуры нагрели газ? Ответ дать в градусах Цельсия.

4.22. Вода налита в мензурку до высоты 12 см . Когда в мензурку долили воды, её уровень поднялся до 18 см . На какую величину увеличилось при этом давление воды на дно мензурки? Ответ дать в СИ.

4.23. Во сколько раз возросла среднеквадратичная скорость молекул газа в баллоне электрической лампочки, если при её включении температура газа увеличилась с $20 \text{ }^\circ\text{С}$ до $899 \text{ }^\circ\text{С}$?

4.24. В нерабочем состоянии при температуре $7 \text{ }^\circ\text{С}$ давление газа в колбе газонаполненной электрической лампы равно 80 кПа . Найти в СИ температуру газа в горящей лампе, если давление в рабочем режиме возрастает до 100 кПа .

4.25. Какое давление рабочей смеси устанавливается в цилиндрах автомобиля ЗИЛ-130, если к концу такта сжатия температура смеси повышается с $47 \text{ }^\circ\text{С}$ до $247 \text{ }^\circ\text{С}$, а её объём уменьшается с $0,8 \text{ л}$ до $0,13 \text{ л}$? Первоначальное давление смеси равно 80 кПа . Ответ дать в кПа.

4.26. На какую долю первоначального объёма увеличится объём газа, находящегося при температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, если нагреть его на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при постоянном давлении.

4.27. Давление бензина на дно бака равно $3,92\text{ кПа}$. Определить в СИ плотность бензина, если высота столба бензина составляет 50 см . Давление атмосферы не учитывать.

4.28. В баллоне вместимостью 40 л находится 200 г кислорода. Баллон выдерживает давление не более 831 кПа . При какой температуре возникает опасность разрыва баллона? Ответ дать в СИ.

4.29. При заполнении баллона газом до давления 1000 кПа температура газа повысилась до $47\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти в кПа давление газа после охлаждения баллона до $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.30. Наружный воздух, поступающий зимой через вентиляционную камеру в туннель метрополитена, предварительно подогревают. Во сколько раз увеличивается объём каждого килограмма воздуха при его подогревании от $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.31. При какой температуре 2 моля газа создадут давление 500 Па в объёме $8,31\text{ м}^3$? Ответ дать в СИ.

4.32. На сколько процентов увеличится средняя квадратичная скорость молекул газа при повышении температуры от $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $352\text{ }^{\circ}\text{C}$?

4.33. Плотность некоторого газа 2 кг/м^3 при температуре 280 К и давлении $83,1\text{ кПа}$. Найти в СИ молярную массу этого газа.

4.34. В подводной части корабля на глубине 5 м образовалась пробоина, имеющая площадь $0,01\text{ м}^2$. Найти в СИ силу, с которой вода давит на заплату, закрывающую пробоину.

4.35. Найти в СИ объём одного киломоля газа, находящегося при температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 831 кПа .

4.36. В закрытом сосуде объёмом $0,5\text{ м}^3$ находится 3 моля газа. Найти в кПа давление газа в сосуде при температуре 500 К .

4.37. Объём газа уменьшили в два раза, а температуру увеличили в полтора раза. Во сколько раз увеличилось давление газа?

4.38. Брусок из дерева плавает в воде, погружаясь на четвёртую часть своего объёма. На него действует выталкивающая сила, равная 980 Н . Найти в СИ объём бруска.

4.39. Кислород при давлении 100 кПа и температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ занимает объём 5 л . При увеличении давления до 200 кПа объём газа уменьшился на 1 л . Чему равна температура газа в этом состоянии? Ответ дать в СИ.

4.40. В баллоне находилось 10 кг газа при давлении 10 МПа . После того, как часть газа была израсходована, в баллоне установилось давление равное $2,5\text{ МПа}$. Какая масса газа осталась в баллоне? Ответ дать в СИ.

4.41. В баллоне ёмкостью $0,03\text{ м}^3$ находится газ при температуре 250 К . При этом манометр показывает давление газа 831 кПа . После того, как часть газа из баллона вытекла, его нагрели, и при температуре 300 К манометр показал

то же самое давление. Определить в СИ, какая масса газа вытекла. Молярная масса газа 0,002 кг/моль.

4.42. В баллон закачали 160 г азота и 140 г кислорода. При температуре 27 °С манометр, соединённый с баллоном, показал давление 1 МПа. Определить в литрах ёмкость баллона.

4.43. В баллоне объёмом 16,62 л содержится смесь кислорода и азота под давлением 600 кПа при температуре 27 °С. Масса смеси 120 г. Газ пропускают через ловушку, содержащую раскалённые медные стружки. В результате весь кислород соединяется с медью, окисляя её. Оставшийся газ, нагретый до температуры 87 °С, попадает во второй баллон объёмом 8,31 л. Определить в кПа давление газа во втором баллоне.

4.44. Три одинаковых сосуда соединены тонкими непроводящими тепло трубками и заполнены при температуре 20 К некоторым количеством газообразного гелия. Затем один из сосудов нагрели до 100 К, второй – до 150 К, температура третьего осталась неизменной. Во сколько раз увеличилось давление в системе?

Задачи 5 класса трудности

5.1. Площади сечений поршней гидравлического пресса равны 2 м² и 0,1 м². На малый поршень действует сила 40 Н. Найти в СИ силу, уравновешивающую пресс со стороны большого поршня.

5.2. На высоте пика Ленина атмосферное давление составляет 40 кПа, а температура –33 °С. Найти в СИ плотность воздуха на высоте пика, если при давлении 100 кПа и температуре 27 °С плотность воздуха составляет 1,2 кг/м³.

5.3. Экскаватор переправляется через реку на понтоне, имеющем форму прямоугольного параллелепипеда с площадью горизонтальной грани 80 м². Под действием веса экскаватора осадка понтона увеличилась на 0,4 м. Найти в тоннах массу экскаватора.

5.4. Какой объём воды вытесняет плавающий сосуд, на который действует выталкивающая сила 980 Н? Ответ дать в СИ.

5.5. Выталкивающая сила, действующая на тело в воде, составляет 1960 Н. Какой объём воды вытесняет тело? Ответ дать в СИ.

5.6. Перед проведением газосварочных работ манометр баллона с кислородом показывал давление 10 МПа, а после сварки 8 МПа. Температура кислорода в баллоне не изменилась. Какая часть кислорода израсходована? Ответ дать в процентах .

5.7. Тело в форме куба, ребро которого 10 см, полностью погружено в воду так, что две его грани параллельны поверхности воды. Верхняя грань *A* находится ниже поверхности воды на 1 м. Определить в СИ силу, действующую со стороны воды на грань *A*. Атмосферное давление не учитывать.

5.8. Под поршнем в цилиндре, площадь основания которого 0,01 м², находится газ при температуре 280 К и давлении 100 кПа. На поршень положили груз, вследствие чего поршень опустился. Сила тяжести груза равна 200 Н. На сколько градусов надо нагреть газ для того, чтобы поршень вернулся в первоначальное положение? Массу поршня и трение не учитывать.

5.9. Со дна озера глубиной 10 м всплывает пузырёк воздуха. Во сколько раз увеличивается объём пузырька к тому моменту, когда он подходит к поверхности озера? Атмосферное давление равно 100 кПа. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Процесс считать изотермическим.

5.10. Определить в СИ плотность жидкости, если на погруженное в неё тело объёмом 1 м^3 действует выталкивающая сила 7840 Н.

5.11. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся равные массы водорода и кислорода. Во сколько раз давление водорода больше давления кислорода?

5.12. Перед проведением газосварочных работ давление кислорода в баллоне объёмом $0,831 \text{ м}^3$ было 100 атм., после работы давление стало равным 70 атм. Температура газа в баллоне оставалась равной 300 К. Какая масса кислорода была израсходована? Ответ дать в СИ.

5.13. В воде плавает прямоугольная коробочка, площадь основания которой равна $0,01 \text{ м}^2$. На сколько сантиметров погрузится коробочка в воду, если в неё положить груз массой 0,2 кг?

5.14. Спутник влетел в тень Земли. При этом температура внутри спутника, равная вначале 290 К, упала на 1%, из-за чего давление воздуха, молярная масса которого равна 29 г/моль, понизилось на 1 кПа. Определить в СИ массу воздуха в спутнике, если его объём $8,31 \text{ м}^3$.

5.15. Перед вылетом пули из винтовки объём порохового газа, образовавшегося в результате полного сгорания твёрдого пороха, превышает объём твёрдого пороха в 83,1 раза. Молярная масса газа 30 г/моль, температура 1000 К. Плотность твёрдого пороха $1,2 \text{ г/см}^3$. Найти в МПа давление порохового газа при вылете пули.

5.16. Масса лодки с сидящими в ней людьми равна 200 кг. Какой объём воды вытеснит эта лодка, находясь на плаву? Ответ дать в СИ.

5.17. Определить в СИ плотность кислорода при давлении 831 кПа и температуре $47 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.18. Два баллона соединены тонкой трубкой с краном. В одном баллоне находится $1,5 \text{ м}^3$ азота при давлении 40 Па, в другом 3 м^3 кислорода при давлении 25 Па. Какое установится давление в баллонах, если открыть кран? Температура газов постоянна. Ответ дать в СИ.

5.19. В комнате объёмом $83,1 \text{ м}^3$ находится воздух при давлении 100 кПа и температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить, во сколько раз количество молекул воздуха в этой комнате больше, чем количество молекул воды в 2 кг воды. Молярная масса воды 18 г/моль.

5.20. При температуре 250 К и давлении 83,1 кПа плотность газа равна $0,8 \text{ кг/м}^3$. Определить в СИ молярную массу этого газа.

5.21. На шар, полностью погруженный в воду, действует сила Архимеда 98 Н. Чему равен объём шара? Ответ дать в литрах.

5.22. Компрессор, обеспечивающий работу отбойных молотков, засасывает из атмосферы 100 л воздуха в секунду. Сколько отбойных молотков может работать от этого компрессора, если для каждого молотка необходимо 100 см^3

воздуха в секунду при давлении 5 МПа? Атмосферное давление 100 кПа. Процесс – изотермический.

5.23. В баллоне вместимостью $0,831 \text{ м}^3$ помещено 0,02 кг водорода и 0,32 кг кислорода. Определить в СИ давление смеси при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.24. Плотность некоторого газа при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 83,1 кПа равна $0,28 \text{ кг/м}^3$. Определить в г/моль молярную массу этого газа.

5.25. На сколько единиц СИ уменьшается вес шара при погружении его в воду, если объём шара равен $0,1 \text{ м}^3$?

5.26. Определить в СИ объём, занимаемый двумя молями газа, если температура газа 300 К, а его давление 831 Па.

5.27. Какой объём воды вытесняет лодка, на которую действует сила тяжести 980 Н? Ответ дать в СИ.

5.28. В баллоне находится газ при температуре $63 \text{ }^\circ\text{C}$. Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40% его выйдет из баллона, а температура при этом снизится до $7 \text{ }^\circ\text{C}$?

5.29. Какова должна быть первоначальная температура газа, чтобы при нагреве его на $900 \text{ }^\circ\text{C}$ средняя квадратичная скорость молекул газа увеличилась вдвое? Ответ дать в градусах Цельсия.

5.30. В баллоне ёмкостью 100 л находится 0,002 кг кислорода при температуре $47 \text{ }^\circ\text{C}$. Найти в СИ давление газа.

5.31. На сколько градусов Цельсия увеличилась температура газа, первоначально имевшего температуру $17 \text{ }^\circ\text{C}$, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа в результате нагрева возросла втрое?

5.32. На сколько градусов Цельсия увеличилась температура газа, первоначально имевшего температуру $27 \text{ }^\circ\text{C}$, если средняя квадратичная скорость молекул газа в результате нагрева возросла вдвое?

5.33. Газ массой 0,3 кг занимает объём $1,2 \text{ м}^3$ при давлении $3 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Определить в СИ среднюю квадратичную скорость движения молекул газа.

5.34. Площади сечений поршней гидравлического домкрата равны 2 м^2 и $0,01 \text{ м}^2$. На малый поршень действуют силой 49 Н. Найти в СИ предельную массу груза, который может быть при этом поднят домкратом.

5.35. Медицинский шприц лежит на горизонтальной поверхности. Он сообщается с вертикальной трубкой высотой 5 м. Вся система наполнена водой. Определить в СИ величину силы, с которой вода давит на поршень шприца площадью $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

5.36. Во сколько раз возрастает объём пузырька воздуха при всплывании его со дна озера глубиной 20 м к поверхности воды? Температура воды у дна озера и у поверхности одинакова. Атмосферное давление принять равным 100 кПа, а ускорение свободного падения 10 м/с^2 .

5.37. Метеорологический шар, заполненный водородом, поднялся на высоту, где температура воздуха $-23 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление внутри шара 166,2 кПа. Определить в СИ плотность водорода внутри шара.

5.38. На малый поршень гидравлического пресса действует сила 50 Н. Под действием этой силы поршень медленно опустился на 15 см. Большой поршень

при этом поднялся на 3 мм. Определить в СИ силу, с которой жидкость пресса действует на большой поршень.

5.39. При изобарном процессе объём газа уменьшился в 4 раза. Во сколько раз уменьшилась при этом средняя квадратичная скорость движения молекул газа?

5.40. В одном сосуде ёмкостью 3 л находится газ под давлением 200 кПа. В другом сосуде ёмкостью 4 л находится тот же газ под давлением 95 кПа. Температура в обоих сосудах одинакова. Под каким давлением будет находиться газ, если сосуды соединить трубкой? Ответ дать в кПа.

5.41. Плотность некоторого газа $0,01 \text{ кг/м}^3$ при давлении 300 Па и температуре 17°C . Найти в СИ среднюю квадратичную скорость молекул газа.

5.42. Брусok из дерева плотностью 750 кг/м^3 плавает в воде. Какая часть объёма бруска погружена в воду?

5.43. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на 25 см, а большой поднимается на 5 см. Определить в СИ силу, передаваемую на большой поршень, если на малый поршень действует сила 20 Н.

5.44. Во сколько раз плотность воздуха, заполняющего помещение склада летом при температуре 27°C , меньше его плотности зимой при температуре -33°C ? Давление воздуха считать постоянным.

5.45. В сосуде, объём которого равен 2 м^3 , находится 2,4 кг газа под давлением 100 кПа. Определить в СИ среднюю квадратичную скорость молекул газа.

5.46. В баллоне объёмом 8,31 л находится гелий под давлением 600 кПа при температуре 127°C . После того, как из баллона был взят 1 г гелия, температура в баллоне понизилась до 27°C . Определить в кПа давление гелия, оставшегося в баллоне. Молярная масса гелия равна $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

5.47. Воздух в открытом сосуде нагревают от температуры 300 К до 580 К. Затем сосуд герметически закрывают и воздух в нём охлаждают до первоначальной температуры. Определить в СИ плотность воздуха в сосуде после охлаждения. Атмосферное давление равно 83,1 кПа. Молярная масса воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$.

5.48. Баллон, содержащий газ под давлением 2800 кПа, находится на складе при температуре 7°C . Израсходовав половину газа, баллон внесли в помещение. Какова температура помещения, если давление в баллоне стало равным 1500 кПа. Ответ дать в СИ.

5.49. В воде всплывает пузырек воздуха. На какой глубине его объём в два раза меньше, чем вблизи поверхности воды. Атмосферное давление равно 100 кПа. Изменением температуры воды с глубиной пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Ответ дать в СИ.

5.50. В баллоне ёмкостью 29 литров находится чистый водород под давлением 8,31 МПа при температуре 17°C . В этот баллон впрыснули некоторое количество кислорода. Образовалась взрывоопасная смесь под названием «гремучий газ». После его воспламенения, сгорания и охлаждения на стенках сосуда появляются капельки воды, которые сливаются в лужицу объёмом 0,72 л. Определить в граммах массу водорода, оставшегося в баллоне. Влажность не учитывать.

5.51. Вертикально расположенный цилиндр, закрытый с обеих сторон, разделён тяжёлым теплонепроницаемым поршнем на две части. Обе части содержат одинаковое количество воздуха. При одинаковой температуре воздуха в обеих частях, равной 400 К, давление в нижней части сосуда в 2 раза больше, чем в верхней части. Определить в СИ температуру, до которой нужно нагреть воздух в нижней части, чтобы поршень установился посередине цилиндра. Трение не учитывать.

5.52. В вертикально расположенном цилиндре вставлен тяжёлый поршень из пористого материала. Поршень может скользить в цилиндре без трения. Сначала цилиндр полностью откачан, то есть можно считать, что внутри его – вакуум. Затем в цилиндр снизу (под поршень) напустили смесь азота и гелия (молярная масса гелия равна 4 г/моль). В результате поршень поднялся до середины цилиндра. Материал, из которого сделан поршень, оказался проницаемым для гелия, поэтому поршень медленно опустился до высоты, равной $1/3$ высоты цилиндра. Определить отношение массы азота к массе гелия в смеси, которую ввели в цилиндр.

5.53. Объём воздушного шара равен $249,3 \text{ м}^3$, масса его оболочки 58 кг. Состояние атмосферы: давление 100 кПа, температура 27 °С. Для того, чтобы шар взлетел, включают горелку, и воздух внутри шара начинает нагреваться. При какой температуре нагретого воздуха шар начнёт подниматься? Ответ дать в градусах Цельсия. Молярная масса воздуха равна 29 г/моль.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Полый металлический шар массой 500 кг плавает в воде, погрузившись ровно наполовину. Найти в СИ объём шара.

6.2. Сила Архимеда уменьшает вес тела, полностью погруженного в воду, в 6 раз. Определить в СИ плотность вещества, из которого изготовлено это тело. Выталкивающей силой воздуха пренебречь.

6.3. Бутылка, наполненная газом при атмосферном давлении 100 кПа и температуре 300 К, плотно закрыта пробкой площадью поперечного сечения $2,5 \text{ см}^2$. До какой температуры надо нагреть газ, чтобы пробка вылетела из бутылки, если сила трения, действующая на пробку в момент вылета, равна 12 Н? Ответ дать в СИ.

6.4. Во фляжке вместимостью 0,5 л находится 0,3 л воды. Турист пьет из неё воду, плотно прижав губы к горлышку так, что во фляжку не попадает наружный воздух. Сколько граммов воды выпил турист, если давление воздуха во фляжке понизилось до 80 кПа? Давление наружного воздуха 100 кПа.

6.5. С какой максимальной силой прижимается к телу человека медицинская банка, если площадь её отверстия 20 см^2 ? В момент прикладывания к телу воздух в ней нагрет до температуры 336 К, а температура окружающего воздуха 294 К. Атмосферное давление 100 кПа. Изменением объёма воздуха в банке из-за втягивания кожи пренебречь. Ответ дать в СИ.

6.6. В пресном озере плавает льдина цилиндрической формы. Верхняя плоскость льдины (основание цилиндра) выступает над поверхностью воды на 0,1 м. Найти в СИ полную высоту льдины. Плотность льда 900 кг/м^3 .

6.7. Вес металлического шарика, измеренный пружинными весами, равен 19,8 Н. При погружении шарика в воду те же весы показывают 10 Н. Определить в СИ объём шарика.

6.8. В запаянном откачанном сосуде находится вода, занимающая объём, равный одной четвертой объёма сосуда. Найти в МПа давление водяного пара при температуре 720 К, зная, что при этой температуре вся вода превращается в пар.

6.9. Найти в СИ молярную массу смеси 32 г кислорода и 84 г азота.

6.10. Надводная часть айсберга имеет объём 1000 м^3 , а подводная часть 9000 м^3 ? Определить в СИ плотность льда. Плотность морской воды равна 1030 кг/м^3 .

6.11. Теплоход переходит из моря в реку. Для того, чтобы его осадка не изменилась, с него снимают 90 т груза. Найти в тоннах массу теплохода с грузом до перехода в реку. Плотность морской воды 1030 кг/м^3 .

6.12. Найти в СИ ускорение, с которым поднимался бы аэростат массой 500 кг и объёмом 600 м^3 , если бы не было сопротивления воздуха. Плотность воздуха равна $1,3 \text{ кг/м}^3$.

6.13. Вес тела, измеренный пружинными весами в воздухе, в 5 раз больше, чем вес тела, измеренный теми же весами в воде. Найти в СИ плотность вещества тела. Выталкивающую силу в воздухе не учитывать.

6.14. Брусok из дерева плавает в воде, погружившись на три четверти своего объёма. Определить в СИ плотность дерева.

6.15. В цилиндрическом сосуде, расположенном горизонтально, под поршнем находится газ. Поршень может свободно перемещаться в цилиндре без трения. Давление газа равно атмосферному 100 кПа. Определить в СИ внешнюю силу, которую надо приложить к поршню, чтобы изотермически уменьшить объём газа в 2 раза. Площадь поперечного сечения поршня 10 см^2 .

6.16. Найти в СИ наименьший объём льдины, способной удержать на воде человека так, чтобы он остался сухим. Масса человека 70 кг, плотность льда 900 кг/м^3 .

Задачи 7 класса трудности

7.1. Посередине горизонтальной трубки длиной 70 см, закрытой с обоих концов и заполненной газом, находится в равновесии подвижная теплопроводящая перегородка. Слева от перегородки температура газа $127 \text{ }^\circ\text{C}$, а справа $27 \text{ }^\circ\text{C}$. На каком расстоянии от левого конца трубки установится перегородка, если температура всего газа станет $27 \text{ }^\circ\text{C}$? Ответ дать в СИ.

7.2. В закрытой пробкой бутылке, объём которой 1,1 л, находится воздух при комнатной температуре и давлении 100 кПа. Бутылку опускают горлышком вниз в воду той же температуры и на глубине 1 м открывают. Какой объём займет воздух в бутылке, если атмосферное давление равно 100,2 кПа? Ответ дать в литрах.

7.3. Баллон объёмом 50 л наполнен воздухом при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$ до давления 1 МПа. Сколько литров воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом этого баллона, если вытеснение производится на глубине

40 м? Температура воздуха после расширения $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Атмосферное давление 100 кПа . Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.4. Воздушный шар, наполненный водородом, неподвижно висит в воздухе на высоте, где атмосферное давление равно $8,31\text{ кПа}$, а температура 300 К . Объем шара $0,03\text{ м}^3$. Найти в граммах массу оболочки воздушного шара. Молярная масса воздуха $0,029\text{ кг/моль}$.

7.5. Давление воздуха в металлическом баллоне за 60 ходов поршневого насоса доводят от атмосферного 100 кПа до 140 кПа . Найти в литрах объем поршневого насоса, если объем баллона 150 л . Процесс изотермический.

7.6. Определить в СИ плотность смеси $0,028\text{ кг}$ азота и $0,008\text{ кг}$ кислорода при давлении $83,1\text{ кПа}$ и температуре $127\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.7. Резиновый шар содержит 9 л воздуха при температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении 100 кПа . Какой объем займет воздух, если шар опустить в воду, имеющую температуру $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубине 10 м ? Ответ дать в литрах. Натяжением резины пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.8. В вертикальной цилиндрической трубке длиной 2 м с запаянным нижним концом находится воздух и сверху столбик воды высотой 20 см , не достигающий до края трубки. При переворачивании трубки половина воды выливается. Определить в СИ высоту столба воздуха в трубке до переворачивания. Атмосферное давление равно 36 кПа . Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

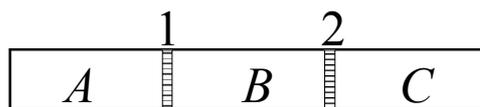
7.9. По газопроводной трубе сечением $8,31\text{ см}^2$ течёт с постоянной скоростью кислород при давлении 400 кПа и температуре $47\text{ }^{\circ}\text{C}$. Через каждое сечение трубы за каждые 10 минут протекает 6 кг газа. Определить в СИ скорость течения.

7.10. Тонкий стержень, плотность материала которого 750 кг/м^3 , закреплён шарнирно на одном конце и опущен свободным концом в воду. Шарнир находится на небольшой высоте над уровнем воды. Какая часть длины стержня будет погружена в воду при равновесии?

7.11. Вес пустотелого шара в воздухе равен 20 Н , а в воде – на 5 Н меньше. Плотность материала шара 5000 кг/м^3 . Определить в СИ объем полости в шаре. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

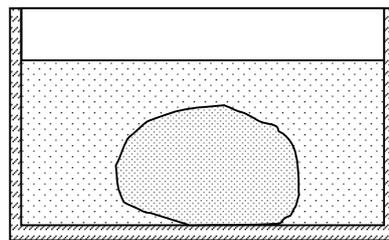
7.12. В сосуде с ртутью плавает металлический шарик, плотность которого 5 г/см^3 . Во сколько раз уменьшится объем части шарика, погруженной в ртуть, если поверх ртути налить слой воды, полностью закрывающий шарик? Плотность ртути принять равной $12,5\text{ г/см}^3$.

7.13. Откачанный до вакуума сосуд объемом 30 л разделён на три равные части A , B и C неподвижными полупроницаемыми перегородками 1 и 2. В A вводят 30 г водорода, в B – 160 г кислорода, в C – 70 г азота. Через перегородку 1 может диффундировать только водород, через перегородку 2 – водород и азот. Во сколько раз давление в B больше, чем в A после установления равновесия?



Задачи 8 класса трудности

8.1. На дне аквариума лежит камень массой 5 кг. Высота уровня воды в аквариуме 20 см, площадь поверхности контакта камня с дном 25 см^2 , плотность материала камня 2500 кг/м^3 . Определить в СИ вес камня. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .



8.2. В конструкторском бюро проектируется рекламный воздушный шар. Шар должен подняться в воздух зимой и без груза. Предполагаемые атмосферные условия: температура воздуха не выше $-3 \text{ }^\circ\text{C}$, атмосферное давление не ниже $0,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Для изготовления его оболочки выбран материал, у которого масса, приходящаяся на единицу поверхности, равна $0,5 \text{ кг/м}^2$. В качестве наполнителя шара выбран водород. Определить в СИ минимальный радиус шара. Молярная масса воздуха равна 29 г/моль .

ТЕМА 4. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ
4.1. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Внутренняя энергия. Количество теплоты

Тело, как система молекул, с соответствующими потенциальной и кинетической энергиями, обладает *внутренней энергией*.

Внутренняя энергия – это сумма кинетической энергии составляющих систему частиц (молекул, атомов) и потенциальной энергии взаимодействующих частиц. Для идеального газа (с постоянным количеством вещества ν) внутренняя энергия состоит только из кинетической энергии хаотического (теплого) поступательного и вращательного движений его молекул, и зависит только от температуры и числа степеней свободы i :

$$U = N \cdot \langle \varepsilon \rangle = N \frac{i}{2} kT = N_A \nu \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \nu (N_A k) T = \frac{i}{2} \nu RT,$$

где N – число молекул газа. Таким образом, внутренняя энергия идеального газа с числом степеней свободы i :

$$U = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT, \quad (4.1)$$

прямо пропорциональна его температуре и является *функцией состояния* системы.

Единица измерения внутренней энергии – джоуль: $[U] = 1 \text{ Дж}$.

Приращение внутренней энергии системы $\Delta U = U_2 - U_1$ зависит только от начального (индекс 1) и конечного (индекс 2) состояний системы.

Внутренняя энергия системы может изменяться в результате совершения механической работы и теплопередачи. При совершении системой (или над системой) работы или в результате теплообмена с внешними телами изменяется температура системы. Из выражения (4.1) следует, что

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T, \quad (4.2)$$

где $\Delta T = T_2 - T_1$ – изменение температуры системы при переходе из состояния 1 в состояние 2. Если $\Delta U > 0$, то внутренняя энергия увеличивается. Если $\Delta U < 0$, то внутренняя энергия уменьшается.

При осуществлении теплопередачи от одного тела к другому мерой переданной энергии является количество теплоты Q ($[Q] = 1 \text{ Дж}$).

Количество теплоты (теплота) Q – энергия, передаваемая более нагретым телом менее нагретому телу в результате теплообмена, не связанная с переносом вещества и совершением работы.

Если система получает тепло, то $Q > 0$. Если отдаёт, то $Q < 0$.

Первый закон (первое начало) термодинамики: теплота Q , сообщаемая системе, расходуется на изменение её внутренней энергии ΔU системы и на совершение системой работы A :

$$Q = \Delta U + A. \quad (4.3)$$

Другими словами, изменение внутренней энергии ΔU равно сумме количества теплоты Q , переданного системе, и работы A' внешних сил над системой:

$$\Delta U = Q + A'. \quad (4.4)$$

Выражения (4.3) и (4.4) отражают закон сохранения (превращения) энергии в тепловых явлениях.

Работа газа

Газ, расширяясь, совершает механическую работу.

Например, работа газа при постоянном давлении (изобарический процесс):

$$A = p\Delta V. \quad (4.5)$$

При расширении газа направление вектора силы давления газа совпадает с направлением вектора перемещения, поэтому работа A , совершенная газом, положительна ($A > 0$), а работа внешних сил отрицательна ($A' < 0$):

$$A = -A'. \quad (4.6)$$

При сжатии газа направление вектора внешней силы совпадает с направлением вектора перемещения, поэтому работа внешних сил A' положительна ($A' > 0$), а работа A , совершенная газом, отрицательна ($A < 0$).

4.2. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ К ИЗОПРОЦЕССАМ

4.2.1. Изотермический процесс ($T=\text{const}$).

В изотермическом процессе $\Delta T = 0$, следовательно, изменения внутренней энергии не происходит $\Delta U = 0$. Тогда, согласно, первому началу термодинамики (4.3)

$$Q = A = p\Delta V. \quad (4.7)$$

При изотермическом процессе вся подводимая к системе теплота преобразуется в эквивалентную механическую работу.

4.2.2. Изохорический процесс ($V=\text{const}$).

В изохорическом процессе $\Delta V = 0$, следовательно, газ не совершает механической работы $A = 0$. Тогда, согласно, первому началу термодинамики (4.3)

$$Q = \Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T. \quad (4.8)$$

При изохорическом процессе вся подводимая к системе теплота преобразуется в эквивалентную внутреннюю энергию системы.

4.2.3. Адиабатический процесс ($Q = 0$).

Такой процесс происходит в теплоизолированной системе, т.е. в системе, которая не обменивается теплотой с окружающей средой. В адиабатическом процессе тепло к системе не подводится $Q = 0$. Тогда, согласно, первому началу термодинамики (4.3)

$$0 = \Delta U + A, \quad A = -\Delta U. \quad (4.9)$$

При адиабатическом процессе механическая работа системой может совершаться только за счёт эквивалентной убыли внутренней энергии системы.

4.2.4. Изобарический процесс ($p=\text{const}$).

В изобарическом процессе давление остаётся неизменным. В системе совершается механическая работа A и изменяется внутренняя энергия ΔU .

Работа газа при изобарическом процессе: $A = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$, где V_1 и V_2 – соответственно начальный и конечный объёмы газа. В этом случае, первое начало термодинамики (4.3) будет иметь вид:

$$Q = \Delta U + p\Delta V. \quad (4.10)$$

4.3. ТЕПЛОЁМКОСТЬ

Теплоемкость тела (полная) C – физическая величина, определяющая количество теплоты, необходимое для изменения температуры тела на 1 К:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}. \quad (4.11)$$

Единица измерения полной теплоёмкости $[C] = 1$ Дж/К.

Из выражения (4.11) можно видеть, что

$$Q = C\Delta T. \quad (4.12)$$

Очевидно, что количество теплоты, переданное системе в результате теплообмена, пропорционально изменению температуры ΔT ($Q \sim \Delta T$) и массе тела ($Q \sim m$):

$$Q = c_{y\partial} m \Delta T. \quad (4.13)$$

Коэффициент пропорциональности в уравнении (4.13) называется *удельной теплоёмкостью вещества*:

$$c_{y\partial} = \frac{Q}{m\Delta T}. \quad (4.14)$$

Удельная теплоемкость $c_{y\partial}$ – физическая величина, определяющая количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 кг вещества на 1 К.

Единица измерения удельной теплоёмкости $[c_{y\partial}] = 1$ Дж/(кг·К).

Молярная теплоемкость c_μ – физическая величина, определяющая количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 моля вещества на 1 К:

$$c_\mu = \frac{Q}{\nu \Delta T}. \quad (4.15)$$

Единица молярной теплоёмкости $[c_\mu] = 1$ Дж/(моль·К).

Из отношения (4.15) следует, что

$$Q = c_\mu \nu \Delta T. \quad (4.16)$$

Из формул (4.11), (4.14) и (4.15) следует связь между полной, удельной и молярной теплоёмкостями:

$$C = c_{y\partial} m = c_\mu \nu. \quad (4.17)$$

4.4. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ. ГОРЕНИЕ

Фазовый переход из твёрдого состояния в жидкое (*плавление*) и обратно (*отвердевание, кристаллизация*) происходит при определённой постоянной температуре $T_{пл}$, называемой **температурой плавления**. Плавление сопровождается поглощением, а кристаллизация – выделением определённого количества теплоты:

$$Q = \lambda m, \quad (4.17)$$

где λ – удельная теплота плавления, а m – масса расплавленного (затвердевшего) вещества.

Фазовый переход при кипении из жидкого состояния в газообразное (*парообразование*) и обратно (*конденсация*) происходит при определённой температуре T_k , называемой **температурой кипения**. Парообразование сопровождается поглощением, а конденсация – выделением определённого количества теплоты:

$$Q = rm, \quad (4.18)$$

где r – удельная теплота парообразования, а m – масса испарившейся жидкости (конденсата).

При сгорании топлива выделяется количество теплоты:

$$Q = qm, \quad (4.19)$$

где q – удельная теплота сгорания, а m – масса сгоревшего топлива.

Удельные теплоты для различных веществ являются табличными значениями и обычно задаются в условии задачи. Единицы измерения всех удельных теплот одинаковы и равны 1 Дж/кг.

4.5. ТЕПЛОВАЯ МАШИНА

Тепловая машина – это устройство, в котором теплота частично превращается в механическую работу. Любая тепловая машина работает по принципу кругового (циклического) процесса, т.е. система должна периодически возвращаться в исходное состояние. Обязательными частями тепловой машины являются: *нагреватель* (источник энергии), *холодильник* и *рабочее тело* (газ, пар).



Рассмотрим принцип действия реальной тепловой машины на примере одного цикла. Рабочее тело (газ) приводится в контакт с нагревателем, который находится при температуре T_H . В ходе нагревания рабочего тела до температуры T_H , оно получает от нагревателя теплоту Q_H , которая частично превращается в механическую работу A .

Затем рабочее тело приводят в контакт с холодильником – тепловым резервуаром, находящемся при постоянной температуре T_X . Рабочее тело, находясь в контакте с холодильником, отдает ему остаток тепла Q_X , охлаждаясь при этом до температуры T_X . Во время работы тепловой машины этот цикл повторяется многократно. По закону сохранения энергии, механическая работа, совершаемая за один цикл, равна разности:

$$A = Q_H - Q_X, \quad (4.20)$$

Коэффициент полезного действия η (КПД) тепловой машины показывает, какая часть теплоты Q_H , полученной рабочим телом от нагревателя, превращается в механическую работу A :

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{(Q_H - Q_X)}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}. \quad (4.21)$$

КПД может измеряться в относительных единицах или в процентах.

Максимальный КПД η_{\max} достигается в *идеальной тепловой машине*. Для неё, помимо формулы (4.21), справедливо соотношение:

$$\eta_{\max} = \frac{(T_H - T_X)}{T_H} = 1 - \frac{T_X}{T_H}. \quad (4.22)$$

Для любой тепловой машины, в том числе и для идеальной, КПД всегда меньше единицы ($\eta < 1$).

4.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Работа внешних сил по сжатию газа в 10 раз меньше увеличения внутренней энергии газа. Определить работу по сжатию, если к газу подведено 810 Дж теплоты. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $\eta = \Delta U/A' = 10$
 $Q = 810$ Дж
Найти:
 $A' = ?$

Поскольку работа, совершаемая при сжатии газа, отрицательна, удобно записать первое начало термодинамики в виде (4.4) через работу A' внешних сил: $\Delta U = Q + A'$. Поделив это выражение на A' , получим: $\eta - 1 = Q/A'$. Выразим A' : $A' = Q/(\eta - 1) = 810/9 = 90$ Дж.

Ответ: $A' = 90$ Дж.

2. Идеальному одноатомному газу массой 0,4 кг при изохорическом процессе сообщили количество теплоты 2493 Дж. На сколько градусов увеличится при этом температура газа? Молярная масса газа равна 0,04 кг/моль.

Решение:

Дано:
 $m = 0,4$ кг
 $V = \text{const}$
 $Q = 2493$ Дж
 $\mu = 0,04$ кг/моль
Найти:
 $\Delta T = ?$

Запишем первое начало термодинамики в общем виде: $Q = \Delta U + A$. Для изохорического процесса ($\Delta V = 0$) работа газа равна нулю $A = 0$. Тогда, $Q = \Delta U$. Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа ($i = 3$):

$\Delta U = (3/2)(m/\mu)R\Delta T$. Приравнявая это выражение Q , и выражая изменение температуры, получим:

$$\Delta T = 2\mu Q/3mR = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 2493 / (3 \cdot 0,4 \cdot 8,31) = 20 \text{ К.}$$

Ответ: $\Delta T = 20$ К.

3. Кислород массой 320 г нагревают при постоянном давлении на 20 К. Какую работу совершает газ в этом процессе? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $m = 0,32$ кг
 $p = \text{const}$
 $\Delta T = 20$ К
 $\mu = 0,032$ кг/моль
Найти:
 $A = ?$

Работа при изобарическом процессе равна $A = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$. Запишем уравнения состояния идеального газа (уравнение Менделеева–Клапейрона) до и после нагревания: $pV_1 = (m/\mu)RT_1$, $pV_2 = (m/\mu)RT_2$.

Вычитая из второго уравнения первое, получим:

$$A = p(V_2 - V_1) = (m/\mu)R(T_2 - T_1) = (m/\mu)R\Delta T.$$

Взяв из приложения 1 значение молярной массы кислорода, произведём вычисления:

$$A = (0,32/0,032) \cdot 8,31 \cdot 20 = 1662 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = 1662$ Дж.

4. Определить молярную теплоёмкость одноатомного идеального газа при изобарическом процессе. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $p = \text{const}$
Найти:
 $c_{\mu p} = ?$

Согласно определению молярной теплоёмкости: $c_{\mu} = Q/\nu\Delta T$. Для нахождения Q , запишем первое начало термодинамики в общем виде: $Q = \Delta U + A$. Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа ($i = 3$): $\Delta U = (3/2)\nu R\Delta T$.

В предыдущей задаче было найдено выражение для работы через изменение температуры: $A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1) = \nu R\Delta T$.

Подставляя выражения для ΔU и A в первое начало термодинамики, получим: $Q = (3/2)\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = (5/2)\nu R\Delta T$. Для молярной теплоёмкости выражение примет вид: $c_{\mu} = (5/2)R = 2,5 \cdot 8,31 = 20,775 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

Ответ: $c_{\mu} = 20,775 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

5. Идеальная тепловая машина за один цикл совершает работу 200 Дж и отдаёт холодильнику 400 Дж. Во сколько раз температура нагревателя этой машины больше температуры холодильника.

Решение:

Дано:
 $A = 200 \text{ Дж}$
 $Q_X = 400 \text{ Дж}$
Найти:
 $T_H/T_X = ?$

Запишем общее выражение для КПД тепловой машины: $\eta = A/Q_H$. Теплоту Q_H , получаемую рабочим телом от нагревателя, можно найти из закона сохранения энергии $A = Q_H - Q_X$. Тогда выражение для КПД тепловой машины приобретает вид: $\eta = A/(A + Q_X)$. С другой стороны, КПД идеальной тепловой машины может быть найдено через

температуры нагревателя и холодильника: $\eta = 1 - T_X/T_H$. Приравняв оба выражения, выразим величину: $T_X/T_H = 1 - A/(A + Q_X) = Q_X/(A + Q_X)$. В итоге, $T_H/T_X = (A + Q_X)/Q_X = (200 + 400)/400 = 1,5$ раза.

Ответ: $T_H/T_X = 1,5$.

6. КПД плавильной печи равен 20 %. Сколько угля надо сжечь, чтобы нагреть 3 тонны чугуна от 50 °С до температуры плавления 1150 °С? Удельная теплоёмкость чугуна 600 Дж/(кг·К), удельная теплота сгорания угля 30 МДж/кг. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $\eta = 0,2$
 $m = 3 \cdot 10^3 \text{ кг}$
 $T_1 = 323 \text{ К}$
 $T_2 = 1423 \text{ К}$
 $c_{\text{уд}} = 600 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
 $q = 3 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$
Найти:
 $m_{\text{уг}} = ?$

КПД плавильной печи η определяется как отношение полезной теплоты $Q_{\text{п}}$ к затраченной Q_3 : $\eta = Q_{\text{п}}/Q_3$.

Полезная теплота это энергия, пошедшая на нагревание чугуна: $Q_{\text{п}} = c_{\text{уд}}m(T_2 - T_1)$. Затраченная теплота это энергия, выделившаяся при сгорании угля: $Q_3 = qm_{\text{уг}}$.

Подставляя эти выражения в формулу КПД, и выражая массу угля, получим: $m_{\text{уг}} = c_{\text{уд}}m(T_2 - T_1)/\eta q$. После подстановки численных значений, имеем:

$$m_{\text{уг}} = 600 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 1100 / (0,2 \cdot 3 \cdot 10^7) = 330 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_{\text{уг}} = 330 \text{ кг}$.

7. Для охлаждения 1 кг воды, взятой при температуре 34 °С, положили в воду 0,5 кг льда при 0 °С. Сколько льда растаяло к тому моменту, когда температура воды понизилась до 0 °С? Удельная теплоёмкость воды 4,2 кДж/(кг·К), удельная теплота плавления льда составляет 340 кДж/кг. Ответ дать в СИ.

Решение:

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$T_1 = 307 \text{ К}$$

$$T_2 = 273 \text{ К}$$

$$c_{\text{уд}} = 4200 \text{ Дж/(кг·К)}$$

$$\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$$

Найти:

$$\Delta m_{\text{л}} = ?$$

Теплота, выделившаяся при охлаждении воды: $Q_B = c_{\text{уд}}m(T_1 - T_2)$. Теплота, необходимая для плавления массы $\Delta m_{\text{л}}$ льда, находится по формуле: $Q_{\text{л}} = \lambda \Delta m_{\text{л}}$. Из закона сохранения энергии для изолированных систем, следует уравнение теплового баланса: $Q_B = Q_{\text{л}}$. Отсюда, выражая массу растаявшего льда, получим:

$$\Delta m_{\text{л}} = c_{\text{уд}}m(T_1 - T_2)/\lambda = 4200 \cdot 1 \cdot 34 / 3,4 \cdot 10^5 = 0,42 \text{ кг.}$$

Ответ: $\Delta m_{\text{л}} = 0,42 \text{ кг.}$

8. Некоторое количество идеального одноатомного газа участвует в процессе, в ходе которого сначала давление газа изохорически увеличили в $n = 2$ раза, а затем его объем изобарически увеличили в $k = 3$ раза. Какое количество теплоты сообщают газу в указанном процессе? Начальное давление и объем газа равны $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ и $V_0 = 100 \text{ л}$ соответственно. Ответ дать в килоджоулях.

Решение:

Дано:

$$V = \text{const}$$

$$n = p_1/p_0 = 2$$

$$p = \text{const}$$

$$k = V_1/V_0 = 3$$

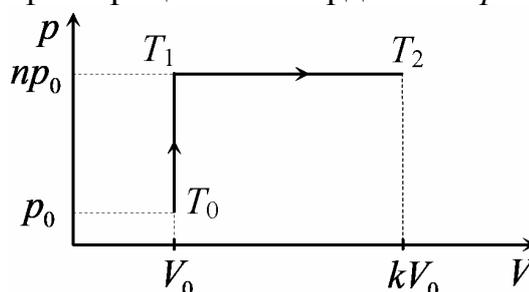
$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

$$V_0 = 0,1 \text{ м}^3$$

Найти:

$$Q = ?$$

Построим график процесса в координатах pV (см. рисунок).



Запишем первое начало термодинамики в общем виде: $Q = \Delta U + A$. Полное изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа в ходе процесса: $\Delta U = (3/2)\nu R \Delta T = (3/2)\nu R(T_2 - T_0)$, где T_0 – начальная температура газа, T_2 – температура газа в конце изобарического процесса. Работа при изохорическом процессе равна $A = 0$. Работа газа при изобарическом процессе равна $A = p_1(V_1 - V_0)$.

Для нахождения температур T_0 и T_2 запишем уравнения состояния идеального газа: $p_0V_0 = \nu RT_0$, $p_1V_1 = \nu RT_2$. Выражая отсюда температуры и подставляя их в формулу для изменения внутренней энергии, получим: $\Delta U = (3/2)(p_1V_1 - p_0V_0)$.

С учётом $p_1 = np_0$, $V_1 = kV_0$, первое начало термодинамики примет вид:

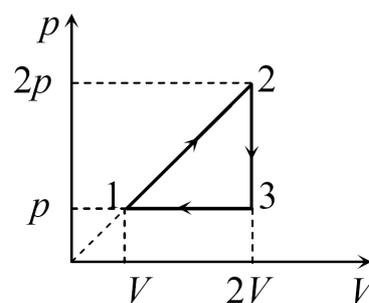
$$Q = (3/2)(p_1V_1 - p_0V_0) + p_1(V_1 - V_0) = (3/2)(nk \cdot p_0V_0 - p_0V_0) + np_0(kV_0 - V_0).$$

Окончательное выражение для искомого количества теплоты:

$$Q = p_0V_0[(5/2)nk - 3/2 - n] = 10^5 \cdot 0,1 \cdot [2,5 \cdot 6 - 1,5 - 2] = 1,15 \cdot 10^5 \text{ Дж} = 115 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q = 115 \text{ кДж.}$

9. С одноатомным идеальным газом происходит циклический процесс 1–2–3–1, график зависимости давления от объема для которого приведен на рисунке. Процесс 2–3 – изохорический, процесс 3–1 – изобарический, на участке 1–2 давление является линейной функцией объема, причем продолжение прямой 1–2 проходит через начало координат. Найти КПД этого процесса. Ответ дать в процентах.



Решение:

Дано:

$$p_1 = p_3 = p$$

$$p_2 = 2p$$

$$V_1 = V$$

$$V_2 = V_3 = 2V$$

Найти:

$$\eta = ? (\%)$$

Ответим сначала на вопрос о том, на каких участках процесса газ контактирует с нагревателем, на каких с холодильником. В процессе 1–2 газ расширяется, и, следовательно, совершает положительную работу: $A_{1-2} > 0$. В этом процессе растет его температура (это можно увидеть из применения закона Менделеева–Клапейрона к состояниям 1 и 2), и потому растет его внутренняя энергия $\Delta U_{1-2} > 0$. По этому из первого закона термодинамики заключаем, что $Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2} > 0$, и, следовательно, газ контактировал с нагревателем.

В процессе 2–3 не меняется объем газа, и значит, газ не совершает работу: $A_{2-3} = 0$. Температура газа в этом процессе уменьшается пропорционально давлению, поэтому $\Delta U_{2-3} < 0$. Следовательно, в процессе 2–3 газ отдавал тепло $Q_{2-3} = \Delta U_{2-3} < 0$, т.е. контактировал с холодильником.

В процессе 3–1 уменьшается объём газа, и значит, над газом совершается работа сторонних сил: $A_{3-1} < 0$. Температура газа в этом процессе уменьшается пропорционально объёму, поэтому $\Delta U_{3-1} < 0$. В итоге, $Q_{3-1} < 0$, и следовательно газ контактировал с холодильником.

Найдем теперь количество теплоты, полученное газом от нагревателя в течение цикла: $Q_n = Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2}$. (1)

Приращение внутренней энергии газа в процессе 1–2 найдем по закону Менделеева–Клапейрона, также как в предыдущей задаче:

$$\Delta U_{1-2} = (3/2)\nu R(T_2 - T_1) = (3/2)(p_2 V_2 - p_1 V_1) = (3/2)(2p_1 2V_1 - p_1 V_1) = (9/2)p_1 V_1,$$

где T_2 и T_1 – температуры газа в состояниях 2 и 1.

Работу газа в процессе 1–2 найдем как площадь фигуры под графиком процесса в координатах p – V . Из рисунка в условии задачи следует, что это – трапеция, поэтому $A_{1-2} = (3/2)p_1 V_1$.

В итоге, из (1) $Q_n = 6pV$. (2)

Работу газа в течение цикла найдем как площадь цикла. Поскольку цикл на графике зависимости давления от объема представляет собой прямоугольный треугольник с основанием V и высотой p , то $A = (1/2)pV$. (3)

Из формул (2) и (3) находим КПД цикла: $\eta = A/Q_n = 1/12 \approx 0,083 = 8,3 \%$.

Ответ: $\eta = 8,3 \%$.

10. Смесь, состоящую из $m_1 = 5$ кг льда и $m_2 = 15$ кг воды при общей температуре $t_1 = 0$ °С, нужно нагреть до температуры $t_2 = 60$ °С пропусканием водяного пара при $t_3 = 100$ °С. Определить необходимое количество пара m_{II} .

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 0,33$ МДж/кг. Удельная теплота парообразования воды при $100\text{ }^\circ\text{C}$ $r = 2,3$ МДж/кг. Удельная теплоёмкость воды $c_{\text{уд}} = 4200$ Дж/(кг·К). Ответ дать в единицах СИ и округлить до сотых долей.

Решение:

Дано:

$$m_1 = 5 \text{ кг}$$

$$m_2 = 15 \text{ кг}$$

$$T_1 = 273 \text{ К}$$

$$T_2 = 333 \text{ К}$$

$$T_3 = 373 \text{ К}$$

$$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$$

$$r = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$c_{\text{уд}} = 4200 \text{ Дж/(кг·К)}$$

Найти:

$$m_{\text{п}} = ?$$

Теплота, выделившаяся при конденсации пара, а затем при охлаждении получившейся из пара воды до температуры T_2 , будет равна: $Q_{\text{п}} = r m_{\text{п}} + c_{\text{уд}} m_{\text{п}} (T_3 - T_2)$.

Теплота, необходимая для плавления льда массой m_1 , а затем для нагревания получившейся из льда воды до температуры T_2 , будет равна: $Q_{\text{л}} = \lambda m_1 + c_{\text{уд}} m_1 (T_2 - T_1)$.

Теплота, необходимая для нагревания воды массой m_2 до температуры T_2 , будет равна: $Q_{\text{в}} = c_{\text{уд}} m_2 (T_2 - T_1)$.

Из закона сохранения энергии для изолированных систем, следует уравнение теплового баланса: $Q_{\text{п}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{л}}$.

$$m_{\text{п}} [r + c_{\text{уд}} (T_3 - T_2)] = m_1 \lambda + (m_1 + m_2) c_{\text{уд}} (T_2 - T_1).$$

Отсюда, выражая массу пара, получим:

$$\begin{aligned} m_{\text{п}} &= [m_1 \lambda + (m_1 + m_2) c_{\text{уд}} (T_2 - T_1)] / [r + c_{\text{уд}} (T_3 - T_2)] = \\ &= [5 \cdot 3,3 \cdot 10^5 + 20 \cdot 4200 \cdot 60] / [2,3 \cdot 10^6 + 4200 \cdot 40] = \\ &= [1,65 \cdot 10^6 + 5,04 \cdot 10^6] / 2,468 \cdot 10^6 = 6,69 / 2,468 = 2,71 \text{ кг}. \end{aligned}$$

$$\text{Ответ: } m_{\text{п}} = 2,71 \text{ кг}.$$

4.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Для нагревания газа, находящегося в закрытом сосуде, подведено 100 Дж теплоты. На сколько джоулей при этом увеличилась внутренняя энергия газа?

3.2. Водород массой 1 кг расширяется изотермически при температуре 250 К. Определить в СИ изменение внутренней энергии водорода.

3.3. При охлаждении медного паяльника массой 0,2 кг до $20\text{ }^\circ\text{C}$ выделилось 38 кДж энергии. До какой температуры был нагрет паяльник? Удельная теплоёмкость меди 0,38 кДж/(кг·град). Ответ дать в градусах Цельсия.

3.4. Какая масса кипящей воды испарится при сообщении ей 46 МДж теплоты? Удельная теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг. Ответ дать в СИ.

3.5. Слиток цинка, нагретый до температуры плавления, был расплавлен. Для плавления потребовалось 200 кДж энергии. Определить в СИ массу слитка, если удельная теплота плавления цинка равна 100 кДж/кг.

3.6. В результате конденсации водяного пара, взятого при $100\text{ }^\circ\text{C}$, выделилось 6,9 МДж энергии. Определить в СИ массу пара, если удельная теплота парообразования воды при $100\text{ }^\circ\text{C}$ равна 2,3 МДж/кг.

3.7. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа, если ему сообщили 85 Дж теплоты и при этом газ совершил работу 12 Дж.

3.8. Для нагревания кирпичной печи на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ потребовалось 3000 кДж энергии. Определить в СИ массу печи, если удельная теплоёмкость кирпича равна $0,75\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

3.9. Определить в процентах к.п.д. тепловой машины, если известно, что за один цикл была совершена работа 3 кДж и холодильнику было передано 12 кДж теплоты.

3.10. Кислород, расширяясь адиабатически, совершает работу, равную 300 Дж . На сколько джоулей при этом уменьшится внутренняя энергия кислорода?

3.11. Определить в СИ работу, которую, совершил расширяющийся газ, если известно, что ему сообщили 900 Дж теплоты, а внутренняя энергия газа при этом увеличилась на 300 Дж .

3.12. Сколько килограммов природного газа надо сжечь, чтобы при этом выделилось 220 кДж теплоты? Теплота сгорания газа $44\text{ кДж}/\text{кг}$.

3.13. Газу в цилиндре сообщили 18 Дж тепла, и он, расширяясь, совершил работу 40 Дж . Определить в СИ изменение внутренней энергии газа.

3.14. Находящийся в цилиндре с поршнем газ поместили в среду с более низкой температурой и сжали. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа, если при сжатии была совершена работа 40 Дж , а в результате теплообмена газ отдал среде 18 Дж тепла.

3.15. На сколько градусов нагреется стальная болванка массой 30 кг , если на неё упадет шеститонный молот, имеющий непосредственно перед ударом кинетическую энергию 120 кДж ? На нагревание болванки идет 60% кинетической энергии молота. Удельная теплоёмкость стали $500\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

3.16. На сколько градусов изменится температура $0,2\text{ кг}$ газа при сообщении ему 390 Дж теплоты? Удельная теплоёмкость газа в этом процессе $650\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Ответ дать в СИ.

3.17. Какую работу совершил газ при изобарическом расширении, в ходе которого он получил 112 Дж тепла, и его внутренняя энергия увеличилась на 60 Дж ? Ответ дать в СИ.

3.18. Газ получил при изохорическом процессе 300 Дж тепла и нагрелся при этом на 3 K . Определить в СИ работу, которую совершил газ.

3.19. Расширяясь изотермически, газ совершил работу 130 Дж . Объём газа увеличился при этом в 2 раза. Определить в СИ величину изменения внутренней энергии газа.

3.20. До какой температуры по Цельсию можно нагреть $0,5\text{ кг}$ воды, взятой при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, если сообщить ей 42 кДж тепла? Удельная теплоёмкость воды $4,2\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

3.21. Какую массу свинца можно нагреть на 6 градусов, затратив 390 Дж тепла? Удельная теплоёмкость свинца $130\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Ответ дать в СИ.

3.22. Теплоёмкость изделия из серебра равна $6,25\text{ Дж}/\text{K}$. Удельная теплоёмкость серебра $250\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Определить в граммах массу изделия.

3.23. Какое количество тепла необходимо для плавления 20 г олова, взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления олова равна $58,6\text{ кДж}/\text{кг}$. Ответ дать в СИ.

3.24. Определить в кДж количество тепла, выделяющегося при сгорании 10 г горючего. Теплота сгорания горючего равна 50 МДж/кг.

3.25. При изобарическом расширении объём газа увеличивается от $0,3 \text{ м}^3$ до $0,5 \text{ м}^3$. Найти в СИ работу, совершённую газом, если давление газа равно 0,5 кПа.

3.26. Для того, чтобы нагреть медную деталь на 250 К, требуется затратить количество теплоты 195 кДж. Определить в СИ массу детали. Удельная теплоёмкость меди $0,39 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Потерями тепла пренебречь.

3.27. При кристаллизации чугуна выделилось количество теплоты 1820 кДж. Определить в СИ массу чугуна. Удельная теплота плавления чугуна $1,4 \text{ кДж}/\text{кг}$.

3.28. Идеальному газу сообщается количество теплоты 180 Дж, при этом внутренняя энергия газа увеличивается на 120 Дж. Определить в СИ работу, совершаемую газом.

3.29. Масса детали из цинка равна 250 г, а удельная теплоёмкость $390 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Какое количество тепла необходимо для нагревания детали от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до температуры плавления $420 \text{ }^\circ\text{C}$? Ответ дать в кДж.

3.30. При изобарическом расширении объём идеального газа увеличивается на $0,3 \text{ м}^3$, при этом работа, совершаемая газом, равна 42 Дж. Определить в СИ давление, при котором находится газ.

3.31. При конденсации водяного пара выделилось количество теплоты 452 кДж. Определить в СИ массу сконденсировавшегося пара. Удельная теплота парообразования воды $2260 \text{ кДж}/\text{кг}$.

3.32. При изобарическом нагревании идеальному газу сообщено 600 Дж теплоты. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа, если известно, что он совершил работу 150 Дж.

3.33. К.п.д. идеальной тепловой машины равен 0,25. Найти отношение температуры холодильника к температуре нагревателя.

3.34. Тепловой двигатель получает от нагревателя за цикл количество теплоты 500 Дж и совершает работу 200 Дж. Температура нагревателя 800 К, температура холодильника 320 К. Во сколько раз к.п.д. данного теплового двигателя меньше, чем к.п.д. идеального теплового двигателя, работающего с теми же нагревателем и холодильником.

3.35. Стальному цилиндру массой 3 кг сообщается количество теплоты 138 кДж. Определить, на сколько градусов при этом возрастёт температура цилиндра. Удельная теплоёмкость стали $0,46 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

3.36. Определить в СИ внутреннюю энергию двух молей одноатомного идеального газа взятого при температуре 300 К.

3.37. Расширяясь при постоянном давлении 500 Па, газ совершил работу 800 Дж. Определить в СИ изменение объёма газа.

3.38. Кубик массой 100 г, изготовленный из меди, охладили на $5 \text{ }^\circ\text{C}$. На сколько джоулей уменьшилась внутренняя энергия кубика? Удельная теплоёмкость меди $400 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

3.39. Перед горячей штамповкой латунную болванку массой 20 кг нагрели от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $520 \text{ }^\circ\text{C}$. Какое количество теплоты для этого потребовалось? Удельная теплоёмкость латуни $400 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Ответ дать в МДж.

3.40. Определить в СИ массу кислорода, для нагревания которого на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ходе некоторого процесса потребовалось 1800 Дж . Удельная теплоёмкость кислорода в этом процессе равна $900\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

3.41. Газ занимает объём 1 м^3 . Каким станет объём, если газ, расширяясь при постоянном давлении 100 Па , совершит работу в 400 Дж ? Ответ дать в СИ.

3.42. Какую массу воды можно нагреть от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, если ей сообщить 840 кДж теплоты? Удельная теплоёмкость воды $4,2\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Ответ дать в СИ.

3.43. Тепловая машина, к.п.д. которой $0,19$, получает от нагревателя за цикл 1 кДж теплоты. Определить в СИ количество теплоты, которое передается холодильнику за цикл.

3.44. Тепловая машина, к.п.д. которой 20% , за один цикл передает холодильнику 2 кДж теплоты. Определить в СИ количество теплоты, которое получает машина за цикл от нагревателя.

3.45. Определить в процентах к.п.д. идеальной тепловой машины, если температура нагревателя $227\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура холодильника $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.46. К.п.д. идеальной тепловой машины равен $0,3$. Определить в СИ температуру холодильника, если температура нагревателя 400 К .

3.47. Газ, расширяясь при постоянном давлении 200 Па , совершил работу 960 Дж . Определить в СИ начальный объём газа, если его конечный объём 5 м^3 .

3.48. Определить в МДж количество теплоты, необходимое для плавки 2 т чугуна, доведенного до температуры плавления. Удельная теплота плавления чугуна равна $170\text{ кДж}/\text{кг}$.

3.49. К.п.д. идеальной тепловой машины равен 20% . Определить в СИ температуру нагревателя, если температура холодильника 300 К .

3.50. Газ при расширении совершил работу 44 Дж . Определить в СИ изменение внутренней энергии газа, если количество теплоты, подведённое к нему, равно 120 Дж .

3.51. При изобарическом расширении при давлении 7700 Па идеальный газ совершил 462 Дж работы. Определить в СИ изменение объёма газа.

3.52. Определить разность температур нагревателя и холодильника идеальной тепловой машины, если температура нагревателя 400 К , а максимальное значение к.п.д. равно 20% .

3.53. Над газом была совершена работа 40 Дж , и его внутренняя энергия увеличилась на 100 Дж . Определить в СИ количество тепла, подведённое к газу.

3.54. К газу было подведено 300 Дж тепла. Определить в СИ работу, совершённую над газом, если его внутренняя энергия увеличилась на 400 Дж ?

3.55. Одноатомный газ массой $0,008\text{ кг}$ был нагрет на 10 К . Определить в СИ изменение внутренней энергии газа, если его молярная масса равна $4\text{ кг}/\text{кмоль}$.

3.56. Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины равен $0,3$. Найти отношение температуры холодильника к температуре нагревателя.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Идеальная тепловая машина получает от нагревателя, температура которого 500 К, за один цикл 300 Дж теплоты. Определить в СИ работу, совершаемую за цикл, если температура холодильника равна 200 К.

4.2. Какое количество теплоты необходимо для расплавления 1 кг олова, взятого при температуре 32 °С? Удельная теплоёмкость олова 0,23 кДж/(кг·К), температура плавления 232 °С, удельная теплота плавления 59 кДж/кг. Ответ дать в кДж.

4.3. На сколько единиц СИ увеличится внутренняя энергия одного моля одноатомного газа при его нагревании на 200 К?

4.4. Газ расширился изобарически при давлении 300 кПа, увеличив свой объём в три раза и совершив при этом работу 150 кДж. Определить в СИ первоначальный объём газа.

4.5. Внутренняя энергия 2 молей идеального одноатомного газа уменьшилась на 2493 Дж. На сколько градусов Цельсия при этом изменилась температура газа?

4.6. Чтобы нагреть воздух в закрытой комнате объёмом 60 м³ на 5 К, потребовалось 387 кДж тепла. Плотность воздуха 1,29 кг/м³. Определить в СИ удельную теплоёмкость воздуха.

4.7. Газ в цилиндре с поршнем поместили в среду с более низким давлением и температурой, в результате чего газ расширился, совершив работу 40 Дж, и охладился, отдав 18 Дж тепла. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа.

4.8. Горящая спиртовка за 1 минуту выделяет 90 кДж тепла. Сколько минут нужно нагревать на ней 2 кг воды от 10 °С до кипения (100 °С), если на нагревание идёт 40% выделяемого спиртовкой тепла? Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг·К).

4.9. Лампочка, помещённая в воду, выделила 9200 Дж энергии и нагрела воду на 5 К. Какое количество энергии лампочки вышло из воды в виде лучистой энергии? Масса воды равна 200 г, удельная теплоёмкость 4200 Дж/(кг·К). Ответ дать в СИ.

4.10. При кристаллизации свинца выделилось 7500 Дж теплоты. Определить в СИ массу свинца. Удельная теплота плавления свинца 25 кДж/кг.

4.11. При остывании медной детали массой 300 г выделилось 11,7 кДж теплоты. На сколько градусов Цельсия уменьшилась при этом температура детали? Удельная теплоёмкость меди 390 Дж/(кг·К).

4.12. В процессе изобарического расширения идеального газа на 0,5 м³ при давлении 200 Па его внутренняя энергия изменилась на 150 Дж. Определить в СИ количество теплоты, полученное газом.

4.13. Идеальный тепловой двигатель имеет нагреватель с температурой 900 К. Определить в СИ температуру холодильника, если известно, что из каждой тысячи джоулей теплоты, отданной нагревателем, 400 Дж получает холодильник.

4.14. Внутренняя энергия 40 молей одноатомного идеального газа равна 498,6 кДж. Определить в СИ температуру газа.

4.15. Определить число молей одноатомного идеального газа, если известно, что при температуре 500 К его внутренняя энергия составляет 249,3 кДж.

4.16. В идеальном тепловом двигателе абсолютная температура нагревателя 1200 К, абсолютная температура холодильника в два раза меньше. Рабочее тело за цикл получает от нагревателя 57 кДж теплоты. Определить в кДж работу, совершаемую двигателем за цикл.

4.17. Какую работу совершил газ при адиабатном расширении, если в этом процессе его температура понизилась на 15 К, а внутренняя энергия уменьшилась на 322 Дж? Ответ дать в СИ.

4.18. Идеальный газ нагревается и сжимается. При этом нагреватель передаёт газу 810 Дж теплоты, а работа внешних сил по сжатию газа в 10 раз меньше увеличения внутренней энергии газа. Определить в СИ работу сжатия.

4.19. При охлаждении куска олова массой 100 г от 232 °С выделилось 4 кДж теплоты. Определить в градусах Цельсия температуру олова после охлаждения. Удельная теплоёмкость олова 200 Дж/(кг·К).

4.20. При обработке на шлифовальном станке стальной детали массой 10 кг была совершена работа 230 кДж. 40% этой работы пошло на нагревание детали. На сколько градусов Цельсия нагрелась деталь? Удельная теплоёмкость стали равна 460 Дж/(кг·К).

4.21. Рабочее тело идеальной тепловой машины получает от нагревателя с температурой 500 К за один цикл 30 Дж теплоты. Найти в СИ количество теплоты, отдаваемое телом за один цикл холодильнику с температурой 400 К.

4.22. При адиабатическом сжатии 4 киломолей одноатомного газа была совершена работа 1,8 кДж. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа.

4.23. Двигатель работает на дизельном топливе, удельная теплота сгорания которого $4,2 \cdot 10^7$ Дж/кг. Определить в СИ массу топлива, расходуемого двигателем при совершении работы $2,1 \cdot 10^8$ Дж, если к.п.д. двигателя 0,25.

4.24. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 182 °С, к.п.д. машины 40%. Определить в СИ температуру холодильника.

4.25. Газ при давлении 150 кПа занимал объём 10^{-3} м³. После изобарического нагревания газ занял объём $3 \cdot 10^{-3}$ м³, и его внутренняя энергия возросла на 200 Дж. Определить в СИ количество теплоты, полученной газом в этом процессе.

4.26. 2 г идеального одноатомного газа с молярной массой 20 г/моль нагрели изобарически от 15 °С до 35 °С. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа в этом процессе.

4.27. Внутренняя энергия некоторого одноатомного идеального газа при температуре –23 °С равна 5,5 кДж. Во сколько раз возрастёт внутренняя энергия газа, если его нагреть при постоянном объёме до 127 °С?

4.28. Внутренняя энергия некоторого одноатомного идеального газа возросла на 249,3 Дж при нагревании от 17 °С до 27 °С. Определить в молях количество газа.

4.29. Тепловоз в течение 1 ч производит работу 8 ГДж. За это время он расходует 800 кг дизельного топлива, удельная теплота сгорания которого $4 \cdot 10^7$ Дж/кг. Определить в процентах к.п.д. двигателя тепловоза.

4.30. Газ, расширяясь при постоянном давлении, совершил работу 100 Дж, и его объём изменился от 2 л до 7 л. Найти в кПа величину давления, при котором происходило расширение газа.

4.31. Кислород, нагреваемый при постоянном давлении 300 кПа, совершает работу 1200 Дж. Найти в СИ конечный объём кислорода, если его первоначальный объём равен 5 л.

4.32. Водяной пар, температура которого 100°C , конденсируется, и образовавшаяся из него вода остывает до 0°C . Какое количество теплоты выделяется при этом? Масса пара 1,5 кг. Удельная теплота парообразования равна 2260 кДж/кг, а удельная теплоёмкость воды $4,2$ кДж/(кг·К). Ответ дать в кДж.

4.33. В идеальном тепловом двигателе абсолютная температура нагревателя в 4 раза выше абсолютной температуры холодильника. Нагреватель передал рабочему телу двигателя 40 кДж теплоты. Найти в кДж работу, совершённую двигателем.

4.34. Температура нагревателя идеальной тепловой машины равна 450 К, а температура холодильника 360 К. Рабочее тело тепловой машины отдаёт за цикл холодильнику 100 Дж тепла. Какое количество тепла получает рабочее тело от нагревателя? Ответ дать в СИ.

4.35. Объём газа, расширяющегося при постоянном давлении 10^4 Па, увеличивается от $0,3$ м³ до $0,5$ м³, а его внутренняя энергия изменяется на 5000 Дж. Найти в СИ количество тепла, которое получает газ в этом процессе.

4.36. При адиабатическом расширении газ совершил работу 120 Дж. Найти в СИ изменение внутренней энергии газа.

4.37. Максимальная температура газа в двигателе внутреннего сгорания 727°C , максимальная температура пара в паровой машине 327°C . Во сколько раз максимально возможный к.п.д. двигателя больше максимального к.п.д. паровой машины, если температуры отработанных газов и пара одинаковы и равны 127°C ?

4.38. Максимальный к.п.д. идеальной тепловой машины равен 25%. Найти в градусах Цельсия температуру холодильника, если температура нагревателя равна 227°C .

4.39. Идеальная тепловая машина за один цикл совершает работу 200 Дж и отдаёт холодильнику 400 Дж. Во сколько раз температура нагревателя этой машины больше температуры холодильника?

4.40. Рабочее тело идеальной тепловой машины за один цикл получает от нагревателя 600 Дж энергии, из них 400 Дж отдаётся холодильнику, температура которого 300 К. Найти в СИ температуру нагревателя.

Задачи 5 класса трудности

5.1. С какой наименьшей скоростью должна лететь льдинка с температурой 0°C , чтобы при ударе она расплавилась? Считать, что вся кинетическая

энергия льдинки расходуется только на её плавление. Удельную теплоту плавления льда принять равной $3,2 \cdot 10^5$ Дж/кг. Ответ дать в СИ.

5.2. Для охлаждения 1 кг воды, взятой при температуре 34°C , в неё положили 0,5 кг льда при 0°C . Сколько льда растаяло к тому моменту, когда температура воды понизилась до 0°C ? Удельная теплоёмкость воды $4,2$ кДж/(кг·К), удельная теплота плавления льда 340 кДж/кг. Ответ дать в кг.

5.3. Определить в СИ массу водяного пара, который при температуре 100°C нужно ввести в сосуд с водой, чтобы нагреть воду от 0 до 100°C . Масса воды $2,3$ кг. Потери теплоты на нагревание сосуда не учитывать. Удельная теплоёмкость воды $4,2$ кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования 2300 кДж/кг.

5.4. При изобарическом нагревании кислорода, находящегося в цилиндре с поршнем, его объём увеличился на $0,1$ м³. Определить в СИ приращение внутренней энергии кислорода, если ему сообщено 690 Дж теплоты. Давление кислорода внутри цилиндра равно 900 Па.

5.5. Определить в СИ массу воды, которая должна пройти через радиаторы отопления, охлаждаясь на 13 К, для нагревания $175,5$ кг воздуха в закрытой комнате от 10°C до 20°C . Удельная теплоёмкость воды $4,5$ кДж/(кг·К), удельная теплоёмкость воздуха 1000 Дж/(кг·К). Потери тепла через пол, стены и окна составляют 40% .

5.6. В чайник со свистком налили $0,81$ кг воды с температурой 20°C и поставили на электрическую плитку мощностью 900 Вт. Через 7 минут раздался свисток. Определить в процентах к.п.д. плитки. Удельная теплоёмкость воды $4,2$ кДж/(кг·К).

5.7. 1 моль газа изобарически нагревают на 250 К. При этом газ, расширяясь, совершает работу 4685 Дж. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа. Молярная теплоёмкость газа в изобарическом процессе равна $22,8$ Дж/(К·моль).

5.8. Найти в СИ работу, совершённую 1 киломолем идеального газа при его изобарическом нагреве на 5 К.

5.9. Газ расширился от объёма 3 л до объёма 5 л при постоянном давлении 200 кПа. Найти в СИ количество тепла, подведённого к газу, если его внутренняя энергия изменилась при этом на 600 Дж.

5.10. Идеальный газ массой $0,4$ кг нагревают на 20 К при постоянном объёме. Какое количество теплоты сообщают при этом газу? Молярная масса газа 40 кг/кмоль. Ответ дать в СИ.

5.11. В сосуде находится 1 кг воды при температуре 70°C . Определить в СИ массу воды с температурой 10°C , которую нужно добавить в сосуд, чтобы температура смеси в тепловом равновесии стала равной 50°C . Теплоёмкость сосуда не учитывать.

5.12. При изобарическом расширении 1 моля гелия совершена работа $332,4$ Дж, при этом температура газа увеличилась на 40 К. Какое количество теплоты сообщено газу? Ответ дать в СИ.

5.13. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания при работе образуются газы, температура которых $T_1 = 727^\circ\text{C}$. Температура отработанного газа

$T_2 = 127\text{ }^\circ\text{C}$. Двигатель расходует за 2 с 400 кДж тепла. Считая двигатель идеальной тепловой машиной, определить в кВт его полезную мощность.

5.14. Температура налитой в сосуд воды возрастает на $10\text{ }^\circ\text{C}$ при подведении 167,6 кДж теплоты. Определить в кДж количество теплоты, необходимое для испарения этой воды, взятой при температуре кипения. Удельная теплоёмкость воды 4,19 кДж/(кг·К). Удельная теплота парообразования 2260 кДж/кг.

5.15. Определить в СИ массу льда с температурой $0\text{ }^\circ\text{C}$, который можно расплавить, подведя к нему количество теплоты, необходимое для нагрева 2 кг воды на $66\text{ }^\circ\text{C}$. Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг, удельная теплоёмкость воды 4,19 кДж/(кг·К).

5.16. Смешали 0,4 кг воды при $50\text{ }^\circ\text{C}$ и 0,1 кг воды при $80\text{ }^\circ\text{C}$. Определить в градусах Цельсия температуру смеси при тепловом равновесии.

5.17. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой рабочим телом от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определить в СИ температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.

5.18. Летевшая со скоростью 200 м/с свинцовая пуля попала в земляной вал и застряла в нём. На сколько градусов Цельсия нагрелась пуля, если 65% кинетической энергии пули перешло в её внутреннюю энергию? Удельная теплоёмкость свинца 130 Дж/(кг·К).

5.19. Газ массой 32 г нагревается при постоянном объёме от температуры 200 К. При этом ему сообщается 6,4 кДж теплоты, и давление увеличивается вдвое. Определить в СИ удельную теплоёмкость газа в этом процессе.

5.20. Газу сообщили 650 Дж теплоты. При этом газ расширился изобарически от 6 м^3 до 8 м^3 , и его внутренняя энергия увеличилась на 450 Дж. Найти в СИ давление, при котором происходило расширение газа.

5.21. Некоторый газ занимает объём 2 л при температуре $17\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 200 кПа. Какую работу совершит газ при изобарическом нагревании до температуры $75\text{ }^\circ\text{C}$? Ответ дать в СИ.

5.22. Идеальный газ массой 20 г находится в плотно закрытом сосуде при температуре $-73\text{ }^\circ\text{C}$. Газ нагревают, при этом давление возрастает в 3 раза. Найти в СИ количество теплоты, сообщенное газу. Удельная теплоёмкость газа при постоянном объёме равна 650 Дж/(кг·К).

5.23. Идеальный газ массой 5 г находится при температуре 300 К. Найти в СИ количество теплоты, которое необходимо сообщить газу при постоянном давлении, чтобы его объём увеличился вдвое. Удельная теплоёмкость газа при постоянном давлении равна 1000 Дж/(кг·К).

5.24. Кислород массой 320 г нагревают при постоянном давлении на 20 К. Какую работу совершает газ в данном процессе? Ответ дать в СИ.

5.25. Одноатомный газ массой 40 г нагрели на 20 К, при этом газ совершил работу 210,4 Дж. Какое количество тепла было сообщено газу в этом процессе? Молярная масса газа 20 г/моль. Ответ дать в СИ.

5.26. Необходимо получить 0,5 кг воды при $0\text{ }^\circ\text{C}$, охлаждая стоградусный водяной пар. Какое количество теплоты выделится при этом? Удельная теплота

парообразования 2,3 МДж/кг, удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг·К). Ответ дать в МДж.

5.27. Один моль газа участвует в циклическом процессе, состоящем из двух изохор и двух изобар. Крайние значения давления и объема равны 100 кПа, 300 кПа, 2 л и 5 л, соответственно. Определить в СИ работу, совершенную газом за цикл.

5.28. Рабочее тело идеальной тепловой машины получает от нагревателя за 1 секунду 60 кДж энергии. Температура нагревателя 400 К, температура холодильника 300 К. Определить кВт мощность тепловой машины.

5.29. Относительная влажность воздуха в комнате объёмом 50 м³ равна 80%. Плотность насыщенного пара при этих условиях 0,1 кг/м³. Определить в СИ абсолютную влажность в этой комнате, если дополнительно испарить 100 г воды.

5.30. Диаметр трубки ртутного барометра 3 мм. Какую поправку в показания барометра нужно внести, если учесть капиллярное опускание ртути? Плотность ртути 13,6 т/м³, коэффициент поверхностного натяжения 0,459 Н/м. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с². Ответ дать в мм.

5.31. Какое количество теплоты потребуется, чтобы испарить 0,5 кг воды, взятой при 20 °С? Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования 2260 кДж/кг. Ответ дать в кДж .

5.32. При выстреле из пушки сгорает 200 кг пороха. Масса снаряда 50 кг, а скорость его в момент вылета из ствола 800 м/с. Определить в процентах к.п.д. пушки, если теплота сгорания пороха 3,2 МДж/кг.

5.33. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой рабочим телом от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определить в СИ температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.

5.34. Какое минимальное количество тепла нужно сообщить 2 кг льда, взятого при температуре –10 °С, чтобы лёд расплавить? Удельная теплоёмкость льда 2,1 кДж/(кг·К), а удельная теплота плавления 330 кДж/кг. Ответ дать в кДж.

5.35. Сколько энергии потребуется затратить, чтобы расплавить 2 кг свинца, взятого при 27 °С? Температура плавления свинца 327 °С, удельная теплоёмкость 130 Дж/(кг·К), удельная теплота плавления 22,5 кДж/кг. Ответ дать в кДж.

5.36. В сосуд налито 5 кг воды при температуре 9 °С. Определить в СИ массу воды при 100 °С, которую нужно долить в сосуд, чтобы получить тёплую воду с температурой 30 °С? Теплоёмкостью сосуда пренебречь.

5.37. Идеальный одноатомный газ находится в закрытом сосуде под давлением 10⁴ Па. Внутренняя энергия газа 150 Дж. Найти в СИ объём, занимаемый газом.

5.38. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 227 °С. Определить в градусах Цельсия температуру холодильника, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу 300 Дж.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Идеальная тепловая машина совершает за цикл работу, равную половине тепла, отдаваемого холодильнику. Во сколько раз температура нагревателя превышает температуру холодильника?

6.2. Идеальному одноатомному газу массой 0,4 кг при изохорическом процессе сообщается количество теплоты 2493 Дж. На сколько градусов Цельсия увеличится при этом температура газа? Молярная масса газа 0,04 кг/моль.

6.3. Одноатомный газ изотермически расширяется при температуре 200 К, затем изохорически нагревается до 300 К. Во всём этом процессе газ получает 5 кДж теплоты и совершает работу A . Масса газа 80 г, молярная масса 40 г/моль. Определить в СИ величину A .

6.4. В цилиндре под поршнем находится 1,4 кг азота при температуре 20 °С. Поршень может перемещаться без трения. При изобарическом нагревании газ совершает работу 16,62 кДж. До какой температуры нагрели газ? Ответ дать в СИ.

6.5. 2 киломоля одноатомного газа находятся в плотно закрытом сосуде при температуре 30 °С. Газ нагревают до температуры 50 °С. Какое количество теплоты получает при этом газ? Ответ дать в кДж.

6.6. При адиабатическом расширении 2 киломолей одноатомного газа его температура понизилась на 100 °С. Определить в кДж работу, совершённую газом.

6.7. Мощность двигателя внутреннего сгорания 8 кВт, к.п.д. двигателя 20%. За сколько часов работы двигателя будет израсходовано 6 кг горючего? Удельная теплота сгорания топлива $4,32 \cdot 10^7$ Дж/кг.

6.8. В калориметре, теплоёмкость которого 25 Дж/К, находится 0,25 кг масла при температуре 10 °С. В масло опустили медный шарик массой 0,05 кг, нагретый до 114 °С, после чего в калориметре установилась температура 14 °С. Удельная теплоёмкость меди 380 Дж/(кг·К). Определить в СИ удельную теплоёмкость масла.

6.9. Идеальная тепловая машина за один цикл совершает работу 800 кДж и отдаёт холодильнику 400 кДж теплоты. Во сколько раз в этой тепловой машине абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника?

6.10. Рабочее тело идеальной тепловой машины получает от нагревателя за один цикл 600 Дж теплоты. Холодильнику, температура которого 0 °С, передаётся 60% этой теплоты. Определить в СИ температуру нагревателя.

6.11. К.п.д. плавильной печи равен 20%. Определить в СИ массу угля, который надо сжечь, чтобы нагреть 3 тонны чугуна от 50 °С до температуры плавления 1150 °С? Удельная теплоёмкость чугуна 600 Дж/(кг·К), удельная теплота сгорания угля $3 \cdot 10^7$ Дж/кг.

6.12. Мощность двигателя автомобиля 69 кВт. Найти ежесекундный расход бензина, если к.п.д. двигателя 25%. Удельная теплота сгорания бензина 46 МДж/кг. Ответ дать в граммах.

6.13. После опускания в воду с температурой 10 °С, тела, нагретого до 100 °С, температура воды поднялась до 40 °С. Какой станет температура воды, если, не вынимая первого тела, опустить в неё ещё одно такое же тело, нагретое до 100 °С? Ответ дать в градусах Цельсия.

6.14. Сколько килограммов алюминия, взятого при температуре 305 К, можно нагреть до температуры 932 °С в печи с к.п.д. 24%, если сжечь 24 кг

нефти? Удельная теплоёмкость алюминия $900 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, теплота сгорания нефти $45 \text{ МДж}/\text{кг}$.

Задачи 7 класса трудности

7.1. В полярных условиях пресную воду получают из снега. Сколько килограммов каменного угля (теплота сгорания $2 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$) надо израсходовать, чтобы из 100 кг снега с температурой $-40 \text{ }^\circ\text{C}$, получить воду с температурой $0 \text{ }^\circ\text{C}$? Удельная теплоёмкость снега равна $2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота плавления $320 \text{ кДж}/\text{кг}$.

7.2. При изобарическом нагревании $1,6 \text{ кг}$ кислорода газу сообщили $290,85 \text{ кДж}$ теплоты, и его внутренняя энергия возросла на $207,75 \text{ кДж}$. На сколько градусов Цельсия нагрели газ?

7.3. 2 киломоля идеального одноатомного газа нагрели на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном давлении. Определить в кДж количество тепла, сообщённое газу.

7.4. Определить в СИ молярную теплоёмкость одноатомного идеального газа при изобарическом процессе.

7.5. В сосуде находится 1 киломоль одноатомного газа при температуре $33 \text{ }^\circ\text{C}$. При адиабатическом сжатии газа была совершена работа $174,51 \text{ кДж}$. Определить в СИ температуру газа в конце сжатия.

7.6. 2 л воды с начальной температурой $20 \text{ }^\circ\text{C}$ превратили в пар, нагревая её на газовой горелке и израсходовав 200 л газа. Определить в процентах к.п.д. горелки. Удельная теплота сгорания газа $40 \text{ МДж}/\text{м}^3$. Удельная теплоёмкость воды $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота парообразования $2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$.

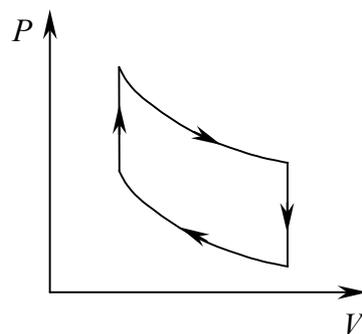
7.7. Сколько тонн стали, взятой при $0 \text{ }^\circ\text{C}$, можно расплавить в печи, к.п.д. которой 50% , если сжечь 2 т каменного угля? Удельная теплота сгорания каменного угля $30 \text{ МДж}/\text{кг}$. Температура плавления стали $1400 \text{ }^\circ\text{C}$, удельная теплоёмкость $0,48 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота плавления $78 \text{ кДж}/\text{кг}$.

7.8. В сосуде с теплоёмкостью $33 \text{ кДж}/\text{К}$, нагревают воду на спиртовой горелке. Удельная теплота сгорания спирта $27 \text{ МДж}/\text{кг}$, удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Определить в СИ массу воды в сосуде, если повышение её температуры на 10 К требует сжигания $0,02 \text{ кг}$ спирта. Потерями тепла в окружающую среду пренебречь.

7.9. Температура нагревателя идеальной тепловой машины $377 \text{ }^\circ\text{C}$, температура холодильника $52 \text{ }^\circ\text{C}$. Машина совершает за один цикл работу 800 кДж . Определить в кДж количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику.

7.10. В закрытом сосуде находится воздух при температуре $87 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности 40% . Парциальное давление водяного пара $1,662 \text{ кПа}$. Определить в СИ абсолютную влажность насыщенного пара при данной температуре.

7.11. Один моль одноатомного идеального газа участвует в циклическом процессе, состоящем из двух изохор и двух адиабат. Изменение температуры на участке расширения составляет 50 К , а на участке



сжатия 30 К. Определить в СИ работу, совершаемую газом за цикл.

7.12. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под невесомым поршнем находится одноатомный газ при нормальных условиях. Объём газа $0,1 \text{ м}^3$. При сообщении газу 5000 Дж теплоты газ расширился. Определить в СИ объём газа после расширения.

7.13. Идеальная тепловая машина использует в качестве нагревателя воду океана с температурой $27 \text{ }^\circ\text{C}$, а в качестве холодильника – глыбу льда массой 273 кг с температурой $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить в кДж работу, которую совершит машина к моменту, когда весь лёд растает. Удельная теплота плавления льда 335 кДж/кг .

7.14. В некотором процессе идеальный газ расширяется от 2 л до 5 л по закону $p = \alpha V$, где p – давление, $\alpha = 5 \cdot 10^7 \text{ Па/м}^3$. Затем газ изохорно остывает до первоначального давления. Во всём процессе газу сообщено 1000 Дж теплоты. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа.

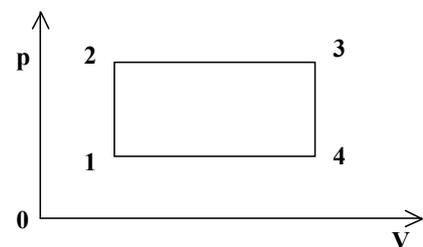
7.15. Идеальная тепловая машина получает за цикл тепло, полученное от сгорания 0,01 г бензина. Холодильнику за цикл передается 280 Дж. Определить в СИ температуру холодильника, если температура, достигаемая при сгорании бензина, составляет 1050 К. Удельная теплота сгорания бензина 42 МДж/кг .

7.16. В теплоизолированный сосуд, содержащий 2 кг воды при температуре $10 \text{ }^\circ\text{C}$, поместили 2,5 кг льда с температурой $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить в СИ массу льда в сосуде после установления равновесия. Удельные теплоёмкости воды и льда равны соответственно $4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ и $2,1 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, удельная теплота плавления льда равна 300 кДж/кг .

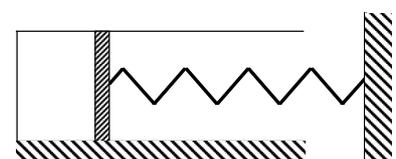
7.17. Тигель с оловом нагревается электрическим током. Количество теплоты, ежесекундно подводимой к тиглю, постоянно. За 10 минут олово нагрелось от $30 \text{ }^\circ\text{C}$ до $80 \text{ }^\circ\text{C}$, а спустя ещё 83 минуты полностью расплавилось. Найти в СИ удельную теплоту плавления олова. Удельная теплоёмкость олова равна $0,22 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, температура плавления $230 \text{ }^\circ\text{C}$.

7.18. Один моль одноатомного идеального газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух адиабат. В каждой адиабатической стадии давление изменяется в два раза, а объём – в 1,5 раза, в процессе изохорного нагрева температура газа увеличивается от 300 К до 380 К. Определить в СИ полную работу газа за цикл.

7.19. Один моль идеального газа участвует в циклическом процессе, график которого состоит из двух изохор и двух изобар. Температура в точках 2 и 4 равна 350 К, а в точке 1 равна 250 К. Определить в СИ полную работу газа за цикл.



7.20. Газ в нормальных условиях занимает объём 1 литр в закрепленном цилиндрическом сосуде под поршнем площадью $0,01 \text{ м}^2$. Недеформированная пружина жесткостью 10 кН/м размещена между



поршнем и стеной. Газ нагревают, в результате чего его объем увеличивается в 2 раза. Определить в СИ работу, совершенную газом.

Задачи 8 класса трудности

8.1. В некотором процессе идеальный одноатомный газ расширяется по закону $p = \alpha V$, где p – давление, V – объем, $\alpha = 5 \cdot 10^7$ Па/м³. Определить в СИ количество тепла, подведенного к газу при изменении его объема от 2 до 5 литров.

ТЕМА 5. СИЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

5.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Электрический заряд q – это величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия заряженных частиц. Единица измерения электрического заряда – кулон: $[q] = 1 \text{ Кл}$.

Элементарный электрический заряд e – это минимальный заряд, которому кратны все электрические заряды тел (см. приложение 1). Электрический заряд существует в двух видах: как положительный, так и отрицательный.носителем элементарного отрицательного заряда является электрон, носителем положительного элементарного заряда – протон.

Закон сохранения электрического заряда: В любой электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов есть величина постоянная:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N = \text{const.} \quad (5.1)$$

Поверхностная плотность электрического заряда σ – это величина, равная отношению заряда q , находящегося на некоторой поверхности, к площади S этой поверхности:

$$\sigma = q/S. \quad (5.2)$$

Единица измерения поверхностной плотности заряда $[\sigma] = 1 \text{ Кл/м}^2$.

Закон Кулона определяет силу взаимодействия между двумя точечными электрическими зарядами. **Закон Кулона:** Модуль силы взаимодействия F_{12} между точечными зарядами q_1 и q_2 , находящимися в вакууме на расстоянии r друг от друга, прямо пропорционален модулю произведения этих зарядов, и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

$$F_{12} = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}, \quad (5.3)$$

где k – коэффициент пропорциональности в законе Кулона. В системе СИ $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$. Вектор силы взаимодействия F_{12} направлен вдоль прямой, соединяющей заряды. Между одноимёнными зарядами действует кулоновская сила отталкивания, между разноимёнными – сила притяжения. Выражение (5.3) применимо также и для определения силы электрического взаимодействия заряженных шаров, где под r следует понимать расстояние между центрами этих шаров.

Диэлектрическая среда – вещество, плохо проводящее электрический ток и уменьшающее силу взаимодействия между электрическими зарядами. **Диэлектрическая проницаемость** среды ε показывает, во сколько раз кулоновская сила F'_{12} в этой среде меньше, чем сила F_{12} в вакууме:

$$F'_{12} = \frac{F_{12}}{\varepsilon} = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{\varepsilon \cdot r^2}, \quad (\varepsilon \geq 1). \quad (5.4)$$

Принцип суперпозиции кулоновских сил: Результирующая сила F , действующая на выделенный заряд q со стороны других зарядов, равна векторной (геометрической) сумме сил, действующих на него со стороны каждого из зарядов в отдельности:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N. \quad (5.5)$$

5.2. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Любой неподвижный электрический заряд создаёт в окружающем пространстве *электростатическое поле*.

Напряжённостью \vec{E} электрического поля называется векторная величина, определяемая отношением силы, действующей на неподвижный точечный положительный заряд q , помещённый в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \vec{F}/q. \quad (5.6)$$

Направление вектора напряжённости совпадает с направлением силы, действующей со стороны электрического поля на положительный заряд. Единица измерения напряжённости $[E] = 1 \text{ Н/Кл} = 1 \text{ В/м}$.

Примеры расчета напряжённости полей заряженных тел.

1. Напряжённость электрического поля, создаваемого точечным положительным зарядом q в среде с диэлектрической проницаемостью ε в точке, находящейся на расстоянии r от заряда:

$$E = \frac{kq}{\varepsilon \cdot r^2}. \quad (5.7)$$

2. Напряжённость электрического поля, создаваемого сферой радиуса R , несущей положительный заряд q в среде с диэлектрической проницаемостью ε в точке, находящейся на расстоянии r от центра сферы:

$$E = 0, (r < R),$$
$$E = \frac{kq}{\varepsilon \cdot r^2}, (r > R). \quad (5.8)$$

3. Напряжённость электрического поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда σ в среде с диэлектрической проницаемостью ε :

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (5.9)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная.

Принцип суперпозиции электрических полей: Если электрическое поле создано несколькими точечными зарядами или заряженными телами, то напряжённость \vec{E} поля в данной точке равна векторной сумме напряжённостей полей, создаваемых в этой точке каждым зарядом (телом) в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N. \quad (5.10)$$

Графическая картина электростатического поля представляется в виде силовых линий (см. рис. 5.1.). **Силовые линии (линии напряжённости)** – это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора напряжённости электрического поля в этой точке. Густота силовых линий пропорциональна величине напряжённости. *Силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.*

Однородное электрическое поле – это поле, вектор напряжённости которого в любой точке пространства имеет одно и тоже направление, и величину по модулю.

Графические картины электростатических полей для некоторых заряженных тел.

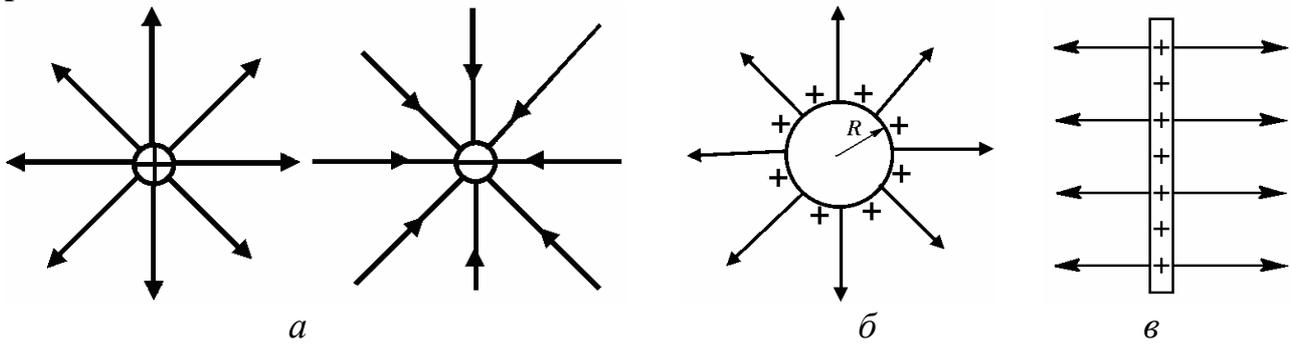


Рисунок 5.1 – Графические картины электростатических полей: а) точечных зарядов (неоднородное поле); б) положительно заряженной сферы радиуса R (неоднородное поле); в) положительно заряженной бесконечной плоскости (однородное поле).

5.3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Определить силу притяжения между ядром и электроном в атоме водорода. Диаметр атома водорода принять равным 10^{-8} см. Ответ дать в наноньютонах.

Решение:

Дано:

$$q_1 = q_2 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$r = d/2 = 5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

Найти:

$$F = ? \text{ (нН)}$$

Атом водорода представляет собой положительно заряженное ядро и вращающийся вокруг него по круговой орбите радиуса r электрон. И ядро и электрон являются точечными зарядами противоположного знака (ядро имеет такой же по модулю заряд, что и у электрона). Запишем закон

Кулона: $F = kq_1q_2/r^2 = kq^2/r^2$. Подставим численные значения:

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 / (5 \cdot 10^{-11})^2 = 9,216 \cdot 10^{-8} \text{ Н} = 92,16 \text{ нН}.$$

Ответ: $F = 92,16 \text{ нН}$.

2. Два одинаковых шарика с зарядами 2 нКл и 8 нКл находились на расстоянии 2 м друг от друга в вакууме. После приведения шариков в соприкосновение их развели на расстояние, при котором сила взаимодействия зарядов осталась прежней. На какое расстояние развели заряды? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$q_A = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_B = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$r_1 = 2 \text{ м}$$

$$F_1 = F_2$$

Найти:

$$r_2 = ?$$

Два заряженных шарика представляют собой электрически замкнутую систему, суммарный заряд которой сохраняется: $q_A + q_B = \text{const}$. Поскольку шарики одинаковы, то после их соприкосновения заряды шариков станут одинаковыми. Из закона сохранения заряда $q_A + q_B = 2q$ следует, что заряд каждого шарика будет равен: $q = (q_A + q_B)/2$.

Запишем закон Кулона для двух случаев:

$$1) \text{ до соприкосновения } F_1 = kq_Aq_B/r_1^2,$$

$$2) \text{ после соприкосновения } F_2 = kq^2/r_2^2.$$

Приравняв выражения для F_1 и F_2 , и выражая искомую величину r_2 , получим: $r_2 = r_1 \cdot (q_A + q_B) / 2(q_Aq_B)^{1/2} = 2 \cdot 10 \cdot 10^{-9} / (2 \cdot 4 \cdot 10^{-9}) = 2,5 \text{ м}$.

Ответ: $r_2 = 2,5$ м.

3. Два одинаковых шара имеют положительные заряды 33,35 пКл и 20 пКл и расположены в воздухе на расстоянии, значительно превышающем их радиусы. Определить массы шаров, если известно, что сила всемирного тяготения, действующая между шарами, уравнивается кулоновской силой отталкивания. Гравитационная постоянная равна $6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²·кг⁻². Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$q_1 = 3,335 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 2 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$$

$$F_k = F_{гр}$$

Найти:

$$m = ?$$

Поскольку шарики одинаковы, то их массы равны. Запишем выражение для силы гравитационного взаимодействия: $F_{гр} = Gm^2/r^2$. Запишем закон Кулона: $F_k = kq_1q_2/r^2$, где в обоих случаях r – расстояние между шарами.

Приравнивая выражения для $F_{гр}$ и F_k , и выражая искомую величину m , получим: $m = (kq_1q_2/G)^{1/2}$.

Подставляя численные значения, получим:

$$m = (9 \cdot 10^9 \cdot 6,67 \cdot 10^{-22} / 6,67 \cdot 10^{-11})^{1/2} = 0,3 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 0,3$ кг.

4. Между горизонтальными пластинами плоского конденсатора неподвижно висит заряженная пылинка массой 10 мг. Чему равен заряд пылинки, если напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора равна 2 кВ/м? Ответ дать в нанокюлонах.

Решение:

Дано:

$$m = 10^{-5} \text{ кг}$$

$$E = 2 \cdot 10^3 \text{ В/м}$$

Найти:

$$q = ? \text{ (нКл)}$$

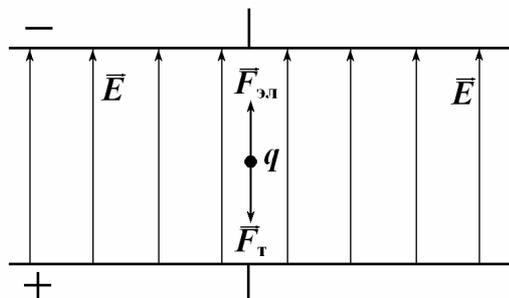


Рисунок 5.2 – Пылинка в поле конденсатора

На заряженную пылинку действуют две силы – сила тяжести $F_г$ и сила со стороны электрического поля конденсатора $F_{эл}$. Так как пылинка висит неподвижно, то эти силы равны по величине и направлены в противоположные стороны (см. рис. 5.2). Запишем выражение для силы тяжести: $F_г = mg$. Запишем выражение для силы, действующей на точечный заряд со стороны электрического поля: $F_{эл} = qE$.

Приравнивая выражения для $F_г$ и $F_{эл}$, и выражая искомую величину q , получим: $q = mg/E$. Подставляя численные значения, получим:

$$q = 10^{-5} \cdot 9,8 / 2 \cdot 10^3 = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Кл} = 49 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 49 \text{ нКл.}$$

Ответ: $q = 49$ нКл.

5. Определить силу, с которой одна пластина плоского воздушного конденсатора действует на другую. Конденсатор обладает зарядом 177 нКл, площадь пластины 100 см². Ответ дать в миллиньютонах.

Решение:

Дано:

$$q = 1,77 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$S = 0,01 \text{ м}^2$$

Найти:

$$F = ? \text{ (мН)}$$

Силу F , действующую на заряд q , распределённый по одной пластине конденсатора, со стороны электрического поля напряжённостью E , создаваемого второй пластиной конденсатора, можно найти по формуле $F = qE$.

Воспользуемся формулой (5.9) для напряженности электрического поля заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда σ , находящейся в воздухе (вакууме): $E = \sigma/2\epsilon_0$. По определению, поверхностная плотность заряда $\sigma = q/S$ (заряды на обеих пластинах конденсатора одинаковы по величине). Тогда, напряженность равна $E = q/2\epsilon_0 S$. В итоге, выражение для искомой силы можно записать в виде:

$$F = q^2/2\epsilon_0 S = (1,77 \cdot 10^{-7})^2 / (2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01) = 0,177 \text{ Н} = 177 \text{ мН.}$$

Ответ: $F = 177 \text{ мН.}$

6. Два одинаковых металлических шарика диаметрами 5 мм каждый находятся в масле на расстоянии 31,4 см между их центрами. Определить, с какой поверхностной плотностью заряжены шарики, если они взаимодействуют с силой 2,1 мН. Диэлектрическая проницаемость масла равна 2,1. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$d = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$R = 0,314 \text{ м}$$

$$F = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

$$\epsilon = 2,1$$

Найти:

$$\sigma = ?$$

При данных условиях задачи ($d \ll R$, $q_1 = q_2 = q$), силу взаимодействия между шариками можно найти по закону Кулона: $F = kq^2/\epsilon R^2$.

По определению, поверхностная плотность заряда $\sigma = q/S$, где S – площадь поверхности каждого шарика ($S = 4\pi r^2 = \pi d^2$).

Из закона Кулона выразим заряд шарика и подставим в формулу для поверхностной плотности заряда: $\sigma = R(\epsilon F)^{1/2} / (k^{1/2} \pi d^2)$. Подставляя численные значения, получим: $\sigma = 0,314 \cdot (2,1 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3})^{1/2} / [(9 \cdot 10^9)^{1/2} \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-6}] = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Кл/м}^2$.

Ответ: $F = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Кл/м}^2$.

7. Два положительных заряда 0,4 нКл и 0,1 нКл закреплены на концах тонкого диэлектрического стержня длиной 9 см. По стержню может скользить без трения заряженный шарик. Найти положение равновесия подвижного шарика относительно большего заряда. Ответ дать в сантиметрах.

Дано:

$$q_1 = 4 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 1 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$$

$$l = 0,09 \text{ м}$$

Найти:

$$x = ? \text{ (см)}$$

Решение:

Силу F , действующая на заряд q со стороны электрического поля напряжённостью E , можно найти по формуле $F = qE$. Условие равновесия подвижного шарика – равенство нулю равнодействующей всех сил. Для этого достаточно, чтобы в положении равновесия напряжённость электрического поля создаваемого двумя зарядами была

равна нулю ($E = 0$). Векторы напряженности полей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 , создаваемых в точке равновесия зарядами q_1 и q_2 соответственно, направлены вдоль стержня в противоположные стороны и равны по модулю ($E_1 = E_2$). Запишем выражения для нахождения векторов напряженности полей, создаваемых q_1 и q_2 : $E_1 = kq_1/r_1^2$ и $E_2 = kq_2/r_2^2$. Учтём, что $r_1 = x$, а $r_2 = l - x$.

В результате, получим: $kq_1/x^2 = kq_2/(l - x)^2$, $x(q_2^{1/2} + q_1^{1/2}) = q_1^{1/2}l$.

Окончательно, $x = q_1^{1/2}l/(q_2^{1/2} + q_1^{1/2}) = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,09/3 \cdot 10^{-5} = 0,06$ м = 6 см.

Ответ: $x = 6$ см.

8. В двух вершинах прямоугольного треугольника находятся точечные заряды 8 нКл и 24 нКл. Найти напряжённость электрического поля в вершине прямого угла треугольника, если меньший заряд находится от вершины на расстоянии 0,3 м, а больший – на расстоянии 0,6 м. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$q_1 = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 24 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$r_1 = 0,3 \text{ м}$$

$$r_2 = 0,6 \text{ м}$$

Найти:

$$E = ?$$

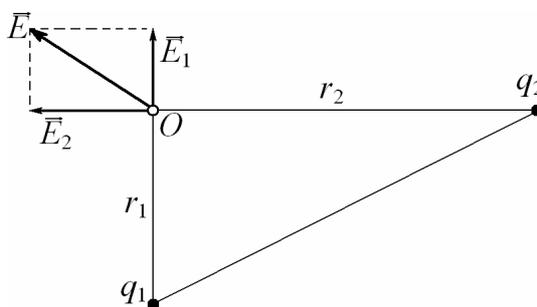


Рисунок 5.3 – Сложение электрических полей

По принципу суперпозиции электрических полей для вектора напряжённости результирующего поля в точке O (см. рис. 5.3.) имеем: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, где \vec{E}_1 и \vec{E}_2 – векторы напряженности полей, создаваемых в т. O зарядами q_1 и q_2 соответственно. Из рисунка видно, что $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$. Следовательно, используя теорему Пифагора, можно получить $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$.

Запишем выражения для нахождения векторов напряженности полей, создаваемых в т. O зарядами q_1 и q_2 : $E_1 = kq_1/r_1^2$ и $E_2 = kq_2/r_2^2$. Окончательное выражение для нахождения искомой величины с учётом того, что $q_2 = 3q_1$, $r_2 = 2r_1$, будет иметь вид:

$$E = k \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4}} = k \frac{q_1}{r_1^2} \sqrt{1 + \frac{9}{16}} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-9}}{0,09} \sqrt{\frac{25}{16}} = 800 \cdot \frac{5}{4} = 1000 \text{ В/м.}$$

Ответ: $E = 1000$ В/м.

9. Два шарика весом по 11,25 мН каждый подвешены в воздухе на тонких непроводящих нитях длиной 2 м. Шарикам сообщаются одноимённые заряды равные 50 нКл. Определить расстояние между центрами шариков в положении равновесия. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Условие равновесия шариков – равенство нулю равнодействующей всех сил. На каждый из шариков действуют три силы – сила тяжести (вес шарика) P , сила

Дано:

$$P = 1,125 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$$

$$L = 2 \text{ м}$$

$$q = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

Найти:

$$r = ?$$

натяжения нити T , кулоновская сила отталкивания F_k со стороны другого заряженного шарика (см. рис. 5.4).

Из рисунка видно, что равнодействующая R веса P и натяжения нити T уравнивает силу F_k . Из геометрии рисунка най-

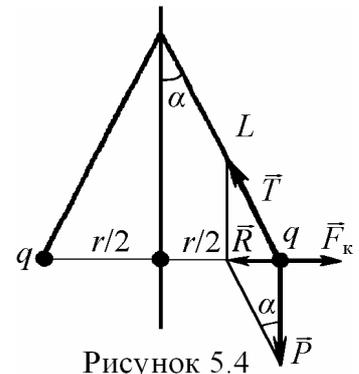


Рисунок 5.4

дём: $R = P \cdot \text{tg} \alpha$. Запишем выражение для силы Кулона: $F_k = kq^2/r^2$, где r – искомое расстояние между зарядами.

Найдём значение $\text{tg} \alpha$, предполагая, что $r/2 \ll L$, и, следовательно, $(r/2)^2 \ll L^2$:

$$\text{tg} \alpha = r/2 [L^2 - (r/2)^2]^{1/2} \approx r/2L.$$

Приравняв силы R и F_k , и выражая r , получим: $r = (2Lkq^2/P)^{1/3}$. Подставим числовые значения: $r = (2 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 25 \cdot 10^{-16} / 1,125 \cdot 10^{-2})^{1/3} = (8 \cdot 10^{-3})^{1/3} = 0,2 \text{ м}$.

Ответ: $r = 0,2 \text{ м}$.

10. В вершинах равностороннего треугольника со стороной 6 см расположены заряды $q_1 = 6 \text{ нКл}$, $q_2 = q_3 = -8 \text{ нКл}$. Определить величину силы, действующей на заряд $q = 4 \text{ нКл}$ находящийся в центре треугольника. Ответ дать в миллиньютонах.

Решение:

Дано:

$$q_1 = 6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_3 = -8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$a = 0,06 \text{ м}$$

Найти:

$$F = ? \text{ (мН)}$$

По принципу суперпозиции кулоновских сил F_1, F_2, F_3 , действующих на заряд q со стороны зарядов в вершинах треугольника (см. рис. 5.5.) имеем:

$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$. Из рисунка видно, что результирующая сила будет направлена вертикально вниз. Найдём проекции всех сил на это направление:

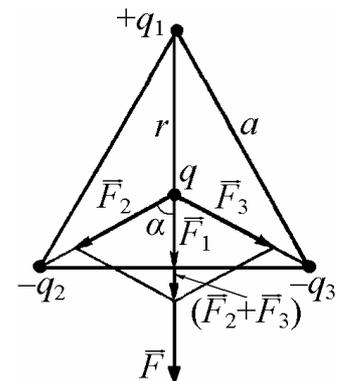


Рисунок 5.5

ние: $F_1 = k|qq_1|/r^2$, $F_2 = k|qq_2|\text{cosa}/r^2$, $F_3 = k|qq_3|\text{cosa}/r^2$, где r – расстояние заряда q от вершин треугольника. Центр равностороннего треугольника находится на пересечении его высот (биссектрис), следовательно $r = 2h/3$. Высота треугольника h находится по теореме Пифагора: $h = [a^2 - (a/2)^2]^{1/2} = 3^{1/2}a/2$. Тогда, $r^2 = a^2/3$. Нетрудно убедиться, что угол α на рисунке равен 60° . В итоге, подставляя все полученные величины в выражение для результирующей силы, будем иметь: $F = 3kq(q_1 + 2|q_2|\text{cosa})/a^2$. Проведём вычисления:

$$F = 3 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-9} (6 + 2 \cdot 8 \cdot 0,5) \cdot 10^{-9} / (0,06)^2 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 0,42 \text{ мН}.$$

Ответ: $F = 0,42 \text{ мН}$.

5.4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Определить в СИ напряжённость электрического поля, создаваемого в вакууме точечным зарядом 1 нКл в точке, находящейся на расстоянии 30 см от заряда.

3.2. Металлический шар, имея поверхностную плотность заряда 3 нКл/м^2 , заряжен до величины $0,6 \text{ нКл}$. Определить в СИ площадь поверхности шара.

3.3. Сила взаимодействия между двумя точечными зарядами в вакууме равна $0,6 \text{ Н}$. Определить в СИ силу взаимодействия между этими зарядами, если пространство между ними заполнить жидкостью с диэлектрической проницаемостью, равной 6 .

3.4. Два одинаковых по величине заряда, находящиеся в вакууме на расстоянии $0,1 \text{ м}$ друг от друга, взаимодействуют с силой $0,9 \text{ Н}$. Найти в мкКл величину каждого заряда.

3.5. Два точечных заряда 5 мкКл и 8 мкКл находятся в среде с диэлектрической проницаемостью, равной 4 , на расстоянии 30 см друг от друга. Определить в СИ силу взаимодействия между этими зарядами.

3.6. Два точечных положительно заряженных тела, находящиеся на расстоянии 3 м друг от друга, взаимодействуют с силой 150 Н . Диэлектрическая проницаемость среды равна 5 . Определить в мКл заряд первого тела, если второе тело имеет заряд в три раза больше первого.

3.7. На расстоянии $0,3 \text{ м}$ от точечного заряда напряжённость электростатического поля равна 140 В/м . Диэлектрическая проницаемость среды равна 5 . Определить в нКл величину заряда.

3.8. Поверхностная плотность заряда проводящей сферы радиусом $0,5 \text{ м}$ равна $2,5 \text{ нКл/м}^2$. Определить в нКл заряд сферы.

3.9. Два одинаковых точечных заряда взаимодействуют в вакууме, находясь на расстоянии 30 см друг от друга. При помещении этих зарядов в жидкую среду на расстоянии 20 см друг от друга сила их взаимодействия уменьшилась в 4 раза. Определить диэлектрическую проницаемость жидкой среды.

3.10. Определить в СИ напряжённость электрического поля в точке, удалённой на расстояние $0,3 \text{ м}$ от точечного заряда величиной 2 нКл .

3.11. Напряжённость однородного электрического поля равна 50 В/м . Разность потенциалов между двумя точками A и B на одной силовой линии равна 5 В . Определить в СИ расстояние между этими точками.

3.12. Два одинаковых точечных заряда, находясь в воде на расстоянии $0,1 \text{ м}$ друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии их нужно поместить в вакууме, чтобы сила взаимодействия не изменилась? Диэлектрическая проницаемость воды равна 81 . Ответ дать в СИ.

3.13. Маленькая заряженная бусинка находится в однородном электрическом поле. Во сколько раз уменьшится величина силы, действующей на бусинку со стороны поля, если её заряд уменьшить в 4 раза, а напряжённость поля увеличить в 2 раза?

3.14. От водяной капли, имеющей заряд 1 нКл, отделилась капля с зарядом, равным -1 нКл. Определить в нКл заряд оставшейся капли.

3.15. Заряженная частица создаёт электрическое поле, напряжённость которого на расстоянии 0,1 м от неё равна 2400 В/м. Диэлектрическая проницаемость среды равна 9. Определить в нКл заряд частицы.

3.16. Две точечные заряженные частицы, находящиеся на расстоянии 21 см в вакууме, взаимодействуют с силой 20 мкН. Заряд одной частицы в 2 раза больше заряда другой. Определить в нКл величину меньшего заряда.

3.17. Во сколько раз надо уменьшить расстояние между двумя точечными зарядами, чтобы сила взаимодействия между ними возросла в 4 раза и при этом величину каждого заряда уменьшить в 2 раза?

3.18. Определить диэлектрическую проницаемость жидкости, если два точечных заряда в ней на расстоянии 2 см отталкиваются с такой же силой, как в вакууме на расстоянии 3 см.

3.19. Напряжённость электрического поля точечного заряда 0,75 нКл на расстоянии 6 см от него равна 250 В/м. Найти диэлектрическую проницаемость среды, в которую помещён заряд.

3.20. Найти модуль силы взаимодействия между двумя электронами, находящимися в вакууме на расстоянии 0,16 нм друг от друга. Ответ дать в нН.

3.21. Определить модуль силы взаимодействия двух одинаковых точечных зарядов Q в вакууме. Расстояние между зарядами 1 мм, $Q = 10$ нКл. Ответ дать в СИ.

3.22. Точка A находится в поле двух одноименных зарядов. Каждый из зарядов создаёт свое электрическое поле. Векторы напряжённости этих полей в точке A перпендикулярны, а модули этих векторов соответственно равны 3 В/м и 4 В/м. Определить результирующую напряжённость электрического поля в точке A . Ответ дать в СИ.

3.23. Точка A находится в поле двух разноименных зарядов. Каждый из зарядов создаёт своё электрическое поле. Векторы напряжённости этих полей в точке A параллельны, а модули этих векторов равны соответственно 60 В/м и 40 В/м. Определить в СИ результирующую напряжённость электрического поля в точке A .

3.24. Электрическое поле создано точечным зарядом Q . В точке A , находящейся на расстоянии 0,1 м от заряда, напряжённость поля 1800 В/м. Определить в нКл величину заряда Q .

3.25. Две положительно заряженные частицы находятся в среде с диэлектрической проницаемостью 8 на расстоянии 1 м друг от друга. Определить модуль силы электрического отталкивания частиц, если заряд первой частицы 2 нКл, второй -4 нКл. Ответ дать в нН.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Два заряда по 10 пКл каждый находятся в вакууме и взаимодействуют друг с другом с силой 1 нН. На каком расстоянии друг от друга находятся эти заряды? Ответ дать в см.

4.2. Определить в см радиус проводящей сферы, если при сообщении ей заряда в 20 нКл её потенциал стал равен 6 кВ.

4.3. Определить, во сколько раз нужно уменьшить расстояние между двумя точечными зарядами, чтобы сила взаимодействия между ними не изменилась при перемещении зарядов из вакуума в воду? Относительная диэлектрическая проницаемость воды равна 81.

4.4. Напряжённость электрического поля, созданного точечным зарядом в 20 нКл, равна в некоторой точке пространства 20 Н/Кл. Диэлектрическая проницаемость среды равна 1. Определить в СИ расстояние от данной точки до заряда.

4.5. Два точечных положительных одинаковых заряда, находясь на расстоянии 2 мм друг от друга в вакууме, взаимодействуют с силой 0,9 Н. Найти в нКл величину каждого заряда.

4.6. Два одинаковых положительных точечных заряда, находясь в воде на расстоянии 4 см друг от друга, взаимодействуют с силой 0,1 Н. Найти в мкКл величину каждого заряда. Диэлектрическая проницаемость воды равна 81.

4.7. Два одинаковых точечных заряда величиной по 3 нКл каждый, находясь в вакууме, взаимодействуют с силой 0,9 Н. Найти в мм расстояние между зарядами.

4.8. Два точечных заряда 20 нКл и 30 нКл, находясь в жидкости на расстоянии 0,01 м, взаимодействуют с силой 0,027 Н. Найти диэлектрическую проницаемость жидкости.

4.9. Два одинаковых металлических шарика, заряды которых равны -9 нКл и $+3$ нКл, привели в соприкосновение и вновь раздвинули. Найти в нКл заряд первого шарика после раздвижения, если потенциалы шариков стали одинаковыми.

4.10. Два одинаковых заряженных шарика погрузили в жидкость, изменив расстояние между ними вдвое. Определить диэлектрическую проницаемость жидкости, если сила, действующая на каждый шарик, не изменилась.

4.11. Заряженные частицы находятся на расстоянии 30 см друг от друга и отталкиваются с силой 100 мкН. Заряды частиц отличаются в 10 раз. Определить в нКл величину меньшего заряда.

4.12. Два одинаковых металлических шарика имеют заряды $+0,3$ мкКл и $-0,1$ мкКл. Определить в нКл заряд первого шарика после его соединения со вторым шариком.

4.13. Два точечных заряда $+16$ нКл и $+64$ нКл находятся на расстоянии 0,12 м друг от друга в вакууме. На каком расстоянии от меньшего заряда следует поместить третий заряд, равный 8 нКл, чтобы он под действием электрических сил оставался в равновесии? Ответ дать в СИ.

4.14. Два заряженных шарика одинаковых размеров соприкасаются друг с другом и снова разводят. Заряд одного из них до соприкосновения был равен -5 мкКл, а после соприкосновения стал $+3$ мкКл. Определить в мкКл заряд второго шарика до соприкосновения.

4.15. Заряженная частица находится в однородном электрическом поле воздушного конденсатора. Определить в мкН силу, действующую на частицу.

Заряд частицы 2 нКл, расстояние между пластинами 5 см, разность потенциалов между ними 100 В.

4.16. Электрон движется под действием однородного электрического поля в вакууме с ускорением $0,8 \cdot 10^{12}$ м/с². Определить в СИ напряжённость электрического поля.

4.17. Проводящий шар имеет поверхностную плотность заряда 2 нКл/м². Определить в СИ напряжённость электрического поля в точке, удалённой от поверхности шара на расстояние, равное пяти радиусам шара.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Между горизонтально расположенными обкладками плоского воздушного конденсатора неподвижно висит пылинка, заряд которой равен 3,2 пКл, а масса 6,4 мкг. Определить в СИ напряжённость электрического поля в конденсаторе.

5.2. Два точечных заряда величиной +9 нКл и +1 нКл расположены на расстоянии 1 м друг от друга. На каком расстоянии от большего заряда на прямой, соединяющей эти заряды, напряжённость электрического поля равна нулю? Ответ дать в СИ.

5.3. В двух противоположных вершинах квадрата находятся два одинаковых заряда величиной +800 нКл, взаимодействующих с силой 0,4 Н. Определить в СИ напряжённость поля в центре квадрата, если в одну из свободных вершин квадрата поместить ещё один заряд величиной +0,08 нКл.

5.4. Два одинаковых шарика с зарядами 2 нКл и 8 нКл находились на расстоянии 2 м друг от друга в вакууме. После приведения шариков в соприкосновение их развели на расстояние, при котором сила взаимодействия зарядов осталась прежней. На какое расстояние развели заряды? Ответ дать в СИ.

5.5. Между горизонтальными пластинами плоского воздушного конденсатора подано напряжение 100 В. Заряженная пылинка массой 10 мг висит неподвижно между пластинами конденсатора. Чему равен заряд пылинки, если расстояние между пластинами 50 мм? Ответ дать в нКл.

5.6. Два положительных точечных заряда величиной 50 нКл и 30 нКл расположены в вакууме на расстоянии 40 см друг от друга. Определить в СИ напряжённость электрического поля посередине между зарядами.

5.7. Точечные заряды 100 мкКл и 200 мкКл находятся в вакууме. На прямой, соединяющей заряды, на одинаковом расстоянии 0,1 м от каждого из них помещён пробный заряд величиной –30 нКл. Найти в СИ модуль силы, действующей на пробный заряд.

5.8. Точечные заряды 2 нКл и 4 нКл находятся в вакууме на расстоянии 0,2 м друг от друга. Найти в СИ напряжённость электрического поля в точке, находящейся посередине между зарядами.

5.9. Точечные заряды +2 нКл и –4 нКл находятся на расстоянии 0,2 м друг от друга в вакууме. Найти в СИ напряжённость электрического поля в точке, находящейся посередине между зарядами.

5.10. В двух вершинах A и B прямоугольного треугольника находятся соответственно точечные заряды 8 нКл и 24 нКл. Найти в СИ напряжённость электрического поля в вершине прямого угла треугольника C , если $AC = 0,3$ м, а $BC = 0,6$ м.

5.11. Два одинаково заряженных шарика лежат, связанные нитью, на горизонтальной гладкой поверхности. Во сколько раз изменится сила натяжения нити, если заряд каждого шарика увеличить в три раза? Трением пренебречь.

5.12. Два одинаковых металлических шарика с зарядами 1 нКл и 3 нКл находятся на определённом расстоянии друг от друга. Их приводят в соприкосновение и разводят на расстояние, которое в 2 раза больше первоначального. Во сколько раз уменьшается при этом сила взаимодействия шариков?

5.13. Найти в СИ расстояние между зарядами +60 нКл и –30 нКл, если напряжённость поля посередине между ними 4 кВ/м.

5.14. Во сколько раз уменьшится напряжённость электрического поля в воздушном конденсаторе, заряженном и отключенном от источника тока, если расстояние между пластинами уменьшить вдвое, а пространство между ними заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 4?

5.15. Два одинаковых одноимённо заряженных металлических шарика, заряды которых различаются в 5 раз, находятся на определённом расстоянии друг от друга. Их приводят в соприкосновение и разводят на прежнее расстояние. Определить, во сколько раз увеличивается при этом сила взаимодействия шариков.

5.16. Между горизонтально расположенными пластинами плоского конденсатора находится пылинка массой 10 нг и зарядом $4,9 \cdot 10^{-14}$ Кл. Определить в СИ напряжённость электрического поля в конденсаторе, при которой пылинка находится в равновесии.

5.17. Заряженная капелька жидкости находится в равновесии в направленном вертикально вверх однородном электрическом поле напряжённостью 100 В/м. Определить в мг массу капельки, если её заряд равен 19,6 нКл.

5.18. Два точечных заряда величиной +8 нКл и –8 нКл расположены в вакууме в двух вершинах равностороннего треугольника. Сторона треугольника 2 м. Определить в СИ напряжённость электрического поля в третьей вершине.

5.19. Два точечных тела, находящиеся в вакууме, имеют заряды –2 пКл и –0,667 пКл. Масса одного тела 0,01 кг. Какова должна быть масса другого тела, чтобы электрическая сила взаимодействия уравновесилась гравитационной силой притяжения? Гравитационная постоянная равна $6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг². Ответ дать в СИ.

5.20. Два точечных тела имеют заряды одного знака, причём заряд одного тела в 4 раза больше заряда другого. Среда – вакуум. На каком конечном расстоянии от тела с меньшим зарядом напряжённость электрического поля равна нулю, если расстояние между телами 3 м? Ответ дать в СИ.

5.21. Два точечных заряда 16 нКл и 9 нКл расположены на расстоянии 6 м друг от друга в среде с диэлектрической проницаемостью, равной 3,5. Найти в СИ модуль напряжённости электрического поля посередине между зарядами.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Шарик массой 0,4 г и зарядом 0,5 мкКл подвешен на нити в однородном электрическом поле, силовые линии которого горизонтальны. Определить в СИ напряжённость электрического поля, если угол отклонения нити от вертикали составляет 45°. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

6.2. В вакууме в трёх вершинах квадрата находятся одинаковые заряды 5 нКл. Напряжённость поля в четвертой вершине 955 В/м. Найти в СИ длину стороны квадрата.

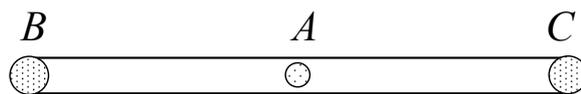
6.3. Шарик массой 0,5 г и зарядом 0,5 мкКл подвешен на нити в однородном электрическом поле, силовые линии которого горизонтальны. На какой угол от вертикали отклонена нить, если напряжённость поля 9,8 кВ/м. Ответ дать в градусах.

6.4. Напряжённость электрического поля между обкладками плоского вакуумного конденсатора, находящимися на расстоянии 9,1 см друг от друга, равна 320 В/м. Электрон из состояния покоя проходит путь от отрицательной обкладки до положительной. Определить в км/с скорость электрона в конце пути.

6.5. Пылинка массой 10 нг находится между горизонтальными пластинами плоского вакуумного конденсатора, напряжённость электрического поля в котором 100 В/м. Электрическая сила уравнивает силу тяжести. Найти в пКл заряд пылинки.

6.6. Частица с зарядом $-0,5$ мкКл и с кинетической энергией 0,5 Дж влетает в однородное электрическое поле в направлении силовых линий. Напряжённость поля 100 кВ/м. Сколько метров пролетит частица до остановки?

6.7. В горизонтальной диэлектрической трубке длиной 75 см находится положительно заряженный шарик A . К концам трубки прикреплены два металлических шарика B и C . Первый из них заряжают зарядом $q_1 = +2$ мкКл, второй – зарядом $q_2 = +4,5$ мкКл. Определить в см расстояние от шарика B до устойчивого равновесия шарика A .



Задачи 7 класса трудности

7.1. Два небольших тела, связанные нитью, лежат на горизонтальной плоскости. Заряд каждого тела 3 нКл, масса 10 мг. Нить пережигают, и тела скользят по плоскости. Коэффициент трения равен 0,1. Определить в см расстояние между телами, при котором они развивают максимальную скорость. Ускорение свободного падения принять 10 м/с^2 .

7.2. Заряженный шарик массой 0,1 г, подвешенный на нити длиной 141 см, вращается вокруг неподвижного заряда той же величины, но противоположного знака с угловой скоростью 10 рад/с. Угол между направлением нити и вертикалью равен 45° . Определить в мкКл заряд шарика. Ускорение свободного падения принять 10 м/с^2 .

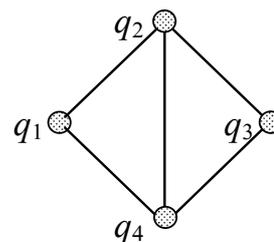
7.3. Математический маятник, состоящий из металлического шарика массой 0,1 г и диэлектрической нити (её масса много меньше массы шарика), находится на орбитальной станции в состоянии невесомости. Для того, чтобы маятник стал совершать точно такие же колебания, как и на Земле, его помещают между обкладками плоского конденсатора, и шарик заряжают зарядом 4,9 нКл. Площадь каждой обкладки 100 см^2 . Определить в нКл заряд конденсатора.

7.4. Математический маятник, состоящий из металлического шарика массой 5 мг и диэлектрической нити (её масса много меньше массы шарика), находится на орбитальной станции в состоянии невесомости. Для того, чтобы маят-

ник стал совершать точно такие же колебания, как и на Земле, его помещают между обкладками плоского конденсатора, и шарик заряжают. Расстояние между обкладками 4 см, конденсатор подключен к источнику с напряжением 20 В. Определить в нКл заряд, который надо сообщить шарика.

7.5. Две параллельные горизонтальные бесконечные пластины заряжены с поверхностной плотностью заряда $9,75 \text{ пКл/см}^2$ и $6,21 \text{ пКл/см}^2$. Между ними взвешены (неподвижно висят) заряженные капельки масла. Каждая капелька содержит по 5 лишних электронов, которые и создают им заряд. Определить в СИ массу капельки. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

7.6. Четыре заряда $q_1 = q_3 = 3 \text{ мкКл}$ и $q_2 = q_4 = 5 \text{ мкКл}$ связаны нитями, как показано на рисунке, и образуют квадрат со стороной 40 см. Определить в СИ силу натяжения нити, соединяющей заряды q_2 и q_4 .



7.7. В области пространства между двумя параллельными плоскостями равномерно распределён положительный заряд с плотностью 177 мкКл/м^3 . На расстоянии 5 см от центра этой области расположен точечный заряд, величина которого $0,2 \text{ мкКл}$. Определить в СИ силу, действующую на этот заряд.

7.8. В вершинах квадрата со стороной 5,41 см расположили четыре одинаковые заряженные частицы. Заряд каждой частицы равен 2 мкКл , масса $-4,5 \text{ г}$. По действием электрических сил частицы разлетаются. До какой скорости они разгонятся, когда удалятся друг от друга на бесконечно большое расстояние? Ответ дать в СИ.

7.9. Вокруг закреплённого заряженного шарика с зарядом 1 мкКл вращаются по круговой орбите четыре одинаковые частицы. Заряд каждой частицы равен -1 мкКл , масса равна 115 г . В процессе вращения частицы всё время образуют квадрат со стороной 10 см . Определить в СИ угловую скорость частиц.

Задачи 8 класса трудности

8.1. Две маленькие заряженные шайбы, связанные нитью длиной 8 мм, лежат на горизонтальной плоскости. Заряд каждой шайбы 4 нКл , масса -1 г . Нить пережигают, и шайбы скользят по плоскости. Коэффициент трения равен $0,1$. Определить в мкДж максимальную кинетическую энергию, которую может набрать каждая из шайб. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

8.2. В начале 20 века английский физик Дж. Томсон предложил следующую модель атома водорода. Это – шаровидное облачко, в котором равномерно распределён положительный заряд e . Внутри облачка находится отрицательный точечный заряд (электрон) с зарядом $-e$. Под действием сил электрического поля в атоме (облачке) электрон совершает гармонические колебания вдоль оси атома. Принимая радиус атома равным 10^{-8} см , а массу электрона равной $9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, определить в СИ циклическую частоту колебаний электрона.

ТЕМА 6. ПОТЕНЦИАЛ И ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

6.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Электрический потенциал φ – это энергетическая характеристика электрического поля, равная отношению потенциальной энергии W точечного положительного заряда q , помещённого в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\varphi = W/q. \quad (6.1)$$

Единица измерения электрического потенциала – вольт: $[\varphi] = 1 \text{ В}$.

Потенциальная энергия W точечного заряда q в электрическом поле численно равна работе A , которую совершают силы электрического поля по перемещению этого заряда из данной точки в бесконечность, где потенциальная энергия равна нулю. Из этого следует, что

$$\varphi = A/q. \quad (6.2)$$

Если заряд q перемещается в электрическом поле из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 , то работа $A_{1 \rightarrow 2}$, совершаемая при этом силами электрического поля, не зависит от формы траектории и определяется следующим выражением:

$$A_{1 \rightarrow 2} = q\Delta\varphi = q(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (6.3)$$

где величина $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ называется **разностью потенциалов** между точками 1 и 2. Положительные заряды движутся вдоль силовых линий электрического поля из области с большим потенциалом в область с меньшим потенциалом, а отрицательные заряды перемещаются в обратном направлении.

В однородном электрическом поле модуль вектора напряженности E связан с разностью потенциалов соотношением

$$E = |\Delta\varphi|/d = |\varphi_1 - \varphi_2|/d, \quad (6.4)$$

где d – расстояние между точками электрического поля с потенциалами φ_1 и φ_2 , отсчитываемое вдоль силовой линии.

Работу кулоновских сил по перемещению заряда q в однородном электрическом поле с напряжённостью E на расстояние r вдоль прямой, составляющей угол α с силовой линией, можно рассчитать по формуле:

$$A = Fr \cos \alpha = qEr \cos \alpha. \quad (6.5)$$

Примеры расчета потенциалов полей заряженных тел.

1. Потенциал электрического поля, создаваемого точечным зарядом q , в точке, находящейся от него на расстоянии r в среде с диэлектрической проницаемостью ε , определяется по формуле:

$$\varphi = kq/\varepsilon r. \quad (6.6)$$

2. Потенциал электрического поля, создаваемого проводящим шаром радиуса R , по поверхности которого распределён заряд q , в точке, находящейся на расстоянии r от центра шара в среде с диэлектрической проницаемостью ε , определяется по формуле:

$$\varphi = kq/\varepsilon R, \quad r \leq R, \quad (6.7a)$$

$$\varphi = kq/\varepsilon r, \quad r \geq R. \quad (6.7б)$$

Принцип суперпозиции электрических полей: Если электрическое поле создано несколькими точечными зарядами или заряженными телами, то потенциал φ поля в данной точке равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых в этой точке каждым зарядом (телом) в отдельности:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_N. \quad (6.8)$$

Эквипотенциальная поверхность – это геометрическое место точек, которые имеют одинаковый электрический потенциал (например, поверхность проводящего заряженного тела). Работа по перемещению заряда по эквипотенциальной поверхности равна нулю ($A = q\Delta\varphi = q(\varphi_2 - \varphi_1) = 0$). Силовые линии в любой точке электрического поля перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям (см. рис. 6.1).

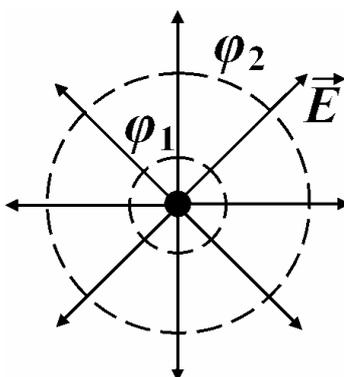


Рисунок 6.1 – Графическая картина эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля точечного положительного заряда

Потенциальная энергия W_{12} взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 , находящихся друг от друга на расстоянии r в среде с диэлектрической проницаемостью ε , определяется по формуле:

$$W_{12} = k \cdot |q_1 q_2| / \varepsilon r. \quad (6.9)$$

6.2. ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ

Электрическая ёмкость C – физическая величина, характеризующая способность проводника содержать электрический заряд, равная отношению заряда Δq , внесённого на проводник, к увеличению $\Delta\varphi$ потенциала проводника:

$$C = \Delta q / \Delta\varphi. \quad (6.10)$$

Единица измерения электрической ёмкости – фарад: $[C] = 1 \text{ Ф}$.

Ёмкость уединённого проводящего шара радиуса R , находящегося в среде с диэлектрической проницаемостью ε , определяется выражением:

$$C_{\text{шара}} = \varepsilon R / k = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R. \quad (6.11)$$

Понятие электрической ёмкости применимо также к системе проводников. **Электрический конденсатор** – это система из двух проводников (называемых *обкладками*), разделённых тонким слоем диэлектрика. Заряды на обкладках конденсатора равны по величине и противоположны по знаку. Ёмкость конденсатора определяется выражением:

$$C = q / U, \quad (6.12)$$

где q – заряд на положительной обкладке, $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов (*напряжение*) между обкладками конденсатора.

Емкость плоского конденсатора, площадь каждой из пластин которого S , а расстояние между пластинами d , находится по формуле:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S / d, \quad (6.13)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора, ε_0 – электрическая постоянная (см. приложение 1).

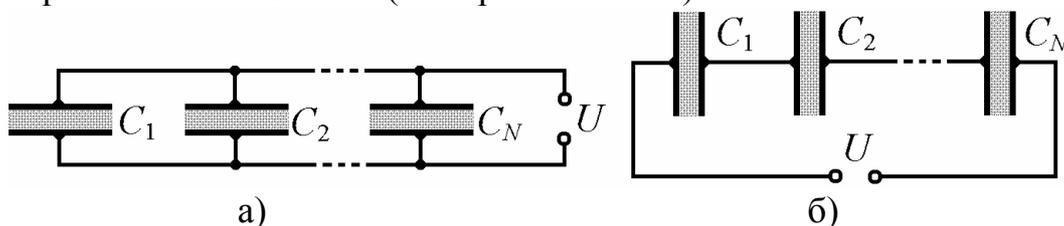


Рисунок 6.2 – Соединения конденсаторов: а) параллельное; б) последовательное

При *параллельном соединении конденсаторов* (см. рис. 6.2, а) напряжения на них одинаковы, полный заряд равен сумме зарядов на отдельных конденсаторах, а полная ёмкость батареи равна сумме ёмкостей каждого из конденсаторов:

$$\begin{aligned} U &= U_1 = U_2 = \dots = U_N; \\ q &= q_1 + q_2 + \dots + q_N; \\ C &= C_1 + C_2 + \dots + C_N. \end{aligned} \quad (6.14)$$

При *последовательном соединении конденсаторов* (см. рис. 6.2, б) полное напряжение равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах, заряды на них равны, а величина, обратная общей ёмкости батареи, равна сумме величин, обратных ёмкости каждого из конденсаторов:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + \dots + U_N; \\ q &= q_1 = q_2 = \dots = q_N; \\ 1/C &= 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_N. \end{aligned} \quad (6.15)$$

Энергия электрического поля уединённого тела, обладающего ёмкостью C и заряженного до потенциала φ зарядом q , определяется выражением:

$$W = q\varphi/2 = C\varphi^2/2 = q^2/2C. \quad (6.16)$$

Энергия электрического поля заряженного конденсатора:

$$W_c = qU/2 = CU^2/2 = q^2/2C. \quad (6.17)$$

Объёмная плотность энергии электрического поля ω – физическая величина, равная отношению энергии поля W (в среде с диэлектрической проницаемостью ε), заключённой в объёме V , к величине этого объёма:

$$\omega = W/V = \varepsilon \varepsilon_0 E^2 / 2. \quad (6.18)$$

Единица измерения объёмной плотности энергии $[\omega] = 1 \text{ Дж/м}^3$.

6.3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Две заряженные капли ртути радиусом 1 мм и зарядом 10 нКл каждая сливаются в одну общую каплю. Найти потенциал получившейся капли. Ответ дать в киловольтах и округлить до целого числа.

Решение:

Дано:

$$R_1 = 10^{-3} \text{ м}$$
$$q_1 = 10^{-8} \text{ Кл}$$

Найти:

$$\varphi_2 = ? \text{ (кВ)}$$

Из закона сохранения электрического заряда заряд большой капли ртути равен сумме зарядов двух маленьких капель: $q_2 = q_1 + q_1 = 2q_1$. Из условия несжимаемости ртути объём большой капли ртути равен сумме объёмов двух маленьких капель $V_2 = 2V_1$. Считая капли шарами, получим $4\pi R_2^3/3 = 2(4\pi R_1^3/3)$, $R_2 = 2^{1/3}R_1$. Искомый потенциал большой капли $\varphi_2 = kq_2/R_2 = 2kq_1/(2^{1/3}R_1) = 2^{2/3}kq_1/R_1$.

Проводя расчеты, получим: $\varphi_2 = 2^{2/3} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8} / 10^{-3} = 142866 \text{ В} = 143 \text{ кВ}$.

Ответ: $\varphi_2 = 143 \text{ кВ}$.

2. Во сколько раз уменьшится потенциал заряженного металлического шара радиусом 0,1 м, если этот шар с помощью длинного проводника соединить с удалённым от него незаряженным металлическим шаром радиусом 0,3 м? Ёмкостью проводника пренебречь.

Решение:

Дано:

$$R_1 = 0,1 \text{ м}$$

$$R_2 = 0,3 \text{ м}$$

Найти:

$$\eta = \varphi_1/\varphi_1' = ?$$

Запишем выражения для потенциала первого шара до и после соединения: $\varphi_1 = kq_1/R_1$, $\varphi_1' = kq_1'/R_1$. Т.к. отношение потенциалов для шара равно отношению зарядов на нём ($\eta = \varphi_1/\varphi_1' = q_1/q_1'$), то найдем отношение зарядов. Из закона сохранения электрического заряда $q_1 = q_1' + q_2'$, $q_1/q_1' = 1 + q_2'/q_1'$. Учтём, что после соединения шаров их потенциалы выравниваются, т.е. $\varphi_1' = \varphi_2'$. Следовательно, $kq_1'/R_1 = kq_2'/R_2$ и $q_2'/q_1' = R_2/R_1$. В итоге, $\eta = \varphi_1/\varphi_1' = q_1/q_1' = 1 + R_2/R_1 = 1 + 0,3/0,1 = 4$.

Ответ: $\eta = 4$.

3. Два одинаковых шарика радиусом 1 см каждый находятся в керосине на расстоянии 10 см друг от друга и взаимодействуют с силой 2,1 мН. Определить в киловольтах потенциал шариков. Диэлектрическая проницаемость керосина ε равна 2,1.

Решение:

Дано:

$$R = 0,01 \text{ м}$$

$$r = 0,1 \text{ м}$$

$$F = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

$$\varepsilon = 2,1$$

Найти:

$$\varphi = ? \text{ (кВ)}$$

Запишем выражение для потенциала шариков: $\varphi = kq/\varepsilon R$. Заряд каждого из шариков можно найти из закона Кулона ($R \ll r$): $F_k = kq^2/\varepsilon r^2$, $q = (F_k \varepsilon r^2/k)^{1/2}$. Тогда потенциал будет равен: $\varphi = k(F_k \varepsilon r^2/k)^{1/2}/\varepsilon R = (F_k k)^{1/2} r/\varepsilon^{1/2} R$.

Подставляя численные значения, получим:

$$\varphi = (2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^9)^{1/2} \cdot 0,1 / 2,1^{1/2} \cdot 0,01 = 3 \cdot 10^4 \text{ В} = 30 \text{ кВ}$$

Ответ: $\varphi = 30 \text{ кВ}$.

4. Какую скорость будет иметь электрон, пройдя в электрическом поле разность потенциалов 1,82 В? Начальная скорость электрона равна нулю. Ответ дать в километрах в секунду.

Решение:

Дано:

$$\Delta\varphi = 1,82 \text{ В}$$

$$v_0 = 0$$

Найти:

$$v = ? \text{ (км/с)}$$

При прохождении электроном e разности потенциалов $\Delta\varphi$ электрическое поле совершает работу: $A = e\Delta\varphi$. Эта работа идёт на увеличение кинетической энергии электрона $A = \Delta W_k = m_e v^2/2 - m_e v_0^2/2 = m_e v^2/2$. Отсюда следует равенство $e\Delta\varphi = m_e v^2/2$. Скорость электрона после прохождения ускоряющей разности потенциалов:

$$v = (2e\Delta\varphi/m_e)^{1/2}. \text{ Расчёт даёт: } v = (2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,82/9,1 \cdot 10^{-31})^{1/2} = 8 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 800 \text{ км/с.}$

5. Определить работу, совершаемую при перемещении заряда 2 мкКл в вакууме из точки, находящейся на расстоянии 20 см от точечного заряда 3 мкКл , до точки, расположенной на расстоянии 50 см от него. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$r_1 = 0,2 \text{ м}$$

$$q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$r_2 = 0,5 \text{ м}$$

Найти:

$$A = ?$$

Работа, совершаемая при перемещении заряда q_1 в электрическом поле равна: $A = q_1\Delta\varphi = q_1(\varphi_1 - \varphi_2)$, $\Delta\varphi$ — где разность потенциалов электрического поля точечного заряда q_2 в начальной и конечной точках перемещения. Потенциалы в этих точках определяются выражениями $\varphi_1 = kq_2/r_1$, $\varphi_2 = kq_2/r_2$. Подставляя их в выражение для работы, получим: $A = kq_1q_2(1/r_1 - 1/r_2) = kq_1q_2(r_2 - r_1)/r_1r_2$.

Подставляя численные значения и вычисляя, найдём:
 $A = 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6} (0,5 - 0,2)/0,2 \cdot 0,5 = 0,162 \text{ Дж.}$

Ответ: $A = 0,162 \text{ Дж.}$

6. Плоский конденсатор со слюдяной изоляцией заряжен до разности потенциалов 150 В и отключен от источника напряжения. Диэлектрическая проницаемость слюды 7 . Чему будет равна разность потенциалов между обкладками конденсатора, если слюдяную пластинку удалить? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$U_1 = 150 \text{ В}$$

$$\varepsilon_1 = 7$$

$$\varepsilon_2 = 1$$

Найти:

$$U_2 = ?$$

После подключения конденсатора к источнику напряжения, на его обкладках появляется заряд: $q_1 = C_1U_1$. После отключения конденсатора от источника напряжения он становится изолированной системой, и заряд на его обкладках остаётся неизменным. После удаления слюдяной пластинки из конденсатора заряд будет определяться выражением: $q_1 = C_2U_2$. Отсюда следует, что $C_1U_1 = C_2U_2$, и $U_2 = U_1C_1/C_2$.

Емкости плоского конденсатора со слюдяной пластиной и без неё: $C_1 = \varepsilon_1\varepsilon_0S/d$, $C_2 = \varepsilon_2\varepsilon_0S/d$, $C_1/C_2 = \varepsilon_1/\varepsilon_2$.

В итоге, получим $U_2 = U_1\varepsilon_1/\varepsilon_2 = 150 \cdot 7/1 = 1050 \text{ В.}$

Ответ: $U_2 = 1050 \text{ В.}$

7. Конденсатор ёмкостью 2 мкФ подсоединили к источнику постоянного напряжения 950 В , конденсатор ёмкостью 5 мкФ — к источнику 600 В . После отключения от источников конденсаторы соединили друг с другом параллельно

одноимённо заряженными обкладками. Определить напряжение полученной батареи конденсаторов. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$C_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_1 = 950 \text{ В}$$

$$C_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_2 = 600 \text{ В}$$

Найти:

$$U = ?$$

Когда конденсаторы подсоединяют к источникам напряжения, на их обкладках появляются, соответственно, заряды: $q_1 = C_1 U_1$ и $q_2 = C_2 U_2$. После отключения конденсаторов от источников напряжения заряды на их обкладках остаются неизменными, поэтому, при соединении их одноимёнными обкладками, суммарный заряд батареи конденсаторов $q = q_1 + q_2$. При параллельном соединении конденсаторов напряжения на них выравниваются и становятся равными U ,

а ёмкость батареи определяется, как: $C = C_1 + C_2$. Отсюда следует, что:

$$U = q/C = (q_1 + q_2)/(C_1 + C_2) = (C_1 U_1 + C_2 U_2)/(C_1 + C_2).$$

$$\text{Вычисляя, получим } U = (2 \cdot 10^{-6} \cdot 950 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot 600)/(2 + 5) \cdot 10^{-6} = 700 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 700 \text{ В.}$

8. Во сколько раз возрастёт энергия воздушного конденсатора, подключенного к источнику тока, если расстояние между его пластинами увеличить вдвое и поместить между ними диэлектрик с диэлектрической проницаемостью равной 6?

Решение:

Дано:

$$d_2/d_1 = 2$$

$$\varepsilon_2/\varepsilon_1 = 6$$

Найти:

$$W_2/W_1 = ?$$

Поскольку конденсатор остаётся подключенным к источнику тока, напряжение на нём не изменяется: $U = \text{const}$. С учётом этого, запишем выражения для энергии заряженного конденсатора до и после преобразований: $W_1 = C_1 U^2/2$, $W_2 = C_2 U^2/2$. Тогда искомое отношение энергий: $W_2/W_1 = C_2/C_1$.

Выражения для ёмкости плоского конденсатора имеют вид:

$$C_1 = \varepsilon_1 \varepsilon_0 S/d_1, \quad C_2 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 S/d_2. \text{ В итоге, окончательно получим } W_2/W_1 = \varepsilon_2 d_1/\varepsilon_1 d_2.$$

$$\text{Вычислим } W_2/W_1 = 6/2 = 3.$$

Ответ: $W_2/W_1 = 3.$

9. Воздушный конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Во сколько раз уменьшится энергия конденсатора, если расстояние между пластинами уменьшить вдвое и зазор заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью равной 6?

Решение:

Дано:

$$d_1/d_2 = 2$$

$$\varepsilon_2/\varepsilon_1 = 6$$

Найти:

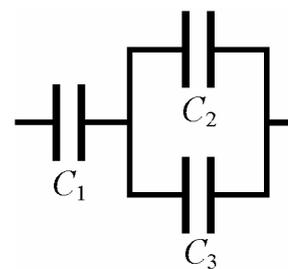
$$W_1/W_2 = ?$$

В отличие от предыдущей задачи, конденсатор отключен от источника тока и является электрически замкнутой системой ($q = \text{const}$). Поэтому для энергии конденсатора до и после преобразований запишем выражения через заряд на его обкладках: $W_1 = q^2/2C_1$, $W_2 = q^2/2C_2$. Тогда искомое отношение энергий: $W_1/W_2 = C_2/C_1$. Подставляя сюда выражения для

ёмкости плоского конденсатора: $C_1 = \varepsilon_1 \varepsilon_0 S/d_1$, $C_2 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 S/d_2$, получим $W_1/W_2 = \varepsilon_2 d_1/\varepsilon_1 d_2$. Вычисляя, находим $W_1/W_2 = 6 \cdot 2 = 12$.

Ответ: $W_1/W_2 = 12.$

10. Определить ёмкость батареи конденсаторов на рисунке, если ёмкость конденсатора C_1 равна 2 мкФ, конденсатора C_2 – 3 мкФ, а конденсатора C_3 – 5 мкФ. Ответ дать в микрофарадах.



Решение:

Дано:

$$C_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_3 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Найти:

$$C = ? \text{ (мкФ)}$$

Конденсаторы C_2 и C_3 соединены параллельно и их общее сопротивление $C' = C_2 + C_3$. Конденсаторы C_1 и C' соединены последовательно и тогда искомая ёмкость батареи конденсаторов может быть найдена из выражения: $1/C = 1/C_1 + 1/C' = (C' + C_1)/C_1C'$. Подставляя сюда выражение для C' , получим $C = C_1C'/(C' + C_1) = C_1(C_2 + C_3)/(C_1 + C_2 + C_3)$.

Вычисляя, находим $C = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (3 + 5) \cdot 10^{-6} / (2 + 3 + 5) \cdot 10^{-6} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 1,6 \text{ мкФ}$.

Ответ: $C = 1,6 \text{ мкФ}$.

6.4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Определить в СИ потенциал точки электрического поля, создаваемого точечным зарядом 2 нКл в среде с диэлектрической проницаемостью, равной 2, на расстоянии 1 м от заряда.

3.2. Точечный заряд находится в электростатическом поле в точке, потенциал которой равен 10 В. Потенциальная энергия заряда в этой точке равна 50 мкДж. Определить в мкКл величину данного заряда.

3.3. В однородном электростатическом поле, напряжённость которого равна 10 В/м, электрон пролетел вдоль силовой линии расстояние, равное 0,5 м. Определить в эВ работу, которую совершило поле по перемещению электрона.

3.4. Площадь каждой из обкладок плоского конденсатора равна 0,01 м², а расстояние между ними 1 мм. Пространство между пластинами заполнено средой с диэлектрической проницаемостью, равной 10. Определить в пФ величину электроёмкости данного конденсатора.

3.5. Сколько конденсаторов ёмкостью 500 пФ каждый следует соединить последовательно в батарею, чтобы общая ёмкость батареи стала равной 0,1 нФ?

3.6. Какое минимальное число конденсаторов ёмкостью 200 пФ каждый следует соединить в батарею, чтобы общая ёмкость батарей стала равной 1 нФ?

3.7. Заряд конденсатора равен 50 мкКл, разность потенциалов между его обкладками 1 кВ. Определить в мДж энергию электростатического поля в этом конденсаторе.

3.8. Определить в СИ потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом величиной 6 нКл, на расстоянии 25 см от заряда. Диэлектрическая проницаемость среды равна 4.

3.9. Плоский конденсатор заполнен парафином, диэлектрическая проницаемость которого равна 2. Площадь пластин 16 см², расстояние между пластинами 2 мм. Определить в пФ электроёмкость конденсатора.

3.10. Между обкладками плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $0,6$ В. Определить в СИ расстояние между пластинами конденсатора, если напряжённость электрического поля в конденсаторе равна 12 В/м.

3.11. Точечный заряд создаёт электростатическое поле в среде с диэлектрической проницаемостью 2 . На расстоянии $0,3$ м от заряда потенциал поля равен 9 В. Определить в нКл величину заряда.

3.12. Ёмкость проводящей сферы в вакууме равна 20 пФ. Определить в СИ радиус сферы.

3.13. Плоский воздушный конденсатор ёмкостью 8 нФ запасает энергию 40 Дж. Определить в мкКл заряд конденсатора.

3.14. Точечный заряд 5 нКл, помещённый в жидкую среду, создаёт в точке, отстоящей от заряда на расстоянии $0,4$ м, потенциал 15 В. Определить диэлектрическую проницаемость среды.

3.15. Потенциальная энергия взаимодействия двух положительно заряженных небольших шариков, помещённых в вакуум, равна 4 Дж. Определить в СИ расстояние между шариками, если их заряды равны 6 мкКл и 8 мкКл.

3.16. Определить в СИ потенциал электрического поля в точке, удалённой на расстояние $0,3$ м от точечного заряда 2 нКл.

3.17. При перемещении заряда в 3 нКл из точки A в точку B электрическое поле совершает работу $0,12$ мкДж. Определить в СИ потенциал поля в точке A , если потенциал в точке B равен 60 В.

3.18. При перемещении заряда 4 нКл из точки A в точку B электрическое поле совершает работу $0,16$ мкДж. Определить в СИ потенциал поля в точке B , если потенциал в точке A равен 100 В.

3.19. Разность потенциалов между обкладками конденсатора 20 В, заряд одной из пластин 100 нКл. Найти в мкДж энергию заряженного конденсатора.

3.20. На одной из пластин конденсатора находится заряд 5 нКл. Электроёмкость конденсатора равна 50 пФ. Найти в СИ разность потенциалов между пластинами конденсатора.

3.21. Во сколько раз увеличится ёмкость воздушного плоского конденсатора, если между его пластинами поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной 2 , уменьшив при этом расстояние между пластинами в 4 раза?

3.22. Заряд, двигаясь в электрическом поле, прошёл разность потенциалов 300 В. Найти в нКл величину заряда, если поле совершило работу 6 мкДж.

3.23. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора равна $0,2$ м². Найти в пФ ёмкость конденсатора, если расстояние между пластинами конденсатора равно $0,1$ м.

3.24. Найти в пФ ёмкость плоского конденсатора, обкладки которого представляют собой две полоски фольги площадью $0,4$ м² каждая, разделённые парафином. Расстояние между обкладками $0,08$ м. Диэлектрическую проницаемость парафина принять равной 2 .

3.25. В поле между обкладками плоского конденсатора на заряд $0,2$ мкКл действует сила 50 мкН. Определить в СИ напряжение, до которого заряжен конденсатор, если расстояние между его пластинами $0,03$ м.

3.26. Электрическое поле создано точечным зарядом величиной 4 нКл, помещённым в среду с диэлектрической проницаемостью 80. Определить в СИ потенциал в точке поля, находящейся на расстоянии 0,05 м от заряда.

3.27. Найти в СИ модуль разности потенциалов между точками, находящимися на одной силовой линии однородного электрического поля напряжённостью 100 В/м. Расстояние между точками 5 см.

3.28. Определить в мкДж кинетическую энергию, которую приобретет положительно заряженная частица, пройдя в электрическом поле воздушного конденсатора от положительно заряженной пластины до отрицательно заряженной. Разность потенциалов между пластинами 100 В, заряд частицы 2 мкКл, начальная скорость её равна нулю.

3.29. Батарея из двух параллельно соединённых конденсаторов имеет ёмкость 10 мкФ. Найти в мкФ ёмкость первого конденсатора, если ёмкость второго равна 7 мкФ.

3.30. Батарея из двух последовательно соединённых конденсаторов имеет ёмкость 8 мкФ. Найти в мкФ ёмкость первого конденсатора, если ёмкость второго равна 40 мкФ.

3.31. Между точками A и B однородного электрического поля, находящимися на одной силовой линии, разность потенциалов 15 В. Найти в СИ напряжённость поля в точке A , если расстояние между точками A и B равно 5 см.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Два одинаковых точечных заряда создают в точке, лежащей на середине расстояния между ними, потенциал 30 В. Чему будет равен потенциал этой точки, если, перемещая один из зарядов вдоль прямой, их соединяющей, увеличить расстояние между зарядами в 2 раза? Ответ дать в СИ.

4.2. Электрон перемещается в однородном электрическом поле вдоль силовой линии на расстояние 20 см. Напряжённость поля равна 25 В/м. Определить в эВ работу поля по перемещению электрона.

4.3. Энергия электрического поля в конденсаторе равна 20 мДж. Определить в мкКл заряд конденсатора, если его электроёмкость равна 10 нФ.

4.4. Несколько одинаковых конденсаторов ёмкостью по 60 нФ каждый соединили последовательно, так что общая ёмкость стала равна 15 нФ. Какова будет общая ёмкость этих конденсаторов, если их соединить параллельно? Ответ дать в нФ.

4.5. Пылинка, находящаяся в электрическом поле и несущая заряд 300 нКл, переместилась под действием поля из точки A в точку B . Найти в СИ разность потенциалов между точками A и B , если кинетическая энергия пылинки изменилась на 9 мкДж.

4.6. Энергия плоского воздушного конденсатора равна 4 мкДж, а ёмкость 200 пФ. Найти в СИ разность потенциалов между обкладками конденсатора.

4.7. Энергия плоского воздушного конденсатора 100 мкДж, а разность потенциалов между обкладками конденсатора 20 В. Найти в мкФ ёмкость конденсатора.

4.8. Во сколько раз уменьшится потенциал заряженного металлического шара радиусом 0,1 м, если этот шар с помощью длинного проводника электри-

чески соединить с удалённым от него незаряженным металлическим шаром радиусом 0,3 м? Ёмкостью проводника пренебречь.

4.9. Два конденсатора соединены параллельно. Ёмкость первого 1000 пФ, второго – 5000 пФ. Найти в мкКл заряд первого конденсатора, если заряд второго 10 мкКл.

4.10. На большом расстоянии друг от друга находятся два металлических шара: заряженный шар A радиусом 1 м и незаряженный шар B . После электрического соединения шаров длинным проводником заряд шара B стал равен 0,02 мкКл, а потенциал 100 В. Найти в СИ потенциал шара A до соединения.

4.11. Какая работа совершается однородным электрическим полем напряжённостью 100 В/м при перемещении заряда 2 мкКл на 2 см в направлении, составляющем угол 60° с направлением силовых линий? Ответ дать в мкДж.

4.12. Конденсатор ёмкостью 1000 пФ зарядили до разности потенциалов 10 В. Определить в СИ плотность энергии электрического поля, если площадь обкладки 1 см^2 , расстояние между обкладками 1 мм.

4.13. Два одинаковых конденсатора соединили параллельно и зарядили до напряжения 10 В. При этом заряд батареи конденсаторов 100 мкКл. Определить в мкФ ёмкость каждого конденсатора.

4.14. Три конденсатора соединены последовательно. Ёмкости первого и второго конденсаторов одинаковы и равны 4 мкФ, ёмкость батареи конденсаторов 1 мкФ. Найти в мкФ ёмкость третьего конденсатора.

4.15. Определить в мм расстояние между двумя плоскими заряженными пластинами, если разность потенциалов между ними 2 кВ, заряд пластины 10 нКл, площадь пластины 10 см^2 .

4.16. Определить в пН электрическую силу, действующую на электрон в плоском конденсаторе, если разность потенциалов между пластинами 10 кВ, а расстояние между ними равно 1,6 мм.

4.17. Определить в мДж энергию заряженного конденсатора, если его ёмкость 1000 мкФ, а заряд 10 мКл.

4.18. Определить в СИ энергию наэлектризованного проводящего шара с поверхностной плотностью заряда 10 мкКл/м^2 , если его потенциал равен 4 кВ. Площадь поверхности шара $12,5 \text{ м}^2$.

4.19. Между пластинами воздушного конденсатора, если его зарядить, возникает однородное электрическое поле напряжённостью 150 В/м. Определить в мкФ ёмкость конденсатора, если расстояние между пластинами 5 см, заряд пластины 7,5 мкКл.

4.20. Неподвижная пылинка имеет заряд 1,4 мкКл и расположена в точке A . При включении электрического поля пылинка под действием поля приходит в движение. Определить в мкДж кинетическую энергию пылинки в точке B , где потенциал поля меньше потенциала в точке A на 500 В.

4.21. При внесении заряда 200 нКл в электрическое поле совершена работа 0,4 мкДж. Найти в СИ потенциал поля в точке, в которой находится заряд.

4.22. Плоский конденсатор со слюдяной изоляцией заряжен до разности потенциалов 150 В и отключен от источника напряжения. Диэлектрическая

проницаемость слюды 7. Определить в СИ разность потенциалов между обкладками конденсатора после удаления слюдяной пластинки.

4.23. Найти в СИ заряд, который нужно сообщить двум последовательно соединённым конденсаторам с ёмкостями 2 пФ и 3 пФ, чтобы зарядить их до разности потенциалов 10 кВ.

4.24. Под действием электрического поля электрон перемещается от одной пластины вакуумного конденсатора к другой, при этом он получает кинетическую энергию $3,2 \cdot 10^{-15}$ Дж. Найти в кВ разность потенциалов между пластинами.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Два конденсатора, электроёмкости которых 1 мкФ и 2 мкФ, включили параллельно. Чему равно напряжение между обкладками полученной батареи конденсаторов, если до соединения напряжения на них были равны соответственно 300 В и 150 В. Ответ дать в СИ.

5.2. Между обкладками плоского конденсатора, разность потенциалов между которыми 300 В, а расстояние 3 см, движется заряженная частица. Масса частицы 20 мкг, заряд 10 мкКл. Определить в км/с² ускорение частицы. Поле тяжести не учитывать.

5.3. Пылинка, находящаяся в электрическом поле и несущая заряд 5 нКл, переместилась под действием поля из точки с потенциалом 200 В в точку с потенциалом 100 В. Найти в мкДж изменение кинетической энергии пылинки.

5.4. Заряженная пылинка, находящаяся в электрическом поле, переместилась под действием поля в направлении силовых линий из точки с потенциалом 30 В в точку с потенциалом 10 В. Кинетическая энергия пылинки изменилась при этом на 0,1 мкДж. Найти в нКл заряд пылинки.

5.5. Разность потенциалов между пластинами плоского воздушного конденсатора равна 20 В. Площадь пластин конденсатора равна 0,2 м², а расстояние между ними равно 8,85 мм. Найти в мкДж энергию конденсатора.

5.6. Какую скорость будет иметь электрон, пройдя в электрическом поле разность потенциалов 1,82 В? Начальная скорость электрона равна нулю. Ответ дать в км/с.

5.7. Конденсатор ёмкостью 2 мкФ подсоединили к источнику постоянного напряжения 950 В, конденсатор ёмкостью 5 мкФ – к источнику 600 В. После отключения от источников конденсаторы соединили друг с другом параллельно. Определить в СИ напряжение батареи конденсаторов.

5.8. Два заряженных, отключенных от источников напряжения конденсатора ёмкостью 4 пФ и 1 пФ соединили между собой параллельно разноимённо заряженными обкладками. Определить в СИ напряжение батареи конденсаторов, если до соединения первый конденсатор имел заряд 1 нКл, второй 0,5 нКл.

5.9. Какую кинетическую энергию приобретает частица с зарядом 2 мкКл, проходя в электрическом поле воздушного конденсатора от положительно заряженной пластины до отрицательно заряженной? Разность потенциалов между пластинами 100 В, начальная скорость частицы равна нулю. Ответ дать в мкДж.

5.10. Два одинаковых конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику с э.д.с. 20 В. Заряд на обкладках конденсаторов 1 нКл. Определить в пФ ёмкость каждого конденсатора.

5.11. Два одинаковых конденсатора ёмкостью 1 мкФ каждый соединены параллельно и подключены к источнику с э.д.с. 1 В. Определить в мкКл заряд батареи конденсаторов.

5.12. Электрон пролетает промежуток с электрическим полем, при этом его кинетическая энергия возрастает вдвое. Во сколько раз возрастёт энергия электрона при пересечении им этого промежутка, если разность потенциалов на его концах увеличить в три раза? Начальная энергию электрона в обоих случаях одна и та же.

5.13. Во сколько раз возрастёт энергия воздушного конденсатора, подключенного к источнику тока, если расстояние между пластинами увеличить вдвое и поместить между ними диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной 6?

5.14. Два конденсатора ёмкостью 10 пФ каждый соединили последовательно и подключили к источнику с э.д.с. 20 В. Определить в нДж энергию электрического поля системы конденсаторов.

5.15. Определить в пФ ёмкость конденсатора, если известно, что при сообщении ему заряда 10 мкКл совершается работа 10 Дж.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Проводящий уединённый шар радиусом 25 см зарядили до потенциала 600 В, а затем заземлили. Определить в СИ количество тепла, выделившееся в заземляющем проводнике.

6.2. Во сколько раз увеличится ёмкость плоского воздушного конденсатора, пластины которого расположены вертикально, если конденсатор погрузить до половины в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной 5?

6.3. Воздушный конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Во сколько раз уменьшится энергия конденсатора, если расстояние между пластинами уменьшить вдвое и зазор заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 6.

6.4. Конденсатор состоит из нескольких латунных листов, проложенных стеклянными прокладками толщиной 2 мм. Площадь листа 200 см^2 , диэлектрическая проницаемость стекла 7. Определить количество листов, если ёмкость конденсатора 17,7 пФ.

6.5. Пластины воздушного конденсатора отсоединили от источника тока, раздвинули вдвое и зазор заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 4. Во сколько раз уменьшилась энергия электростатического поля в конденсаторе?

6.6. Заряженный шарик движется из точки с потенциалом 1400 В в точку, потенциал которой равен нулю. Найти в СИ начальную скорость шарика, если его конечная скорость 0,4 м/с. Заряд шарика 40 нКл, масса 1,6 г.

6.7. Два одинаковых конденсатора соединили последовательно, батарею зарядили от источника с э.д.с. 360 В и затем отключили. Заряженные конденса-

торы с помощью переключателя соединили параллельно. Определить в СИ напряжение на конденсаторах.

6.8. Воздушный плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов 20 кВ. Площадь пластины 40 см^2 , расстояние между пластинами 1,77 мм. Определить в мДж количество теплоты, которое выделится при разрядке конденсатора, считая, что 10% энергии конденсатора рассеивается в виде электромагнитных волн.

6.9. Электрон с начальной кинетической энергией 100 эВ пролетает ускоряющую разность потенциалов 100 В. Определить отношение конечной скорости электрона к начальной.

6.10. 1000 одинаковых шарообразных капелек воды заряжены до одинакового потенциала 0,01 В. Определить в СИ потенциал большой шарообразной капли, которая получается в результате их слияния.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Десять одинаковых конденсаторов, соединённых последовательно, зарядили так, что разность потенциалов между крайними клеммами равна 10 В, и отключили от источника тока. Затем с помощью переключателя их соединили параллельно. Во сколько раз изменилась энергия батареи конденсаторов?

7.2. Электрон пролетает плоский конденсатор против силовых линий, при этом его скорость возрастает вдвое. Во сколько раз надо увеличить напряжение на пластинах конденсатора, чтобы скорость электрона возросла в 4 раза? Начальную скорость в обоих случаях считать одной и той же.

7.3. Определить, во сколько раз возрастёт ёмкость конденсатора, если в среднюю часть зазора вставить пластмассовую пластину с диэлектрической проницаемостью, равной 4, и толщиной, равной половине расстояния между обкладками.

7.4. Пластины воздушного конденсатора отсоединили от источника тока, раздвинули вдвое и зазор заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 4. Во сколько раз уменьшилась объёмная плотность энергии электрического поля?

7.5. К заряженному конденсатору ёмкостью 5 мкФ подключают параллельно систему из двух последовательно соединённых незаряженных конденсаторов, ёмкости которых равны 10 мкФ и 20 мкФ. При этом по проводам протекает заряд 0,2 мКл. Определить в СИ, до какого напряжения был заряжен конденсатор.

7.6. Определить в мН силу, с которой одна пластина плоского воздушного конденсатора действует на другую. Заряд конденсатора 177 нКл, площадь пластины 100 см^2 .

7.7. Обкладки плоского конденсатора расположены горизонтально. Разность потенциалов между обкладками 10 кВ, расстояние – 30 см. К верхней обкладке (положительной) подвешен на тонкой нити положительно заряженный шарик. Определить в мс период колебаний шарика, если длина нити 15 см, заряд шарика 150 нКл, масса 1 г. Ускорение силы тяжести принять 10 м/с^2 .

7.8. Три конденсатора с ёмкостями $C_1 = 2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ и $C_3 = 6 \text{ мкФ}$ соединены последовательно. Пробивное напряжение каждого из конденсаторов рав-

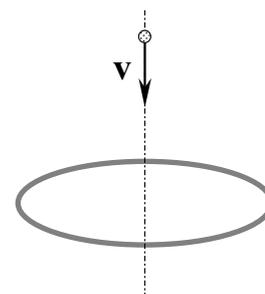
но 600 В. Определить в СИ максимальную величину э.д.с. источника напряжения, к которому можно подключить эту конденсаторную батарею для её зарядки.

7.9. Обкладки плоского воздушного конденсатора ёмкостью 2 мкФ присоединены к аккумулятору, э.д.с. которого 100 В. Расстояние между обкладками 24 мм. На сколько ньютонов изменится сила притяжения между обкладками, если конденсатор, не отключая от аккумулятора, опустить в жидкость с диэлектрической проницаемостью, равной 7?

7.10. Металлический шар радиусом 10 см заряжен с поверхностной плотностью заряда 5 мкКл/м² и помещён в среду с диэлектрической проницаемостью 30. На расстоянии 20 см от поверхности этого шара расположен положительный точечный заряд. Величина заряда 5 мкКл. На сколько миллиджоулей увеличится энергия этой системы зарядов, если точечный заряд приблизить к шару на 5 см?

7.11. Обкладки большого плоского конденсатора расположены горизонтально, а между ними на нити подвешен металлический шарик массой 1 г. Если шарик не заряжен, то период его колебаний равен $\sqrt{14}$ с. При сообщении шарика положительного заряда q период его колебаний уменьшился в 1,2 раза. Определить в СИ период колебаний шарика, если его заряд изменить на противоположный, то есть на $-q$.

7.12. Положительно заряженная капелька ($q_1 = 2$ нКл) приближается к отрицательно заряженному ($q_2 = -4$ мкКл) тонкому металлическому кольцу радиусом 40 см. Масса капельки 9 мг, траектория капельки совпадает с осью кольца. В тот момент, когда расстояние между капелькой и плоскостью кольца равно 30 см, её скорость равна 1 м/с. Определить в СИ скорость капельки в центре кольца.



Задачи 8 класса трудности

8.1. Две одинаковые заряженные частицы приближаются друг к другу, и при этом их траектории лежат в одной и той же плоскости. Масса каждой частицы $m = 1$ г, заряд $q = 10^{-4}$ Кл. В некоторый момент времени частицы находятся на расстоянии 2 м друг от друга, при этом скорость каждой из них равна 300 м/с и направлена под углом 30° к прямой, которая их соединяет. Определить в СИ, на какое минимальное расстояние сблизятся частицы.



ТЕМА 7. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

7.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электрический ток – это явление направленного (упорядоченного) движения электрических зарядов. За направление тока принимают направление движения положительных зарядов.

Постоянный электрический ток – это ток, не изменяющийся с течением времени ни по силе, ни по направлению.

Сила тока I – скалярная физическая величина, равная отношению количества заряда Δq , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени Δt , к этому промежутку времени:

$$I = \Delta q / \Delta t. \quad (7.1)$$

Единица измерения силы тока – ампер: $[I] = 1 \text{ А}$.

Плотность тока j – скалярная физическая величина, равная отношению силы тока I , проходящего через проводник, к площади поперечного сечения проводника S :

$$j = I / S. \quad (7.2)$$

Единица измерения плотности тока: $[j] = 1 \text{ А/м}^2$.

Источник электрического тока – это устройство, поддерживающее разность потенциалов на концах электрической цепи. В замкнутой электрической цепи ток вне источника течёт от положительного полюса к отрицательному, а внутри источника – от отрицательного полюса к положительному. Движение зарядов внутри источника возможно лишь под действием так называемой **сторонней силы** (силы неэлектрического происхождения).

Электродвижущей силой (ЭДС) источника называется величина, равная отношению работы сторонних сил A_{1-2}^c при перемещении на участке электрической цепи 1–2 положительного заряда q к величине этого заряда:

$$\varepsilon_{1-2} = A_{1-2}^c / q. \quad (7.3)$$

Напряжением (падением напряжения) U_{1-2} на участке цепи 1–2 называется величина, равная отношению суммарной работы кулоновских и сторонних сил при перемещении на участке 1–2 положительного заряда q к величине этого заряда:

$$U_{1-2} = (A_{1-2}^k - A_{1-2}^c) / q.$$

Так как работа кулоновских сил $A_{1-2}^k = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, можно записать:

$$U_{1-2} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{1-2}, \quad (7.4)$$

Единица измерения ЭДС и напряжения – вольт $[U] = 1 \text{ В}$.

7.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. ЗАКОН ОМА

Электрическое сопротивление проводника R – физическая величина, определяющая силу тока, текущего по нему при заданном напряжении на концах проводника. Сопротивление проводника постоянного сечения, выполненного из однородного материала, задаётся выражением:

$$R = \rho \cdot l / S, \quad (7.5)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, l – длина и S – площадь поперечного сечения проводника.

Единица измерения электрического сопротивления – Ом: $[R] = 1 \text{ Ом}$, а удельного сопротивления – $[\rho] = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Зависимость удельного сопротивления от температуры описывается соотношением:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (7.6)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C , t – температура по шкале Цельсия, α – температурный коэффициент сопротивления ($[\alpha] = 1 \text{ К}^{-1}$).

Электрическое сопротивление r источника тока называется его **внутренним сопротивлением**.

Для произвольного участка электрической цепи 1–2, содержащего источник постоянного тока, можно записать **закон Ома**:

$$I = U_{1-2}/R_{1-2} = [(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{1-2}]/R_{1-2}, \quad (7.7)$$

где сопротивление рассматриваемого участка цепи R_{1-2} равно сумме внешнего и внутреннего сопротивлений: $R_{1-2} = R + r$. Рассмотрим два частных случая (7.7).

1. **Участок цепи**, не содержащий источника тока, называется **однородным** ($\varepsilon = 0, r = 0$). Получаем **закон Ома для однородного участка цепи**:

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2)/R = U/R. \quad (7.8)$$

2. Замкнутая цепь, содержащая источник тока ($\varphi_1 = \varphi_2$). Получим **закон Ома для замкнутой цепи**:

$$I = \varepsilon/(R + r). \quad (7.9)$$

Последовательное соединение проводников (рис. 7.1, а) характеризуется следующими закономерностями:

– Сила тока во всех проводниках одинакова: $I_1 = I_2 = \dots = I_N = I$.

– Полное напряжение U на концах участка цепи равно сумме напряжений на отдельных проводниках: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_N$.

– Общее сопротивление R участка цепи равно сумме сопротивлений каждого из проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N. \quad (7.10)$$

– Напряжение на концах отдельных проводников прямо пропорционально их сопротивлениям: $U_1/U_2 = R_1/R_2$.

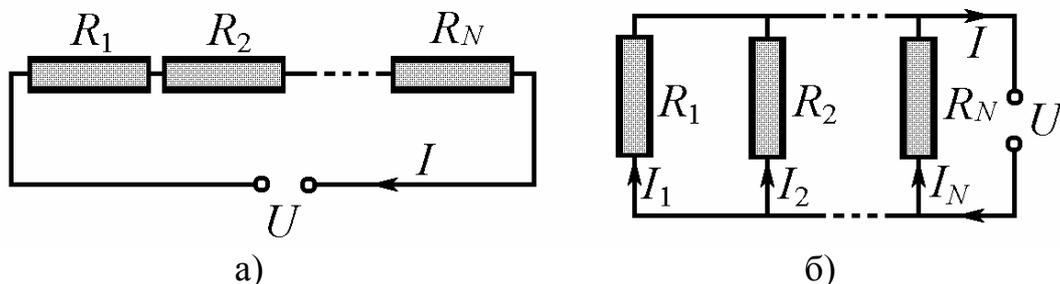


Рисунок 7.1 – Соединения проводников: а) последовательное; б) параллельное

Параллельное соединение проводников (рис. 7.1, б) имеет следующие закономерности:

– Сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов, текущих в каждом проводнике: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_N$.

– Падение напряжения U на всех проводниках одинаково:
 $U = U_1 = U_2 = \dots = U_N$.

– Величина, обратная общему сопротивлению участка цепи, равна сумме обратных величин сопротивлений каждого проводника:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_N. \quad (7.11)$$

– Силы токов в каждом из проводников обратно пропорциональны их сопротивлениям: $I_1/I_2 = R_2/R_1$.

7.3. РАБОТА И ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Работа A , которая совершается в течение времени t постоянным током силы I , текущим по участку цепи, на концах которого поддерживается напряжение U , определяется выражением:

$$A = IUt. \quad (7.12)$$

Мощность, развиваемая электрическим током на этом участке цепи:

$$P = A/t = IU. \quad (7.13)$$

Теплота Q , выделяющаяся в течении времени t в проводнике сопротивлением R при прохождении по нему тока силой I , определяется **законом Джоуля–Ленца**:

$$Q = I^2Rt. \quad (7.14)$$

Мощность тепловых потерь (теплота, выделяемая в единицу времени):

$$P_Q = Q/t = I^2R. \quad (7.15)$$

В однородном участке цепи ($\varepsilon = 0$, $r = 0$) выделяющаяся теплота равна работе электрического тока:

$$Q = I^2Rt = U^2t/R = IUt = A. \quad (7.16)$$

В неоднородном участке цепи, содержащем источник ЭДС, выделяющаяся теплота Q равна сумме работы электрического тока A и работы источника $A_{и}$:

$$Q = A + A_{и}, \text{ где } A_{и} = I\varepsilon t. \quad (7.17)$$

Развиваемая источником тока мощность: $P_{и} = A_{и}/t = I\varepsilon$.

Коэффициент полезного действия (КПД) η источника тока:

$$\eta = P/P_{и} = U/\varepsilon = R/(R + r). \quad (7.18)$$

7.4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и ЭДС 12 В подключена электрическая лампочка сопротивлением 8 Ом. Определить заряд, который будет перенесён через лампочку за 5 минут. Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$r = 2 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$R = 8 \text{ Ом}$$

$$\Delta t = 300 \text{ с}$$

Найти:

$$\Delta q = ?$$

Решение:

Запишем определение силы тока $I = \Delta q/\Delta t$. Отсюда заряд, который будет перенесён через лампочку за время Δt : $\Delta q = I \cdot \Delta t$. Силу тока I можно определить и закона Ома для замкнутой цепи: $I = \varepsilon/(R + r)$. В результате для заряда получим выражение: $\Delta q = \varepsilon \Delta t/(R + r)$. Подставляя численные значения и проводя расчеты, получим: $\Delta q = 12 \cdot 300/(8 + 2) = 360 \text{ Кл}$.

Ответ: $\Delta q = 360 \text{ Кл}$.

2. Нагрузкой усилителя служит цепь, состоящая из резистора R_1 сопротивлением 2 Ом, включенного последовательно с параллельно соединёнными резисторами $R_2 = 5$ Ом и $R_3 = 20$ Ом. Ток в резисторе R_2 равен 1 А. Найти силу тока в резисторе R_1 . Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 5 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 20 \text{ Ом}$$

$$I_2 = 1 \text{ А}$$

Найти:

$$I_1 = ?$$

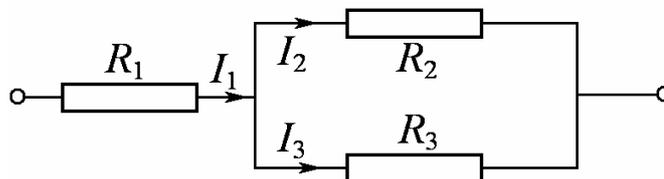


Рисунок 7.2 – Разветвлённое соединение

Для разветвлённой цепи, изображённой на рисунке 7.2, справедливо условие: $I_1 = I_2 + I_3$. Найдём значение силы тока I_3 .

Для этого учтём, что при параллельном соединении резисторов напряжение на них одинаково: $U_2 = U_3$, т.е. $I_2 R_2 = I_3 R_3$. Отсюда $I_3 = I_2 R_2 / R_3$. В итоге, $I_1 = I_2 + I_2 R_2 / R_3 = I_2 (R_3 + R_2) / R_3$. Обратим внимание на то, что значение R_1 нам не понадобилось. Проводя вычисления, получим $I_1 = 1 \cdot (20 + 5) / 20 = 1,25 \text{ А}$.

Ответ: $I_1 = 1,25 \text{ А}$.

3. Для измерения ЭДС своего аккумулятора автомобилист последовательно соединил источник с ЭДС, равной 2 В, и амперметр. При этом амперметр показал ток равный 1 А. При изменении полярности включения аккумулятора ток в цепи стал равен 0,75 А. Какова ЭДС аккумулятора? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$\varepsilon = 2 \text{ В}$$

$$I_1 = 1 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,75 \text{ А}$$

Найти:

$$\varepsilon_x = ?$$

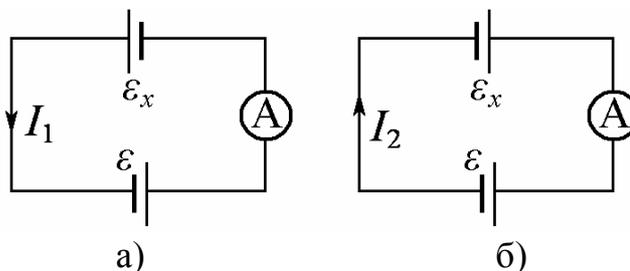


Рисунок 7.3 – Включение источников тока в цепь:

а) последовательное; б) встречное

При первом способе включения в цепь источников тока (рис. 7.3, а) их ЭДС складываются, т.е. результирующая ЭДС в цепи равна: $\varepsilon_1 = \varepsilon + \varepsilon_x$. Из закона Ома для замкнутой цепи сила тока $I_1 = \varepsilon_1 / R = (\varepsilon + \varepsilon_x) / R$, где R – полное сопротивление цепи. При втором способе соединения (рис. 7.3, б) источники тока включены навстречу друг другу, поэтому результирующая ЭДС в цепи будет находиться как $\varepsilon_2 = \varepsilon_x - \varepsilon$ (предполагая, что $\varepsilon_x > \varepsilon$). Используя закон Ома для данного случая, получим: $I_2 = \varepsilon_2 / R = (\varepsilon_x - \varepsilon) / R$. Взяв отношение выражений для сил токов $I_1 / I_2 = (\varepsilon_x + \varepsilon) / (\varepsilon_x - \varepsilon)$ и выражая ε_x , получим: $\varepsilon_x = \varepsilon \cdot (I_1 + I_2) / (I_1 - I_2)$. Вычислим: $\varepsilon_x = 2 \cdot (1 + 0,75) / (1 - 0,75) = 14 \text{ В}$.

Ответ: $\varepsilon_x = 14 \text{ В}$.

4. Определить в единицах СИ сопротивление шунта, который нужно подключить параллельно к амперметру, чтобы можно было измерять токи до 5 А. Амперметр имеет шкалу на 1 А и внутреннее сопротивление 5 Ом.

Решение:

Дано:
 $I = 5 \text{ А}$
 $I_A = 1 \text{ А}$
 $R_A = 5 \text{ Ом}$
Найти:
 $R_{\text{ш}} = ?$

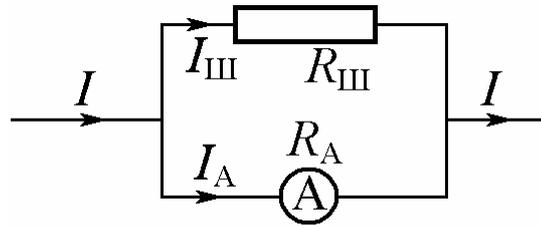


Рисунок 7.4 – Амперметр с шунтом

Ни рисунке 7.4. изображена схема подключения амперметра с шунтом. Предполагается, что через неразветвлённый участок цепи течёт максимальный ток I , а через амперметр максимально допустимый ток I_A . Запишем закон Ома для двух параллельных участков цепи $I_{\text{ш}} = U_{\text{ш}}/R_{\text{ш}}$ – для шунта и $I_A = U_A/R_A$ – для амперметра. Для параллельных участков падения напряжения равны $U_{\text{ш}} = U_A$, следовательно $I_{\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}} = I_A \cdot R_A$, и $R_{\text{ш}} = I_A \cdot R_A / I_{\text{ш}}$. Силу тока через шунт $I_{\text{ш}}$ можно найти из условия $I = I_A + I_{\text{ш}}$, $I_{\text{ш}} = I - I_A$. В результате подстановки получим окончательное выражение для $R_{\text{ш}}$: $R_{\text{ш}} = I_A \cdot R_A / (I - I_A)$.

Расчёт даёт: $R_{\text{ш}} = 1 \cdot 5 / (5 - 1) = 1,25 \text{ Ом}$.

Ответ: $R_{\text{ш}} = 1,25 \text{ Ом}$.

5. Определить в единицах СИ сопротивление резистора, который необходимо подключить последовательно с вольтметром, чтобы можно было измерять напряжения до 50 В. Вольтметр имеет шкалу максимум на 10 В и внутреннее сопротивление 200 Ом.

Решение:

Дано:
 $U = 50 \text{ В}$
 $U_V = 10 \text{ В}$
 $R_V = 200 \text{ Ом}$
Найти:
 $R = ?$

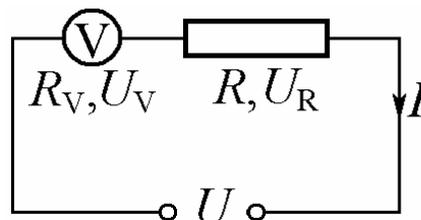


Рисунок 7.5 – Вольтметр с резистором

Ни рисунке 7.5. изображена схема подключения вольтметра с резистором. Максимально допустимое напряжение на вольтметре при подаче на цепь максимального напряжения внешней цепи U будет равно U_V . Запишем закон Ома для двух участков цепи $I_V = U_V/R_V$ – для вольтметра и $I_R = U_R/R$ – для резистора. При последовательном соединении токи равны ($I_V = I_R$), тогда $U_V/R_V = U_R/R$, и $R = R_V \cdot U_R / U_V$. Напряжение на резисторе можно найти из условия $U = U_R + U_V$, $U_R = U - U_V$. В результате подстановки получим окончательное выражение для R : $R = R_V \cdot (U - U_V) / U_V$. Подставляя численные значения, получим: $R = 200 \cdot (50 - 10) / 10 = 800 \text{ Ом}$.

Ответ: $R = 800 \text{ Ом}$.

6. Шнур питания магнитофона изготовлен из проводника с удельным сопротивлением $40 \text{ нОм}\cdot\text{м}$ и плотностью 8000 кг/м^3 . Определить массу материала, пошедшего на изготовление провода, если его поперечное сечение 3 мм^2 и сопротивление $0,01 \text{ Ом}$. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$\rho_R = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$\rho = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$S = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$R = 0,01 \text{ Ом}$$

Найти:

$$m = ?$$

Масса проводника m пропорциональна его объёму V : $m = \rho V = \rho S l$, где l – длина проводника. Сопротивление проводника можно определить из выражения $R = \rho_R \cdot l / S$. Отсюда выразим длину проводника и подставим в выражение для массы: $m = \rho S^2 R / \rho_R$. Проведём расчёты и получим: $m = 8 \cdot 10^3 \cdot (3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,01 / 4 \cdot 10^{-8} = 0,018 \text{ кг}$.

$$\text{Ответ: } m = 0,018 \text{ кг.}$$

7. Проводник из материала с температурным коэффициентом сопротивления $0,003 \text{ К}^{-1}$ при включении в сеть постепенно нагрелся от $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Во сколько раз уменьшилась мощность, потребляемая проводником при неизменном напряжении в сети?

Решение:

Дано:

$$\alpha = 0,003 \text{ К}^{-1}$$

$$t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = \text{const}$$

Найти:

$$P_0/P = ?$$

Запишем выражения для мощности, потребляемой проводником в начале нагрева: $P_0 = U^2/R_0$, и в конце нагрева: $P = U^2/R$, где R_0 и R – начальное и конечное сопротивления проводника. Тогда искомое отношение мощностей: $P_0/P = R/R_0$. Подставляя сюда выражения для температурной зависимости сопротивления проводника (при условии неизменности его геометрических параметров): $R = \rho_R \cdot l / S = \rho_0 \cdot (1 + \alpha t) \cdot l / S = (\rho_0 l / S) \cdot (1 + \alpha t) = R_0 \cdot (1 + \alpha t)$, получим

$P_0/P = (1 + \alpha t)$. Вычисляя, находим $P_0/P = (1 + 0,003 \cdot 100) = 1,3$.

$$\text{Ответ: } P_0/P = 1,3.$$

8. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и ЭДС 12 В подключены две последовательно соединённые лампочки сопротивлением 5 Ом каждая. Определить мощность, выделяющуюся в одной лампочке. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$r = 2 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$R_{\text{л}} = 5 \text{ Ом}$$

Найти:

$$P_{\text{л}} = ?$$

Мощность, выделяющаяся в одной лампочке, можно рассчитать по формуле $P_{\text{л}} = I^2 R_{\text{л}}$. Ток I , текущий в цепи, найдём из закона Ома для замкнутой цепи: $I = \varepsilon / (R + r)$, где R – сопротивление нагрузки, состоящей из двух последовательно соединённых ламп $R = R_{\text{л}} + R_{\text{л}} = 2R_{\text{л}}$. Произведём подстановку в выражение для мощности и получим $P_{\text{л}} = \varepsilon^2 \cdot R_{\text{л}} / (2R_{\text{л}} + r)^2$.

Вычислим: $P_{\text{л}} = 12^2 \cdot 5 / (10 + 2)^2 = 5 \text{ Вт}$.

$$\text{Ответ: } P_{\text{л}} = 5 \text{ Вт.}$$

9. Три одинаковых проводника соединили параллельно и включили в сеть. При этом за 40 с выделилось 200 Дж теплоты. Сколько времени потребуется для выделения 200 Дж теплоты, если эти же проводники соединить последовательно и включить в ту же сеть? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$t_1 = 40 \text{ с}$$

$$Q = 200 \text{ Дж}$$

Найти:

$$t_2 = ?$$

Рассмотрим два случая включения сопротивлений в цепи с неизменным внешним напряжением U .

1. При параллельном соединении проводников их общее сопротивление R_1 определяется из выражения: $1/R_1 = 1/R + 1/R + 1/R = 3/R$, $R_1 = R/3$, где R – сопротивление каждого проводника. Количество тепла, выделяющегося в проводниках можно найти по формуле: $Q = U^2 \cdot t_1 / R_1 = 3U^2 \cdot t_1 / R$.

2. При последовательном соединении проводников их общее сопротивление R_2 определяется как $R_2 = R + R + R = 3R$. Количество тепла, выделяющегося в проводниках в этом случае, можно найти по формуле: $Q = U^2 \cdot t_2 / R_2 = U^2 \cdot t_2 / 3R$.

Так как, по условию, количество тепла в обоих случаях выделяется одинаковое, то приравняем полученные выражения и выразим искомое значение времени t_2 : $t_2 = 9t_1$. Вычисляя, получим $t_2 = 9 \cdot 40 = 360 \text{ с}$.

Ответ: $t_2 = 360 \text{ с}$.

10. Чему равен коэффициент полезного действия источника тока, если при увеличении в два раза внешнего сопротивления, на которое он замкнут, разность потенциалов на обкладках источника увеличивается на 10 %? Ответ дать в процентах, округлив до целого числа.

Решение:

Дано:

$$R_2 = 2R_1$$

$$U_2 = 1,1U_1$$

Найти:

$$\eta_1 = ?$$

Коэффициент полезного действия источника тока определяется выражением: $\eta_1 = R_1 / (R_1 + r) = (1 + r/R_1)^{-1}$, где R_1 – сопротивление нагрузки, а r – внутреннее сопротивление источника. В итоге, нужно найти отношение r/R_1 . Запишем закон Ома для полной цепи в первом и втором случае: $\varepsilon = I_1(R_1 + r) = U_1 + I_1r$, $\varepsilon = I_2(R_2 + r) = U_2 + I_2r$. Отсюда,

$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$ (*). Учитывая условие задачи $R_2 = 2R_1$ и $U_2 = 1,1U_1$, найдём: $2I_2R_1 = 1,1 \cdot I_1R_1$, $I_2 = 0,55 \cdot I_1$. Возвращаясь к выражению (*), получим: $I_1(R_1 + r) = 0,55I_1(2R_1 + r)$, $R_1 + r = 1,1R_1 + 0,55r$, $0,1R_1 = 0,45r$, $r/R_1 = 2/9$.

Подставляя отношение r/R_1 в выражение для КПД, найдём:

$$\eta_1 = (1 + 2/9)^{-1} = 9/11 = 0,818 \approx 82 \%$$

Ответ: $\eta_1 = 82 \%$.

7.5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. К источнику питания, э.д.с. которого 36 В, а внутреннее сопротивление 0,5 Ом, подключена электрическая лампочка. Ток в цепи 3 А. Определить в СИ сопротивление лампочки.

3.2. Сопротивление проводника при температуре 100 °С составляет 13,5 Ом. Определить в СИ его сопротивление при 0 °С, если температурный коэффициент сопротивления проводника $0,005 \text{ K}^{-1}$.

3.3. За счет протекания тока 5 А через спираль электроплитки в ней выделяется мощность 1500 Вт. Определить в СИ сопротивление спирали.

3.4. Через проводник сопротивлением 15 Ом за 60 секунд переносится заряд 300 Кл. Определить в СИ падение напряжения на проводнике.

3.5. Электрическая цепь состоит из источника питания с внутренним сопротивлением 1 Ом и нагрузки сопротивлением 14 Ом. Ток в цепи равен 0,1 А. Определить в СИ э.д.с. источника питания.

3.6. Определить в мг массу цинка, выделившегося на катоде при пропускании через раствор сернокислого цинка постоянного тока 100 мА в течение 50 с. Электрохимический эквивалент цинка 340 мкг/Кл.

3.7. Автомобильная лампочка сопротивлением 6 Ом потребляет мощность 24 Вт. Определить в СИ ток через лампочку.

3.8. Электронный луч за 1 миллисекунду приносит на экран электронно-лучевой трубки 10^9 электронов. Определить в мкА силу тока в электронном луче.

3.9. В спирали электроплитки плотность тока 3 кА/см^2 . Определить в СИ силу тока через спираль, если площадь поперечного сечения проволоки, из которой сделана спираль, равна $0,2 \text{ мм}^2$.

3.10. Лампочка сопротивлением 16 Ом и реостат сопротивлением 10 Ом соединены параллельно и подключены к источнику питания. Определить в СИ падение напряжения на лампочке, если потребляемый от источника питания ток равен 0,26 А.

3.11. Холодильник, включенный в сеть постоянного тока напряжением 110 В, потребляет ток 5 А. Определить в киловатт-часах количество электроэнергии, израсходованной на непрерывную работу холодильника в течение 10 часов.

3.12. Две электрических лампочки, сопротивлением по 46 Ом каждая, соединены параллельно и подключены к источнику питания с внутренним сопротивлением 1 Ом. Определить в СИ э.д.с. источника питания, если ток через него равен 1 А.

3.13. Паяльник включен в сеть с напряжением 36 В. Определить в СИ количество электричества, которое должно пройти по спирали паяльника, чтобы работа тока в спирали была равной 360 Дж.

3.14. Определить в СИ сопротивление катушки громкоговорителя, если при силе тока 2 А в катушке выделяется мощность 32 Вт.

3.15. Лампочка при включении в сеть с напряжением 50 В потребляет мощность 100 Вт. Определить в СИ силу тока, протекающего по спирали лампочки.

3.16. За сколько секунд спираль электрического чайника выделит 2500 Дж теплоты, если по ней протекает ток силой 5 А? Сопротивление спирали 10 Ом.

3.17. Определить в СИ сопротивление спирали, если на её изготовление израсходовано 150 м нихромовой проволоки с поперечным сечением 0,2 мм². Удельное сопротивление нихрома 1 мкОм·м.

3.18. Нагрузкой полупроводникового усилителя служит резистор сопротивлением 500 Ом. Определить в СИ количество теплоты, которое выделится в резисторе за 20 секунд при протекании в нём тока силой 100 мА.

3.19. Нагреватель термостата имеет две спирали сопротивлением 60 Ом и 40 Ом, соединённые последовательно. Определить в СИ мощность нагревателя, если через него протекает ток 2 А.

3.20. Электрическая плитка имеет две спирали сопротивлением 100 Ом каждая. Определить в СИ мощность плитки при параллельном соединении спиралей и включении её в сеть напряжением 220 В.

3.21. Определить в СИ массу меди, выделившейся при электролизе за 1000 с, если ток электролиза равен 100 А. Электрохимический эквивалент меди $3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

3.22. Два резистора сопротивлением 20 Ом и 30 Ом включены в схему последовательно. Определить в СИ силу тока в первом резисторе, если напряжение на втором 60 В.

3.23. Два резистора сопротивлением 40 Ом и 60 Ом включены в схему параллельно. Определить в СИ силу тока в первом резисторе, если напряжение на втором 100 В.

3.24. Во сколько раз увеличится сопротивление проводника, если его нагреть на 200 К? Температурный коэффициент сопротивления $0,005 \text{ K}^{-1}$.

3.25. Через поперечное сечение резистора сопротивлением 17 Ом за каждые 5 секунд переносится заряд 10 Кл. Определить в СИ мощность, выделяющуюся в резисторе.

3.26. Температурный коэффициент сопротивления проволоки в единицах СИ равен 0,01. Сопротивление проволоки при температуре 100 °С равно 100 Ом. Определить в СИ сопротивление проволоки при температуре 0 °С.

3.27. В карманном фонаре лампочка сопротивлением 43 Ом потребляет ток 0,1 А. Э.д.с. батарейки 4,5 В. Определить в СИ внутреннее сопротивление батарейки.

3.28. К источнику питания, внутреннее сопротивление которого 2 Ом, подключена лампочка сопротивлением 8 Ом. Сила тока в лампочке равна 2 А. Определить в СИ э.д.с. источника питания.

3.29. Электрокипятильник потребляет мощность 1000 Вт от сети постоянного тока напряжением 110 В. Определить в СИ сопротивление кипятивника. Ответ дать в СИ.

3.30. Через раствор медного купороса, налитый в электролитическую ванну, пропускают ток 10 А в течение 2 часов. Определить в граммах массу меди, выделившейся на катоде. Электрохимический эквивалент меди $3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

3.31. В резисторе, по которому протекает ток $0,1\text{ А}$, выделяется мощность 2 Вт . Определить в СИ напряжение на резисторе.

3.32. Электрическая лампочка сопротивлением 5 Ом подключена к аккумулятору с э.д.с. 12 В . Сила тока через лампочку равна 2 А . Определить в СИ внутреннее сопротивление аккумулятора.

3.33. Электроутюг потребляет мощность 1000 Вт . Сопротивление его нагревательного элемента 40 Ом . Определить в СИ силу тока через нагревательный элемент.

3.34. К аккумуляторной батарее с внутренним сопротивлением 1 Ом подключена лампочка сопротивлением $5,5\text{ Ом}$. Сила тока в лампочке 2 А . Определить в СИ э.д.с. батареи.

3.35. Лампочка, имеющая сопротивление 121 Ом , подключена к сети постоянного тока и потребляет мощность 100 Вт . Определить в СИ напряжение в сети.

3.36. Работающая от сети электропечь имеет две последовательно соединённые спирали сопротивлением 40 Ом и 60 Ом . Падение напряжения на первой спирали равно 52 В . Определить в СИ напряжение в сети.

3.37. Определить в СИ сопротивление алюминиевого провода длиной 200 м и площадью поперечного сечения $0,1\text{ мм}^2$. Удельное сопротивление алюминия $28\text{ нОм}\cdot\text{м}$.

3.38. Определить в СИ внутреннее сопротивление источника питания, э.д.с. которого 12 В , если через внешнюю цепь сопротивлением 11 Ом , подключенную к источнику, протекает ток силой 1 А .

3.39. Определить в СИ сопротивление внешней цепи, подключенной к источнику тока с э.д.с. 20 В и внутренним сопротивлением 2 Ом , если сила тока в цепи равна 2 А .

3.40. Паяльник, включенный в сеть с напряжением 30 В , потребляет мощность 60 Вт . Найти в СИ силу тока, протекающего через спираль паяльника.

3.41. Лампу накаливания включили в сеть постоянного тока. Определить в СИ величину напряжения в сети, если сила тока, протекающего через спираль лампы, равна 2 А , а потребляемая ею мощность 100 Вт .

3.42. Определить в СИ падение напряжения на проводнике сопротивлением 12 Ом , если известно, что за 10 секунд по проводнику прошёл заряд 30 Кл .

3.43. Нагреватель имеет спираль сопротивлением 6 кОм . Найти в мА силу тока, протекающего через эту спираль при включении нагревателя в сеть с напряжением 120 В .

3.44. Высоковольтный источник с э.д.с. 100 кВ и внутренним сопротивлением 15 кОм питает внешнюю цепь сопротивлением 35 кОм . Определить в СИ силу тока во внешней цепи.

3.45. Определить в СИ э.д.с. источника тока с внутренним сопротивлением 2 Ом , если в питаемой им внешней цепи сопротивлением 7 Ом течёт ток силой 3 А .

3.46. До какой температуры был нагрет проводник, если известно, что его сопротивление после нагрева стало в $1,3$ раза больше, чем сопротивление при $0\text{ }^\circ\text{С}$? Температурный коэффициент сопротивления материала, из которого изготовлен проводник, равен $0,003\text{ К}^{-1}$. Ответ дать в градусах Цельсия.

3.47. На сколько секунд был включен в сеть кипятильник сопротивлением 2 Ом, если при силе тока 2 А кипятильник выделил 400 Дж теплоты?

3.48. Определить в МДж количество теплоты, которое выделяется за 2 минуты в проводнике сопротивлением 5 кОм, если через него протекает ток силой 10 А.

3.49. Через внешнюю цепь сопротивлением 6 Ом, подключенную к источнику с э.д.с. 15 В, протекает ток 2 А. Определить в СИ внутреннее сопротивление источника питания.

3.50. Источник тока с э.д.с. 12 В и внутренним сопротивлением 2 Ом обеспечивает во внешней цепи силу тока 0,5 А. Определить в СИ сопротивление внешней цепи.

3.51. Определить в СИ сопротивление электроплитки при постоянном напряжении на ней 220 В, если мощность плитки 1,1 кВт.

3.52. Проводники сопротивлением 1 Ом и 2 Ом соединены последовательно. Напряжение на большем сопротивлении 3 В. Найти в СИ силу тока в другом проводнике.

3.53. При подключении к аккумулятору нагрузки сопротивлением 5 Ом ток в цепи равен 1 А, а с нагрузкой 2 Ом ток становится равным 2 А. Определить в СИ внутреннее сопротивление источника питания.

3.54. При подключении электрической лампочки к круглой батарееке через нить накала лампочки протекает 6 Кл за 1 минуту, а при подключении к плоской батарееке – 3 Кл за 10 секунд. Во сколько раз увеличивается сила тока при смене батареек?

3.55. Два резистора $R_1 = 12$ Ом и $R_2 = 4$ Ом включены параллельно. Ток через резистор R_1 равен 0,25 А. Найти в СИ ток через резистор R_2 .

3.56. Два проводника соединены параллельно. Сопротивление одного из них 30 Ом. Общее сопротивление цепи 12 Ом. Определить в СИ сопротивление другого проводника.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Амперметр с внутренним сопротивлением 9 Ом рассчитан на измерение тока до 1 А. Определить в СИ сопротивление шунта, который необходимо включить параллельно амперметру, чтобы им можно было измерять ток до 10 А.

4.2. По проводнику сопротивлением 5 Ом был перенесён заряд 3 Кл током 1 А. Определить в СИ количество тепла, выделившегося в проводнике.

4.3. Суммарная мощность, выделяемая в замкнутой цепи, состоящей из источника питания и нагрузки, равна 60 Вт. Ток в цепи 5 А. Определить в СИ э.д.с. источника питания.

4.4. Электроплитка, содержащая две соединённые параллельно спирали сопротивлением 36 Ом и 72 Ом, подключена к сети постоянного тока напряжением 36 В. Определить в СИ мощность, выделяемую в электроплитке.

4.5. Нагрузкой усилителя служат резисторы сопротивлением 2000 Ом и 1000 Ом, включенные последовательно. Определить в СИ мощность тока в нагрузке усилителя, если напряжение на втором сопротивлении нагрузки 10 В.

4.6. Амперметр с внутренним сопротивлением $0,9 \text{ Ом}$ рассчитан на ток до 1 А . Определить в СИ максимальный ток, который можно измерить этим амперметром, если параллельно ему включить шунт сопротивлением $0,1 \text{ Ом}$.

4.7. Аккумулятор с внутренним сопротивлением 10 Ом нагружен сопротивлением 40 Ом . Определить в СИ э.д.с. аккумулятора, если на нагрузке выделяется мощность 1 кВт .

4.8. Два резистора сопротивлением 40 Ом каждый соединены параллельно. Падение напряжения на сопротивлениях 20 В . Определить в СИ общее количество теплоты, которое выделяется резисторами за 10 с .

4.9. Две электрических лампочки сопротивлением 4 Ом и 6 Ом соединены параллельно и подключены к аккумулятору с внутренним сопротивлением $1,6 \text{ Ом}$ и э.д.с. 6 В . Определить в СИ ток через аккумулятор.

4.10. Радиоприёмник питается от сети постоянным током 50 мА . За 2 часа работы он потребил $7,2 \text{ кДж}$ электроэнергии. Определить в СИ напряжение в сети.

4.11. Вольтметр с добавочным сопротивлением 90 кОм позволяет измерять напряжение до 1 кВ . Определить в СИ максимальное напряжение, которое можно измерить вольтметром без добавочного сопротивления, если собственное сопротивление вольтметра 10 кОм .

4.12. Электрическая лампочка сопротивлением 14 Ом подключена к аккумулятору с э.д.с. 24 В и внутренним сопротивлением 2 Ом . Определить в СИ напряжение на лампочке.

4.13. К батарее с внутренним сопротивлением 3 Ом и с э.д.с. $4,5 \text{ В}$ подключен электродвигатель, через который за каждые 10 с работы переносится заряд $1,5 \text{ Кл}$. Определить в СИ сопротивление электродвигателя.

4.14. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и э.д.с. 12 В подключены две одинаковые параллельно соединённые лампочки. Ток через аккумулятор равен 2 А . Определить в СИ ток через аккумулятор, если одна из лампочек перегорит.

4.15. Подключенная к сети электроплитка потребляет мощность 300 Вт . Определить в СИ мощность, которую будет потреблять электроплитка, если её спираль укоротить вдвое.

4.16. Через подключенную к сети электролитическую ванну протекает заряд 3600 Кл за 6 минут. Определить в СИ сопротивление ванны, если напряжение в сети равно 9 В .

4.17. Определить в СИ величину заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника сопротивлением 12 Ом за 50 с , если к его концам приложено напряжение 6 В .

4.18. Определить в граммах массу хрома, выделившегося на детали в течение 50 секунд, если через электролит пропускали ток силой 1 кА . Электрохимический эквивалент хрома равен 180 мкг/Кл .

4.19. Кусок проволоки с электрическим сопротивлением 20 Ом разрезали пополам, и обе половинки скрутили в жгут. Найти в СИ сопротивление полученного таким образом проводника.

4.20. Определить в СИ сопротивление обмотки двигателя, включенного в сеть постоянного тока с напряжением 30 В, если мощность, потребляемая двигателем, равна 60 Вт.

4.21. Вычислить в СИ ток короткого замыкания в цепи с источником постоянного тока, э.д.с. которого 1,3 В и внутреннее сопротивление 0,25 Ом.

4.22. Найти в СИ внутреннее сопротивление аккумулятора, если он при сопротивлении нагрузки 2,5 Ом дает ток 0,5 А, а при сопротивлении 1 Ом величина тока 1 А.

4.23. Каждая из двух электрических цепей составлена из трёх одинаковых сопротивлений: в первой цепи они соединены последовательно, во второй – параллельно. Во сколько раз отличаются сопротивления этих цепей?

4.24. Электрическая плитка содержит две спирали по 110 Ом каждая. Какую мощность потребляет плитка от сети напряжением 220 В при последовательном соединении спиралей? Ответ дать в СИ.

4.25. Электрическая плитка содержит две спирали по 55 Ом каждая. Какую мощность потребляет плитка от сети напряжением 110 В при параллельном включении? Ответ дать в СИ.

4.26. Цепь зажигания автомобиля с сопротивлением 6 Ом и цепь освещения сопротивлением 1,5 Ом подключены к генератору параллельно. Какой ток потребляет освещение, если ток в цепи зажигания 2 А? Ответ дать в СИ.

4.27. При ремонте электрической плитки, питающейся от сети с напряжением 220 В, спираль была укорочена на 0,2 первоначальной длины. Во сколько раз изменилась мощность плитки?

4.28. Электромотор рулевой машинки автопилота самолёта рассчитан на 27 В и потребляет мощность 1620 Вт. Определить в мм^2 минимальную площадь сечения подводящих проводов, если допустимая плотность тока в них 6 $\text{А}/\text{мм}^2$.

4.29. Предохранитель автомобильного телевизора имеет проволоку, площадь сечения которой 0,5 мм^2 . Определить в СИ максимальную потребляемую телевизором мощность от сети с напряжением 12 В, если предохранитель перегорает при плотности тока, большей 10 $\text{А}/\text{мм}^2$.

4.30. В вольтметре используется гальванометр с внутренним сопротивлением 500 Ом, стрелка которого отклоняется на всю шкалу, когда через него течёт ток 2 мА. Какое максимальное напряжение можно измерить этим вольтметром, если в нём последовательно с гальванометром включено добавочное сопротивление 74,5 кОм? Ответ дать в СИ.

4.31. К батарее с э.д.с. 3,5 В и внутренним сопротивлением 3 Ом подключена лампочка сопротивлением 4 Ом. Определить в СИ мощность, выделяющуюся в лампочке.

4.32. На катушку намотано 10 м провода с площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 . Найти в мкОм·м удельное сопротивление сплава, из которого изготовлен провод, если сопротивление провода постоянному току равно 2000 Ом.

4.33. Две осветительные лампы и добавочное сопротивление 6 Ом соединены последовательно и включены в сеть напряжением 110 В. Падение напряжения на каждой лампе 40 В. Определить в СИ ток в цепи.

4.34. Два провода с сопротивлениями 6 Ом и 10 Ом соединены параллельно. При прохождении через них тока в проводнике с меньшим сопротивлением выделяется 40 кДж теплоты. Определить в кДж количество теплоты, выделяющееся за это же время в другом проводнике.

4.35. Аккумулятор с э.д.с. 12 В и внутренним сопротивлением 2 Ом подключен к нагрузке с сопротивлением 4 Ом. Определить в СИ мощность, выделяющуюся в нагрузке.

4.36. Две спирали сопротивлением 100 Ом и 200 Ом соединены параллельно и подключены к сети с напряжением 100 В. Определить в СИ суммарную мощность, выделяющуюся в спиралях.

4.37. Два последовательно соединённых резистора сопротивлением 4 Ом и 5 Ом подключены в сеть постоянного тока с напряжением 30 В. Определить в СИ суммарную мощность, выделяемую в резисторах.

4.38. Цепь состоит из источника с э.д.с. 45 В и нагрузки. Внутреннее сопротивление источника 25 Ом, сопротивление нагрузки 250 Ом. Параллельно нагрузке подключен вольтметр с сопротивлением 1000 Ом. Определить в СИ силу тока в источнике.

4.39. Высокоточный источник с э.д.с. 100 кВ и внутренним сопротивлением 15 кОм питает внешнюю цепь с сопротивлением 35 кОм. Определить в кВ падение напряжения на нагрузке.

4.40. В сеть с напряжением 220 В включены последовательно гальванометр и добавочное сопротивление 8 кОм. Внутреннее сопротивление гальванометра 3 кОм. Определить в СИ силу тока в гальванометре

4.41. Элемент с э.д.с. 2,1 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом подключен к реостату с сопротивлением 4 Ом. Определить в СИ энергию, выделяющуюся в реостате за 40 с.

4.42. Полагая удельное сопротивление меди равным $1,78 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а плотность $8,9 \cdot 10^3$ кг/м³, определить в мм² площадь поперечного сечения медного проводника массой 0,2 кг и сопротивлением 2,5 Ом.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Вольтметр с внутренним сопротивлением 250 кОм рассчитан на измерение напряжения до 100 В. Определить величину добавочного сопротивления, которое надо включить последовательно с вольтметром, чтобы им можно было измерять напряжение до 500 В. Ответ дать в МОм.

5.2. Две спирали равного поперечного сечения из различных сплавов соединены между собой параллельно. Длина первой спирали в два раза меньше длины второй. Спираль выделяет равное количество тепла за одинаковое время. Определить, во сколько раз удельное сопротивление первого сплава больше удельного сопротивления второго.

5.3. Батарейка для карманного фонаря подключена к реостату. При сопротивлении реостата 1,65 Ом напряжение на нём равно 3,3 В, а при сопротивлении 3,5 Ом напряжение равно 3,5 В. Определить в СИ внутреннее сопротивление батарейки.

5.4. Определить в кДж количество тепла, выделяемого за 15 минут в нихромовой проволоке длиной 30 см и сечением 2 мм^2 , если разность потенциалов на её концах составляет 3 В. Удельное сопротивление нихрома $1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

5.5. К аккумулятору с внутренним сопротивлением $0,1 \text{ Ом}$ и э.д.с. 6 В подключена лампочка. Определить в СИ мощность лампочки, если ток в цепи равен 5 А .

5.6. Электрический паяльник сопротивлением 200 Ом включен в сеть с напряжением 100 В . На сколько ватт уменьшится потребляемая паяльником мощность, если последовательно с ним включить добавочное сопротивление 200 Ом ?

5.7. В сеть напряжением 100 В подключили резистор сопротивлением 2 кОм и вольтметр, соединённые последовательно. Показание вольтметра 80 В . Когда резистор заменили другим, вольтметр показал 50 В . Найти в кОм сопротивление второго резистора.

5.8. Аккумулятор с э.д.с. 6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом питает внешнюю цепь из двух резисторов сопротивлением по 10 Ом , соединённых параллельно. Определить в СИ количество теплоты, которое выделится во внешней цепи за 15 минут.

5.9. К аккумуляторной батарее с э.д.с. 12 В подключена лампочка. Сила тока в лампочке 2 А , а напряжение на ней равно 10 В . Определить в СИ внутреннее сопротивление батареи.

5.10. Шесть аккумуляторов с внутренним сопротивлением по $0,1 \text{ Ом}$ каждый соединены последовательно в батарею. К этой батарее подключена лампочка сопротивлением $11,4 \text{ Ом}$, и в ней течёт ток 2 А . Определить в СИ э.д.с. одного аккумулятора.

5.11. Работающий от сети электрический самовар имеет две спирали. При включении одной из них вода в самоваре закипает через 6 минут, при включении другой – через 12 минут. Определить через сколько минут закипит вода в самоваре, если включить обе спирали параллельно. Потерями тепла пренебречь.

5.12. При получении алюминия электролизом через электролитическую ванну пропускают постоянный ток при напряжении на электродах 9 В . Определить в СИ, сколько требуется электрической энергии для выделения 2 мг алюминия. Электрохимический эквивалент алюминия $0,09 \text{ мг/Кл}$.

5.13. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и э.д.с. 12 В подключены две последовательно соединённые лампочки сопротивлением по 5 Ом каждая. Определить в СИ мощность, выделяющуюся в одной лампочке.

5.14. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и э.д.с. 12 В подключена электрическая лампочка сопротивлением 8 Ом . Определить в СИ заряд, который протекает через лампочку за 5 мин.

5.15. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и э.д.с. 12 В подключены две одинаковые параллельно соединённые лампочки. Ток через одну из лампочек равен 1 А . Определить в СИ ток через эту лампочку, если другая перегорит.

5.16. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 2 Ом и э.д.с. 12 В подключены две одинаковые параллельно соединённые лампочки сопротивлением по 8 Ом каждая. Определить в СИ мощность, выделяющуюся в одной лампочке.

5.17. Два проводника соединены параллельно. При прохождении через них тока в первом проводнике сопротивлением 5 Ом выделяется 30 Дж тепла. Сколько тепла выделяется за то же время во втором проводнике сопротивлением 3 Ом? Ответ дать в СИ.

5.18. Нагреватель имеет три спирали, включенные параллельно. Сопротивление каждой спирали 30 кОм. Определить в мВт мощность, которую потребляет нагреватель при включении его в сеть с напряжением 30 В.

5.19. Элемент с э.д.с. 2,1 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом соединён с реостатом. Определить в СИ силу тока в реостате, если падение напряжения на нём составляет 2 В.

5.20. Последовательно с паяльником включили добавочное сопротивление 100 Ом. Определить в СИ сопротивление спирали паяльника, если падение напряжения на добавочном сопротивлении в два раза больше падения напряжения на паяльнике.

5.21. Шнур питания магнитофона изготовлен из проводника с удельным сопротивлением $4 \cdot 10^{-8}$ Ом·м и плотностью $8 \cdot 10^3$ кг/м³. Определить в СИ массу материала, пошедшего на изготовление провода, если его поперечное сечение 3 мм² и сопротивление 0,01 Ом.

5.22. Батарея с внутренним сопротивлением 4 Ом и э.д.с. 12 В подключена к внешней цепи с сопротивлением 8 Ом. За какое время во внешней цепи выделится 96 Дж теплоты? Ответ дать в СИ.

5.23. Аккумулятор с внутренним сопротивлением 1 Ом нагружен лампой сопротивлением 11 Ом. Какая мощность потребляется лампой, если ток короткого замыкания аккумулятора 24 А? Ответ дать в СИ.

5.24. Вольтамперная характеристика электрической дуги задается выражением $U = a/I$, где U – напряжение дуги в вольтах, I – ток дуги в амперах, $a = 16$ В·А. Определить в СИ силу тока в цепи, если электроды дуги подключить к источнику с э.д.с. 80 В последовательно с резистором сопротивлением 100 Ом.

5.25. В электрической плитке имеется две спирали с одинаковыми сопротивлениями. С помощью переключателя можно включить в сеть одну спираль или две спирали – последовательно или параллельно. Во сколько раз отличаются максимальная и минимальная мощности, потребляемые плиткой.

5.26. Аварийное освещение подключено к батарее с э.д.с. 12 В и внутренним сопротивлением 2 Ом. Определить в СИ силу тока в цепи, если известно, что аварийное освещение потребляет мощность 18 Вт.

5.27. Аккумулятор один раз подключается к цепи с сопротивлением 2 Ом, другой раз – к цепи с сопротивлением 32 Ом. И в той и в другой цепи при этом выделяется одна и та же мощность. Определить в СИ внутреннее сопротивление аккумулятора.

5.28. Два кипятильника мощностью 52,5 Вт и 25 Вт, включенные одновременно, нагревают некоторый объём воды до кипения за 1 час. Во сколько раз увеличится время нагревания этого же объёма до кипения, если через 20 мин после включения кипятильников выключить кипятильник большей мощности?

5.29. Какое количество электрической энергии нужно израсходовать, чтобы при электролизе раствора медного купороса получить 660 мг меди? Раз-

ность потенциалов на электродах равна 4 В. Принять электрохимический эквивалент меди равным 0,33 мг/Кл. Ответ дать в СИ.

5.30. При нагревании электрохимической ванны с раствором медного купороса на 100 К плотность тока возрастает в 2 раза. Во сколько раз при этом увеличивается масса меди, выделяемой в единицу времени?

5.31. Электролиз подкисленной воды длится 5000 с, при этом выделяется 100 см^3 кислорода. Определить в СИ силу тока, проходящего через воду, если плотность кислорода $1,4 \text{ кг/м}^3$, а электрохимический эквивалент равен $8 \cdot 10^{-8} \text{ кг/Кл}$.

5.32. Десять одинаковых лампочек включены в сеть с постоянным напряжением 220 В. Все лампочки соединены друг с другом параллельно. Определить в СИ сопротивление одной лампочки, если к этому участку цепи подводится ток 2,5 А.

5.33. Определить в СИ падение напряжения на алюминиевом проводе длиной 1000 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 при протекании по нему тока 2 А. Удельное сопротивление алюминия $2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

5.34. Два одинаковых нагревателя включены последовательно в сеть с напряжением 220 В и выделяют при этом мощность P . При каком напряжении в сети те же нагреватели, соединённые параллельно, выделяют ту же мощность P ? Ответ дать в СИ.

5.35. К электродам гальванической ванны приложено напряжение 50 В. При хромировании ванна потребляет мощность 1 кВт. Определить в граммах массу хрома, выделяющегося на катоде за 15 минут. Электрохимический эквивалент хрома равен 0,18 мг/Кл.

5.36. Батарея гальванических элементов с общим внутренним сопротивлением 2 Ом и э.д.с. 10 В подключена к реостату. Определить в СИ, при каком сопротивлении реостата выделяющаяся на нём мощность равна 8 Вт. Указать наибольшее значение.

5.37. Шкала амперметра с внутренним сопротивлением 5 Ом содержит деления от 0 до 1 А. Если к амперметру параллельно подключить шунт, то этим прибором можно измерять токи большей величины. Определить в СИ сопротивление шунта, позволяющего измерять токи до 5 А.

5.38. Вольтметр имеет шкалу на 10 В и внутреннее сопротивление 200 Ом. Для того, чтобы этим прибором можно было измерить напряжение больше 10 В, к нему нужно последовательно подключить добавочный резистор. Определить в СИ сопротивление добавочного резистора, позволяющего измерять напряжения до 50 В.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Мощность электроплитки, включенной в сеть переменного синусоидального напряжения с амплитудой 200 В, равна 400 Вт. Считая сопротивление постоянным, определите в СИ время, в течение которого электроплитка, включенная в сеть постоянного напряжения величиной 110 В, потребляет 2420 Дж.

6.2. Аккумуляторная батарея, заряженная до 12 В, подключена к источнику напряжения 15 В. Какое дополнительное сопротивление должно быть включено

в цепь для того, чтобы сила зарядного тока не превышала 1 А? Внутреннее сопротивление батареи 2 Ом. Ответ дать в СИ.

6.3. Электрокамин имеет две электрические спирали. При отдельном их включении одна из спиралей повышает температуру в комнате на 1 К за 4 минуты, а другая – за 12 минут. На сколько минут надо включить одновременно обе спирали, чтобы повысить температуру на 2 К?

6.4. Нагрузкой усилителя служит цепь, состоящая из резистора R_1 сопротивлением 2 Ом, включенного последовательно с параллельно соединёнными резисторами $R_2 = 5$ Ом и $R_3 = 20$ Ом. Ток в резисторе R_2 равен 1 А. Найти в СИ ток в резисторе R_1 .

6.5. Аккумулятор с э.д.с. 12 В и внутренним сопротивлением 4 Ом питает лампочку, потребляющую мощность 9 Вт. Определить в СИ, на какое напряжение рассчитана лампочка.

6.6. Электромотор имеет омическое сопротивление 1,98 Ом и приводится в движение от сети 110 В. Ток, проходящий через мотор при его работе, равен 10 А. Определить в процентах к.п.д. мотора.

6.7. Цепь из четырех одинаковых параллельно соединённых лампочек, каждая из которых рассчитана на 3 В и 0,3 А, нужно подключить к сети с напряжением 5,4 В. Какое дополнительное сопротивление потребуется для этого подсоединить последовательно к цепи лампочек? Ответ дать в СИ.

6.8. Для измерения э.д.с. своего аккумулятора автомобилист собрал замкнутую цепь, в которой последовательно соединил аккумулятор, источник тока с э.д.с. 2 В и амперметр. При этом амперметр показал ток 1 А. При изменении полярности включения аккумулятора ток в цепи изменил направление и стал равным 0,75 А. Определить в СИ э.д.с. аккумулятора.

6.9. Электрокамин имеет три нагревательных элемента, сопротивления которых 5 Ом, 6 Ом и 8 Ом. При параллельном включении их в сеть в первом элементе выделяется 600 Дж теплоты. Определить в СИ количество теплоты, выделяемое за это время камином.

6.10. Три одинаковых проводника соединили параллельно и включили в сеть. При этом за 40 секунд выделилось 200 Дж теплоты. Сколько времени потребуется для выделения 200 Дж теплоты, если эти же проводники соединить последовательно и включить в ту же сеть? Ответ дать в СИ.

6.11. В ускорителе пучок частиц движется по круговой орбите радиусом 2 м со скоростью 6280 км/с. Средний ток, создаваемый пучком, равен 12 А. Определить в мкКл заряд пучка.

6.12. Определить в СИ сопротивление между соседними вершинами проволочного куба, если сопротивление каждого из рёбер 12 Ом.

6.13. Спираль электроплитки изготовлена из проволоки сечением $0,5 \text{ мм}^2$. Удельное сопротивление материала проволоки $5,5 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$. Определить в СИ длину проволоки, необходимой для изготовления спирали, чтобы при включении в сеть 220 В плитка потребляла мощность 880 Вт.

6.14. Проводник из материала с температурным коэффициентом сопротивления $0,003 \text{ К}^{-1}$ при включении в сеть постепенно нагрелся от $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Во сколько раз уменьшилась мощность, потребляемая проводником при неизменном напряжении в сети?

6.15. Электрическую батарею замыкают сначала на внешнее сопротивление 2 Ом, а затем на внешнее сопротивление 0,5 Ом, В каждом из этих случаев во внешней цепи выделяется *одна и та же* мощность 4,5 Вт. Определить в СИ э.д.с. батареи.

6.16. Сопротивление внешней цепи (нагрузки) для аккумуляторной батареи равно 3 Ом. Батарея состоит из восьми *одинаковых* аккумуляторов. Если аккумуляторы соединить в *две одинаковые параллельные* группы, то на нагрузке выделяется такая же мощность, как и при *последовательном* соединении всех аккумуляторов. Определить в СИ внутреннее сопротивление одного аккумулятора.

6.17. Через спираль нагревателя, сопротивление которой постоянно, пропускают постоянный ток. На сколько процентов изменится средняя тепловая мощность, выделяющаяся в спирали, если через неё одновременно с постоянным током пропускать переменный (синусоидальный) ток? Амплитуда переменного тока составляет 30% от силы тока постоянного.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Напряжение в сети зарядной станции аккумуляторов равно 13 В. Внутреннее сопротивление аккумулятора, поставленного на зарядку, составляет 0,4 Ом, а его остаточная э.д.с. равна 11 В. Найти отношение мощности, расходуемой станцией, к мощности, идущей на нагревание аккумулятора. Внутреннее сопротивление аккумулятора в процессе зарядки считать постоянным.

7.2. Электрический чайник содержит два нагревательных элемента. Регулятор мощности чайника позволяет включать элементы или по отдельности, или оба вместе – последовательно или параллельно. При включении одного из элементов вода в чайнике закипает за 20 мин, при включении другого – за 30 мин. Найти отношение времени закипания чайника при параллельном включении нагревателей ко времени закипания при последовательном включении.

7.3. Электрическая цепь состоит из источника тока и нагрузки, которая представляет собой последовательно соединённые гальванометр и резистор сопротивлением 100 Ом. Если гальванометр зашунтировать сопротивлением 27,5 Ом, а резистор заменить другим – с сопротивлением 350 Ом, то величина тока в источнике при этом не изменится. Определить в СИ сопротивление гальванометра.

7.4. Электрическая цепь с внешним сопротивлением 100 Ом питается от источника постоянного напряжения. Для измерения силы тока в цепи в неё включили амперметр с внутренним сопротивлением 1 Ом. Найти в СИ силу тока в цепи до включения амперметра, если показания амперметра равны 5 А.

7.5. Электромотор станка подсоединён к цепи проводом с сопротивлением 0,5 Ом. Напряжение в сети 127 В. Какова максимально допустимая мощность, потребляемая мотором, если напряжение на нём не должно быть ниже 120 В. Ответ дать в СИ.

7.6. Миллиамперметр со шкалой, рассчитанной на 200 мА, необходимо использовать как амперметр для измерения тока 5,2 А. Рассчитать в СИ макси-

мальное сопротивление шунта, если внутреннее сопротивление миллиамперметра 8 Ом.

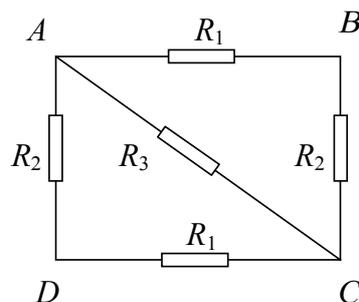
7.7. Электрическая лампа сопротивлением 240 Ом рассчитана на напряжение 120 В. Для того, чтобы её включить в сеть 220 В, к ней последовательно присоединяют резистор, выполненный из нихромовой проволоки сечением $0,2 \text{ мм}^2$. Удельное сопротивление нихрома $1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$. Определить в СИ длину проволоки.

7.8. От генератора с э.д.с. 40 В и внутренним сопротивлением 0,04 Ом ток поступает к месту сварки по медному кабелю сечением 170 мм^2 , удалённому на 50 м от генератора. Найти в СИ напряжение на сварочном аппарате, если ток в цепи 200 А. Удельное сопротивление меди принять равным $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

7.9. Можно ли две лампочки мощностью 35 Вт и 75 Вт, рассчитанные на напряжение 127 В, включить последовательно в сеть с напряжением 220 В, если допустимое перенапряжение не более 10%? Если да, то ответ **1**, если нет, ответ **0**.

7.10. Нагревательный элемент термостата, состоящий из двух одинаковых параллельно соединённых спиралей, подключается к источнику тока с внутренним сопротивлением 10 Ом. Каким должно быть сопротивление каждой спирали, чтобы при перегорании одной из них это не отразилось на температуре термостата? Ответ дать в СИ.

7.11. На рисунке изображена электрическая цепь. В ней $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$. Определить, во сколько раз сопротивление между точками B и D больше, чем сопротивление между точками A и C .



7.12. К одному концу двухпроводной линии передачи электроэнергии подсоединён источник постоянного напряжения I , а к другому – нагрузка H с сопротивлением 40 Ом. Сопротивление каждого провода линии равно 25 Ом. В линии произошло повреждение изоляции, в результате чего ток через источник возрос в 2 раза, а ток через нагрузку упал в 8 раз. Найти в СИ сопротивление изоляции в месте повреждения.

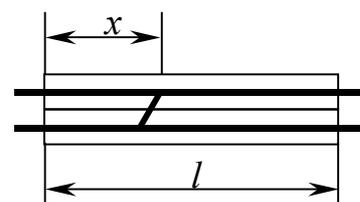


7.13. Нагреватель кипятильника состоит из четырёх одинаковых элементов. Сопротивление каждого из них 1 Ом. Нагреватель питается от батареи с э.д.с. 8 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Элементы нагревателя включены так, чтобы вода нагревалась наиболее быстро. Найти в СИ мощность нагревателя.

7.14. В двухпроводной линии длиной $l = 3,6 \text{ км}$ на некотором расстоянии x от её начала произошло частичное нарушение изоляции. Для поиска места нарушения провели следующие три измерения.

• Входное сопротивление при разомкнутом выходе – 9 Ом.

• Входное сопротивление при замкнутом накоротко



выходе – 6 Ом.

•Выходное сопротивление при разомкнутом входе – 12 Ом.

Определить в км расстояние x .

7.15. На однородный проводящий стержень падает перпендикулярно его оси пучок электронов. Пучок – стационарный и однородный, то есть каждую секунду на каждый сантиметр длины стержня попадает одно и то же количество электронов. Сопротивление стержня 0,3 Ом. Каждый его конец с помощью одинаковых проводников (шин) заземлён. Сила тока через каждую из шин 120 мА. Определить в мВ разность потенциалов между серединой стержня и его концами.

7.16. Конденсаторная батарея, состоящая из двух последовательно соединённых конденсаторов с ёмкостями $C_1 = 3$ мкФ и $C_2 = 2$ мкФ, подключена для зарядки к источнику питания с э.д.с. 15 В. К этому же источнику параллельно с батареей подключено активное сопротивление. В конце зарядки напряжение конденсаторах равно U_1 и U_2 , а сила тока через источник равна I_1 . Если сопротивление замкнуть, то через некоторое время через источник будет течь постоянный ток, равный $3I_1$. Определить в СИ величину U_1 .

ТЕМА 8. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

8.1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магнитное поле – это силовое поле, посредством которого осуществляются магнитные взаимодействия. Источниками магнитного поля являются постоянные магниты и движущиеся электрические заряды (электрические токи). Магнитное поле проявляется в действии на магниты, движущиеся электрические заряды, проводники и рамки с электрическим током.

Индукция магнитного поля (магнитная индукция) \vec{B} – это векторная физическая величина, характеризующая магнитное поле и определяющая силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля. Единица измерения магнитной индукции – тесла: $[B] = 1 \text{ Тл}$.

Графически магнитное поле изображается при помощи силовых линий. **Магнитные силовые линии (линии магнитной индукции)** – это кривые, касательная к которым в любой точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции в этой точке. Силовые линии магнитного поля всегда замкнуты, что свидетельствует об отсутствии в природе магнитных зарядов.

Если силовая линия перпендикулярна плоскости чертежа, то принято использовать следующие обозначения:

⊗ – вектор магнитной индукции \vec{B} направлен от нас;

⊙ – вектор магнитной индукции \vec{B} направлен к нам.

Однородное магнитное поле – это поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции одинаков по величине и имеет одно направление.

Если в магнитное поле поместить вещество, то магнитная индукция при этом изменится. Вещества, в которых происходит увеличение магнитной индукции, называют **ферромагнетиками** (железо, кобальт, никель). **Магнитная проницаемость ферромагнетика** μ – это физическая величина, показывающая, во сколько раз увеличивается индукция магнитного поля в присутствии этого вещества:

$$B = \mu B_0, \mu \gg 1, \quad (8.1)$$

где B_0 – магнитная индукция в отсутствие ферромагнетика. Для вакуума (воздуха) $\mu = 1$.

8.2. МАГНИТНЫЕ СИЛЫ

Сила Лоренца – векторная величина, определяющая силу, действующую на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле. Модуль этой силы определяется выражением:

$$F_{\text{л}} = |q|vB \sin(\vec{v}\vec{B}), \quad (8.2)$$

где q – заряд частицы, v – её скорость, B – индукция магнитного поля, $(\vec{v}\vec{B})$ – угол между направлением вектора скорости и вектором магнитной индукции (силовой линии). Направление силы Лоренца, действующей на положительно заряженную частицу, определяется по правилу правой руки. **Правило правой руки:** если расположить правую руку так, чтобы четыре пальца совпадали по направлению с вектором скорости, большой палец совпадал с направлением

вектора магнитной индукции, тогда сила Лоренца будет входить в ладонь. Поскольку сила Лоренца перпендикулярна плоскости, в которой лежат вектора скорости и магнитной индукции, то она *не совершает работы по перемещению*, а только искривляет траекторию движения заряженных частиц (*сообщает центростремительное ускорение*).

Сила Ампера – это сила, с которой магнитное поле действует на проводник с электрическим током. Модуль этой силы определяется формулой:

$$F_A = IlB \sin(\vec{l} \vec{B}), \quad (8.3)$$

где I – сила тока в проводнике, l – длина проводника, B – индукция магнитного поля, $(\vec{l} \vec{B})$ – угол между направлением тока (вектором длины проводника) и вектором магнитной индукции (силовой линии). Вектор силы Ампера всегда перпендикулярен плоскости, в которой находятся проводник и вектор индукции магнитного поля. Направление силы Ампера определяется по правилу правой руки.

На плоский замкнутый контур с током, помещённый в магнитное поле, действует **механический момент сил**, оказывающий на рамку ориентирующее воздействие. Модуль вращающего момента:

$$M = ISB \sin(\vec{n} \vec{B}), \quad (8.4)$$

где I – сила тока в контуре, S – площадь, охватываемая контуром, B – индукция магнитного поля, \vec{n} – нормаль к плоскости контура (вектор единичной длины перпендикулярный этой плоскости), $(\vec{n} \vec{B})$ – угол между направлением нормали и вектором магнитной индукции. Когда векторы \vec{n} и \vec{B} параллельны (рис. 8.1, а), вращающий момент сил равен нулю, и контур находится в положении устойчивого равновесия. Если векторы \vec{n} и \vec{B} взаимно перпендикулярны (рис. 8.1, б), то на контур действует максимальный момент сил: $M_{\max} = ISB$.

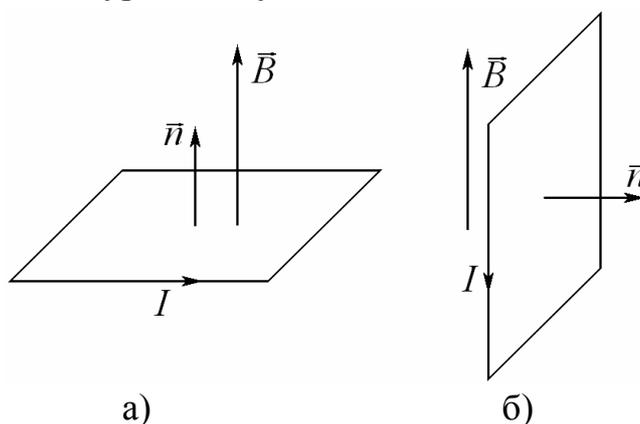


Рисунок 8.1 – Контур с током в магнитном поле

8.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Магнитный поток Φ (поток магнитной индукции) однородного магнитного поля с индукцией B через поверхность площадью S , определяется выражением:

$$\Phi = BS \cos(\vec{n} \vec{B}). \quad (8.5)$$

Единица измерения магнитного потока – вебер: $[\Phi] = 1 \text{ Вб}$.

Магнитный поток Ψ через поперечное сечение катушки, состоящей из одинаковых витков плотно прилегающих друг к другу, называется **потокосцеплением** и определяется следующим образом:

$$\Psi = N\Phi, \quad (8.6)$$

где N – число витков в катушке, Φ – поток через один из её витков.

Явление электромагнитной индукции состоит в том, что при изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в нём возникает сторонняя электродвижущая сила (ЭДС) индукции, вызывающая появление **индукционного тока**. ЭДС индукции ε_i и сила индукционного тока I_i – скалярные величины: их знак определяется относительно заранее выбранного положительного направления обхода контура.

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): ЭДС индукции, возникающая в контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего этот контур:

$$\varepsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t. \quad (8.7)$$

Здесь $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ обозначает *приращение магнитного потока* за время Δt , где Φ_1 и Φ_2 есть, соответственно, начальное и конечное значения магнитного потока. Знак минус в законе Фарадея (8.7) обусловлен соглашением о том, что положительное направление обхода контура и направление нормали к плоскости контура связаны между собой по правилу правого винта.

Согласно **правилу Ленца** индукционный ток имеет такое направление, при котором создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

Если за время Δt магнитный поток изменился от значения Φ_1 до значения Φ_2 и закон его изменения не известен, то по формуле (8.7) можно вычислить только *среднее значение ЭДС индукции*. В случае равномерного изменения магнитного потока выражение (8.7) даёт точное (неизменное во времени) значение ЭДС индукции.

Согласно (8.5) простейшими причинами, вызывающими изменение магнитного потока, являются: 1) изменение магнитной индукции B по величине; 2) изменение угла между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости контура (вращение контура); 3) изменение площади S , охватываемой контуром. Если в постоянном магнитном поле движется прямолинейный проводник, то возникающую в нём ЭДС индукции также можно рассчитать по формуле (8.7), где под $\Delta\Phi$ нужно понимать магнитный поток через площадь, пересеченную (прочерченную) за время Δt проводником при его перемещении на расстояние x (рис. 8.2).

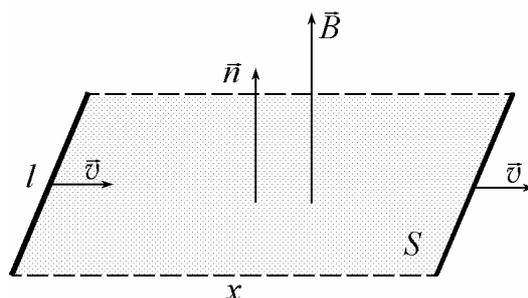


Рисунок 8.2 – Движение проводника в магнитном поле

Так, для проводника длиной l , движущегося со скоростью v перпендикулярно линиям индукции B однородного магнитного поля из выражения (8.7) можно получить

$$|\varepsilon_i| = Blv. \quad (8.8)$$

Электрический ток, протекая по замкнутому контуру, создаёт магнитное поле, силовые линии которого пронизывают площадь, охватываемую этим контуром. Магнитный поток Φ сквозь этот контур пропорционален силе протекающего по нему тока I :

$$\Phi = LI, \quad (8.9)$$

где коэффициент пропорциональности L называется **индуктивностью контура**. Единица измерения индуктивности – генри: $[L] = 1 \text{ Гн}$. Индуктивность контура (проводника) зависит от его размеров, формы и магнитных свойств среды, в которой он находится.

Явление самоиндукции – это явление возникновения ЭДС индукции в контуре при изменении силы электрического тока, текущего по этому контуру. Если индуктивность проводника неизменна ($L = \text{const}$), то ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы электрического тока:

$$\varepsilon_{Si} = -L \Delta I / \Delta t. \quad (8.10)$$

Здесь $\Delta I = I_2 - I_1$ обозначает *приращение силы тока* за время Δt , где I_1 и I_2 есть, соответственно, начальное и конечное значения силы тока в проводнике.

В пространстве, где существует магнитное поле, распределена энергия. Энергия магнитного поля, создаваемого проводником с индуктивностью L , по которому течёт ток силой I , находится по формулам:

$$W_L = LI^2/2 = \Phi I/2 = \Phi^2/2L, \quad (8.11)$$

где Φ – магнитный поток сквозь замкнутый контур с током.

8.4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Проволочная квадратная рамка со стороной 20 см и током 5 А помещена в однородное магнитное поле так, что её плоскость параллельна линиям магнитной индукции. Найти величину магнитной индукции, если со стороны магнитного поля на рамку действует момент сил 0,2 Н·м. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$a = 0,2 \text{ м}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$M = 0,2 \text{ Н·м}$$

Найти:

$$B = ?$$

Запишем выражение для механического момента сил M , действующего на рамку с током I в магнитном поле: $M = IBS \cdot \sin \alpha$. Ориентация контура соответствует рисунку 8.1, б, откуда видно, что угол α между нормалью к контуру и вектором магнитной индукции прямой ($\sin \alpha = 1$). Площадь квадратной рамки равна $S = a^2$. Таким образом, для момента сил будем иметь следующее выражение $M = IBa^2$. Выражая

индукцию магнитного поля $B = M/Ia^2$ и проводя расчёт, получим $B = 0,2/(5 \cdot 0,2^2) = 1 \text{ Тл}$.

Ответ: $B = 1 \text{ Тл}$.

2. Протон под действием однородного магнитного поля с индукцией 0,1 мТл равномерно вращается по окружности радиусом 5 см. Определить период вращения, считая удельный заряд протона равным 0,1 Кл/мкг. Ответ дать в миллисекундах.

Решение:

Дано:
 $B = 10^{-4}$ Тл
 $R = 0,05$ м
 $q/m = 10^8$ Кл/кг
Найти:
 $T = ?$ (мс)

Под действием силы Лоренца F_L протон совершает равномерное движение по окружности с центростремительным ускорением $a_{\text{цс}} = v^2/R$, где v линейная скорость частицы

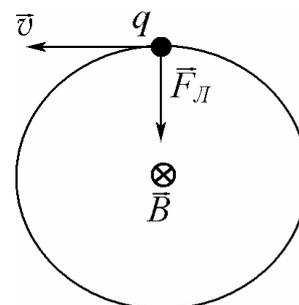


Рисунок 8.3 – Движение протона в магнитном поле

(см. рис. 8.3). Это движение возникает тогда, когда заряженная частица влетает в магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям. При этом сила Лоренца $F_L = qvB\sin\alpha$ становится максимальной ($\sin\alpha = 1$): $F_L = qvB$. Запишем второй закон Ньютона для вращающегося протона: $a_{\text{цс}} = F_L/m$. Приравнявая выражения для центростремительного ускорения, получим формулу для радиуса окружности, по которой движется протон: $R = mv/qB$. Период вращения это время, за которое протон, двигаясь равномерно, пройдёт полную окружность длины $2\pi R$, т.е. $T = 2\pi R/v$. В итоге, период $T = 2\pi mv/qBv = 2\pi m/qB$. Проводя расчёты, получим: $T = 2 \cdot 3,14 / 10^8 \cdot 10^{-4} = 0,628 \cdot 10^{-3}$ с = 0,628 мс.

Ответ: $T = 0,628$ мс.

3. Протон движется равномерно и прямолинейно в пространстве, где существуют одновременно постоянные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, перпендикулярно этим полям. Найти скорость протона, если напряжённость электрического поля равна 8 В/м, а индукция магнитного поля 40 мТл. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $E = 8$ В/м
 $B = 0,04$ Тл
Найти:
 $v = ?$

Геометрия задачи изображена на рисунке 8.4. На протон действуют две силы – сила $F_{\text{эл}}$ со стороны электрического поля и сила Лоренца F_L со стороны магнитного поля. Из условия

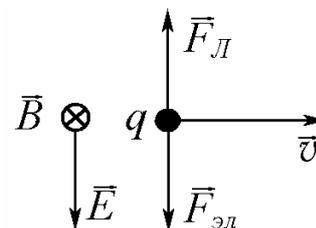


Рисунок 8.4 – Движение протона в электрическом и магнитном полях

равномерного и прямолинейного движения протона (ускорение $a = 0$) по второму закону Ньютона следует, что равнодействующая приложенных к частице сил равна нулю, т.е. $F_{\text{эл}} = F_L$. Подставляя сюда выражения для сил $qE = qvB$, приходим к выражению для искомой скорости движения протона: $v = E/B$. Вычислим: $v = 8/0,04 = 200$ м/с.

Ответ: $v = 200$ м/с.

4. В вертикальном магнитном поле лежат горизонтальные рельсы на расстоянии 2 м друг от друга. Между рельсами приложено напряжение. Если на рельсы перпендикулярно им положить металлический стержень массой 0,5 кг, то по нему потечёт ток силой 50 А и он начнёт скользить по рельсам с ускорением 2 м/с^2 . Определить в СИ магнитную индукцию. Трением пренебречь.

Решение:

Дано:

$$l = 2 \text{ м}$$

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$I = 50 \text{ А}$$

$$a = 2 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$B = ?$$

На проводник с током I со стороны магнитного поля с индукцией B (см. рис 8.5) действует сила Ампера $F_A = IBl \sin \alpha$, которая в данном случае максимальна ($\sin \alpha = 1$): $F_A = IBl$. Под действием этой силы проводник движется с ускорением (трения не по условию) согласно второму закону Ньютона: $a = F_A/m = IBl/m$. Отсюда выражаем магнитную индукцию $B = am/Il$. После вычислений находим $B = 2 \cdot 0,5 / 50 \cdot 2 = 0,01 \text{ Тл}$.

Ответ: $B = 0,01 \text{ Тл}$.

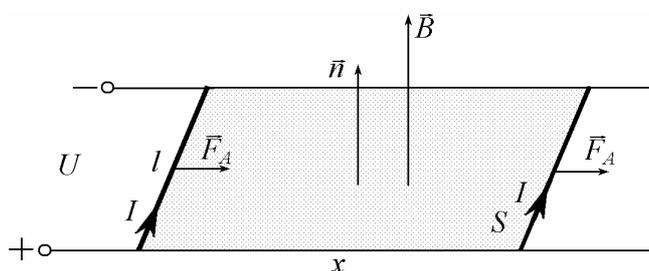


Рисунок 8.5 – Движение проводника с током в магнитном поле

5. Прямой проводник с током 0,2 А помещён в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. Длина проводника 5 см. Найти работу силы Ампера по перемещению проводника на 8 мм, если направления линий индукции, тока и перемещения взаимно перпендикулярны. Ответ дать в микроджоулях.

Решение:

Дано:

$$I = 0,2 \text{ А}$$

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$l = 0,05 \text{ м}$$

$$x = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Найти:

$$A = ? (\text{мкДж})$$

Геометрию задачи хорошо описывает рисунок 8.5 из предыдущей задачи. Направление перемещения проводника с током совпадает с направлением действия силы Ампера, действующей на него со стороны магнитного поля. При этом сила Ампера совершает над проводником механическую работу $A = F_A \cdot x = IBl \cdot x$. Подставляя численные значения, получим: $A = 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,05 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 8 \text{ мкДж}$.

Ответ: $A = 8 \text{ мкДж}$.

6. Определить среднее значение индукции магнитного поля внутри плоского контура площадью 30 м^2 при пропускании через него тока 0,2 А. Индуктивность контура 0,3 Гн. Ответ дать в миллитеслах.

Дано:

$$S = 30 \text{ м}^2$$

$$I = 0,2 \text{ А}$$

$$L = 0,3 \text{ Гн}$$

Найти:

$$B = ? (\text{мТл})$$

Решение:

Ток I , протекающий по контуру, создаёт в пространстве неоднородное магнитное поле. Внутри витка заменим его однородным полем с некоторым средним значением магнитной индукции $B_{\text{ср}}$. Поскольку силовые линии магнитного поля, создаваемого контуром с током,

проходят к его плоскости перпендикулярно, выражение для магнитного потока, пронизывающего контур $\Phi = B_{cp} S \cos \alpha$ принимает вид $\Phi = B_{cp} S$. С другой стороны, этот магнитный поток связан с силой тока в контуре через индуктивность контура: $\Phi = LI$. Приравнявая эти два выражения для магнитного потока и выражая магнитную индукцию, получим $B_{cp} = LI/S$.

Проведём расчёты: $B_{cp} = 0,3 \cdot 0,2 / 30 = 2 \cdot 10^{-3}$ Тл = 2 мТл.

Ответ: $B_{cp} = 2$ мТл.

7. За 2 с индукция однородного магнитного поля равномерно изменилась от 0,3 Тл до 0,1 Тл. В результате этого в круговом витке, помещённом в магнитное поле, возникла ЭДС индукции 20 мВ. Найти площадь витка, если угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости витка равен 60° . Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$B_1 = 0,3 \text{ Тл}$$

$$B_2 = 0,1 \text{ Тл}$$

$$\varepsilon = 0,02 \text{ В}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Найти:

$$S = ?$$

Запишем закон Фарадея для ЭДС индукции, возникающей в контуре: $\varepsilon = -\Delta\Phi/\Delta t$, где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$. Величина начального магнитного потока сквозь замкнутый контур $\Phi_1 = B_1 S \cos \alpha$, для конечного потока: $\Phi_2 = B_2 S \cos \alpha$. Подставляя эти выражения в закон Фарадея, получим $\varepsilon = -(B_2 - B_1) S \cos \alpha / \Delta t = (B_1 - B_2) S \cos \alpha / \Delta t$. Выражая площадь витка и вычисляя, находим $S = \varepsilon \Delta t / (B_1 - B_2) \cos \alpha$, $S = 0,02 \cdot 2 / (0,3 - 0,1) \cdot 0,5 = 0,4 \text{ м}^2$.

Ответ: $S = 0,4 \text{ м}^2$.

8. Самолёт летит горизонтально со скоростью 900 км/ч. Размах крыльев самолёта 12 м. Вертикальная составляющая земного магнитного поля равна 50 мкТл. Найти разность потенциалов, возникающую на концах крыльев самолёта. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$v = 250 \text{ м/с}$$

$$l = 12 \text{ м}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$$

Найти:

$$|\varepsilon_i| = ?$$

Физическую суть задачи иллюстрирует рисунок 8.2, где самолёт выступает в качестве проводника. Разность потенциалов, возникающая на концах крыльев самолёта, появляется в следствие явления электромагнитной индукции. По закону Фарадея ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t$, где $\Delta\Phi$ – магнитный поток через площадь ΔS , пересечённую крыльями самолёта длины l при прохождении пути Δx за время Δt .

Выражение для магнитного потока $\Delta\Phi = B \Delta S \cdot \cos \alpha = B l \Delta x \cdot \cos \alpha$. Подставим его в закон Фарадея и учтём, что $\Delta x / \Delta t = v$ и $\alpha = 0^\circ$ ($\cos \alpha = 1$): $|\varepsilon_i| = B l \Delta x \cdot \cos \alpha / \Delta t = B l v$.

Вычислим: $|\varepsilon_i| = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 250 = 0,15 \text{ В}$.

Ответ: $|\varepsilon_i| = 0,15 \text{ В}$.

9. Катушка с током 2 А создаёт магнитное поле, поток индукции которого через поперечное сечение катушки равен 0,5 Вб. За время Δt ток в катушке равномерно уменьшается до 0,5 А. В катушке при этом возникает ЭДС индукции 3 В. Определить Δt . Ответ дать в единицах СИ.

Решение:Дано:

$I_1 = 2 \text{ А}$

$\Phi_1 = 0,5 \text{ Вб}$

$I_2 = 0,5 \text{ А}$

$\varepsilon_{Si} = 3 \text{ В}$

Найти:

$\Delta t = ?$

Найти искомое время Δt можно из выражения для ЭДС самоиндукции: $\varepsilon_{Si} = -L\Delta I/\Delta t$, где приращение тока в катушке известно: $\Delta I = I_2 - I_1$. Неизвестную нам индуктивность, мы можем найти из выражения для магнитного потока $L = \Phi_1/I_1$. Выражая искомое время через ЭДС самоиндукции и подставляя приращение тока и индуктивность, получим $\Delta t = -L\Delta I/\varepsilon_{Si} = -\Phi_1(I_2 - I_1)/I_1\varepsilon_{Si} = \Phi_1(I_1 - I_2)/I_1\varepsilon_{Si}$.

Вычисляя, получим $\Delta t = 0,5 \cdot (2 - 0,5)/2 \cdot 3 = 0,125 \text{ с}$.

Ответ: $\Delta t = 0,125 \text{ с}$.

10. При уменьшении силы тока в проволочной катушке с 6 А до 4 А произошло уменьшение энергии магнитного поля на 2 Дж. Определить на сколько уменьшился магнитный поток, пронизывающий катушку. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:Дано:

$I_1 = 6 \text{ А}$

$I_2 = 4 \text{ А}$

$\Delta W_L = 2 \text{ Дж}$

Найти:

$\Delta \Phi = ?$

Запишем выражения для магнитного потока, пронизывающего катушку при двух значениях протекающего по ней тока: $\Phi_1 = LI_1$, $\Phi_2 = LI_2$. Взяв разность этих потоков, получим $\Delta \Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = L(I_1 - I_2)$. Неизвестную нам индуктивность мы можем найти из выражения для изменения энергии магнитного поля $\Delta W_L = W_{L1} - W_{L2} = L(I_1^2 - I_2^2)/2$, $L = 2\Delta W_L/(I_1^2 - I_2^2)$. Подставим индуктивность в выражение для изменения магнитного потока: $\Delta \Phi = 2\Delta W_L(I_1 - I_2)/(I_1^2 - I_2^2) = 2\Delta W_L/(I_1 + I_2)$.

Подставляя численные значения, получим $\Delta \Phi = 2 \cdot 2/(6 + 4) = 0,4 \text{ Вб}$.

Ответ: $\Delta \Phi = 0,4 \text{ Вб}$.**8.5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ****Задачи 3 класса трудности**

3.1. В замкнутой проводящей катушке с индуктивностью 3 Гн ток равномерно изменился от 5 до 10 А за некоторый промежуток времени Δt . Определить в СИ величину Δt , если в катушке возникает при этом э.д.с. самоиндукции 3 В.

3.2. Магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение катушки, состоящей из 100 витков, равномерно изменился за 10 секунд от 100 Вб до 50 Вб. Определить в СИ э.д.с. индукции, возникающей в катушке.

3.3. Замкнутый контур, по которому течёт ток 2 А, находится в однородном магнитном поле. Плоскость контура параллельна линиям индукции. Со стороны магнитного поля на контур действует момент сил 0,6 Н·м. Определить в СИ площадь контура, если величина магнитной индукции равна 1 Тл.

3.4. На проводник с током длиной 0,1 м, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией 5 Тл, действует сила 2 Н. Ось проводника составляет угол 30° с линиями индукции магнитного поля. Определить в СИ величину тока, протекающего по проводнику.

3.5. Мельчайшая капелька ртути, несущая заряд 1 нКл , влетает в вакууме в однородное магнитное поле с индукцией 20 Тл под углом 30° к линиям индукции со скоростью 100 км/с . Определить в мН силу, действующую на капельку со стороны магнитного поля.

3.6. При равномерном изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, от 5 Вб до 1 Вб , в нём возникает э.д.с. индукции 20 В . Определить в СИ время, в течение которого изменялся магнитный поток.

3.7. Электрон со скоростью 5000 км/с влетает перпендикулярно линиям индукции в однородное магнитное поле, индукция которого равна 10 Тл . Определить в пН величину силы, действующей на электрон.

3.8. По проводящей катушке протекает ток 2 А и создаёт внутри катушки магнитное поле. Магнитный поток через поперечное сечение катушки равен 6 Вб . Определить в СИ индуктивность катушки.

3.9. На сколько процентов возрастёт сила тока в контуре, если поток магнитной индукции через контур увеличить в 3 раза?

3.10. По проводящей катушке с индуктивностью 50 мГн протекает ток 5 кА , создающий внутри катушки магнитное поле. Определить в СИ величину магнитного потока, пронизывающего поперечное сечение катушки.

3.11. Замкнутый прямоугольный контур площадью 200 см^2 находится в однородном магнитном поле. Магнитный поток, пронизывающий контур, равен $0,2 \text{ Вб}$. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции. Определить в СИ величину индукции магнитного поля.

3.12. В однородном магнитном поле находится замкнутый контур площадью 100 см^2 . Магнитный поток, пронизывающий контур, равен $0,1 \text{ Вб}$. Угол между нормалью к контуру и линиями индукции магнитного поля равен 60° . Определить в СИ величину магнитной индукции.

3.13. Максимальный момент сил, который действует на проволочную рамку с током при помещении её в однородное магнитное поле с индукцией $0,4 \text{ Тл}$, равен $0,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Определить в СИ силу тока в рамке, если её площадь равна 25 см^2 .

3.14. Максимальный момент сил, который действует на проволочный виток с током 5 А при помещении его в однородное магнитное поле с индукцией $0,08 \text{ Тл}$, равен $8 \text{ Н}\cdot\text{см}$. Определить в СИ площадь витка.

3.15. Заряженная частица влетает со скоростью 200 м/с в однородное магнитное поле, индукция которого равна $0,04 \text{ Тл}$. При этом на частицу действует сила Лоренца, равная 8 пН . Угол между вектором скорости и линиями индукции равен 30° . Определить в пКл величину заряда частицы.

3.16. Проводник с током 10 А помещён в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сила Ампера, действующая на проводник, равна $0,1 \text{ Н}$. Длина проводника $0,5 \text{ м}$. Определить в СИ величину магнитной индукции.

3.17. Определить в СИ индуктивность катушки с током $0,5 \text{ А}$, если энергия создаваемого ею магнитного поля равна $0,025 \text{ Дж}$.

3.18. Энергия магнитного поля, создаваемого катушкой с током, равна 5 Дж . Определить в СИ силу тока в катушке, если её индуктивность равна $0,1 \text{ Гн}$.

3.19. При равномерном изменении тока в катушке, индуктивность которой равна $0,02$ Гн, в катушке возникла э.д.с. самоиндукции, равная 4 В. Определить в СИ скорость изменения силы тока в катушке.

3.20. В течение времени t магнитный поток, пронизывающий замкнутый проволочный контур, равномерно уменьшился от $0,5$ до $0,2$ Вб. При этом в контуре возникла э.д.с. индукции, равная 4 В. Определить в СИ величину t .

3.21. За 30 миллисекунд магнитный поток, пронизывающий проволочный виток, увеличился на $0,72$ Вб. Определить в СИ э.д.с. индукции в витке.

3.22. На проводник с током, который расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля, действует сила Ампера 2 Н. Определить в СИ силу тока в проводнике, если его длина равна $0,5$ м, а величина магнитной индукции $0,04$ Тл.

3.23. Проволочная рамка расположена в однородном магнитном поле так, что угол между нормалью к её плоскости и линиями индукции равен 60° . Магнитный поток, пронизывающий плоскость рамки, равен $0,004$ Вб, а площадь рамки равна 80 см². Определить в СИ величину магнитной индукции.

3.24. На протон, движущийся в однородном магнитном поле, действует сила Лоренца, равная $0,08$ пН. Определить в км/с скорость протона, если угол между вектором скорости и линиями индукции равен 30° , а величина магнитной индукции равна $0,2$ Тл.

3.25. Прямой провод длиной 1 м, по которому течёт ток силой 10 А, расположен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить в СИ модуль вектора магнитной индукции, если сила Ампера, действующая на проводник, равна $0,2$ Н.

3.26. Сила тока в контуре равномерно изменилась за 3 с на 1 А. При этом в контуре возникла э.д.с. самоиндукции, модуль которой равен 10 В. Определить в СИ индуктивность контура.

3.27. Энергия магнитного поля, создаваемого катушкой, равна $0,4$ Дж. Ток в катушке 2 А. Определить в СИ индуктивность катушки.

3.28. Прямой провод длиной 1 м, по которому течёт ток силой 20 А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,01$ Тл. Определить в градусах угол между направлением поля и направлением тока, если на провод действует сила $0,1$ Н.

3.29. Проводник длиной $1,5$ м с током 8 А перпендикулярен вектору индукции однородного магнитного поля, модуль которого $0,4$ Тл. Найти в СИ работу силы Ампера, которая была совершена при перемещении проводника на $0,25$ м по направлению действия силы.

3.30. Найти в СИ индуктивность катушки, в которой равномерное изменение силы тока на 2 А в течение $2,5$ с возбуждает э.д.с. самоиндукции $0,4$ В.

3.31. На замкнутый контур с током, помещённый в однородное магнитное поле, действует момент сил, равный 10 Н·м. Нормаль к контуру перпендикулярна линиям магнитной индукции. Величина вектора магнитной индукции $2,5$ Тл, площадь контура 2 м². Определить в СИ ток в контуре.

3.32. Определить в СИ силу тока в катушке с индуктивностью $0,5$ Гн, при которой энергия магнитного поля в катушке равна 1 Дж.

3.33. Магнитное поле в катушке с индуктивностью $0,95$ Гн обладает энергией $1,9$ Дж. Определить в СИ силу тока в катушке.

3.34. В однородном магнитном поле с индукцией 4 Тл расположен замкнутый контур площадью $0,4$ м² так, что плоскость контура параллельна линиям магнитной индукции. Найти в СИ силу тока в контуре, если со стороны магнитного поля на рамку действует момент сил 4 Н·м.

3.35. Электрон влетает в однородное магнитное поле в вакууме со скоростью 10^6 м/с, направленной перпендикулярно линиям индукции. Найти в пН силу, действующую на электрон со стороны магнитного поля, если индукция поля равна 2 Тл.

3.36. Между полюсами постоянного магнита находится кусок стали с магнитной проницаемостью 1500 . В стали величина индукции магнитного поля равна 150 Тл. Определить в СИ величину магнитной индукции между полюсами в отсутствие стального куска.

3.37. Проводник длиной 2 м расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции однородного поля с индукцией $0,8$ Тл. Найти в СИ силу тока в проводнике, если на него действует сила Ампера 8 Н.

3.38. Проводник длиной 200 см и током 5 А помещён в однородное магнитное поле с индукцией $0,4$ Тл. Найти в СИ силу, действующую на проводник, если угол между вектором магнитной индукции и направлением тока равен 30° .

3.39. В однородном магнитном поле расположен проводник с током так, что угол между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° . Во сколько раз увеличится сила, действующая на проводник, если этот угол увеличится до 90° ?

3.40. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции расположен замкнутый контур. При равномерном изменении магнитного потока, пронизывающего контур, от 2 Вб до 5 Вб в течение времени Δt в контуре возникла э.д.с. индукции 6 В. Найти в СИ величину Δt .

3.41. На проводник длиной $0,4$ м и током 5 А, помещённый в однородное магнитное поле, действует сила 2 Н. Найти в СИ величину магнитной индукции, если проводник перпендикулярен линиям индукции поля.

3.42. При равномерном изменении силы тока в контуре от 1 А до 7 А в нём возникла э.д.с. самоиндукции 3 В. Найти в СИ время, за которое произошло изменение тока, если индуктивность контура равна $0,2$ Гн.

3.43. Сила тока в контуре равномерно изменилась за 2 секунды на 5 А. При этом в контуре возникла э.д.с. самоиндукции 5 В. Найти в СИ индуктивность контура.

3.44. В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции помещена рамка площадью 500 см². Магнитный поток, пронизывающий плоскость рамки, равен $0,2$ Вб. Найти в СИ величину магнитной индукции.

3.45. На проводник с током 5 А, помещённый в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции, действует сила 2 Н. Найти в СИ величину индукции магнитного поля, если длина проводника равна $0,2$ м.

3.46. Проводник длиной 0,2 м помещён в однородное магнитное поле с индукцией 2 Тл перпендикулярно линиям индукции. Найти в СИ силу тока в проводнике, если со стороны магнитного поля на него действует сила 2 Н.

3.47. Проводник длиной 50 см и током 2 А помещён в однородное магнитное поле с индукцией 0,4 Тл. Найти в СИ силу, действующую на проводник с током, если угол между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° .

3.48. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции расположен круговой виток площадью 400 см^2 . За 2 секунды индукция магнитного поля равномерно изменилась от 0,3 Тл до 0,1 Тл. Найти в мВ э.д.с. индукции, возникающую при этом в контуре.

3.49. Определить в СИ величину изменения потока магнитной индукции через площадку за время 0,2 с, если в контуре, ограничивающем площадку, возникает средняя э.д.с. индукции 0,1 В.

3.50. В постоянном однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции движется заряженная частица. Найти в нКл заряд частицы, если известно, что скорость её равна 120 км/с, индукция магнитного поля составляет 200 мкТл, а сила Лоренца, действующая на частицу, равна 0,480 мкН.

3.51. Определить в мГн индуктивность катушки, если при прохождении через неё тока 2 А энергия магнитного поля катушки равна 1 мДж.

3.52. Линейный проводник длиной 0,2 м с током 5 А расположен перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля с индукцией 0,1 Тл. Найти в СИ работу силы Ампера при равномерном перемещении проводника на 0,02 м в направлении действия этой силы.

3.53. В однородном магнитном поле с индукцией 3 Тл находится прямой проводник длиной 0,5 м. Угол между направлением поля и направлением тока в проводнике равен 30° . Определить в СИ силу тока, протекающего по проводнику, если на этот проводник действует сила 0,12 Н.

3.54. В однородном магнитном поле расположена плоская рамка площадью $0,4 \text{ м}^2$. В течение 5 секунд индукция магнитного поля равномерно изменилась от 0,6 Тл до 0,3 Тл. Найти в СИ э.д.с. индукции, возникающую в этом контуре, если плотность контура перпендикулярна линиям магнитной индукции.

3.55. На заряженную частицу, движущуюся в однородном магнитном поле, действует сила, равная 6 мкН. Определить в мкДж величину силы, действующей на эту частицу, если скорость частицы увеличится в 2,5 раза, а направление движения не изменится.

3.56. Энергия магнитного поля, создаваемого катушкой с током, равна 0,1 Дж. Определить в СИ величину силы тока в катушке, если индуктивность катушки равна 0,002 Гн.

Задачи 4 класса трудности

4.1. В однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл движется проводник длиной 0,2 м со скоростью 200 м/с так, что пересекает линии магнитной индукции под углом 30° . Определить в СИ э.д.с. индукции, возникающую в проводнике.

4.2. За время 0,1 с магнитный поток, пронизывающий замкнутый контур, равномерно уменьшился до 1,5 Вб. При этом в контуре возникла э.д.с. индукции, равная 15 В. Определить в СИ первоначальную величину магнитного потока.

4.3. В однородном магнитном поле прямой проводник длиной 1 м перемещается на расстояние 3 см. Направление линий индукции, тока и перемещения взаимно перпендикулярны. Ток в проводнике равен 2 А. Определить в СИ магнитную индукцию поля, если работа по перемещению проводника равна 0,03 Дж.

4.4. В однородном магнитном поле на замкнутый проводящий контур с током 2 А действует момент сил 0,03 Н·м. Площадь контура 50 см^2 , нормаль к контуру перпендикулярна линиям индукции. Определить в СИ модуль вектора магнитной индукции.

4.5. Квадратная проволочная рамка со стороной 6 см помещена в однородное магнитное поле, индукция которого за 0,03 с равномерно изменилась от 0,05 Тл до 0,2 Тл. Угол между нормалью к плоскости рамки и линиями индукции равен 60° . Определить в мВ э.д.с. индукции в рамке.

4.6. Самолёт летит горизонтально со скоростью 630 км/ч. Определить в СИ размах крыльев самолёта, если на концах крыльев возникает э.д.с. индукции 0,084 В. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна 0,05 мТл.

4.7. Энергия магнитного поля катушки с током равна 5 Дж. Создаваемый этим полем магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение катушки, равен 0,8 Вб. Определить в СИ силу тока в катушке.

4.8. Катушка с током 2 А создаёт магнитное поле, поток индукции которого через поперечное сечение катушки равен 0,5 Вб. За время t ток в катушке равномерно уменьшается до 0,5 А, в катушке при этом возникает э.д.с. индукции 3 В. Определить в СИ время t .

4.9. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл перпендикулярно линиям индукции. Поле действует на электрон с силой $3,2 \cdot 10^{-14}$ Н. С какой скоростью движется электрон? Ответ дать в км/с.

4.10. Проводник с током длиной 8 см расположен в однородном магнитном поле с индукцией 0,02 Тл перпендикулярно силовым линиям. На проводник со стороны магнитного поля действует сила 32 мкН. Определить в СИ силу тока в проводнике.

4.11. Найти в СИ энергию магнитного поля соленоида, в котором при силе тока 10 А возникает магнитный поток 0,5 Вб.

4.12. Найти в мГн индуктивность проводника, в котором равномерное уменьшение силы тока на 2 А в течение 0,25 с возбуждает э.д.с. самоиндукции, равную 20 мВ.

4.13. Электрон влетает в однородное магнитное поле в вакууме со скоростью 10^7 м/с, направленной перпендикулярно линиям индукции. На электрон со стороны поля действует сила $3,2 \cdot 10^{-14}$ Н. Определить в СИ величину магнитной индукции.

4.14. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 10^7 м/с. Индукция магнитного поля 0,6 Тл. Сила, с которой поле действует на электрон, равна 0,48 пН. Под каким углом к линиям магнитной индукции влетает электрон? Ответ дать в градусах.

4.15. Проволочная квадратная рамка со стороной 20 см и током 4 А помещена в однородное магнитное поле так, что её плоскость параллельна линиям магнитной индукции. Найти в СИ величину магнитной индукции, если со стороны магнитного поля на рамку действует момент сил 0,32 Н·м.

4.16. Определить в СИ абсолютное значение скорости изменения тока в катушке индуктивностью 100 мГн, если в ней возникла э.д.с. самоиндукции 80 В.

4.17. За 0,2 с ток в контуре равномерно изменился от 3 А до 1 А. В результате этого возникла э.д.с. самоиндукции 10 мВ. Найти в мГн индуктивность контура.

4.18. За 2 с индукция однородного магнитного поля равномерно изменилась от 0,3 Тл до 0,1 Тл. В результате этого в круговой витке, помещённом в магнитное поле, возникла э.д.с. индукции 20 мВ. Найти в СИ площадь витка, если угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости витка равен 60° .

4.19. Проводник длиной 40 см и током 5 А помещён в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найти в СИ величину магнитной индукции, если на проводник действует сила в 2 Н.

4.20. На проводник длиной 50 см, помещённый в однородное магнитное поле с индукцией 2 Тл, действует сила 2 Н. Найти в СИ силу тока в проводнике, если угол между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° .

4.21. На пылинку с зарядом 1 мКл, движущуюся в однородном магнитном поле со скоростью 2 км/с, действует сила Лоренца, равная 1 Н. Определить угол между вектором скорости и линиями индукции поля, если магнитная индукция равна 0,5 Тл. Ответ дать в градусах.

4.22. По катушке течёт ток 0,3 А. При этом энергия магнитного поля, создаваемого катушкой, равна 0,1 Дж. Во сколько раз необходимо увеличить силу тока, чтобы энергия магнитного поля, создаваемого катушкой, увеличилась в 4 раза?

4.23. На пылинку с зарядом 10 мКл, движущуюся в однородном магнитном поле, действует сила Лоренца, равная 2,82 Н. Найти в СИ скорость пылинки, если угол между вектором скорости и линиями индукции поля равен 45° , а величина магнитной индукции равна 2 Тл.

4.24. При изменении силы тока в катушке от 5 А до 1 А за время 20 мс в катушке возникает э.д.с. самоиндукции, среднее значение которой равно 10 В. Найти в мГн индуктивность катушки.

4.25. В однородном магнитном поле находится замкнутый контур с током 5 А. Плоскость контура параллельна линиям магнитной индукции, а площадь его равна 200 см^2 . Определить в СИ величину магнитной индукции, если момент сил, действующих на контур с током в магнитном поле, равен 0,1 Н·м.

4.26. Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле так, что угол между векторами скорости частицы и магнитной индукции поля равен 90° . Чему должен быть равен этот угол, чтобы сила Лоренца, действующая на заряженную частицу, уменьшилась в 2 раза? Ответ дать в градусах.

4.27. По катушке течёт ток $0,9$ А. При этом энергия магнитного поля, создаваемого катушкой, равна 1 Дж. Найти в СИ энергию магнитного поля, которое создаст катушка, если силу тока увеличить в три раза.

4.28. На прямой проводник с током 6 А, помещённый в однородное магнитное поле с индукцией $0,5$ Тл, действует сила $0,3$ Н. Найти в см длину проводника, если угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции равен 30° .

4.29. Прямой проводник с током расположен в однородном магнитном поле так, что угол между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° . Чему должен быть равен этот угол, чтобы сила Ампера, действующая на проводник с током, увеличилась в 2 раза? Ответ дать в градусах.

4.30. Прямой проводник с током $0,2$ А помещён в однородное магнитное поле с индукцией $0,1$ Тл. Длина проводника 5 см. Найти в мкДж работу силы Ампера по перемещению проводника на 8 мм, если направления линий индукции, тока и перемещения взаимно перпендикулярны.

4.31. Определить в СИ силу Ампера, действующую на проводник длиной $0,1$ м с током 2 А, который помещён в однородное постоянное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции, если известно, что в этом поле максимальная величина магнитного потока, пронизывающего рамку площадью $0,01$ м², равна $0,1$ Вб.

4.32. Найти в СИ максимальную величину магнитного потока, пронизывающего плоскую рамку площадью $0,01$ м², которая помещена в однородное магнитное поле, если на проводник длиной 25 см и током 7 А, расположенный в этом же поле перпендикулярно линиям магнитной индукции, действует сила Ампера $3,5$ Н.

4.33. Найти в СИ величину магнитного потока, пронизывающего контур площадью $0,1$ м², плоскость которого перпендикулярна линиям магнитной индукции, если известно, что на прямой проводник длиной 20 см и током 2 А, помещённый в это поле под углом 30° к вектору магнитной индукции, действует сила Ампера $0,9$ Н.

4.34. Определить в мТл среднее значение индукции магнитного поля внутри плоского контура площадью 30 м² при пропускании через него тока $0,2$ А. Индуктивность контура равна $0,3$ Гн.

4.35. Проволочная квадратная рамка со стороной $0,1$ м помещена в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найти в мВ величину э.д.с. индукции, возникающей в рамке при равномерном изменении индукции магнитного поля от $0,15$ Тл до $0,05$ Тл за $0,1$ секунду.

4.36. Определить в мкГн индуктивность плоского проволочного контура площадью $0,02$ м², если известно, что при пропускании через контур тока 2 мкА

среднее значение индукции магнитного поля, созданного внутри контура, равно $8 \cdot 10^{-9}$ Тл.

4.37. При пропускании тока 0,2 А в проволочной катушке образуется магнитное поле, среднее значение индукции которого равно 0,2 Тл. Определить в мГн индуктивность катушки, если площадь её сечения, перпендикулярного магнитным силовым линиям, равна $0,01 \text{ м}^2$.

4.38. Найти в мВб максимальную величину магнитного потока, пронизывающего плоскую рамку площадью $0,2 \text{ м}^2$, внесённую в постоянное однородное магнитное поле, если известно, что на частицу с зарядом 40 нКл, которая движется в этом поле со скоростью 80 км/с перпендикулярно линиям магнитной индукции, действует сила Лоренца 64 мкН.

4.39. При пропускании тока 5 А через плоский проволочный контур индуктивностью 80 мкГн, создано магнитное поле, среднее значение индукции которого внутри контура 2 мТл. Определить в СИ площадь контура.

4.40. Найти в СИ площадь проволочной рамки, плоскость которой перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, если известно, что при равномерном изменении индукции магнитного поля от 1,5 Тл до 0,5 Тл за 0,5 с в рамке возникает э.д.с. индукции 0,22 В.

4.41. Для размагничивания телевизионных кинескопов используется плоский проволочный контур индуктивностью 0,3 Гн и площадью $0,9 \text{ м}^2$. Какой ток необходимо пропустить через этот контур для того, чтобы среднее значение индукции магнитного поля внутри него равнялось 0,1 Тл? Ответ дать в СИ.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Проводящая катушка с площадью поперечного сечения 10 см^2 находится в однородном магнитном поле, индукция которого в течение 10 мс равномерно изменяется от 5 Тл до 3 Тл. При этом в катушке наводится э.д.с. индукции 100 В. Ось катушки параллельна линиям индукции. Найти число витков в катушке.

5.2. Самолёт летит горизонтально со скоростью 900 км/ч. Размах крыльев самолёта 12 м. Вертикальная составляющая земного магнитного поля равна 50 мкТл. Найти в СИ э.д.с. индукции, возникающую в крыльях самолёта.

5.3. Электрон со скоростью 160 км/с движется по круговой орбите в однородном магнитном поле с индукцией 0,91 Тл в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции. Найти в мкм радиус орбиты электрона.

5.4. В проводящей катушке с индуктивностью 100 мГн в течение 500 микросекунд ток возрос от 1 до 1,5 А. Определить в СИ э.д.с. самоиндукции, возникающую в катушке.

5.5. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,2 Тл, по окружности равномерно вращается протон. Определить в СИ радиус окружности, если скорость протона равна 3200 км/с. Массу протона принять равной $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

5.6. Проводник длиной 2 м движется в однородном магнитном поле, индукция которого 0,25 Тл. Вектор скорости перпендикулярен проводнику и линиям индукции, а угол между проводником и линиями индукции равен 30° . При

этом в проводнике возникает э.д.с. индукции 5 В. Определить в СИ скорость движения проводника.

5.7. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 800 км/с и под действием силы Лоренца начинает равномерно вращаться по окружности. Определить в СИ величину индукции магнитного поля, если радиус окружности 0,91 мкм.

5.8. В течение времени t сила тока в катушке равномерно уменьшилась от 25 А до 4 А. При этом в катушке возникла э.д.с. самоиндукции, равная 3 В. Определить t , если в момент начала уменьшения тока энергия магнитного поля, создаваемого катушкой с током, была равна 5 Дж. Ответ дать в СИ.

5.9. В вертикальном магнитном поле расположены горизонтальные рельсы на расстоянии 2 м друг от друга. Между рельсами приложено напряжение. Если на рельсы перпендикулярно им положить металлический стержень массой 0,5 кг, то по нему потечёт ток 50 А, и он покатится с ускорением 2 м/с^2 . Определить в СИ магнитную индукцию. Трением пренебречь.

5.10. В пространстве, где существуют однородные и постоянные электрическое и магнитное поля, по прямолинейной траектории перпендикулярно линиям магнитной индукции движется заряженная частица со скоростью 2500 м/с. Напряжённость электрического поля равна 500 В/м. Определить в СИ индукцию магнитного поля.

5.11. По горизонтально расположенному проводнику длиной 0,2 м и массой 0,04 кг течёт ток силой 9,8 А. Найти минимальную индукцию магнитного поля, которое нужно создать для того, чтобы сила тяжести уравновесилась силой Ампера. Ответ дать в СИ.

5.12. Найти в СИ индукцию магнитного поля, в котором электрон, движущийся со скоростью $1,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}$, описал окружность радиусом 0,091 м.

5.13. В однородном магнитном поле с индукцией 3,2 мТл протон под действием поля вращается по окружности с радиусом 0,1 м. Определить скорость протона. Ответ дать в км/с. Считать, что удельный заряд протона (отношение заряда протона к его массе) равен $1 \cdot 10^8 \text{ Кл/кг}$.

5.14. Под действием однородного магнитного поля по окружности вращаются две заряженные частицы с одинаковыми скоростями. Масса второй частицы в четыре раза больше массы первой, заряд второй частицы в два раза превышает заряд первой. Во сколько раз радиус окружности, описываемой второй частицей, больше, чем первой?

5.15. В проводящем плоском контуре, расположенном перпендикулярно вектору магнитной индукции, под действием переменного магнитного поля возникла э.д.с. индукции 100 В. При этом вектор магнитной индукции изменился на 10 Тл за 10 мс. Определить в СИ площадь контура.

5.16. Проволочное кольцо радиусом 5 см расположено в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл так, что вектор индукции перпендикулярен плоскости кольца. Определить в СИ среднюю э.д.с. индукции, возникающую в кольце при его повороте на 90° в течение времени 0,314 с.

5.17. Плоскость замкнутого контура перпендикулярна линиям магнитной индукции однородного поля. Найти в СИ силу тока индукции, возникающего в

контуре при равномерном изменении магнитного потока от 0,8 Вб до 0,2 Вб за 30 мс. Сопротивление проводника контура равно 4 Ом.

5.18. Проволочная квадратная рамка со стороной 20 см и током 5 А помещена в однородное магнитное поле так, что её плоскость параллельна линиям магнитной индукции. Найти в СИ величину магнитной индукции, если со стороны магнитного поля на рамку действует момент сил 0,2 Н·м.

5.19. Проволочная рамка с током 4 А и площадью 0,25 м² расположена в однородном магнитном поле так, что её плоскость параллельна линиям магнитной индукции. Найти в СИ момент сил, действующих на рамку со стороны магнитного поля, если его индукция 2 Тл.

5.20. В однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл расположен замкнутый контур площадью 0,4 м² так, что плоскость контура параллельна линиям магнитной индукции. Найти в СИ силу тока в контуре, если со стороны магнитного поля на рамку действует момент сил, равный 2 Н·м.

5.21. В однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл на рамку с током действует момент сил 0,01 Н·м. Плоскость рамки параллельна линиям индукции поля. Определить в СИ площадь рамки, если сила тока в рамке равна 2 А.

5.22. Однозарядные ионы двух изотопов лития с массами 6 а.е.м. и 7 а.е.м. и скоростями 14 км/с и 10 км/с влетели в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Во сколько раз радиус кривизны траектории первого иона больше радиуса кривизны траектории второго?

5.23. Пылинка с массой 1 мг и зарядом 20 мкКл равномерно движется в вакууме в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл перпендикулярно к линиям магнитной индукции по окружности радиуса 0,1 м. Определить в СИ скорость пылинки.

5.24. На катушке с сопротивлением 5 Ом и индуктивностью 25 мГн поддерживается постоянное напряжение 50 В. Определить в СИ энергию, выделяющуюся при размыкании цепи катушки.

5.25. Виток площадью 2 см² помещён в однородное магнитное поле. Плоскость витка перпендикулярна линиям индукции поля. Определить в мВ э.д.с. индукции, возникающую в катушке при равномерном изменении магнитной индукции от 0,5 Тл до 0,1 Тл в течение 0,1 секунды.

5.26. На протон, движущийся в однородном магнитном поле со скоростью 1000 км/с, действует сила Лоренца, равная $1,6 \cdot 10^{-13}$ Н. Найти угол между векторами скорости и магнитной индукции, если величина магнитной индукции равна 2 Тл. Ответ дать в градусах.

5.27. Магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение катушки, равномерно уменьшается от некоторого начального значения до нуля в течение 0,12 с. При этом в катушке возникает э.д.с. индукции 100 В. Число витков катушки равно 2000. Определить в мВб начальное значение магнитного потока.

5.28. В однородное магнитное поле с индукцией 0,4 Тл помещён прямой проводник с током 5 А. Под действием силы Ампера проводник перемещается на 4 см. Направления линий индукции, тока и перемещения взаимно перпендикулярны. Найти в СИ длину проводника, если работа силы Ампера равна 16 мДж.

5.29. Пылинка с массой 2 мг и зарядом 10 мкКл, движется в вакууме под действием однородного магнитного поля в плоскости, перпендикулярной к линиям индукции поля. Магнитная индукция равна 0,4 Тл. Найти в СИ ускорение пылинки, если она движется равномерно по окружности со скоростью 0,2 м/с.

5.30. Альфа-частица влетает в однородное магнитное поле со скоростью 1000 км/с под углом 30° к линиям индукции поля. Найти в СИ величину магнитной индукции, если на альфа-частицу в магнитном поле действует сила Лоренца, равная 0,32 пН.

5.31. Определить в СИ ток в проволочной катушке, если энергия магнитного поля этого тока в катушке равна 6 Дж, а созданный при этом магнитный поток, пронизывающий катушку, равен 3 Вб.

5.32. На частицу с зарядом 40 пКл, которая движется в магнитном поле перпендикулярно линиям индукции со скоростью 50 км/с, действует сила Лоренца 0,4 мкН. Найти в СИ длину прямолинейного проводника с током 6 А, помещённого в это же поле перпендикулярно линиям индукции, если на него действует сила Ампера 0,3 Н.

5.33. Сила Лоренца 3,6 мкН действует на частицу с зарядом 60 пКл, которая движется в магнитном поле перпендикулярно линиям индукции со скоростью 150 км/с. Найти в СИ силу тока в прямом проводнике длиной 0,2 м, помещённом в это же магнитное поле перпендикулярно линиям индукции, если на него действует сила Ампера 0,8 Н.

5.34. При уменьшении силы тока в проволочной катушке с 6 А до 4 А произошло уменьшение энергии магнитного поля на 2 Дж. Определить, на сколько вебер уменьшилась величина магнитного потока, пронизывающего катушку.

5.35. Найти в СИ силу тока, энергия магнитного поля которого в проволочной катушке равна 12,5 Дж, если известно, что при равномерном уменьшении тока со скоростью 2 А/с в катушке возникает э.д.с. самоиндукции 0,5 В.

5.36. При равномерном изменении тока в проволочной катушке со скоростью 2 А/с возникает э.д.с. индукции, равная 4 В. Определить в СИ силу тока, который необходимо пропустить через эту катушку, чтобы создать пронизывающий её магнитный поток 1 Вб.

5.37. При равномерном уменьшении тока в проволочной катушке от 12 А до 8 А за 2 секунды возникает э.д.с. самоиндукции 0,8 В. Определить в СИ энергию магнитного поля в этой катушке при токе 3 А.

5.38. На частицу с зарядом 1 нКл, которая движется в однородном постоянном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции, действует сила Лоренца 2 мкН. Определить в км/с скорость частицы, если известно, что на проводник длиной 0,2 м и с током 8 А, расположенный в этом же поле под углом 30° к линиям индукции, действует сила Ампера 0,4 мН.

5.39. Из тонкой проволоки длиной 12 м выполнена катушка индуктивности с круглым поперечным сечением площадью $3,14 \text{ см}^2$. Витки в катушке намотаны в один слой. Катушку поместили в однородное магнитное поле так, что её ось параллельна линиям индукции. При нарастании магнитной индукции со скоростью 0,2 Тл в секунду, в катушке возникает э.д.с. индукции. Определить в СИ эту э.д.с.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Катушка с током $0,5$ А и площадью поперечного сечения 100 см² помещена в однородное магнитное поле с индукцией 2 Тл. Ось катушки перпендикулярна линиям индукции поля. Найти число витков катушки, если в магнитном поле на катушку с током действует момент сил $0,3$ Н·м.

6.2. В однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл находится катушка с площадью поперечного сечения $0,01$ м². Катушка содержит 15 витков, а её ось параллельна линиям магнитной индукции. Определить в СИ среднюю э.д.с. индукции, возникающую в катушке при её повороте вокруг оси, перпендикулярной к линиям индукции, на угол 90° за $0,5$ с.

6.3. Прямой проводник с током $0,49$ А находится в однородном магнитном поле. Проводник и пронизывающие его линии магнитной индукции взаимно перпендикулярны и лежат в горизонтальной плоскости. При какой величине магнитной индукции проводник будет висеть не падая? Масса единицы длины проводника 10 г/м. Ответ дать в СИ.

6.4. В однородном магнитном поле с индукцией $0,49$ Тл находится проводник. Проводник и пронизывающие его линии магнитной индукции взаимно перпендикулярны и лежат в горизонтальной плоскости. При какой силе тока проводник будет висеть не падая? Масса единицы длины проводника 5 г/м. Ответ дать в СИ.

6.5. Катушка из 100 витков находится в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл. Ось катушки параллельна линиям магнитной индукции. При повороте катушки вокруг оси, перпендикулярной к линиям индукции, на 90° за $0,2$ с в катушке возникает э.д.с. индукции, среднее значение которой $0,5$ В. Найти в СИ площадь поперечного сечения катушки.

6.6. Прямоугольная проволочная рамка площадью 40 см² и с сопротивлением $0,1$ Ом помещена в однородное магнитное поле с индукцией $0,3$ Тл. Плоскость рамки перпендикулярна к линиям индукции поля. Найти в мА среднее значение силы тока, возникающего в рамке, если её за $0,2$ с растянуть в линию, взяв за противоположные вершины.

6.7. Катушка с площадью поперечного сечения 30 см² помещена в однородное магнитное поле. Ось катушки составляет угол 60° с линиями индукции поля. Найти число витков катушки, если при равномерном изменении магнитной индукции от $0,2$ Тл до нуля за $0,1$ с в катушке возникает э.д.с. индукции $0,3$ В.

6.8. Рамка площадью 300 см² и с сопротивлением 2 Ом помещена в однородное магнитное поле. Плоскость рамки находится под углом 30° к вектору магнитной индукции. Определить в мА силу индукционного тока, возникающего в рамке при равномерном изменении магнитной индукции от $0,3$ Тл до $0,1$ Тл в течение 3 с.

6.9. Катушка из 40 витков помещена в однородное магнитное поле с индукцией B . Площадь поперечного сечения катушки 50 см², её ось параллельна линиям индукции. При повороте катушки вокруг оси, перпендикулярной линиям индукции, на 90° за $0,2$ с в ней возникает э.д.с. индукции со средним значением $0,1$ В. Найти в СИ величину B .

6.10. В пространстве, где существуют одновременно однородные и постоянные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, перпендикулярно к векторам E и B по прямолинейной траектории равномерно движется электрон. Найти в СИ модуль индукции магнитного поля, если напряжённость электрического поля 5 кВ/м , а скорость электрона равна 50 км/с .

6.11. Протон движется равномерно и прямолинейно в пространстве, где существуют одновременно однородные и постоянные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, перпендикулярно к векторам E и B . Найти в СИ скорость протона, если напряжённость электрического поля равна 8 В/м , а индукция магнитного поля 40 мТл .

6.12. Определить в мс период вращения заряженной частицы, влетевшей в однородное постоянное магнитное поле с индукцией $3,14 \text{ мТл}$ перпендикулярно к линиям B . Заряд частицы 5 нКл , масса частицы $1 \cdot 10^{-14} \text{ кг}$.

6.13. Найти в СИ скорость электрона, который движется в пространстве, где существуют постоянные и однородные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, перпендикулярно к этим полям. Известно, что электрон движется равномерно и прямолинейно, напряжённость электрического поля равна 50 В/м , а индукция магнитного поля равна $0,16 \text{ Тл}$.

6.14. Сила тока в катушке индуктивности в течение $0,1$ секунды равномерно изменялась от 12 А до 4 А . При этом энергия магнитного поля, создаваемого катушкой, уменьшилась на 2 Дж . Определить в СИ среднее значение э.д.с. самоиндукции, возникшей в катушке при снижении тока.

Задачи 7 класса трудности

7.1. В однородном магнитном поле с индукцией $0,2 \text{ Тл}$ находится плоский виток площадью 100 см^2 . Плоскость витка перпендикулярна к линиям магнитной индукции. Сопротивление витка $0,2 \text{ Ом}$. Какой заряд протечёт по витку при исчезновении магнитного поля за время, равное $0,1 \text{ с}$? Ответ дать в мКл.

7.2. Плоский виток площадью $0,1 \text{ м}^2$ находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,3 \text{ Тл}$. Плоскость витка перпендикулярна к линиям магнитной индукции. При исчезновении магнитного поля за $0,15 \text{ с}$ по витку протекает заряд $0,1 \text{ Кл}$. Найти в СИ сопротивление витка.

7.3. Катушка состоящая из 200 витков и с сопротивлением $0,5 \text{ Ом}$ помещена в однородное магнитное поле. Площадь поперечного сечения катушки 100 см^2 . Ось катушки под углом 60° к вектору магнитной индукции. Найти в СИ силу индукционного тока, возникающего в катушке при равномерном изменении магнитной индукции от $0,4 \text{ Тл}$ до $0,1 \text{ Тл}$ в течение 2 с .

7.4. Катушка с площадью поперечного сечения 300 см^2 и сопротивлением $0,15 \text{ Ом}$ находится в однородном магнитном поле. Ось катушки параллельна линиям индукции поля. При равномерном изменении магнитной индукции от $0,2 \text{ Тл}$ до нуля в течение 4 секунд в катушке возникает индукционный ток $0,4 \text{ А}$. Определить число витков в катушке.

7.5. Протон под действием однородного магнитного поля с индукцией $0,1 \text{ мТл}$ равномерно вращается по окружности радиусом 5 см . Определить в мс период вращения, считая удельный заряд протона равным $1 \cdot 10^8 \text{ Кл/кг}$.

7.6. В однородном магнитном поле с индукцией B находится плоский виток площадью 50 см^2 . Угол между плоскостью витка и линиями индукции поля равен 30° . Сопротивление витка $0,05 \text{ Ом}$. При исчезновении магнитного поля за $0,1 \text{ с}$ по витку протекает заряд $0,2 \text{ Кл}$. Определить в СИ величину B .

7.7. Катушка из 20 витков и с сопротивлением $0,2 \text{ Ом}$ помещена в однородное магнитное поле. Её ось параллельна линиям магнитной индукции. При равномерном изменении магнитной индукции от 30 мТл до нуля за $0,5 \text{ с}$ в катушке возникает индукционный ток $0,6 \text{ А}$. Найти в СИ площадь поперечного сечения катушки.

7.8. Альфа-частица под действием однородного магнитного поля равномерно вращается по окружности радиусом 3 см . Период вращения $0,628 \text{ мс}$. Определить в мТл величину магнитной индукции поля. Удельный заряд альфа-частицы считать равным $0,5 \cdot 10^8 \text{ Кл/кг}$.

7.9. Проволочная рамка помещена в однородное магнитное поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$. Плоскость рамки перпендикулярна к линиям индукции поля. Рамку поворачивают вокруг оси, перпендикулярной к линиям индукции, на 90° . При этом по ней протекает заряд 30 мКл . Найти в СИ площадь рамки, если её сопротивление $0,5 \text{ Ом}$.

7.10. Катушка, имеющая 10 витков, площадь поперечного сечения 50 см^2 и сопротивление $0,141 \text{ Ом}$, помещена в однородное магнитное поле. Ось катушки составляет угол 45° с линиями магнитной индукции. При равномерном изменении магнитной индукции от $0,2 \text{ Тл}$ до нуля за время t в катушке возникает индукционный ток $0,5 \text{ А}$. Найти в СИ величину t .

7.11. В длинном цилиндрическом стержне диаметром $0,2 \text{ м}$ создаётся однородное магнитное поле с индукцией, равномерно прирастающей за $0,25 \text{ секунды}$ на $7,5 \text{ Тл}$. Вектор индукции параллелен оси стержня. В результате возникает вихревое электрическое поле. Определить в СИ напряжённость этого поля на поверхности стержня.

7.12. В некотором процессе, происходившем в течение времени τ , сила тока в катушке индуктивности равномерно изменялась. В результате энергия магнитного поля, создаваемого катушкой, уменьшилась на $0,35 \text{ Дж}$, а магнитный поток через поперечное сечение катушки уменьшился на $0,14 \text{ Вб}$. Определить в СИ среднюю силу тока, протекавшего в катушке в данном процессе.

7.13. В однородном магнитном поле с индукцией $0,01 \text{ Тл}$ расположена короткая катушка, содержащая 80 витков и обладающая сопротивлением $0,2 \text{ Ом}$. Витки намотаны в один слой, и каждый из них имеет форму квадрата со стороной 10 см . Линии индукции параллельны плоскостям витков. Катушку закоротили и за время Δt повернули так, что плоскости витков стали перпендикулярными к линиям индукции. В процессе поворота в катушке протекал индукционный ток, и выделилась энергия $3,2 \text{ мДж}$. Считая индукционный ток постоянным, определить в СИ величину Δt .

7.14. В однородном магнитном поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$ расположена катушка, на которую в один слой намотан одножильный провод. Радиус катушки равен 6 см . При сматывании провода с катушки возникает разность потенциа-

лов между концами провода. Определить в СИ эту разность потенциалов, если ось катушки неподвижна и параллельна линиям индукции, а скорость размотки равна 18 м/с.

7.15. Чтобы измерить индукцию однородного магнитного поля, в него вносят катушку, состоящую из 20 витков, подключённую к гальванометру. Этот гальванометр измеряет прошедший через него заряд. Площадь поперечного сечения катушки 3 см^2 , сопротивление измерительной цепи 2 Ом. Опыт повторяют многократно, меняя ориентацию катушки. Максимальное показание гальванометра оказалось равным 6 мкКл. Определить в мТл индукцию исследуемого магнитного поля.

ТЕМА 9. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

9.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Колебания – это движения (процессы), обладающие свойством повторяемости во времени.

Периодические колебания – колебания, при которых состояние тела (системы) повторяется через равные промежутки времени.

Период колебаний T – это наименьший интервал времени, через который повторяются значения величин, характеризующих колебательный процесс. Если за время t совершено N полных колебаний, то время, за которое совершается одно колебание $T = t / N$.

Частота колебаний ν – это число колебаний в единицу времени:

$$\nu = N / t = 1/T. \quad (9.1)$$

Единица измерения частоты – герц: $[\nu] = 1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Гармонические колебания – это колебания, при которых изменение физической величины происходит по закону синуса (либо косинуса):

$$x(t) = A \cdot \sin \Phi(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (9.2)$$

Здесь $x(t)$ – отклонение (смещение) физической величины от равновесного значения в момент времени t ;

A – **амплитуда колебаний** (наибольшее абсолютное значение величины x);

$\Phi(t) = \omega t + \varphi_0$ – **фаза колебания** в момент времени t ;

$\varphi_0 = \Phi(0)$ – **начальная фаза** колебания;

ω – **циклическая (круговая) частота** колебания (скорость изменения фазы во времени).

Фаза колебания может измеряться как в радианах, так и в градусах. Перевод из одной меры в другую дается выражением

$$\Phi(\text{рад}) = \Phi(\text{град}) \cdot 2\pi/360^\circ. \quad (9.3)$$

Единица измерения циклической частоты $[\omega] = 1 \text{ рад/с}$. Отметим полезные соотношения:

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T. \quad (9.4)$$

Если величина x – смещение материальной точки вдоль оси X , то проекции скорости и ускорения на эту ось находятся путем дифференцирования по времени закона (9.2):

$$v_x = dx/dt = \omega A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) = v_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0); \quad (9.5)$$

$$a_x = dv_x/dt = -\omega^2 A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = -a_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x. \quad (9.6)$$

Здесь $v_{\max} = \omega A$ и $a_{\max} = \omega^2 A = \omega v_{\max}$ – амплитуды скорости и ускорения соответственно. Из второго закона Ньютона следует выражение для проекции возвращающей силы F на ось X :

$$F_x = m a_x = -m \omega^2 A = -F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (9.7)$$

где $F_{\max} = m \omega^2 A$ – амплитуда возвращающей силы.

9.2. ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК

При смещении подвешенного на пружине тела массы m из положения равновесия на него действует сила упругости, которая возникает при продольной деформации пружины. Проекция этой силы на направление смещения $F_x = -kx$,

где k – коэффициент жесткости пружины. Из (9.7) следует связь жесткости с циклической частотой ω колебаний маятника:

$$k = m\omega^2. \quad (9.8)$$

Период колебаний пружинного маятника находится по формуле

$$T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{m/k}. \quad (9.9)$$

Процесс колебания пружинного, маятника сопровождается периодическим переходом кинетической энергии W_K тела в потенциальную W_{II} и обратно, при этом полная энергия сохраняется:

$$W = W_K + W_{II} = mv^2/2 + kx^2/2 = \text{const}. \quad (9.10)$$

Согласно закону сохранения полной механической энергии: полная энергия численно равна потенциальной энергии в момент максимального отклонения тела ($W_K = 0$), или кинетической энергии в момент прохождения телом положения равновесия ($W_{II} = 0$):

$$W = W_{K \max} = W_{II \max}, \text{ т.е. } W = m(v_{\max})^2/2 = kA^2/2. \quad (9.11)$$

9.3 МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити длиной l , совершает гармонические колебания в поле силы тяжести с периодом

$$T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{l/g}, \quad (9.12)$$

где g – ускорение свободного падения в месте нахождения маятника. Формула (9.12) справедлива лишь для случая, когда точка подвеса маятника находится в состоянии статического равновесия относительно Земли. На математический маятник распространяются те же закономерности в поведении энергии, что и для пружинного маятника.

9.4. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Конденсатор емкостью C и катушка индуктивностью L составляют простейший (идеальный) **колебательный контур** (рис. 9.1, а), в котором с циклической частотой ω происходят свободные гармонические колебания заряда

$$q(t) = q_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (9.13)$$

и напряжения на конденсаторе

$$U_C(t) = U_{C \max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (9.14)$$

а также силы тока в цепи контура

$$I(t) = I_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (9.15)$$

где q_{\max} , $U_{C \max} = q_{\max}/C$ и $I_{\max} = \omega q_{\max}$ – амплитуды, соответственно, заряда и напряжения на конденсаторе, а также силы тока в цепи контура.

Период T свободных электромагнитных колебаний в контуре находится по формуле Томсона:

$$T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (9.16)$$

Процесс колебаний в контуре сопровождается периодическим переходом энергии W_C электрического поля конденсатора в энергию W_L магнитного поля катушки. При этом полная энергия контура сохраняется:

$$W = W_C + W_L = CU^2/2 + LI^2/2 = \text{const}. \quad (9.17)$$

Полная энергия в контуре численно равна максимальной энергии электрического поля в конденсаторе ($W_L = 0$), либо максимальной энергии магнитного поля катушки ($W_C = 0$):

$$W = W_{C\max} = W_{L\max}, \text{ т.е. } W = CU_{\max}^2/2 = LI_{\max}^2/2. \quad (9.18)$$

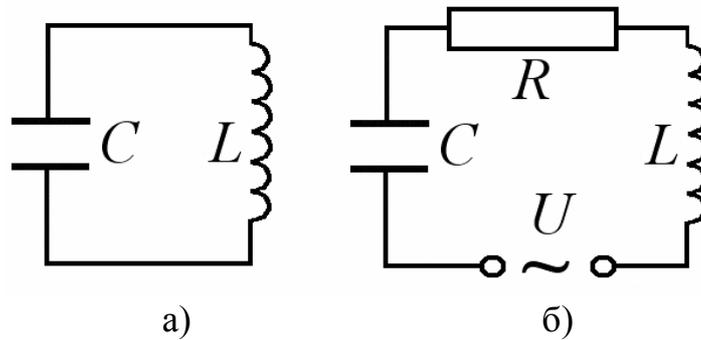


Рисунок 9.1 – Колебательный контур: а) простейший (идеальный); б) в цепи переменного тока

9.5. ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В общем случае цепь переменного тока представляет собой колебательный контур (рис. 9.1, б), к которому приложено внешнее (вынуждающее) напряжение $U(t)$, изменяющееся во времени по гармоническому закону с циклической частотой Ω :

$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\Omega t). \quad (9.19)$$

9.5.1. Цепь с активным сопротивлением

Если цепь переменного тока содержит только лишь активное сопротивление R ($C = 0$ и $L = 0$, т.е. конденсатор и катушка отсутствуют), то ток в цепи колеблется в одинаковой фазе с внешним напряжением (9.19):

$$I(t) = I_{\max} \cdot \sin(\Omega t). \quad (9.20)$$

При этом закон Ома справедлив как для мгновенных, так и амплитудных (максимальных) значений тока и напряжения:

$$I(t) = U(t)/R \text{ или } I_{\max} = U_{\max}/R. \quad (9.21)$$

В отличие от мгновенной мощности тока $P(t) = I(t) \cdot U(t)$ выражение для **средней мощности переменного тока** записывается в виде

$$P = I_{\delta} \cdot U_{\delta}, \quad (9.22)$$

через так называемые **действующие значения** тока и напряжения:

$$I_{\delta} = I_{\max} / \sqrt{2}; \quad U_{\delta} = U_{\max} / \sqrt{2}. \quad (9.23)$$

По своему тепловому действию активная цепь переменного тока эквивалентна цепи постоянного тока, сила которого и напряжение совпадают с действующими значениями (9.23).

9.5.2. Цепь с реактивным сопротивлением

Если цепь переменного тока содержит кроме активного сопротивления также и элементы с реактивным сопротивлением (конденсатор, катушка), то между током в цепи и внешним напряжением (9.19) возникает сдвиг фазы φ :

$$I(t) = I_{\max} \cdot \sin(\Omega t + \varphi). \quad (9.24)$$

Закон Ома для мгновенных значений теперь неприменим, однако для действующих (как и для амплитудных) значений он сохраняет свой вид.

Для участка цепи, содержащего конденсатор емкостью C ,

$$I_{\partial} = U_{C\partial}/X_C; \quad X_C = 1/\Omega C, \quad (9.25)$$

где X_C – **емкостное сопротивление** конденсатора.

Для участка цепи, содержащего катушку с индуктивностью L ,

$$I_{\partial} = U_{L\partial}/X_L; \quad X_L = \Omega L, \quad (9.26)$$

где X_L – **индуктивное сопротивление** катушки.

Для участка цепи, содержащего активное сопротивление R ,

$$I_{\partial} = U_{\partial R}/R. \quad (9.27)$$

Для полной цепи закон Ома записывается в виде

$$I_{\partial} = U_{\partial}/Z; \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}, \quad (9.28)$$

где Z – полное сопротивление цепи переменного тока.

Средняя мощность в цепи переменного тока в общем случае

$$P = I_{\partial} U_{\partial} \cdot \cos \varphi, \quad (9.29)$$

где $\cos \varphi = R/Z$ – так называемый **коэффициент мощности**.

Теплота в цепи переменного тока выделяется только на активном сопротивлении R :

$$Q = I_{\partial}^2 R t = (U_{\partial R})^2 t / R. \quad (9.30)$$

Резонанс в цепи переменного тока (резкое возрастание тока и напряжения) возникает при равенстве емкостного и индуктивного сопротивлений: $X_C = X_L$, откуда следует, что резонансная циклическая частота $\Omega_{рез}$ вынуждающей ЭДС равна циклической частоте ω свободных колебаний в контуре:

$$\Omega_{рез} = \omega = 1/\sqrt{LC}, \quad (9.31)$$

Трансформатор – это система из двух обмоток, которые связаны одним сердечником, предназначенная для повышения или понижения напряжения в цепях переменного тока.

Коэффициент трансформации k определяется выражением

$$k = N_2/N_1 = U_2/U_1, \quad (9.32)$$

где N_1 и N_2 – это число витков в первичной и во вторичной обмотках трансформатора, U_1 и U_2 – напряжения на соответствующих обмотках трансформатора.

КПД трансформатора рассчитывается по формуле

$$\eta = (P_2/P_1) \cdot 100\%, \quad (9.33)$$

где P_1 – мощность, подводимая к первичной обмотке, а P_2 – мощность, отдаваемая потребителю вторичной обмоткой.

9.6. ВОЛНЫ

Волны – это изменения (возмущения) состояния вещества или поля, распространяющиеся в пространстве. Колебательный процесс в упругой среде называется **упругими волнами**. Распространяющиеся в пространстве колебания электрического и магнитного полей называются **электромагнитными волнами**. Источником последних может служить колебательный контур.

Длина волны λ – это ее пространственный период, т.е. расстояние между ближайшими точками волны, находящимися в одинаковой фазе колебания. Для

упругих волн можно также говорить, что **длина волны** – это расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами возмущения точек среды. Длина волны связана с периодом колебаний T и скоростью распространения волны v соотношением $\lambda = vT$, откуда следует, что **длина волны** λ – это путь, проходимый волной за время одного полного колебания.

Скорость распространения v волны дается выражением

$$v = \lambda\nu, \quad (9.34)$$

где ν – частота колебаний в волне.

Уравнение упругой плоской волны записывается в виде

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t - kr + \varphi_0), \quad (9.35)$$

где x – смещение частиц среды от равновесного положения, r – расстояние от источника волны до наблюдателя (пройденный волной путь), k – **волновое число**, характеризующее набег фазы волны на единицу длины пути. Для волнового числа справедливы соотношения

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi/vT = \omega/v. \quad (9.36)$$

Единица измерения волнового числа $[k] = 1$ рад/м. Абсолютное значение **разности фаз** двух колеблющихся в волне точек, находящихся на расстоянии l друг от друга, определяется выражением

$$|\Delta\Phi| = |\Phi_2 - \Phi_1| = k|r_1 - r_2| = kl = 2\pi l/\lambda. \quad (9.37)$$

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме (воздухе) равна скорости света c (см. приложение 1). Соотношения (9.34) и (9.36) сохраняют силу и для электромагнитных волн:

$$c = \lambda\nu; \quad k = \omega/c. \quad (9.38)$$

9.7. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Груз, висящий на пружине, оттянули вниз и отпустили. За какое время от начала движения груз пройдет путь, равный половине амплитуды. Период колебаний груза равен 2,4 с? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

<p><u>Дано:</u> $T = 2,4$ с <u>Найти:</u> $t = ?$</p>
--

Запишем закон смещения груза от положения равновесия при гармонических колебаниях: $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$. В начальный момент времени $t = 0$ смещение груза максимально, т.е. $x(0) = A$. Это означает, что $\sin(\varphi_0) = 1$, откуда определяем начальную фазу колебания: $\varphi_0 = \pi/2$. Тогда закон колебания может быть преобразован: $x(t) = A \sin(\omega t + \pi/2) = A \cos(\omega t)$. В интересующий нас момент времени смещение груза от положения равновесия $x(t) = A/2$. Из равенства $A/2 = A \cos(\omega t)$ следует, что $\cos(\omega t) = 1/2$, т.е. $\omega t = \pi/3$. Учитывая, что циклическая частота ω связана с периодом колебаний T соотношением $\omega = 2\pi/T$, получаем выражение для времени, за которое груз достигнет указанного положения: $t = \pi/3\omega = \pi T/6\pi = T/6 = 2,4/6 = 0,4$ с. $t = 0,4$ с

2. Полная энергия колебаний груза на пружине равна 0,1 Дж. Определить максимальную силу, действующую на тело в процессе колебаний, если амплитуда колебаний составляет 5 см. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $W = 0,1$ Дж
 $A = 0,05$ м
Найти:
 $F_{max} = ?$

Возвращающая упругая сила, действующая на тело со стороны пружины, определяется законом Гука: $F_{\text{упр}} = -k|x|$. Эта сила максимальна в крайнем положении, когда смещение x от положения равновесия максимально, т.е. $F_{max} = kx_{max} = kA$. Чтобы найти неизвестную жесткость пружины k , запишем выражение для потенциальной энергии пружинного маятника:

$W_{\text{п}} = kx/2$. Учтем, что полная энергия колебаний равна максимальному значению потенциальной энергии: $W = W_{\text{п} max} = kA^2/2$, откуда находим $k = 2W/A^2$. Для максимальной силы получаем: $F_{max} = kA = 2W/A$. Проведём расчёты:
 $F_{max} = 2 \cdot 0,1/0,05 = 4$ Н. $F_{max} = 4$ Н.

3. Длина одного из математических маятников на 1,5 см больше длины другого. В то время как первый маятник делает 7 колебаний, второй делает на одно колебание больше. Определить в миллисекундах период колебания второго маятника. Принять ускорение свободного падения равным 10 м/с².

Решение:

Дано:
 $\Delta l = 0,015$ м
 $N_1 = 7$
 $N_2 = 8$
 $g = 10$ м/с²
Найти:
 $T_2 = ?$

Период колебаний второго маятника определяется выражением: $T_2 = 2\pi(l_2/g)^{1/2}$, где пока неизвестна длина этого маятника l_2 . За одно и то же время t маятники совершают различное число колебаний, поэтому их периоды отличаются: $T_1 = t/N_1$ и $T_2 = t/N_2$. Отсюда видно, что $N_2/N_1 = T_1/T_2 = (l_1/l_2)^{1/2}$. Ясно, что длина первого маятника больше, чем второго: $l_1 = l_2 + \Delta l$. С учётом этого имеем: $N_2/N_1 = (1 + \Delta l/l_2)^{1/2}$, откуда находим длину второго маятника: $l_2 = \Delta l / [(N_2/N_1)^2 - 1] = 0,049$ м. Теперь стало

возможным вычислить период колебаний второго маятника:
 $T_2 = 2\pi(0,049/10)^{1/2} = 0,14\pi = 0,4396$ с = 439,6 мс. $T_2 = 439,6$ мс.

4. Во сколько раз период колебаний математического маятника на некоторой планете больше, чем на Земле, если радиус планеты вдвое меньше радиуса Земли, а их плотности одинаковы?

Решение:

Дано:
 $R/R_x = 2$
 $\rho = \rho_x$
Найти:
 $T_x/T = ?$

Период колебаний математического маятника на Земле вычисляется по формуле $T = 2\pi(l/g)^{1/2}$, а на некоторой планете: $T_x = 2\pi(l/g_x)^{1/2}$. Взяв отношение этих периодов, имеем: $T_x/T = (g/g_x)^{1/2}$. Из динамики известно выражение (2.9) для ускорения свободного падения у поверхности Земли: $g = GM/R^2$, где G – гравитационная постоянная, а M и R – масса и радиус

Земли соответственно. Массу Земли можно выразить через ее плотность: $M = \rho V$. Считая Землю идеальным шаром, находим ее объем: $V = 4\pi R^3/3$. Итак, на Земле ускорение свободного падения $g = G\rho 4\pi R^3/3R^2 = G\rho 4\pi R/3$, и, аналогично, на другой планете $g_x = G\rho 4\pi R_x/3$. Находим отношение $g/g_x = R/R_x$. Окончательно получаем: $T_x/T = (R/R_x)^{1/2} = (2)^{1/2} = 1,41$. $T_x/T = 1,41$.

5. Когда груз неподвижно висел на вертикальной пружине, ее удлинение составило 2,5 см. Затем груз оттянули и отпустили, вследствие чего он начал совершать гармонические колебания. Какова циклическая частота колебаний груза. Ответ дать в единицах СИ. Принять ускорение свободного падения равным 10 м/с^2 .

Решение:

Дано:

$$\Delta x = 0,025 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$\omega = ?$$

Циклическая частота колебаний пружинного маятника определяется выражением: $\omega = 2\pi/T = (k/m)^{1/2}$, где неизвестны ни жесткость пружины k , ни масса груза m . Целесообразно искать сразу отношение этих величин. Для этого надо учесть, что в состоянии статического равновесия сила тяжести F_T , действующая на груз со стороны Земли, уравнивается упругой силой $F_{\text{упр}}$, действующей на груз со стороны растянутой пружины: $F_T = F_{\text{упр}}$. Подставляя сюда выражения для силы тяжести $F_T = mg$ и для упругой силы $F_{\text{упр}} = k\Delta l$, имеем: $mg = k\Delta l$, откуда находим отношение двух величин: $k/m = g/\Delta l$. Таким образом, циклическая частота колебаний груза на пружине $\omega = (g/\Delta l)^{1/2} = (10/0,025)^{1/2} = 20$.

$$\omega = 20 \text{ рад/с.}$$

6. Колебательный контур с конденсатором емкостью $0,5 \text{ мкФ}$ настроен на частоту 600 Гц . Если параллельно этому конденсатору подключить другой конденсатор, то частота колебаний в контуре станет равной 200 Гц . Найти в микрофарадах емкость второго конденсатора.

Решение:

Дано:

$$C_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$\nu_1 = 600 \text{ Гц}$$

$$\nu = 200 \text{ Гц}$$

Найти:

$$C_2 = ? \text{ (мкФ)}$$

Первоначальная частота ν_1 электрических колебаний в контуре находится по формуле $\nu_1 = 1/2\pi(LC_1)^{1/2}$. После подключения второго конденсатора с емкостью C_2 частота колебаний изменится: $\nu = 1/2\pi(LC)^{1/2}$, где C – ёмкость получившейся батареи. При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость равна $C = C_1 + C_2$, поэтому для частоты имеем: $\nu = 1/2\pi[L(C_1 + C_2)]^{1/2}$. Взяв отношение этих двух частот колебаний, получаем: $\nu_1/\nu = [(C_1 + C_2)/C_1]^{1/2} = [1 + C_2/C_1]^{1/2}$. Отсюда находим емкость $C_2 = C_1 \cdot [(\nu_1/\nu)^2 - 1] = 8 \cdot C_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 4 \text{ мкФ}$.

$$C_2 = 4 \text{ мкФ}$$

7. К конденсатору, заряд которого $2,5 \text{ нКл}$, подключили катушку индуктивности. Определить максимальный ток, протекающий через катушку, если частота свободных колебаний образованного контура равна 40 МГц . Ответ дать в единицах СИ.

Дано:

$$q_{\text{max}} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\nu = 4 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

Найти:

$$I_{\text{max}} = ?$$

Решение:

Полная энергия колебаний в контуре со временем не изменяется (потерями на излучение электромагнитных волн как обычно, пренебрегаем). При полной разрядке конденсатора эта энергия полностью переходит в энергию магнитного поля катушки, которая в этот момент максимальна: $W_{L \text{ max}} = LI_{\text{max}}^2/2$. При полной зарядке конденсатора вся энергия контура

сосредоточена в энергии электрического поля конденсатора, которая при этом достигает своего максимального значения: $W_{C \max} = q_{\max}^2/2C$. Итак, по закону сохранения энергии можем записать: $W_{L \max} = W_{C \max}$ или $LI_{\max}^2/2 = q_{\max}^2/2C$, откуда находим $I_{\max} = q_{\max}/(LC)^{1/2}$. Теперь учтем, что частота свободных колебаний в контуре определяется выражением $\nu = 1/2\pi(LC)^{1/2}$, откуда выражаем $(LC)^{1/2} = 1/2\pi\nu$. Окончательно для силы максимального тока имеем: $I_{\max} = q_{\max}/(LC)^{1/2} = 2\pi\nu q_{\max} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^7 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} = 0,628 \text{ А}$.

$$I = 0,628 \text{ А}$$

8. При резонансе в колебательном контуре с индуктивностью 20 мГн и емкостью 50 мкФ амплитуда тока равна 3 А. Определить амплитуду напряжения на конденсаторе. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$L = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$$

$$C = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$I_{\max} = 3 \text{ А}$$

Найти:

$$U_{C \max} = ?$$

Запишем закон Ома для участка цепи переменного тока, где имеется конденсатор, в терминах амплитудных (максимальных) значений: $I_{\max} = U_{C \max}/X_C$. Здесь величина $X_C = 1/\Omega_{\text{рез}}C$ – емкостное сопротивление при резонансной циклической частоте $\Omega_{\text{рез}}$ вынуждающей ЭДС. Из этих соотношений находим амплитуду напряжения на конденсаторе: $U_{C \max} = I_{\max}/\Omega_{\text{рез}}C$. Теперь учтем, что резонансная циклическая частота $\Omega_{\text{рез}}$ совпадает с циклической частотой ω свободных колебаний в контуре: $\Omega_{\text{рез}} = \omega = 1/(LC)^{1/2}$. После указанной подстановки приходим к окончательному результату для амплитуды напряжения на конденсаторе: $U_{C \max} = I_{\max}(LC)^{1/2}/C = I_{\max}(L/C)^{1/2} = 3 \cdot (2 \cdot 10^{-2}/5 \cdot 10^{-5})^{1/2} = 60 \text{ В}$.

$$U_{C \max} = 60 \text{ В}$$

9. В некоторой среде распространяются волны. За время, в течение которого частица среды совершает 140 колебаний, волна распространилась на расстояние 98 метров. Определить длину волны. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$N = 140$$

$$r = 98 \text{ м}$$

Найти:

$$\lambda = ?$$

Длина волны λ может быть найдена из выражения для скорости распространения волны $v = \lambda\nu$, где ν – частота колебаний в волне. Отсюда имеем: $\lambda = v/\nu$. Теперь необходимо записать формулу для скорости волны как кинематического объекта: $v = r/t$, а также выражение для частоты колебаний: $\nu = N/t$. Итоговое выражение для длины волны выглядит так: $\lambda = r/N$. Простота этого результата наводит на мысль о том, что он может быть получен более простым и наглядным способом. Подставляя численные данные, получим:

$\lambda = 98/140 = 0,7 \text{ м}$.

$$\lambda = 0,7 \text{ м}$$

10. Скорость звука в воде равна 1450 м/с. На каком минимальном расстоянии находятся точки, совершающие колебания в противоположных фазах, если частота колебаний равна 725 Гц? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:

$$v = 1450 \text{ м}$$

$$\nu = 725 \text{ Гц}$$

Найти:

$$l = ?$$

Абсолютное значение разности фаз колеблющихся точек, находящихся на расстоянии l друг от друга, определяется выражением $|\Delta\Phi| = kl$, где k – волновое число. Выразим его через частоту колебаний ν и скорость распространения v волны: $k = \omega/v = 2\pi\nu/v$. Итак, $|\Delta\Phi| = 2\pi\nu l/v$, откуда находим расстояние между точками $l = |\Delta\Phi|v/2\pi\nu$. Для точек волны, колеблющихся в

противоположных фазах $|\Delta\Phi| = \pi$. В итоге приходим к следующему выражению: $l = v/2\nu$. Расчёт даёт $l = 1450/2 \cdot 725 = 1 \text{ м}$. $l = 1 \text{ м}$.

9.8. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Звуковая волна с частотой колебаний 100 Гц и длиной волны 4 м распространяется в некоторой среде. Определить в СИ скорость её распространения.

3.2. Маятник, период колебаний которого равен 8 с, начал колебаться, имея начальную фазу 90° . Определить в градусах фазу колебания через 2 секунды после начала колебаний.

3.3. Период колебаний математического маятника равен 2 с. Определить в радианах фазу колебания этого маятника через 0,1 с после начала колебаний, если начальная фаза равна 0.

3.4. При измерении ускорения силы тяжести был применен математический маятник длиной 2,46 м. Период колебаний этого маятника оказался равным 3,14 с. Определить в СИ полученное значение ускорения силы тяжести.

3.5. Шарик на пружине за 1 с совершает 5 колебаний. Определить в СИ круговую частоту колебаний шарика.

3.6. В открытом электромагнитном контуре электрические колебания происходят с частотой 150 кГц. Определить в СИ длину волны, излучаемой этим контуром.

3.7. Определить в СИ круговую частоту свободных электрических колебаний в электрическом контуре, состоящем из индуктивности 0,05 Гн и ёмкости 5 мкФ.

3.8. Математический маятник на Луне совершает гармонические колебания с периодом 3,14 с. Определить в СИ длину этого маятника, если ускорение силы тяжести на Луне равно $1,6 \text{ м/с}^2$.

3.9. Низкочастотный колебательный контур с малым активным сопротивлением имеет индуктивность и электроёмкость, равные соответственно 2 мГн и 5 мкФ. Определить в мс период свободных электромагнитных колебаний в этом контуре.

3.10. Расстояние между двумя соседними гребнями волны, распространяющейся по поверхности озера, равно 2 м. Определить в градусах разность фаз колебаний двух точек этой волны, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,5 м вдоль направления распространения волны.

3.11. Определить в градусах фазу колебаний математического маятника через половину периода после начала колебаний, если начальная фаза равна нулю.

3.12. Во сколько раз нужно уменьшить электроёмкость конденсатора в колебательном контуре, чтобы круговая частота электромагнитных колебаний в нём увеличилась в 2 раза?

3.13. Колебательный контур лампового генератора состоит из индуктивности $0,05$ Гн и ёмкости 5 мкФ. Определить в СИ круговую частоту электрических колебаний генератора.

3.14. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 2 мГн и конденсатора с электроёмкостью 125 мкФ. Определить в СИ циклическую частоту свободных электрических колебаний в контуре.

3.15. Определить в СИ время, за которое математический маятник длиной $2,45$ м, установленный на поверхности Земли, отклоняется от положения равновесия до наибольшего смещения.

3.16. Колебательный контур с пренебрежимо малым активным сопротивлением имеет индуктивность 5 мГн и электроёмкость 50 мкФ. Определить в мс период свободных электромагнитных колебаний в этом контуре.

3.17. Открытый колебательный контур излучает электромагнитную волну с частотой 750 кГц. Определить в СИ длину волны, излучаемую контуром.

3.18. По поверхности воды распространяется волна. Период колебания частиц на поверхности воды составляет $1,8$ с. Расстояние между соседними впадинами волны $4,5$ м. Определить в СИ скорость распространения волны.

3.19. Обмотка электродвигателя с индуктивностью $0,2$ Гн включена в цепь переменного тока с частотой 50 Гц. Определить в СИ индуктивное сопротивление обмотки.

3.20. Волна, распространяясь по водной поверхности, заставляет колебаться частицы с частотой $1,2$ Гц. Расстояние между гребнями волны равно $0,6$ м. Определить в СИ скорость волны.

3.21. Начальная фаза гармонических колебаний тела равна 0 . Частота колебаний $0,5$ Гц. Определить в СИ фазу колебания тела через $0,1$ с после начала колебаний.

3.22. Во сколько раз возрастёт период электромагнитных колебаний в контуре при увеличении ёмкости в 100 раз и уменьшении индуктивности в 25 раз?

3.23. Амплитуда незатухающих гармонических колебаний шарика равна 2 см, а циклическая частота $1,5$ рад/с. Найти в СИ максимальную скорость шарика.

3.24. Потенциальная энергия гармонически колеблющегося тела при максимальном отклонении от положения равновесия равна 12 Дж. Определить в СИ кинетическую энергию этого тела в момент перехода им положения равновесия.

3.25. Во сколько раз увеличится период колебаний математического маятника, если его длину увеличить в 25 раз?

3.26. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 10 мГн и электроёмкости 100 мкФ. Определить в мс период свободных электрических колебаний.

3.27. Шарик массой $0,02$ кг, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания в вертикальной плоскости с циклической частотой 2 рад/с и амплитудой $0,1$ м. Найти в СИ максимальную кинетическую энергию шарика.

3.28. Разность фаз колебаний двух точек, находящихся на расстоянии 6 м друг от друга, равна 12,56 рад. Найти в СИ длину волны.

3.29. Грузик, прикрепленный к пружине, жесткость которой 20 Н/м, совершает гармонические колебания с круговой частотой 10 рад/с. Найти в СИ массу грузика.

3.30. Скорость распространения звука в горной породе 3600 м/с, а период звуковых колебаний равен 2 мс. Определить в СИ длину волны.

3.31. Закон колебания материальной точки записывается в виде $x = 0,5 \sin(2t)$ м, где t – промежуток времени от начала колебаний. Найти в СИ амплитуду ускорения материальной точки.

3.32. Собственная круговая частота колебаний груза, подвешенного на пружине, равна 10 рад/с. Масса груза 2 кг. Определить в СИ жесткость пружины.

3.33. Колебательный контур содержит индуктивность 0,2 Гн и электроёмкость 200 мкФ. Во сколько раз возрастёт период свободных электрических колебаний в контуре при увеличении электроёмкости в 100 раз.

3.34. Частота электромагнитной волны 5 МГц. Определить в СИ длину волны.

3.35. В колебательном контуре, содержащем индуктивность 20 мГн, изменили электроёмкость от 500 пФ до 5 пФ. Во сколько раз уменьшился период колебаний в контуре?

3.36. Период колебаний математического маятника равен 3,14 с. Определить в СИ длину маятника.

3.37. Точка совершает гармонические колебания по закону $x = 0,57 \sin(3,147t)$ м, где t – время в секундах. Определить в СИ период колебаний точки.

3.38. Во сколько раз уменьшится круговая частота колебаний груза на пружине, если массу груза увеличить в 4 раза?

3.39. Во сколько раз увеличится период колебаний математического маятника, если его длину увеличить в 4 раза?

3.40. Период колебаний в электромагнитном контуре возрастает в 2 раза за счет увеличения ёмкости конденсатора. Найти отношение конечной ёмкости конденсатора к начальной.

3.41. Трансформатор повышает напряжение с 220 В до 660 В и содержит в первичной обмотке 300 витков провода. Сколько витков во вторичной обмотке?

3.42. Определить в СИ круговую частоту гармонических колебаний, если за 6,28 с тело совершило 5 колебаний.

3.43. Найти в СИ круговую частоту незатухающих колебаний электромагнитного контура, если индуктивность и электроёмкость его равны соответственно 25 мГн и 10 мкФ.

3.44. Определить в СИ круговую частоту колеблющегося тела, если за 1 секунду оно совершает 10 колебаний.

3.45. Колебательный контур содержит конденсатор ёмкостью 500 пФ и катушку с индуктивностью 5 мкГн. Определить в нс период электромагнитных колебаний в контуре.

3.46. Определить в градусах фазу колебания материальной точки через время, равное 0,5 с после начала колебаний, если частота колебаний 0,25 Гц, а начальная фаза 45° .

3.47. Определить в СИ длину волны электромагнитного излучения контура, частота электромагнитных колебаний в котором равна 500 кГц.

3.48. Круговая частота гармонически колеблющегося тела равна 31,4 рад/с. Сколько колебаний совершает тело за 1 секунду?

3.49. Определить в СИ длину математического маятника, если он за 20 секунд совершил 10 колебаний.

3.50. Индуктивность катушки равна 31,4 мГн, электроёмкость конденсатора 3,14 мкФ. Найти в СИ частоту свободных электрических колебаний в контуре, состоящем из этих элементов.

3.51. Электромагнитный колебательный контур приёмной антенны радиоприёмника настроен на частоту 2 МГц. Определить в СИ длину принимаемых радиоволн?

3.52. Скорость звука в воде равна 1450 м/с. На каком минимальном расстоянии друг от друга находятся точки, совершающие колебания в противоположных фазах, если частота колебаний равна 725 Гц? Ответ дать в СИ.

3.53. Тело совершает гармонические колебания с частотой 5 Гц. Определить в СИ время, за которое колеблющееся тело пройдёт расстояние от положения равновесия до точки, максимально удалённой от положения равновесия.

3.54. Звуковая волна проходит расстояние 990 м за 3 с. Найти в СИ длину волны, если её частота равна 660 Гц.

3.55. В некоторой среде распространяется волна, длина которой равна 12 м. На каком расстоянии друг от друга находятся колеблющиеся точки среды, разность фаз колебаний которых равна 4,71 радиан. Ответ дать в СИ.

3.56. Собственная круговая частота колебаний гирьки, прикрепленной к пружине, равна 20 рад/с. Жёсткость пружины равна 20 Н/м. Найти в СИ массу гирьки.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Груз, подвешенный на пружине жёсткостью 250 Н/м, совершает 50 колебаний за время, равное 31,4 с. Найти в СИ массу груза.

4.2. Гирька массой 0,05 кг прикреплена к пружине и совершает колебания в вертикальной плоскости с циклической частотой 4 рад/с. Найти в СИ потенциальную энергию гирьки, когда её смещение от положения равновесия равно 0,05 м.

4.3. Период колебаний материальной точки равен 4 с, а амплитуда равна 0,1 м. Найти в СИ амплитуду скорости точки.

4.4. Волна на поверхности озера распространяется со скоростью 2,4 м/с. Частота колебаний волны 3 Гц. Найти в градусах разность фаз колебаний (для одного и того же момента времени) двух точек волны, находящихся друг от друга на расстоянии 0,6 м по направлению распространения волны.

4.5. Циклическая частота свободных электрических колебаний в колебательном контуре равна 2000 рад/с, ёмкость конденсатора 2 мкФ. Найти в СИ индуктивность катушки.

4.6. Частота гармонических колебаний тела равна 2 Гц. Определить в СИ изменение фазы колебаний тела за 0,5 с.

4.7. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой 0,15 м. Найти в СИ максимальную скорость колеблющейся материальной точки, если период колебаний равен 3,14 с.

4.8. Определить в градусах разность фаз колебаний частиц, расположенных на расстоянии 1 м вдоль направления распространения волны. Скорость распространения волны равна 500 м/с. Частота колебаний 100 Гц.

4.9. Шарик массой 0,5 кг прикреплен к пружине с жесткостью 800 Н/м. Определить в СИ полную механическую энергию колебательной системы в момент, когда смещение шарика от положения равновесия составляет 10 см, а скорость шарика равна 4 м/с.

4.10. В электромагнитном колебательном контуре с индуктивностью 16 мГн максимальное значение переменного тока составляет 25 А. Определить в СИ энергию, запасенную в контуре.

4.11. Груз, подвешенный на пружине жесткостью 100 Н/м, совершает 10 колебаний за 3,14 с. Определить в СИ массу груза.

4.12. Скорость распространения волны равна 300 м/с. Найти в градусах разность фаз колебаний частиц, расположенных друг от друга на расстоянии 20 м вдоль направления распространения волны, если период колебаний равен 0,5 с.

4.13. На пружине жесткостью 10 Н/м подвешен шарик массой 100 г. Сколько колебаний совершит такой маятник за 3,14 с?

4.14. Найти в мкДж максимальную энергию в катушке индуктивности электромагнитного колебательного контура, если максимальное напряжение между обкладками конденсатора емкостью 400 пФ равно 100 В.

4.15. Морские волны распространяются со скоростью 2 м/с. Расстояние между одним из гребней волны и ближайшей впадиной равно 2,5 м. Определить в СИ частоту колебаний.

4.16. Шарик массой 0,25 кг, подвешенный на пружине, совершает 10 колебаний за 3,14 с. Определить в СИ жесткость пружины.

4.17. Определить в СИ длину математического маятника, если он за 20 с совершил 10 колебаний.

4.18. Рыболов заметил, что за 10 с поплавок совершил на волнах 20 колебаний, а расстояние между соседними гребнями волны 1 м. Определить в СИ скорость распространения волны.

4.19. Частота незатухающих колебаний струны 500 Гц. Амплитуда колебаний некоторой точки на струне 1 мм. Какой путь пройдет эта точка за 5 с? Ответ дать в СИ.

4.20. Математический маятник длиной 2,3 м совершает за 314 с 100 колебаний. Найти в СИ ускорение свободного падения в месте нахождения маятника.

4.21. Груз массой 0,2 кг, подвешенный к пружине, совершает за 314 с 300 колебаний. Определить в СИ коэффициент жесткости пружины.

4.22. По спокойной водной поверхности распространяется волна, расстояние между соседними гребнями которой 1,6 м. Период колебаний источника волны 0,8 с. Сколько времени потребуется этой волне, чтобы пройти расстояние 20 м?

4.23. Маятник совершает гармонические колебания. Двигаясь в одном направлении, он за время, равное $1/12$ периода, сместился от положения равновесия на 2 см. Найти в см амплитуду колебаний маятника.

4.24. Найти в СИ массу груза, который на пружине с жёсткостью 250 Н/м совершает 5 колебаний за 3,14 с.

4.25. В открытом электромагнитном контуре электрические колебания происходят с частотой 150 кГц. Определить в СИ длину электромагнитной волны, излучаемой этим контуром.

4.26. Определить в СИ круговую частоту свободных электрических колебаний в электрическом контуре, состоящем из индуктивности 0,05 Гн и ёмкости 5 мкФ.

4.27. Шарик совершает гармонические колебания с амплитудой 0,1 м. В начальный момент времени ($t = 0$) он находится в положении равновесия. Найти в СИ смещение шарика от положения равновесия в момент времени, равный $1/12$ периода.

4.28. Звуковая волна длиной 10 см и частотой 15 кГц распространяется в жидкости. Определить в СИ скорость распространения звуковой волны в жидкости.

4.29. Расстояние между двумя соседними гребнями волны, распространяющейся по поверхности озера, равно 2 м. Чему равна разность фаз колебаний в один и тот же момент времени в двух точках этой волны, отстоящих друг от друга на расстояние 0,5 м вдоль направления распространения волны? Ответ дать в градусах.

4.30. Грузик, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания с амплитудой 0,1 м и периодом 1,57 с. Найти в СИ максимальное ускорение грузика во время его движения.

4.31. Грузик массой 0,1 кг, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания с круговой частотой 20 рад/с. Найти в СИ потенциальную энергию пружины при смещении грузика от положения равновесия на 0,03 м.

4.32. Частота незатухающих колебаний струны 5 Гц. Амплитуда колебаний некоторой точки на струне 1 мм. Какой путь пройдёт эта точка за 5 с? Ответ дать в мм.

4.33. Человек, стоящий на берегу моря, определил, что расстояние между следующими друг за другом гребнями волн равно 8 м. За 30 с мимо него проходит 45 волновых гребней. Определить в СИ скорость распространения волн.

4.34. Круговая частота свободных электрических колебаний в контуре равна 2000 рад/с. Найти в мкФ электроёмкость контура, если его индуктивность 0,25 Гн.

4.35. Частота гармонических колебаний материальной точки 0,5 Гц. Найти в СИ максимальную скорость материальной точки, если амплитуда колебаний равна 0,1 м.

4.36. Найти в СИ абсолютное значение разности фаз колебаний в двух точках среды распространения звуковой волны, если разность их расстояний от источника звука составляет 0,25 м, а частота колебаний источника равна 680 Гц. Скорость звука в среде принять равной 340 м/с.

4.37. Частота гармонических колебаний маятника равна 2 Гц. На сколько изменится фаза колебаний маятника за 10 с? Ответ дать в СИ.

4.38. Найти величину отношения длины математического маятника, совершающего за некоторый промежуток времени 10 колебаний, к длине математического маятника, совершающего за тот же промежуток времени 30 колебаний.

4.39. Определить в мкс период электрических колебаний в контуре, излучающем электромагнитные волны длиной 450 м.

4.40. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 0,01 Гн и электроёмкости 100 мкФ. Определить в СИ сопротивление контура, если круговая частота колебаний равна 1000 рад/с.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Входной колебательный контур радиоприёмника с конденсатором ёмкостью 90 пФ настроен на длину волны 9 м. Определить индуктивность катушки этого контура. Ответ дать в мкГн.

5.2. При индуктивности колебательного контура 100 мкГн частота свободных электрических колебаний в контуре равна 2 МГц. Какой должна быть индуктивность контура при неизменной электроёмкости, чтобы частота колебаний в контуре стала равной 4 МГц. Ответ дать в мкГн.

5.3. Входной колебательный контур радиоприёмника, связанный с антенной, состоит из конденсатора ёмкостью 1 мкФ и катушки с индуктивностью 1 мкГн. На какую длину волны настроен радиоприёмник? Ответ дать в СИ.

5.4. На обкладках конденсатора, включенного в колебательный контур, максимальное напряжение равно 100 В. Электроёмкость конденсатора 100 пФ. Определить в мкДж полную энергию свободных электромагнитных колебаний в контуре.

5.5. Груз массой 2 кг подвешен на пружине и совершает колебания вдоль вертикальной оси с частотой 2 Гц. Найти в СИ жёсткость пружины.

5.6. Шарик массой 0,1 кг совершает гармонические колебания на невесомой пружине. Определить в СИ период колебаний шарика, если для упругого удлинения пружины на 1 см требуется сила 0,1 Н.

5.7. Период колебаний математического маятника в ракете, поднимающейся вертикально вверх, отличается от периода колебаний этого маятника на Земле в два раза. Определить в СИ ускорение ракеты.

5.8. Резонанс в колебательном контуре с конденсатором $C_1 = 1$ мкФ наступает при частоте колебаний 400 Гц. Когда вместо конденсатора C_1 подключают другой конденсатор C_2 , то резонансная частота становится равной 100 Гц. Найти в мкФ ёмкость C_2 . Активным сопротивлением контура пренебречь.

5.9. За время, равное $1/6$ периода, переменный ток уменьшается от максимального значения до 2 А. Определить в СИ амплитуду силы тока.

5.10. В цепи переменного тока действующие значения силы тока и напряжения равны соответственно 2 А и 50 В. Сдвиг фаз между током и напряжением равен нулю. Определить в СИ максимальное значение мгновенной мощности в цепи.

5.11. Входной колебательный контур радиоприёмника состоит из конденсатора ёмкостью 25 нФ и катушки, индуктивность которой равна 0,1 мкГн. На какую длину волны настроен радиоприёмник? Ответ дать в СИ.

5.12. Участок цепи переменного тока с циклической частотой 400 рад/с состоит из последовательно соединённых конденсатора и резистора. Ёмкость конденсатора 50 мкФ, сопротивление резистора 500 Ом. Амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе составляет 200 В. Определить в СИ действующее значение силы тока в резисторе.

5.13. При настройке колебательного контура индуктивность контура изменили с 288 мкГн до 200 мкГн. Во сколько раз увеличилась частота колебаний в контуре?

5.14. Электромагнитная волна с частотой 300 кГц в некоторой среде имеет длину волны 400 м. Определить показатель преломления среды для данной длины волны.

5.15. Математический маятник сместился за $1/6$ периода от крайнего положения на 0,15 м. Определить в СИ амплитуду колебаний маятника.

5.16. Колебательный контур состоит из индуктивности 2,5 мГн и электроёмкости 100 пФ. На какую длину волны настроен контур? Ответ дать в СИ.

5.17. Шарик массой 100 г, закреплённый на невесомой пружине с жёсткостью 10 Н/м, совершает гармонические колебания с амплитудой 4 см. В начальный момент времени ($t = 0$) он находится в положении равновесия. Определить в СИ смещение шарика от положения равновесия в момент времени $t = 0,314$ с.

5.18. К невесомой пружине подвешен груз массой 4 кг. Зная, что пружина под влиянием силы 10 Н растягивается на 2,5 см, найти в СИ период вертикальных колебаний такого пружинного маятника.

5.19. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой 10 м и круговой частотой 0,314 рад/с. Уравнение колебаний имеет вид: $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, причём начальная фаза колебаний $\varphi_0 = 60^\circ$. Определить в СИ скорость точки через 20 секунд после начала колебаний.

5.20. Шарик массой 200 г, подвешенный к пружине, совершает 30 колебаний в минуту. Определить в СИ жёсткость пружины.

5.21. Колебательный контур радиоприёмника настроен на волну длиной 300 м. В колебательном контуре установлена индуктивность 50 мГн. Какая электроёмкость установлена в колебательном контуре? Ответ дать в пФ.

5.22. Маятник за 10 с совершает 100 колебаний. За какой промежуток времени фаза колебаний маятника изменяется на 180° ? Ответ дать в СИ.

5.23. Сигнал гидролокатора подводной лодки, отразившись от цели, отстоящей от неё на расстояние 4 км, зарегистрирован через 5 с после его подачи. Частота колебаний вибратора гидролокатора 10 кГц. Определить в см длину звуковой волны в воде.

5.24. Частота электромагнитных колебаний в контуре равна 500 кГц. Чему равна электроёмкость этого контура, если индуктивность равна 1 мГн? Ответ дать в пФ.

5.25. Колебательный контур излучает электромагнитные волны длиной 300 м. Найти в мГн индуктивность контура, если его электроёмкость равна 100 пФ.

5.26. Определить в пФ электроёмкость колебательного контура, настроенного в резонанс с радиостанцией, которая работает на частоте 50 кГц? Индуктивность контура 20 мГн.

5.27. Шарик, висящий на длинной нити, отклонили на некоторый угол и отпустили. При каком минимальном значении фазы смещение шарика от положения равновесия будет равно половине амплитуды? Начальная фаза колебаний равна нулю. Ответ дать в градусах.

5.28. Определить в мГн индуктивность колебательного контура, если период его колебаний 3,14 мкс, а электроёмкость 250 пФ.

5.29. За одно и то же время один математический маятник совершил 60 колебаний, а второй – 30 колебаний. Во сколько раз длина второго маятника больше длины первого?

5.30. При настройке колебательного контура электроёмкость его изменили с 400 пФ до 100 пФ. Во сколько раз изменилась частота электромагнитных колебаний в этом контуре?

5.31. Материальная точка совершает гармонические колебания по синусоидальному закону с амплитудой 1,6 м и круговой частотой 3,14 рад/с. Начальная фаза колебаний равна 30° . Определить в СИ ускорение точки через 1 с после начала колебаний.

5.32. Чему равна фаза колебаний материальной точки через 0,5 с после начала колебаний, если частота колебаний 0,25 Гц, а начальная фаза 45° ? Ответ дать в градусах.

5.33. Частота гармонических колебаний маятника равна 5 Гц. Чему равна разность фаз между двумя положениями маятника, отстоящими во времени друг от друга на 0,1 с? Ответ дать в градусах.

5.34. Шарик массой 10 г, прикрепленный к одному из концов пружинки, совершает горизонтальные гармонические колебания с амплитудой $A = 0,2$ м и периодом 4 с. Вторым концом пружинки соединён с неподвижной опорой. Смещение шарика от положения равновесия x в начальный момент времени равно $x(t=0) = A$. Определить в СИ потенциальную энергию шарика в момент времени $t = 1$ с.

5.35. Найти в СИ массу груза, который на пружине с жёсткостью 250 Н/м совершает 5 колебаний за 3,14 секунды.

5.36. Сколько колебаний происходит в электромагнитной волне с длиной волны 30 м за время, равное периоду звуковых колебаний с частотой 200 Гц?

5.37. Сила тяжести на Луне в 6,125 раза меньше, чем на Земле. Чему должна быть равна длина маятника на Луне, чтобы период его колебаний был равен 1 с? Ответ дать в см.

5.38. Индуктивность катушки в колебательном контуре радиоприёмника 5 мкГн. Найти в пФ ёмкость колебательного контура, если он настроен на длину волны 300 м.

5.39. Колебательный контур приёмника с конденсатором ёмкостью 250 пФ настроен на длину волны 30 м. Определить в мкГн индуктивность катушки контура.

5.40. К пружине подвешен груз массой 9,8 кг. Зная, что пружина под влиянием массы 4 кг растягивается на 1 см, определить в СИ период вертикальных колебаний груза.

Задачи 6 класса трудности

6.0. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Во сколько раз увеличится частота свободных электрических колебаний в контуре, если эти конденсаторы включить последовательно?

6.1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Во сколько раз увеличится частота свободных электрических колебаний в контуре, если эти конденсаторы включить последовательно?

6.2. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки 2 см, а полная энергия колебаний 3 мкДж. При каком смещении от положения равновесия на колеблющуюся точку действует сила 30 мкН? Ответ дать в мм.

6.3. Шарик массой 100 г, закреплённый на невесомой пружине с жёсткостью 10 Н/м, совершает гармонические колебания с амплитудой 4 см и периодом T . В момент начала колебаний он находится в положении равновесия. Определить в СИ скорость шарика через время, равное $T/6$, после начала колебаний.

6.4. Груз массой 0,81 кг, висящий на пружине, оттянули вниз и отпустили. Через 0,314 с его смещение от положения равновесия впервые стало равным половине максимального. Найти в СИ жёсткость пружины.

6.5. Воздушная линия электропередачи переменного тока частотой 50 Гц имеет длину 600 км. Определить в СИ сдвиг по фазе (то есть *разность фаз колебаний*) в начале и в конце этой линии. Скорость распространения сигналов по проводам равна скорости света в вакууме.

6.6. В колебательном контуре ёмкость конденсатора 100 пФ, индуктивность катушки 1 Гн. В процессе колебаний максимальное напряжение на обкладках конденсатора равно 100 В. Определить в мкДж полную энергию свободных электромагнитных колебаний в этом контуре.

6.7. Шарик массой 5 г прикреплен к упругой пружинке, под действием которой он совершает гармонические колебания с периодом 2 с и амплитудой 3 см. Определить в мН максимальную силу упругости, действующую на шарик в процессе его колебаний.

6.8. Во сколько раз увеличится период колебаний математического маятника при переносе его с Земли на Луну? Принять, что масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а радиус Земли в 4 раза больше радиуса Луны.

6.9. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки 2 см, а полная энергия колебаний $3 \cdot 10^{-7}$ Дж. Определить в см абсолютную величину смещения точки от положения равновесия, при котором на неё действует сила $2,25 \cdot 10^{-5}$ Н.

6.10. Материальная точка массой 10 г совершает гармонические колебания с периодом 0,628 с. Полная энергия колеблющейся точки равна 0,2 мДж. Определить в см амплитуду колебаний.

6.11. Шарик, подвешенный на пружине, сместился за $1/6$ периода от крайнего положения на 15 см. Определить в СИ амплитуду колебаний шарика.

6.12. В процессе гармонических колебаний материальная точка за 240 секунд совершает 10 полных колебаний. Определить в СИ наименьший промежуток времени, за который точка смещается от положения на половину амплитуды.

6.13. Груз свободно колеблется на пружине вдоль её оси. В некоторый момент времени t_0 груз, удаляясь от положения равновесия, находится на расстоянии 0,5 см от него. Через 0,01 с после этого груз достигает максимального отклонения от положения равновесия, равного 1 см. Определить в СИ период колебаний.

6.14. Материальная точка массой 20 г совершает гармонические колебания с периодом 0,628 с и амплитудой 10 см. Найти в СИ полную энергию колеблющейся точки.

6.15. Два шара одинаковой массы подвешены на пружинах и совершают гармонические колебания. За некоторый промежуток времени первый шар совершил 10 колебаний, а второй - 5 колебаний. Во сколько раз коэффициент жёсткости пружины первого шара больше коэффициента жёсткости пружины второго шара?

6.16. Шарик массой 10 г скреплён с пружинкой жёсткостью 400 Н/м. Под действием удара шарик в положении равновесия приобрёл скорость 10 м/с, направленную вдоль оси пружины. Найти в СИ амплитуду возникших при этом колебаний шарика.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Приём радиоволн в диапазоне от 25 м до 100 м производится изменением расстояния между пластинами плоского конденсатора в колебательном контуре приёмника. Во сколько раз нужно уменьшить расстояние между пластинами при переходе от приёма самых коротких волн диапазона до приёма самых длинных?

7.2. Шарик массой 50 г подвешен на пружине с коэффициентом жёсткости 49 Н/м. Шарик поднимают до такого положения, при котором пружина не напряжена, и отпускают без толчка. Пренебрегая трением и массой пружины, найти в см амплитуду возникших колебаний.

7.3. Шарик массой 20 г совершает гармонические колебания с периодом 0,5 с и амплитудой 5 см. Найти в мДж максимальное значение кинетической энергии шарика в процессе колебаний.

7.4. Груз массой 0,1 кг, подвешенный на пружине жёсткостью 40 Н/м, совершает колебания с амплитудой 10 см. Определить в СИ максимальное значение импульса груза в процессе колебаний.

7.5. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой 50 мм и периодом 0,2 с. Определить в СИ абсолютное значение скорости точки в момент времени, когда её смещение от положения равновесия равно 40 мм.

7.6. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью 5 мкФ и катушки индуктивностью 0,2 Гн. Определить в СИ максимальную силу тока в контуре в процессе колебаний, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 90 В. Сопротивлением контура пренебречь.

7.7. Под действием периодической силы F материальная точка массой 10 г совершает гармонические колебания с периодом 0,2 с и амплитудой 4 см. Найти в СИ наибольшее значение силы F в процессе колебаний.

7.8. Морская волна движется со скоростью 10 км/час и набегаёт на берег с частотой 0,5 Гц. Волновой фронт параллелен береговой линии. Определить в СИ частоту ударов волны в борт катера, который уплывает в море со скоростью 20 км/час. Скорость катера направлена под углом 30° к береговой линии.

7.9. Один конец горизонтальной невесомой пружины, жёсткость которой равна 100 Н/м, прикреплен к столу, а другой (свободный) соединён с бруском массой 350 г. Брусок может без трения скользить по столу. Пластилинный шарик массой 10 г, летящий со скоростью 9 м/с вдоль оси пружины, ударяется в брусок и прилипает к нему. В результате брусок начинает колебаться. Определить в СИ амплитуду этих колебаний.



7.10. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой 4 см. В некоторый момент времени точка, приближаясь к положению равновесия, находится на расстоянии 2,82 см от него. Положение равновесия точка достигнет через 0,1 с. Определить в СИ период колебаний.

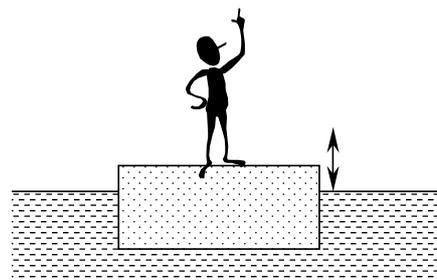
7.11. Колебательный контур радиоприёмника настроили на приём длины волны λ . Затем конденсатор контура зарядили, в результате чего в контуре начались свободные колебания. В процессе этих колебаний напряжение (разность потенциалов) U между обкладками конденсатора меняется с течением времени t по закону $U(t) = 10 \cdot \cos(3,14 \cdot 10^6 t)$. В этой формуле t измеряется в секундах, фаза колебаний получается в радианах, а напряжение получается в вольтах. Определить в СИ величину λ .

7.12. Груз массой 5 кг лежит на горизонтальной доске. Доска совершает вертикальные гармонические колебания с периодом 2 с и с амплитудой 2,82 см. Определить в СИ вес груза в момент времени, равный $1/8$ периода колебаний. Время отсчитывается от момента, когда доска, поднимаясь, проходит положение равновесия.



Задачи 8 класса трудности

8.1. Человек массой 80 кг наступил на плоскую льдину, плавающую в воде, и льдина вместе с человеком начала колебаться с периодом 2 с. Определить в СИ толщину льдины, если площадь её верхней поверхности равна 1 м^2 , а плотность льда 900 кг/м^3 .



ТЕМА 10. ОПТИКА

10.1. ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО

Световой луч – это линия, совпадающая с направлением распространения света. **Закон прямолинейного распространения света** утверждает, что в однородной оптической среде световые лучи прямолинейны.

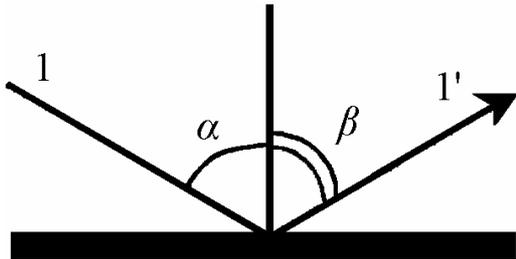


Рисунок 10.1 – Отражение луча

Закон отражения света: при падении луча света 1 на поверхность раздела двух сред возникает отраженный луч 1', лежащий в плоскости падения, образуемой падающим лучом и перпендикуляром к поверхности, причем угол отражения β равен углу падения α (рис. 10.1). Углы падения и отражения (в дальнейшем и преломления) отсчитываются от перпендикуляра (нормали) к границе раздела двух сред.

Плоское зеркало – это гладкая поверхность, при отражении от которой параллельный пучок света остается параллельным. При отражении в плоском зеркале лучей, идущих от точечного источника S (рис. 10.2), наблюдателю кажется, что отраженные лучи выходят из точки S' , расположенной за зеркалом симметрично точке S .

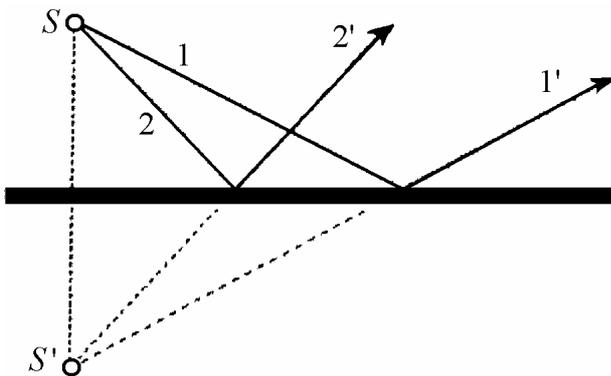


Рисунок 10.2 – Изображение источника в зеркале

Создаваемое плоским зеркалом изображение S' точечного источника S называется **мнимым**, так как в точке S' пересекаются не сами отраженные лучи, а их продолжения назад. Таким образом, *изображение протяженного предмета в плоском зеркале всегда будет мнимым, равным по размерам самому предмету и расположено симметрично относительно плоскости зеркала.*

10.2. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

Скорость света в вакууме c является максимально возможной скоростью распространения света. Она связана с длиной волны λ_0 света в вакууме и с его частотой ν соотношением

$$c = \lambda_0 \nu. \quad (10.1)$$

Скорость света в оптической среде v всегда меньше скорости света в вакууме: $v < c$. Она определяется выражением

$$v = \lambda \nu, \quad (10.2)$$

где λ – длина света в данной оптической среде (при той же частоте ν).

Абсолютный показатель преломления среды n – это оптическая характеристика среды, равная отношению скорости света в вакууме к скорости света в этой среде:

$$n = c/v; \quad n > 1. \quad (10.3)$$

Так как скорости света в вакууме и в воздухе различаются всего лишь на 0,03%, абсолютный показатель преломления воздуха принимается равным единице: $n = 1$. Если абсолютные показатели преломления двух сред удовлетворяют неравенству $n_1 > n_2$, то первую среду называют **оптически более плотной**, а вторую – **оптически менее плотной**.

Относительный показатель преломления – это отношение абсолютных показателей преломления двух оптических сред. Например, показатель преломления среды 2 относительно среды 1

$$n_{21} = n_2/n_1 = v_1/v_2. \quad (10.4)$$

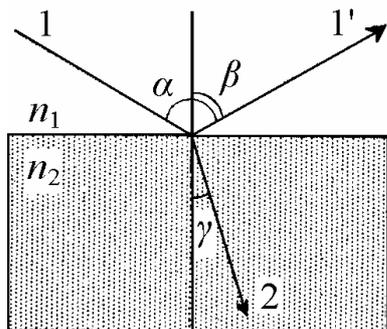


Рисунок 10.3 – Преломление света ($n_1 < n_2$)

При падении луча света 1 на границу раздела двух сред, кроме отраженного луча 1' возникает **преломленный луч 2**, распространяющийся во второй среде под **углом преломления γ** и лежащий в плоскости падения (рис. 10.3). Согласно **закону преломления света**: отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для луча, идущего из среды 1 в среду 2, есть величина постоянная для двух сред и равна их относительному показателю преломления:

$$\sin \alpha / \sin \gamma = v_1/v_2 = n_2/n_1 = n_{21}. \quad (10.5)$$

При переходе света в оптически более плотную среду ($n_1 < n_2$) угол преломления меньше угла падения, и преломленный луч приближается к нормали к границе раздела. При переходе света в оптически менее плотную среду ($n_1 > n_2$) угол преломления больше угла падения, и преломленный луч отклоняется от нормали к поверхности.

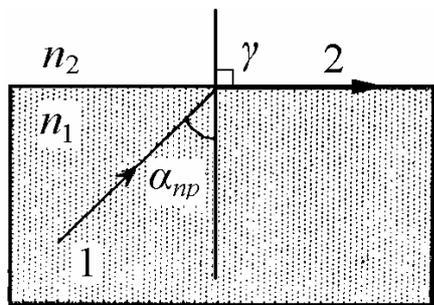


Рисунок 10.4 – Внутреннее отражение ($n_1 > n_2$)

При этом угол падения не может превышать некоторого предельного значения α_{np} , так как угол преломления γ не может превышать значения $\pi/2$.

Предельный угол падения α_{np} – это угол, при котором преломленный луч скользит вдоль поверхности раздела двух сред (рис. 10.4), при этом $\gamma = \pi/2$. Предельный угол падения находится из соотношения

$$\sin \alpha_{np} = n_2/n_1 = n_{21}; \quad (n_1 > n_2). \quad (10.6)$$

Если угол падения $\alpha > \alpha_{np}$, то происходит явление **полного внутреннего отражения**, при котором преломленный луч отсутствует, а вся энергия падающего луча возвращается в первую, оптически более плотную среду.

10.3. ТОНКАЯ ЛИНЗА

Оптическая линза – это прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, преломляющими световые лучи, и способное формировать оптическое изображение предметов.

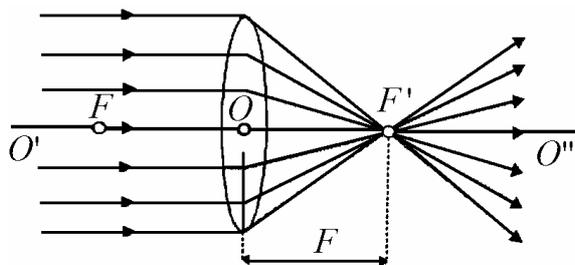


Рисунок 10.5 – Двояковыпуклая собирающая линза

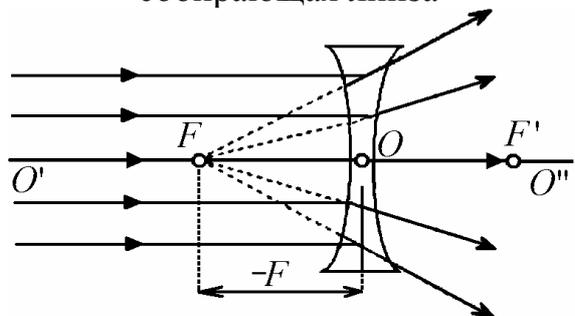


Рисунок 10.6 – Двояковогнутая рассеивающая линза

ческий центр линзы.

Главная оптическая ось линзы – прямая $O'O''$, проходящая через центры кривизны сферических поверхностей, ограничивающих линзу.

Фокус линзы – это точка на главной оптической оси, в которой пересекаются преломленные линзой лучи (или их продолжения), распространявшиеся перед падением на линзу параллельно ее главной оптической оси. Линза имеет два фокуса: передний F (со стороны падающих лучей) и задний F' (со стороны преломленных лучей).

Фокусное расстояние F – это расстояние между фокусом линзы и ее оптическим центром. Фокус собирающей линзы называется действительным, так как в нем пересекаются сами преломленные в линзе лучи. Фокус рассеивающей линзы называется мнимым, так как в нем пересекаются продолжения преломленных линзой лучей. Фокусное расстояние собирающей линзы – положительная величина ($F > 0$), у рассеивающей линзы – отрицательная ($F < 0$).

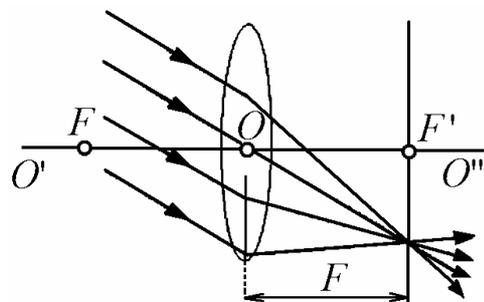


Рисунок 10.7 – Наклонное падение света

Тонкая линза – это сферическая линза, толщина которой мала по сравнению с радиусами кривизны ограничивающих ее поверхностей.

Собирающая линза – это оптическая линза, преобразующая параллельный пучок света в сходящийся пучок (рис. 10.5).

Рассеивающая линза – это оптическая линза, преобразующая параллельный пучок света в расходящийся пучок (рис. 10.6).

Оптический центр линзы – это точка O , через которую любой луч проходит, не изменяя своего направления. Все расстояния в теории тонкой линзы отсчитываются именно от оптического центра.

Оптическая ось линзы – это любая прямая линия, проходящая через опти-

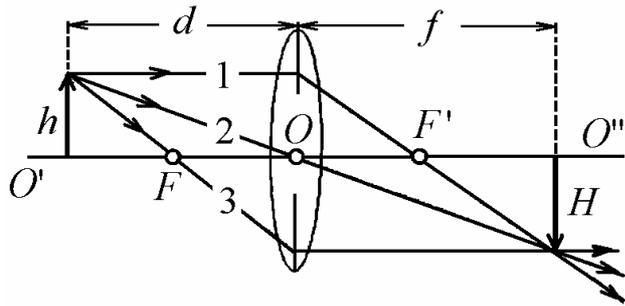
Фокальная плоскость линзы – это плоскость, проведенная через фокус линзы перпендикулярно ее главной оптической оси. Параллельный пучок света, падающий на линзу под углом к главной оптической оси, собирается в точке, лежащей в фокальной плоскости линзы (рис. 10.7).

Для построения изображения в собирающей линзе (рис. 10.8) нужно воспользоваться, по крайней мере, двумя лучами из следующих

трех:

– луч 1, параллельный оптической оси; после преломления в линзе он проходит через задний фокус;

– луч 2, проходящий через оптический центр линзы без преломления;



– луч 3, проходящий через передний фокус; после преломления в линзе он параллелен главной оптической оси.

Рисунок 10.8 – Действительное изображение в собирающей линзе

Действительное изображение – это изображение, полученное пересечением лучей, идущих от объекта. Таким образом, предмет и его действительное изображение находятся по разные стороны линзы (рис. 10.8).

Мнимое изображение – это изображение, полученное пересечением продолжений лучей, идущих от объекта, в сторону, противоположную направлению их распространения. Таким образом, предмет и его мнимое изображение расположены с одной стороны линзы. Примеры построения мнимого изображения приведены: для собирающей линзы – на рис. 10.9, а, и для рассеивающей линзы – на рис. 10.9, б.

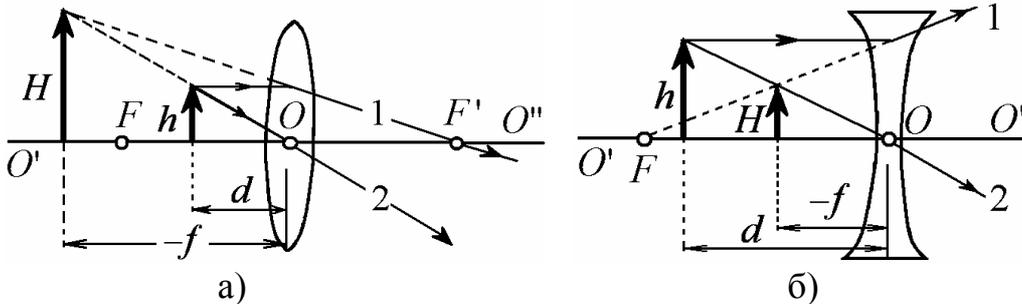


Рисунок 10.9 – Построение мнимого изображения: а) в собирающей линзе; б) в рассеивающей линзе

В теории тонкой линзы вводятся следующие обозначения:

d – расстояние от предмета до линзы;

f – расстояние от линзы до изображения ($f > 0$ для действительного изображения и $f < 0$ для мнимого изображения);

h – линейный размер предмета;

H – линейный размер изображения.

Величины d, f, F связаны между собой соотношением, которое называется **формулой тонкой линзы**:

$$1/F = 1/d + 1/f. \quad (10.7)$$

При подстановке в эту формулу значений f и F необходимо учитывать их знаки.

Оптическая сила линзы D – это величина, обратная фокусному расстоянию (с учетом знака):

$$D = 1/F. \quad (10.8)$$

Единица измерения оптической силы – диоптрия: $[D] = 1$ дптр.

Линейное увеличение линзы Γ – это отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета:

$$\Gamma = H/h = |f|/d. \quad (10.9)$$

Таблица 10.1 Виды изображения в оптических линзах

Изображение, образуемое собирающей линзой ($F > 0$)				
Расстояние до предмета, d	Расстояние до изображения, f	Размер изображения, H	Увеличение линзы, Γ	Вид изображения
$d > 2F$	$2F > f > F$	$H < h$	$\Gamma < 1$	Действительное, перевернутое
$d = 2F$	$f = 2F$	$H = h$	$\Gamma = 1$	
$2F > d > F$	$f > 2F$	$H > h$	$\Gamma > 1$	
$d = F$	$f = \infty$	$H = \infty$	$\Gamma = \infty$	
$d < F$	$f < 0$	$H > h$	$\Gamma > 1$	Мнимое, прямое
Изображение, образуемое рассеивающей линзой ($F < 0$)				
d – любое	$f < 0$	$H < h$	$\Gamma < 1$	Мнимое, прямое

10.4. ЛУПА

Минимальное расстояние, на которое глаз человека может аккомодироваться (настраиваться на резкость путем изменения фокусного расстояния хрусталика) без утомления, называется *расстоянием наилучшего зрения* s . Для нормального глаза $s = 25$ см.

Луна представляет собой собирающую линзу, которая создаст мнимое, прямое и увеличенное изображение. Для этого предмет располагается перед лупой на расстоянии, меньшем фокусного расстояния, при этом его изображение находится перед лупой, т.е. со стороны предмета. Формула для *нормального увеличения лупы* Γ (при рассматривании изображения неаккомодированным глазом) имеет вид:

$$\Gamma = s/F, \quad (10.10)$$

где s – расстояние наилучшего зрения, F – фокусное расстояние лупы.

10.5. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Дифракция света – это явление отклонения светового луча от геометрических законов распространения и попадание, вследствие этого, в область геометрической тени при прохождении мимо края непрозрачного препятствия.

Дифракционная решетка – это оптический прибор для получения дифракционных спектров, представляющий собой систему параллельных щелей (рис. 10.10).

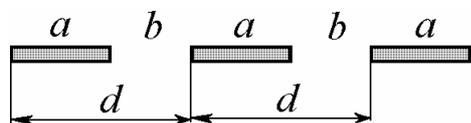


Рисунок 10.10 – Дифракционная решётка

Период (постоянная) дифракционной решетки d – это сумма ширины щели b и ширины a непрозрачного промежутка между щелями: $d = a + b$.

При падении параллельного пучка света на дифракционную решетку на экране наблюдается *дифракционная картина*, представляющая собой совокупность резких максимумов освещённости, чередующихся с тёмными областями (рис. 10.11).

Условие дифракционных максимумов имеет следующий вид:

$$d \cdot \sin \varphi_k = k\lambda; \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (10.11)$$

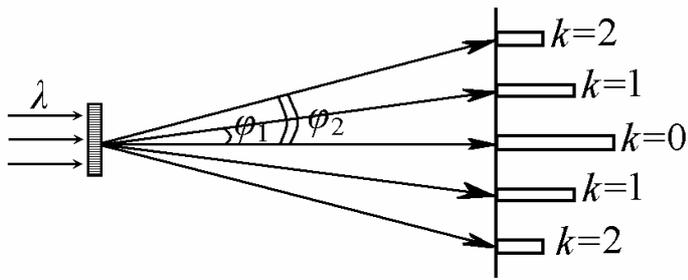


Рисунок 10.11 – Дифракция света на решётке

где d – период решетки; λ – длина волны света в среде, окружающей решетку; k – номер максимума (порядок дифракции); φ_k – угол дифракции, определяющий направление на максимум с номером k . Дифракционный максимум нулевого порядка ($k = 0$) носит название главного (центрального) максимума.

10.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Плоское зеркало подвешено на вертикальной стене. Человек ростом 170 см стоит перед зеркалом. Какой минимальной высоты в сантиметрах должно быть зеркало, чтобы человек видел свое изображение во весь рост?

Решение:

Дано:
 $h = 1,7$ м
Найти:
 $l = ?$ (см)

Условию задачи удовлетворяет построение хода лучей, приведенное на рис. 10.12. Человек видит себя в зеркале полностью только тогда, когда в его глаз (точка A) приходят, испытав отражение, лучи, исходящие как от самой нижней точки человека (точка B), так и от самой верхней (точка A). Из рисунка видно, что это возможно при высоте зеркала l , не меньшей, чем половина высоты человека h , причем удаленность человека от зеркала не играет роли. Итак, $l = h/2 = 1,7/2 = 0,85$ м = 85 см.

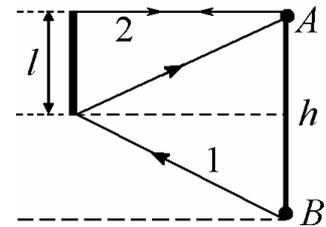


Рисунок 10.12 – Человек перед зеркалом

$l = 85$ см.

2. Частота световой волны равна 500 ТГц. Определить на сколько длина этой волны в вакууме больше чем в среде с показателем преломления равным 1,2. Ответ дать в нанометрах.

Решение:

Дано:
 $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц
 $n = 1,2$
Найти:
 $\Delta\lambda = ?$ (нм)

Скорость света в вакууме $c = \lambda_0\nu$, где λ_0 – длина волны в вакууме. Отсюда имеем: $\lambda_0 = c/\nu$. Скорость света той же частоты ν в некоторой среде $v = \lambda\nu$, где λ – длина световой волны в этой оптической среде. Абсолютный показатель преломления среды определяется соотношением $n = c/v = c/\lambda\nu$, откуда находим $\lambda = c/n\nu$. Записываем выражение для изменения длины волны:

$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda = c(n - 1)/n\nu$. Проведём расчёты и получим:

$$\Delta\lambda = 3 \cdot 10^8 \cdot (1,2 - 1) / (1,2 \cdot 5 \cdot 10^{14}) = 6 \cdot 10^7 / 6 \cdot 10^{14} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 100 \text{ нм.}$$

$\Delta\lambda = 100$ нм.

3. Распространяющийся в жидкости луч света падает на плоскую поверхность стекла. Синус угла падения равен 0,8. Угол между отражённым от стекла и преломлённым в стекле лучами прямой. Определить абсолютный показатель преломления стекла, если абсолютный показатель преломления жидкости равен 1,2.

Решение:

Дано:
 $\sin\alpha = 0,8$
 $n_{\text{ж}} = 1,2$
Найти:
 $n_{\text{с}} = ?$

Ход лучей изображен на рис. 10.3. Запишем закон преломления света при падении его на границу раздела жидкость-стекло: $\sin\alpha/\sin\gamma = n_{\text{с}}/n_{\text{ж}}$. Отсюда найдем показатель преломления стекла: $n_{\text{с}} = n_{\text{ж}} \cdot \sin\alpha/\sin\gamma$. Так как угол между лучами 1' и 2 – прямой, находим связь между углом падения α и углом преломления γ : $\gamma = 90^\circ - \alpha$. Тогда $\sin\gamma = \sin(90^\circ - \alpha) = \cos\alpha = (1 - \sin^2\alpha)^{1/2}$. В окончательном виде результат имеет вид: $n_{\text{с}} = n_{\text{ж}} \cdot \sin\alpha / (1 - \sin^2\alpha)^{1/2}$. Подставляя численные значения, будем иметь: $n_{\text{с}} = 1,2 \cdot 0,8 / (1 - 0,64)^{1/2} = 1,6$. $n_{\text{с}} = 1,6$

4. Пучок параллельных лучей света падает на плоскую поверхность жидкости. Угол падения равен 60° , косинус угла преломления равен 0,7. Ширина пучка в воздухе равна 5 мм. Найти ширину пучка в жидкости. Ответ дать в миллиметрах.

Решение:

Дано:
 $\alpha = 60^\circ$
 $\cos\gamma = 0,7$
 $h_{\text{в}} = 5 \cdot 10^{-3}$ м
Найти:
 $h_{\text{ж}} = ?$ (мм)

На рис. 10.13. показан ход двух лучей, которые ограничивают поперечное сечение пучка. Из геометрических соображений следует, что $\angle BAC = \alpha$, $\angle ACD = \gamma$. Рассматривая прямоугольные треугольники ABC и ADC , замечаем,

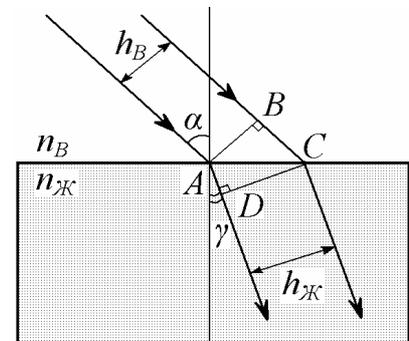


Рисунок 10.13 – Преломление пучка света

что косинусы углов падения и преломления можно выразить через ширину пучка в соответствующей среде: $\cos\alpha = AB/AC = h_{\text{в}}/AC$, $\cos\gamma = CD/AC = h_{\text{ж}}/AC$. Поделив эти два выражения друг на друга, приходим к соотношению $\cos\alpha/\cos\gamma = h_{\text{в}}/h_{\text{ж}}$. Откуда получаем для ширины пучка света в жидкости: $h_{\text{ж}} = h_{\text{в}} \cdot \cos\gamma/\cos\alpha$. После расчётов, получим $h_{\text{ж}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7/0,5 = 7 \cdot 10^{-3}$ м = 7 мм.

$$h_{\text{ж}} = 7 \text{ мм.}$$

5. Предельный угол полного отражения для стекла, помещенного в жидкость с показателем преломления 1,25, равен 30° . Определить скорость света в этом стекле. Ответ дать в километрах в секунду.

Решение:

Дано:
 $\alpha_{\text{пр}} = 30^\circ$
 $n_{\text{ж}} = 1,25$
Найти:
 $v_{\text{с}} = ?$ (км/с)

Ход лучей при падении света на границу раздела двух оптических сред под предельным углом внутреннего отражения $\alpha_{\text{пр}}$ изображен на рис. 10.4. Скорость света в стекле $v_{\text{с}}$ входит в определение абсолютного показателя преломления стекла: $n_{\text{с}} = c/v_{\text{с}}$, откуда $v_{\text{с}} = c/n_{\text{с}}$. Чтобы найти показатель преломления стекла, запишем условие полного внутреннего отражения:

$\sin\alpha_{\text{пр}} = n_{\text{ж}}/n_{\text{с}}$, откуда $n_{\text{с}} = n_{\text{ж}}/\sin\alpha_{\text{пр}}$. Сделав подстановку и вычислив, имеем: $v_{\text{с}} = c \cdot \sin\alpha_{\text{пр}}/n_{\text{ж}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,5/1,25 = 1,2 \cdot 10^8$ м/с = $1,2 \cdot 10^5$ км/с. $v_{\text{с}} = 1,2 \cdot 10^5$ км/с.

6. С помощью линзы, оптическая сила которой 4 диоптрии, наблюдают увеличенное в 5 раз мнимое изображение предмета. На каком расстоянии перед линзой поместили этот предмет? Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $D = 4$ дптр
 $\Gamma = 5$
Найти:
 $d = ?$

Увеличенное мнимое изображение может быть получено только при помощи собирающей линзы (рис. 10.9, а). Запишем формулу тонкой линзы: $1/F = 1/d + 1/f$. Поскольку изображение находится с той же стороны, что и предмет, расстояние $f < 0$. Введем в рассмотрение также оптическую силу линзы $D = 1/F$. С учетом этого формула линзы переписывается: $D = 1/d - 1/f$. По определению увеличение линзы $\Gamma = |f|/d$, откуда $|f| = \Gamma d$. Подставляем модуль расстояния $|f|$ в формулу тонкой линзы и находим расстояние $d = (\Gamma - 1)/D\Gamma$.

Вычисляя, получим: $d = (5 - 1)/4 \cdot 5 = 1/5 = 0,2$.

$d = 0,2$ м.

7. Фокусное расстояние собирающей линзы 10 см, расстояние от предмета до ее переднего фокуса 5 см. Найти высоту предмета, если высота его изображения 4 см. Ответ дать в сантиметрах.

Решение:

Дано:
 $F = 0,1$ м
 $l = 0,05$ м
 $H = 0,04$ м
Найти:
 $h = ?$ (см)

При указанном положении предмета создаваемое линзой изображение – действительное (рис. 10.8.). Из подобия треугольников на этом рисунке для увеличения линзы $\Gamma = H/h$ получаем еще одно полезное выражение $\Gamma = f/d$ (здесь $f > 0$). Таким образом, имеем: $h = H \cdot (d/f)$. Чтобы найти отношение расстояний d/f , запишем формулу тонкой линзы $1/F = 1/d + 1/f$. Умножив это уравнение на величину d , найдем: $d/f = d/F - 1$. Теперь учтем, что расстояние от предмета до линзы $d = l + F$. Итак, $d/f = l/F$. Окончательно для высоты предмета получаем: $h = H \cdot (l/F) = 0,04 \cdot (0,05/0,1) = 0,02$ м = 2 см.

$h = 2$ см.

8. Сходящийся пучок лучей падает на рассеивающую линзу таким образом, что продолжения падающих лучей пересекаются в точке, лежащей на оптической оси линзы на расстоянии 15 см от нее. Найти фокусное расстояние линзы, если после преломления в линзе лучи собираются в точке, находящейся на расстоянии 60 см от линзы. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

Дано:
 $OC = 0,15$ м
 $OD = 0,6$ м
Найти:
 $f = ?$

Геометрия задачи изображена на рис. 10.14. Идея решения заключается в том, чтобы развернуть ход лучей в обратном направлении (показано большими стрелками).

При этом развернутые лучи пойдут по тому же самому пути. А это равносильно тому, что в точку D мы поместили точечный источник света. Следовательно, в точке C находится его мнимое изображение. Итак, теперь OD – расстояние от

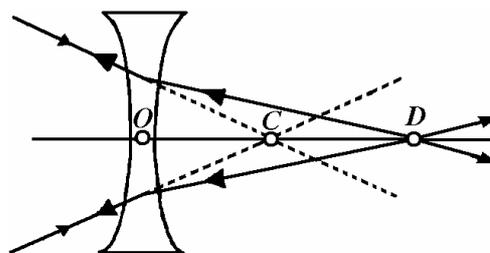


Рисунок 10.14 – Фокусировка рассеивающей линзой

источника до линзы ($OD - d$), а OC – расстояние от линзы до его изображения ($OC - |f|$). Запишем формулу рассеивающей линзы: $1/F = 1/d - 1/|f|$. Отсюда легко находим фокусное расстояние линзы: $F = |f|d/(|f| - d) = 0,15 \cdot 0,6 / (0,15 - 0,6) = 0,09 / (-0,45) = -0,2$ м. $F = 0,2$ м.

9. На дифракционную решётку, имеющую одинаковую ширину непрозрачных промежутков и прозрачных щелей, равную 1200 нм, нормально падает свет с длиной волны 500 нм. Определить наибольший порядок максимума, который наблюдается для данной длины волны.

Решение:

Дано:

$$a = b$$

$$a = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Найти:

$$k_{max} = ?$$

Запишем условие максимумов для дифракции света на решётке: $d \cdot \sin \varphi_k = k\lambda$. Величина левой части ограничена, так как максимальное значение функции $\sin \varphi_k = 1$. Следовательно, ограничена по величине и правая часть этого равенства: $d \cdot 1 = k_{max} \cdot \lambda$, откуда $k_{max} = d/\lambda$. Учитывая, что период дифракционной решётки $d = a + b = 2a$, в итоге получаем: $k_{max} = 2a/\lambda = 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} / 5 \cdot 10^{-7} = 4,8$. Порядок максимума должен быть целым числом. Однако полученное численное значение k_{max} нельзя округлять в большую сторону, чтобы исходное равенство не нарушалось. Отбрасывая дробную часть, получаем окончательный ответ $k_{max} = 4$. $k_{max} = 4$.

10. На дифракционную решетку падает нормально поток белого света. В направлении, определяемом углом 30° , для длины волны 450 нм наблюдается максимум пятого порядка. Определить синус угла, в направлении которого для длины волны 600 нм наблюдается максимум третьего порядка.

Решение:

Дано:

$$\varphi_1 = 30^\circ$$

$$\lambda_1 = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$k_1 = 5$$

$$\lambda_2 = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$k_2 = 3$$

Найти:

$$\sin \varphi_{k_2} = ?$$

Запишем условие максимумов для дифракции на решётке двух световых волн с длинами λ_1 и λ_2 : $d \cdot \sin \varphi_{k_1} = k_1 \lambda_1$ и $d \cdot \sin \varphi_{k_2} = k_2 \lambda_2$. Поделив почленно одно уравнение на другое, получаем отношение: $\sin \varphi_{k_1} / \sin \varphi_{k_2} = k_1 \lambda_1 / k_2 \lambda_2$. Отсюда следует выражение для синуса угла, под которым наблюдается максимум с $k_2 = 3$: $\sin \varphi_{k_2} = \sin \varphi_{k_1} \cdot (k_2 \lambda_2 / k_1 \lambda_1)$. Численный расчет даёт следующий результат: $\sin \varphi_{k_2} = 0,5 \cdot (3 \cdot 6 \cdot 10^{-7} / 5 \cdot 4,5 \cdot 10^{-7}) = 0,4$. $\sin \varphi_{k_2} = 0,4$.

10.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи 3 класса трудности

3.1. На дифракционную решётку, период которой равен 2000 нм, нормально падает свет с длиной волны 500 нм. Определить, под каким углом наблюдается второй максимум интенсивности света ($k = 2$). Ответ дать в градусах.

3.2. Луч света падает на плоскую поверхность озера. После преломления в воде направление луча изменилось на 8° . Определить в градусах угол преломления, если угол падения равен 30° .

3.3. Луч света падает на плоское зеркало перпендикулярно его плоскости. Зеркало повернули на 30° . Найти в градусах угол между падающим и отражённым лучами после поворота зеркала.

3.4. Свет, распространяющийся в воде падает на плоскую поверхность стекла. Угол падения равен 30° , синус угла преломления равен 0,4. Определить относительный показатель преломления стекла.

3.5. Угол падения света на плоскую поверхность стекла равен 40° , угол преломления 30° . Определить в градусах наименьший угол между отражённым и преломлённым лучами.

3.6. На дифракционную решётку нормально падает свет с длиной волны 520 нм. Третий максимум интенсивности света наблюдается под углом, синус которого равен 0,4. Найти в нм постоянную дифракционной решётки.

3.7. Луч света распространяется из стекла с показателем преломления 1,5 в воду с показателем преломления 1,35. Найти синус предельного угла полного отражения света.

3.8. Предмет находится на расстоянии 0,4 м от собирающей линзы. Действительное изображение предмета получается на экране, удалённом от линзы на расстояние 0,5 м. Найти в СИ оптическую силу линзы.

3.9. Луч света падает на пластинку под углом 18° . Найти в градусах наименьший угол между продолжением падающего луча и отражённым лучом.

3.10. Луч света падает из стекла с абсолютным показателем преломления 1,5 в стекло с абсолютным показателем преломления 1,8. При этом угол преломления равен 30° . Определить синус угла падения.

3.11. На дифракционную решётку, период которой равен 5000 нм, нормально падает свет с длиной волны 500 нм. Определить номер максимума интенсивности света, который наблюдается под углом 30° . Номер центрального максимума считается равным $k = 0$.

3.12. В сосуд из стекла с абсолютным показателем преломления 1,5 налита жидкость. В жидкости распространяется свет, угол падения которого на дно сосуда равен 30° , а синус угла преломления в стекле 0,4. Определить абсолютный показатель преломления жидкости.

3.13. Определить в градусах предельный угол полного отражения для стекла с показателем преломления 2.

3.14. Свет с длиной волны 550 нм падает нормально на плоскую дифракционную решётку, период которой равен 2000 нм. Определить синус угла, под которым наблюдается второй дифракционный максимум ($k = 2$).

3.15. Свет с длиной волны 500 нм нормально падает на плоскую дифракционную решетку. Под углом 30° наблюдается третий дифракционный максимум ($k = 3$). Найти в нем период дифракционной решетки.

3.16. Световые лучи падают нормально на плоскую дифракционную решетку, период которой равен 2500 нм. Синус угла, под которым наблюдается третий дифракционный максимум ($k = 3$), равен 0,6. Найти в нем длину волны световых лучей.

3.17. Свет, распространяющийся в вакууме, падает на плоскую поверхность стекла под углом 30° . Определить абсолютный показатель преломления стекла, если синус угла преломления светового луча равен 0,25.

3.18. Луч света падает на поверхность стеклянной пластины так, что угол между падающим и преломленным лучами равен 150° . Угол падения равен 62° . Определить в градусах угол преломления.

3.19. На поверхность прозрачной жидкости падает тонкий луч света, при этом угол между падающим и преломленным лучами равен 153° . Определить в градусах угол падения, если известно, что угол преломления равен 32° .

3.20. Луч света падает из стекла с абсолютным показателем преломления 1,8 в жидкость с абсолютным показателем преломления 1,5. При этом угол падения равен 30° . Определить синус угла преломления.

3.21. Тонкий луч света падает на плоскую поверхность стеклянной пластины под некоторым углом. Определить показатель преломления стекла, если синус угла падения равен 0,75, а синус угла преломления равен 0,5.

3.22. Лунный луч падает на поверхность озера под углом 50° к горизонту. Определить в градусах угол между падающим и отраженным лучами.

3.23. Свет с длиной волны 600 нм падает нормально на дифракционную решетку, период которой равен 18000 нм. Определить синус угла, под которым будет наблюдаться третий дифракционный максимум ($k = 3$).

3.24. Луч света падает на поверхность прозрачной жидкости. При этом угол между падающим и преломленным лучами равен 160° , угол падения равен 60° . Определить в градусах угол преломления.

3.25. Фотограф снимает автомобиль в тот момент, когда тот проезжает мимо него на малой скорости. При длине автомобиля 4 м его изображение на пленке равно 0,032 м. Найти в СИ расстояние от автомобиля до линзы объектива, если расстояние от линзы до фотопленки равно 0,06 м.

3.26. Определить в диоптриях оптическую силу собирающей линзы, если расстояние от предмета до линзы равно расстоянию от линзы до действительного изображения и составляет 0,4 м.

3.27. Свет, распространяясь в среде с показателем преломления равным 2, на границе с вакуумом испытывает полное внутреннее отражение. Найти минимальное значение синуса угла падения светового луча на указанную границу.

3.28. Найти показатель преломления материала иллюминатора самолета относительно воздуха, если световой луч падает на иллюминатор под углом 30° , а значение синуса угла преломления светового луча при этом равно 0,4.

3.29. Расстояние между предметом и его действительным изображением равно 1,2 м. Найти увеличение, даваемое линзой, если расстояние от предмета до линзы равно 0,4 м.

3.30. Расстояние между свечой и её мнимым изображением на экране равно 0,9 м. Найти увеличение, даваемое линзой, если расстояние от линзы до свечи равно 0,3 м.

3.31. На горизонтальном столе лежит шар. Под каким наименьшим углом к плоскости стола нужно установить зеркало, чтобы при движении шара к зеркалу по столу изображение шара двигалось по вертикали. Ответ дать в градусах.

3.32. Монохроматический плоскопараллельный пучок света нормально падает на дифракционную решётку с периодом 8 мкм. Первый дифракционный максимум наблюдается под углом, синус которого равен 0,05. Определить в мкм длину волны света.

3.33. Найти в нм период дифракционной решётки, если четвёртый максимум для длины волны 600 нм наблюдается под углом 30° ?

3.34. Какой по счёту максимум, не считая центральный, будет наблюдаться под углом 30° для длины волны света 0,6 мкм, падающего на дифракционную решётку с периодом 4,8 мкм?

3.35. Свет распространяется в среде с абсолютным показателем преломления, равным 1,5. Определить в км/с скорость света в данной среде.

3.36. Найти показатель преломления среды, скорость света в которой равна $1,5 \cdot 10^5$ км/с, относительно среды, скорость света в которой $2,7 \cdot 10^5$ км/с.

3.37. Плоское зеркало поворачивается на угол 30° . На какой угол повернется отражённый от зеркала луч? Ответ дать в градусах.

3.38. Предмет находится на расстоянии 10 м от рассеивающей линзы. Мнимое изображение наблюдается на расстоянии 2,5 м от линзы. Определить в СИ оптическую силу линзы.

3.39. Определить линейное увеличение, которое даёт лупа с оптической силой 20 диоптрий. Расстояние наилучшего зрения принять равным 25 см.

3.40. Угол падения светового луча на границу раздела двух сред равен 60° . Преломлённый луч составляет с нормалью угол 40° . Определить в градусах наименьший угол между отражённым и преломлённым лучом.

3.41. Угол падения луча света на поверхность стекла равен 56° . Определить в градусах угол преломления, если отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.

3.42. Фокусное расстояние рассеивающей линзы равно -0,5 м, мнимое изображение находится на расстоянии 0,3 м от линзы. Определить в СИ расстояние от линзы до предмета.

3.43. Скорость света в жидкости в 1,25 раза больше, чем в стекле. Определить абсолютный показатель преломления стекла, если абсолютный показатель преломления жидкости 1,4.

3.44. Абсолютный показатель преломления стекла 1,6. Абсолютный показатель преломления алмаза 2,4. Во сколько раз скорость света в стекле больше скорости света в алмазе?

3.45. Под каким углом падает луч на плоское зеркало, если отражённый луч перпендикулярен падающему? Ответ дать в градусах.

3.46. Действительное изображение свечи находится на расстоянии 3 м от собирающей линзы. Фокусное расстояние линзы 1,5 м. Определить в СИ расстояние между линзой и свечой.

3.47. Луч света проходит через границу раздела двух сред. Синус угла падения равен 0,6, а синус угла преломления 0,4. Абсолютный показатель преломления первой среды равен 1,2. Найти абсолютный показатель преломления второй среды.

3.48. Луч света проходит из одной среды в другую. Скорость света в первой среде $2,75 \cdot 10^5$ км/с, а во второй $2,5 \cdot 10^5$ км/с. Определить относительный показатель преломления этих сред.

3.49. Луч падает на зеркальную поверхность так, что угол между лучом и поверхностью равен 35° . Определить в градусах угол отражения этого луча.

3.50. Мнимое изображение свечи находится на расстоянии 3 м от собирающей линзы. Фокусное расстояние линзы 1,5 м. Определить в СИ расстояние между линзой и свечой.

3.51. Найти в СИ фокусное расстояние линзы, если расстояние от предмета до линзы равно 0,4 м, а расстояние от линзы до действительного изображения составляет 1,2 м.

3.52. Какое линейное увеличение дает лупа с оптической силой 20 диоптрий? Расстояние наилучшего зрения принять равным 0,25 м.

3.53. Свет с длиной волны 600 нм нормально падает на плоскую дифракционную решётку. Синус угла падения, под которым наблюдается пятый дифракционный максимум, равен 0,4. Найти в нм период дифракционной решётки.

3.54. Свет с длиной волны 625 нм нормально падает на плоскую дифракционную решётку, период которой равен 2500 нм. Найти синус угла, под которым наблюдается второй дифракционный максимум.

3.55. Луч света, распространяющийся в среде с показателем преломления 1,8, падает на границу раздела со средой, показатель преломления которой 1,2. Найти синус угла преломления, если синус угла падения равен 0,3.

3.56. Световой луч падает на границу раздела двух сред под углом 40° . Преломлённый луч отклоняется от направления падающего луча на 10° . Найти в градусах угол преломления, если среда, в которой распространяется преломлённый луч, оптически более плотная.

3.57. Оптическая сила лупы равна 10 дптр. Найти линейное увеличение, даваемое лупой, если расстояние наилучшего зрения равно 0,25 м.

3.58. Луч света падает на поверхность прозрачной жидкости. При этом угол между падающим и преломлённым лучами равен 160° , угол падения равен 60° . Определить в градусах угол преломления.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Призма с показателем преломления 1,6 и преломляющим углом 30° находится в вакууме. Найти синус угла падения луча из вакуума на первую

преломляющую грань призмы, если на вторую преломляющую грань луч падает внутри призмы перпендикулярно грани.

4.2. Длина волны света в вакууме $\lambda_1 = 600$ нм. Этот свет входит в некоторую среду, где его скорость уменьшается в 1,2 раза, а длина волны становится равной λ_2 . Определить в нм разницу ($\lambda_1 - \lambda_2$).

4.3. На дифракционную решётку нормально падает свет, длина волны которого 600 нм. Второй максимум интенсивности света ($k = 2$) наблюдается под углом 30° . Найти в мкм период дифракционной решётки.

4.4. В стеклянный сосуд с горизонтальным плоским дном налита жидкость, показатель преломления которой 1,5. На поверхность жидкости под некоторым углом α ($\sin\alpha = 0,75$) падает тонкий луч света. Найти в градусах наименьший угол между лучом света и дном сосуда в точке падения луча на дно.

4.5. Призма изготовлена из стекла с показателем преломления 1,4. Луч света падает на одну из преломляющих граней призмы перпендикулярно. Найти синус угла преломления при выходе луча света в вакуум через вторую преломляющую грань, если преломляющий угол призмы равен 30° .

4.6. Свет переходит из жидкости с показателем преломления 1,5 в стекло. При этом длина волны света уменьшилась в 1,2 раза. Определить абсолютный показатель преломления стекла.

4.7. Определить в нм длину волны света в жидкости с показателем преломления 1,4. Известно, что длина волны этого света в вакууме равна 602 нм.

4.8. Луч света, распространяющийся в жидкости, падает на стекло под некоторым углом α ($\sin\alpha = 0,8$). Угол преломления равен 30° . Определить во сколько раз скорость света в стекле меньше, чем в жидкости.

4.9. Точечный источник света и два его изображения, даваемые плоскими двумя зеркалами, лежат в вершинах равностороннего треугольника. Определить в градусах величину угла между зеркалами.

4.10. На дифракционную решётку с шириной непрозрачных промежутков 2000 нм и шириной прозрачных щелей 2500 нм нормально падает поток белого света. Найти в нм длину волны света, для которой под углом 30° наблюдается максимум третьего порядка.

4.11. Луч света, проходя через малое отверстие в тонкостенном шаре, испытывает двукратное отражение от его зеркальной внутренней поверхности и выходит через это же отверстие наружу. Найти в градусах угол между входящим в шар световым лучом и радиусом шара, проведённым в точку первого отражения луча.

4.12. Для света с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц абсолютный показатель преломления некоторой жидкости равен 1,25. Найти в мкм длину волны света в этой жидкости.

4.13. Определить в км/с скорость распространения света в кристалле, если известно, что при синусе угла падения светового луча на плоскость кристалла, равном 0,75, угол преломления равен 30° .

4.14. На полу стоит квадратный стол со стороной 0,7 м и высотой 0,6 м. Над центром стола на высоте 2 м от пола висит лампочка. Определить в СИ площадь тени стола на полу.

4.15. Найти в СИ расстояние от изображения до линзы, если фокусное расстояние линзы 0,6 м, а расстояние от предмета до линзы 0,9 м.

4.16. Угол падения луча света на плоское дно стеклянного сосуда с жидкостью равен 30° . Синус угла преломления светового луча в стекле равен 0,25. Определить, во сколько раз скорость света в жидкости больше, чем в стекле.

4.17. Расстояние от предмета до собирающей линзы 10 м, а от линзы до изображения 2,5 м. Определить в диоптриях оптическую силу линзы.

4.18. Чтобы измерить высоту столба, мальчик положил на землю плоское зеркальце так, чтобы видеть в нём изображение вершины столба, и сделал необходимые измерения. Расстояние от него до столба 4 м, до зеркальца 1 м, линия глаз мальчика находится на высоте 1,5 м над Землёй. Определить в СИ высоту столба.

4.19. Фокусное расстояние собирающей линзы равно 0,2 м. Расстояние от линзы до предмета 0,25 м. Найти в СИ расстояние от линзы до изображения.

4.20. На горизонтальном дне водоёма глубиной 1,5 м лежит плоское зеркало. На каком расстоянии от места вхождения луча в воду он снова выйдет из воды после отражения от зеркала, если угол преломления этого луча в воде 45° ? Ответ дать в СИ.

4.21. Предмет находится на расстоянии 3 см от собирающей линзы с оптической силой 25 дптр. Определить в см расстояние от изображения до линзы.

4.22. Собирающая линза даёт на экране чёткое изображение предмета, находящегося на расстоянии 20 см от линзы. Определить в СИ фокусное расстояние линзы, если расстояние между предметом и экраном равно 50 см.

4.23. Световая волна с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц распространяется в прозрачной среде. Длина волны 400 нм. Определить показатель преломления среды.

4.24. Предмет помещён перед передним фокусом линзы на расстоянии 25 см до него. Изображение получается за задним фокусом линзы на расстоянии 36 см от него. Определить в см фокусное расстояние линзы.

4.25. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет. На бесконечно большом экране, установленном за дифракционной решёткой параллельно ей, наблюдается 7 максимумов интенсивности света. Определить наибольший порядок дифракции k , наблюдаемый при данных условиях.

4.26. Лучи от удалённого источника света падают на рассеивающую линзу параллельно её главной оптической оси. Мнимое изображение источника света находится на расстоянии 0,2 м от линзы. Найти в СИ оптическую силу линзы.

4.27. Световой луч, распространяющийся в жидкости со скоростью $2,4 \cdot 10^5$ км/с, падает на стекло под углом, синус которого равен 0,6. Абсолютный показатель преломления стекла равен 1,5. Определить в градусах угол преломления.

4.28. В сосуд из стекла с абсолютным показателем преломления 1,5 налита жидкость. В жидкости распространяется свет, угол падения которого на дно сосуда равен 30° , а синус угла преломления в стекле 0,4. Определить абсолютный показатель преломления жидкости.

4.29. На дифракционную решётку падает нормально монохроматический свет. Наибольший порядок дифракции k , наблюдаемый при данных условиях,

равен 4. Сколько максимумов интенсивности будет наблюдаться на бесконечно большом экране, установленном за дифракционной решёткой параллельно ей?

4.30. Свеча расположена на расстоянии 12 м от собирающей линзы с фокусным расстоянием 3 м. На каком расстоянии от линзы находится изображение свечи? Ответ дать в СИ.

4.31. На расстоянии 2 м от рассеивающей линзы установлена свеча. Найти в СИ расстояние между мнимым изображением свечи и линзой, если оптическая сила линзы $D = -2$ дптр.

4.32. Человек стоит перед плоским зеркалом, а затем приближается к нему на 20 см. На сколько единиц СИ при этом изменяется расстояние между человеком и его изображением в зеркале?

4.33. Алмаз с абсолютным показателем преломления 2,42 находится в жидкости. Угол полного внутреннего отражения на границе алмаз – жидкость равен 30° . Найти абсолютный показатель преломления жидкости.

4.34. Фокусное расстояние собирающей линзы равно 0,3 м. Расстояние от линзы до предмета 0,4 м. Найти в СИ расстояние от линзы до изображения.

4.35. Вертикальная палка длиной 1,5 м, поставленная вблизи уличного фонаря, отбрасывает тень длиной 0,75 м. Палку перенесли дальше от фонаря на 1 м (в той же вертикальной плоскости), и длина её тени стала 1,25 м. Определить в СИ высоту, на которой подвешен фонарь.

4.36. Призма с показателем преломления 1,55 и преломляющим углом 30° находится в вакууме. Найти синус угла падения луча на первую преломляющую грань призмы, если на вторую грань луч падает внутри призмы перпендикулярно.

4.37. На дифракционную решётку падает нормально поток белого света. Под углом 30° к падающим лучам света для длины волны 450 нм наблюдается максимум интенсивности пятого порядка. Определить синус угла, под которым для длины волны 600 нм наблюдается максимум третьего порядка.

4.38. Фокусное расстояние собирающей линзы 0,2 м, а расстояние от действительного изображения предмета до линзы 0,6 м. Найти увеличение, даваемое линзой.

4.39. Фокусное расстояние собирающей линзы 0,2 м, а расстояние от мнимого изображения предмета до линзы 0,6 м. Найти увеличение, даваемое линзой.

4.40. Какой угол с горизонтом должна составлять плоскость зеркала, чтобы осветить солнечными лучами, отражёнными от этого зеркала, дно глубокого вертикального колодца? Солнечный свет распространяется под углом 20° к горизонту. Ответ дать в градусах.

4.41. Предмет находится на расстоянии 10 м от рассеивающей линзы. Мнимое изображение наблюдается на расстоянии 2,5 м от линзы. Определить в СИ оптическую силу этой линзы.

4.42. Перед плоским зеркалом поставлена настольная лампа. На сколько метров изменится расстояние между лампой и её изображением в зеркале, если лампу отодвинуть от зеркала на 0,5 м?

Задачи 5 класса трудности

5.1. В сосуд налита жидкость с показателем преломления 1,1. Поверхность жидкости освещается светом, синус угла падения которого равен 0,88. На дне сосуда закреплён в вертикальном положении полностью погруженный в жидкость стержень. Определить в см длину стержня, если он отбрасывает на дно сосуда тень длиной 2 см.

5.2. Плоское зеркало подвешено на вертикальной стене. Человек ростом 170 см стоит перед зеркалом. Определить в см минимальную высоту зеркала, необходимую для того, чтобы человек видел своё изображение во весь рост.

5.3. Луч света, распространяющийся в жидкости с абсолютным показателем преломления 1,2, падает на плоскую поверхность стекла. Синус угла падения равен 0,8, угол между отражённым от стекла и преломлённым в стекле лучами прямой. Определить абсолютный показатель преломления стекла.

5.4. С помощью собирающей линзы на экране получено действительное изображение предмета в натуральную величину. Расстояние между предметом и изображением равно 2 м. Найти в СИ оптическую силу линзы.

5.5. Луч света падает под некоторым углом α ($\sin\alpha = 0,75$) на плоскопараллельную стеклянную пластину, преломляется, отражается от второй поверхности и выходит из пластины. Определить в СИ расстояние между точкой падения луча на пластину и точкой выхода из неё, если путь луча в стекле 10 см, а показатель преломления стекла 1,5.

5.6. Предельный угол полного отражения для стекла, помещённого в жидкость с показателем преломления 1,25, равен 30° . Определить в км/с скорость света в этом стекле.

5.7. Тонкий луч света, распространяющийся в стекле, попадает в жидкость с абсолютным показателем преломления 1,4. При этом длина волны света увеличивается в 1,1 раза. Определить абсолютный показатель преломления стекла.

5.8. Луч света падает на плоскопараллельную пластинку в точке A под углом 60° . Луч, преломлённый в стекле, отклоняется от направления падающего луча на 15° . Отразившись от нижней поверхности, луч в точке B снова выходит в воздух. Определить в мм расстояние AB . Толщина пластинки 0,2 мм.

5.9. На дифракционную решётку, имеющую одинаковую ширину непрозрачных промежутков и прозрачных щелей, нормально падает монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Определить в мкм ширину прозрачной щели решётки, если третий порядок максимума наблюдается под углом 30° .

5.10. Фокусное расстояние собирающей линзы 10 см, расстояние от предмета до переднего фокуса линзы 5 см. Найти в см высоту предмета, если высота его изображения 4 см.

5.11. В призме с преломляющим углом 30° одна грань посеребрена. На вторую грань под углом 45° падает световой луч, который после преломления и однократного отражения от посеребрённой грани возвращается по тому же пути. Определить показатель преломления материала призмы.

5.12. Предмет находится от собирающей линзы на расстоянии 0,2 м. Изображение предмета – прямое и увеличенное в 4 раза. Найти в СИ оптическую силу линзы.

5.13. Предмет находится от собирающей линзы на расстоянии 0,2 м. Получаемое на экране изображение предмета - перевёрнутое и увеличенное в 4 раза. Найти в СИ оптическую силу линзы.

5.14. С помощью линзы от своих очков абитуриент получил на полу комнаты чёткое действительное изображение нити накаливания лампы, расположив линзу на вертикали под лампой на расстоянии 2 м от нити. Расстояние между нитью и полом 3 м. Найти в диоптриях оптическую силу линзы.

5.15. На каком расстоянии от объектива фотоаппарата следует поместить миллиметровую шкалу, чтобы на фотоплёнке она была уменьшена в 10 раз? Считать, что объектив представляет собой одну собирающую линзу с фокусным расстоянием 5 см.

5.16. Свет с длиной волны 500 нм переходит из воздуха в стекло с показателем преломления 2. На сколько нанометров изменяется при этом длина волны света?

5.17. В сосуде с жидкостью находится источник света на глубине 1,5 м. Вычислить в СИ радиус круга на поверхности жидкости, в пределах которого возможен выход лучей в воздух. Угол полного внутреннего отражения для этой жидкости равен 45° .

5.18. Фокусное расстояние линзы 0,4 м. Расстояние от линзы до предмета 0,5 м. Во сколько раз изображение больше предмета?

5.19. Красный свет в некотором веществе имеет длину волны 400 нм и скорость распространения $1,5 \cdot 10^5$ км/с. Определить в нм длину волны этого света в вакууме.

5.20. Жёлтый свет, длина волны которого в вакууме 600 нм, распространяется в некотором веществе со скоростью $2 \cdot 10^5$ км/с. Определить в нм длину волны жёлтого света в данном веществе.

5.21. Свет с длиной волны 250 нм распространяется в среде с абсолютным показателем преломления 2. Определить в ТГц частоту света.

5.22. Собирающая линза даёт действительное изображение предмета. Размер изображения в 3 раза больше размера предмета. Определить в СИ фокусное расстояние линзы, если расстояние между линзой и изображением 2 м.

5.23. Частота световой волны равна 500 ТГц. Определить, на сколько нанометров длина этой волны в вакууме больше, чем в среде с показателем преломления 1,2.

5.24. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет, период колебаний которого $2 \cdot 10^{-15}$ с. Второй максимум интенсивности света ($k = 2$) наблюдается под углом 30° . Найти в мкм период дифракционной решётки.

5.25. На собирающую линзу с оптической силой 2 диоптрии падает пучок параллельных лучей. Тангенс угла, образованного этими лучами с главной оптической осью линзы, равен 0,1. Определить в см расстояние от главной оптической оси до точки, в которой фокусируются лучи.

5.26. Источник света находится на расстоянии 1 м от экрана. Тонкая собирающая линза, расположенная между экраном и источником, даёт чёткое изображение источника на экране при двух положениях линзы, расстояние между которыми 0,6 м. Определить в СИ фокусное расстояние линзы.

5.27. В стекле с показателем преломления 1,52 имеется сферическая полость радиусом 4 см, заполненная водой. Показатель преломления воды равен 1,33. На полость падает параллельный пучок света. Определить в см диаметр светового пучка, который проникает в полость.

5.28. Толстая прозрачная плоскопараллельная пластина находится в воздухе. Показатель преломления пластины меняется от значения 1,25 на верхней грани до значения 2,5 на нижней грани. Угол падения света на верхнюю грань равен 30° . Под каким углом к нормали луч выйдет из пластины? Ответ дать в градусах.

5.29. Луч света из воздуха падает на верхнюю грань плоскопараллельной пластины под некоторым углом α ($\sin\alpha = 0,8$) и выходит из пластины в жидкость под углом 30° к нормали. Пластина изготовлена из прозрачного материала, показатель преломления которого изменяется от 1,5 на верхней грани до 2,5 на нижней. Определить показатель преломления жидкости.

5.30. Действительное изображение предмета, помещённого на расстоянии 0,3 м от собирающей линзы, в 2 раза больше самого предмета. Определить в СИ фокусное расстояние линзы.

5.31. С помощью собирающей линзы, помещённой на расстоянии 0,4 м от предмета, получено мнимое, увеличенное в 2 раза изображение предмета. Определить в СИ фокусное расстояние линзы.

5.32. С помощью собирающей линзы с фокусным расстоянием 2,5 м необходимо получить увеличенное в 5 раз действительное изображение предмета. На каком расстоянии перед линзой надо поместить этот предмет? Ответ дать в СИ.

5.33. Расстояние от предмета до собирающей линзы в 5 раз больше фокусного расстояния линзы. Во сколько раз предмет больше своего изображения?

5.34. Мнимое изображение свечи в два раза больше самой свечи. На каком расстоянии от тонкой собирающей линзы расположена свеча, если фокусное расстояние линзы равно 1 м? Ответ дать в СИ.

5.35. С помощью линзы, оптическая сила которой 4 диоптрии, наблюдают увеличенное в 5 раз мнимое изображение предмета. На каком расстоянии перед линзой помещён этот предмет? Ответ дать в СИ.

5.36. Предмет установлен на расстоянии 5 см от собирающей линзы. При этом изображение предмета - мнимое и увеличенное в 4 раза. Определите в СИ оптическую силу линзы.

5.37. Линза с оптической силой 4 диоптрии даёт увеличенное в 5 раз мнимое изображение предмета. На каком расстоянии перед линзой помещён этот предмет? Ответ дать в СИ.

5.38. Призма с показателем преломления 1,5 и преломляющим углом 30° находится в вакууме. Луч света падает нормально на первую преломляющую грань призмы. Найти синус угла преломления при выходе луча через вторую преломляющую грань.

5.39. Длина волны света в вакууме равна 600 нм. Определить в нм длину волны этого света в среде с показателем преломления 1,5.

5.40. На одном конце прямолинейного световода длиной 6 км вспыхнул свет. Через сколько миллисекунд этот свет достигнет другого конца световода? Показатель преломления материала, из которого сделан световод, равен 1,5.

5.41. На дифракционную решётку с одинаковой шириной непрозрачных промежутков и прозрачных щелей, равной 1200 нм, нормально падает свет с длиной волны 500 нм. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который можно наблюдать для этого света.

5.42. При помощи тонкой собирающей линзы, помещённой на расстоянии 2 м от свечи, на экране получают увеличенное в 1,5 раза изображение свечи. Определите в СИ фокусное расстояние линзы. Ответ дать в СИ.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Сходящийся пучок лучей падает на рассеивающую линзу так, что продолжения всех лучей пересекаются в точке, лежащей на оптической оси на расстоянии 0,2 м за линзой. Найти в СИ величину фокусного расстояния линзы, если лучи после преломления в ней собираются в точке, находящейся на расстоянии 0,6 м за линзой.

6.2. Чему равно наименьшее расстояние между предметом и его действительным изображением, которое даёт собирающая линза с фокусным расстоянием 40 см? Ответ дать в СИ.

6.3. Монохроматический свет с длиной волны в вакууме 500 нм падает нормально на дифракционную решётку, помещённую в жидкую среду с показателем преломления 1,25. Период решётки 4 мкм. Определить синус угла, под которым наблюдается второй ($k = 2$) максимум интенсивности.

6.4. Определить абсолютный показатель преломления прозрачной жидкости, если длина волны зелёного света в ней равна 550 нм. Энергия каждого фотона этого света равна 1,5 эВ.

6.5. Накалённая нить лампочки и её действительное изображение, полученное с помощью линзы с оптической силой 4 диоптрии, равны по величине. На какое расстояние нужно передвинуть лампочку от первоначального положения, чтобы её изображение уменьшилось в 5 раз. Ответ дать в СИ.

6.6. Предмет в виде отрезка длиной 0,4 м расположен вдоль оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,6 м. Середина отрезка находится на расстоянии 0,9 м от линзы. Линза даёт действительное изображение всех точек предмета. Определить продольное увеличение предмета.

6.7. Предмет находится на расстоянии 15 м от объектива фотоаппарата. Высота изображения на фотоплёнке при этом равна 0,03 м. Если расстояние от предмета до объектива уменьшить до 10 м, то высота изображения станет равной 0,05 м. Найти в СИ фокусное расстояние объектива.

6.8. Монохроматический свет с частотой 400 ТГц падает нормально на дифракционную решётку, расположенную в жидкости с показателем преломления 1,5. Период дифракционной решётки 10 мкм. Определить порядок k максимума интенсивности света, который наблюдается под углом 30° .

6.9. Плоская поверхность плосковыпуклой линзы с фокусным расстоянием 12 см покрыта зеркальным отражающим покрытием. На расстоянии 24 см от линзы со стороны выпуклой поверхности находится точечный источник света. Определить в см расстояние от линзы до изображения источника.

6.10. С помощью собирающей линзы получено уменьшенное действительное изображение предмета на экране. Размер предмета 6 см, а размер изображения 3 см. Оставляя предмет и экран неподвижными, перемещают линзу в сторону предмета и получают на экране второе чёткое изображение предмета. Определить в см величину этого изображения.

6.11. Предмет поместили перед собирающей линзой с фокусным расстоянием 1 м так, что наблюдается действительное, увеличенное в 2 раза изображение предмета. Затем предмет переместили вдоль оптической оси так, что изображение стало уменьшенным 2 раза. На сколько метров изменили расстояние от предмета до линзы?

6.12. Расстояние от свечи до экрана 5 м. Определите в диоптриях оптическую силу линзы, при помощи которой на экране получают действительное, увеличенное в 4 раза изображение свечи.

6.13. Собирающая линза даёт на экране чёткое изображение предмета, увеличенное в 2 раза. Если линзу подвинуть на 36 см к экрану, то она снова даст чёткое изображение предмета, но на этот раз в 2 раза уменьшенное. Найти в СИ фокусное расстояние линзы.

6.14. Пучок параллельных лучей света падает на плоскую поверхность жидкости. Угол падения равен 60° , косинус угла преломления равен 0,7. Ширина пучка в воздухе равна 5 мм. Найти в мм ширину пучка в жидкости.

6.15. С помощью собирающей линзы получают на экране изображение плоской квадратной рамки, плоскость которой перпендикулярна главной оптической оси линзы. Расстояние от плоскости рамки до линзы 0,3 м. Площадь изображения в 4 раза больше площади рамки. Найти в СИ фокусное расстояние линзы.

6.16. Высота пламени свечи 5 см. Линза даёт на экране изображение этого пламени высотой 15 см. Не трогая линзу, свечу отодвинули на 1,5 см дальше от линзы и, передвинув экран, вновь получили резкое изображение пламени высотой 10 см. Определить в см фокусное расстояние линзы.

6.17. Свеча удалена от экрана на расстоянии 4,5 м. Между экраном и свечой располагается тонкая собирающая линза, позволяющая получить чёткое изображение свечи при двух положениях линзы, расстояние между которыми равно 1,5 м. Определить в СИ фокусное расстояние линзы.

6.18. Фокусное расстояние собирающей линзы $F = 30$ см. Точечный источник света расположен на расстоянии $2F$ от линзы. На каком расстоянии от линзы нужно поместить плоское зеркало для того, чтобы лучи, отражённые от зеркала и вторично прошедшие через линзу, были параллельными? Ответ дать в СИ.

6.19. Оптическая система состоит из двух собирающих линз с фокусными расстояниями 20 см и 10 см. Расстояние между линзами 30 см. Предмет находится на расстоянии 30 см от первой линзы. Определить в СИ, на каком расстоянии от второй линзы находится изображение предмета.

6.20. Луч света падает под углом $\alpha = 60^\circ$ на плоскую поверхность алмаза, находящегося в жидкости с абсолютным показателем преломления 1,5. При этом луч преломлённый образует прямой угол с лучом отражённым. Определить абсолютный показатель преломления алмаза. Считать, что $\sin\alpha \approx 0,8$.

6.21. Луч света, распространяющийся в жидкости с абсолютным показателем преломления 1,2, падает под некоторым углом α ($\sin\alpha = 0,8$) на плоскую поверхность стекла. Угол между отражённым от стекла и преломлённым в стекле лучами прямой. Определить абсолютный показатель преломления стекла.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием 5 см расположена между предметом и плоским зеркалом. Расстояние от предмета до линзы 2 см, а от предмета до зеркала 7 см. Определить в см расстояние от линзы до действительного изображения предмета.

7.2. Фокусное расстояние собирающей линзы 5 см. Точечный источник света находится на расстоянии 6 см от линзы на её оптической оси. Линзу разрезают вдоль оптической оси на две равные части, которые затем отодвигают друг от друга на 1 см в направлении, перпендикулярном оптической оси. Найти в см расстояние между двумя изображениями источника.

7.3. На стеклянный клин перпендикулярно одной его грани падает тонкий луч света. Показатель преломления стекла равен 2. Угол при вершине клина 7° . Сколько светлых пятен будет наблюдаться на экране, поставленном за второй гранью клина? Потерями на поглощение пренебречь.

7.4. Фотографируется момент выхода пули из ствола. Объектив фотоаппарата, фокусное расстояние которого равно 10 см, находится на расстоянии 5,1 м от конца ствола, оптическая ось объектива перпендикулярна стволу. При времени экспозиции 50 мкс величина размытия изображения на фотоплёнке оказалась равной 0,5 мм. Найти в СИ скорость пули.

7.5. Плоское двухстороннее зеркало вращается с постоянной частотой 0,5 Гц вокруг оси, лежащей в плоскости зеркала. Определить в СИ линейную скорость перемещения “зайчика” по цилиндрическому экрану радиусом 10 м, если ось вращения зеркала совпадает с осью цилиндрического экрана.

7.6. Плоская поверхность плосковогнутой линзы с фокусным расстоянием 4 см покрыта зеркальным отражающим покрытием. На расстоянии 8 см от линзы со стороны вогнутой поверхности находится точечный источник света. Определить в см расстояние от линзы до изображения источника.

7.7. Фотографируется момент погружения в воду прыгуна с вышки высотой 4,9 м. Фотограф находится у воды на расстоянии 10 м от места погружения. Фокусное расстояние объектива фотоаппарата равно 20 см. На негативе допустимо размытие изображения не более 0,05 мм. На какое наибольшее время (в миллисекундах) должен быть открыт затвор фотоаппарата?

7.8. На дифракционную решётку с периодом 4 мкм падает нормально монохроматический свет. За решёткой находится собирающая линза с фокусным расстоянием 40 см. На экране первый дифракционный максимум отстоит от

центрального на расстоянии 5 см. Определить в нм длину волны света. Считать синус и тангенс угла дифракции равными.

7.9. Плоская поверхность плосковыпуклой линзы с фокусным расстоянием 12 см покрыта зеркальным отражающим покрытием. На каком наименьшем расстоянии от линзы со стороны её выпуклой поверхности должен находиться точечный источник света, чтобы его изображение было действительным? Ответ дать в см.

7.10. Точечный источник света помещён на расстоянии 40 см от собирающей линзы L_1 с фокусным расстоянием 20 см на её оптической оси. По другую сторону линзы L_1 в её фокальной плоскости помещена рассеивающая линза L_2 так, что вышедшие из L_2 лучи кажутся исходящими из самого источника. Определить в см фокусное расстояние линзы L_2 .

7.11. Собирающая линза с фокусным расстоянием 5 см и радиусом 2,4 см вставлена в непрозрачный экран. На оптической оси линзы на расстоянии 15 см от её центра находится точечный источник света. С другой стороны линзы расположен экран наблюдения в месте резкого изображения источника света. Определить в см радиус светового пятна на экране наблюдения, если источник света передвинуть на 3 см в направлении *от линзы*.

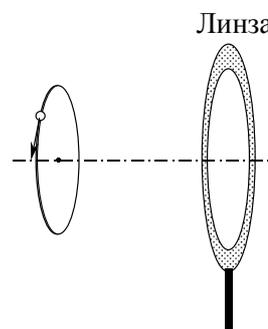
7.12. Вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 4 см движутся навстречу друг другу два светлячка, находящиеся по разные стороны от линзы. Скорость первого светлячка 2 см/с, а второго – 4 см/с. В некоторый момент времени первый светлячок находится на расстоянии 30 см от линзы, а второй – на расстоянии 60 см. Через сколько секунд после этого первый светлячок встретится с изображением второго?

7.13. На экране наблюдается чёткое изображение предмета, расположенного на расстоянии 30 см от плосковыпуклой линзы с фокусным расстоянием 10 см. К этой линзе вплотную приложили плосковогнутую линзу с фокусным расстоянием 20 см. На сколько сантиметров нужно передвинуть экран, чтобы на нём снова появилось отчётливое изображение предмета?

7.14. Два точечных источника света находятся на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 24 см друг от друга. Если поставить линзу так, чтобы она делила отрезок между источниками в отношении 1:3, то изображения источников совпадут. Определить в см фокусное расстояние линзы.

7.15. Светящаяся точка равномерно движется по окружности с центром на оси рассеивающей линзы в плоскости, перпендикулярной оси и отстоящей от линзы на расстояние, в 1,8 раза большее фокусного расстояния. Определить в СИ линейную скорость точки, если линейная скорость её изображения равна 0,5 м/с.

7.16. Оптическая система состоит из трёх одинаковых собирающих линз с фокусным расстоянием 30 см и с общей оптической осью. Предмет удалён на 60 см от передней линзы и на 120 см от задней линзы. Определить в см расстояние между предметом и его изображением.



ТЕМА 11. МИКРОФИЗИКА

11.1. ФОТОНЫ

Монохроматический свет с частотой ν (с длиной волны λ) представляет собой, с точки зрения микрофизики, совокупность квантов света – фотонов. **Энергия фотона** ε определяется выражениями:

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda, \quad (11.1)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме (см. приложение 1).

Импульс фотона p_ϕ связан с его энергией ε соотношением:

$$p_\phi = \varepsilon/c = h\nu/c = h/\lambda. \quad (11.2)$$

11.2. АТОМЫ

Энергия атомов может принимать только строго определенные значения (**квантование энергии**). Разрешенные энергии принято изображать на энергетической диаграмме (рис. 11.1.) в виде горизонтальных линий – **уровней**. Самое низкое стационарное состояние с энергией E_0 называется **основным**. Выше находятся первое возбужденное, состояние с энергией E_1 , второе возбужденное состояние с энергией E_2 и тд. Следует помнить, что дискретные энергии уровней E_0, E_1, E_2, \dots являются отрицательными. Предел сходимости энергетических уровней для водородоподобных атомов называется **границей ионизации** ($E_\infty \rightarrow 0$).

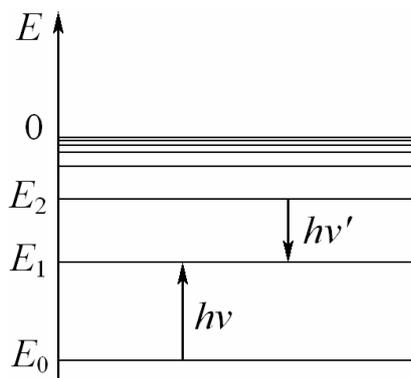


Рисунок 11.1 – Схема энергетических уровней атома

Излучение и поглощение фотонов происходит при переходах электронов в атомах с одного энергетического уровня на другой. Энергия испущенного (поглощенного) кванта света определяется по **правилу Бора** разностью энергий стационарных состояний, между которыми совершается переход:

$$\varepsilon = E_n - E_m; (E_n > E_m). \quad (11.3)$$

Излучение фотона происходит при переходе атома из более высокого стационарного состояния в более низкое; при обратном переходе имеет место поглощение кванта света.

11.3. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Внешний фотоэффект – это явление вырывания электронов из вещества под действием квантов света с энергией ε . Уравнение для внешнего фотоэффекта называется формулой Эйнштейна и записывается в виде:

$$\varepsilon = A_{\text{вых}} + T_{\text{max}}. \quad (11.4)$$

Здесь $A_{\text{вых}}$ – **работа выхода** электрона из вещества, $T_{\text{max}} = m_e v_{\text{max}}^2/2$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, где m_e – масса электрона, v_{max} – его скорость в момент вылета из вещества. Это уравнение отражает закон сохранения энергии в элементарном акте взаимодействия света с веществом. Фотоэффект является пороговым явлением, так как возможен лишь при условии $\varepsilon \geq A_{\text{вых}}$.

Красная граница фотоэффекта соответствует ситуации, когда скорость фотоэлектрона равна нулю, и вся энергия фотона уходит на совершение работы выхода. Условие красной границы имеет вид:

$$A_{\text{вых}} = \varepsilon_{\text{min}} = h\nu_{\text{min}} = hc/\lambda_{\text{max}}. \quad (11.5)$$

Упорядоченное движение электронов от фотокатода к аноду фотоэлемента образует **фототок**. Его можно обратить в нуль, приложив к фотоэлементу задерживающее (запирающее) напряжение U_3 . В этом случае работа электрического поля по торможению фотоэлектрона численно равна его кинетической энергии в момент вылета из вещества:

$$T_{\text{max}} = eU_3. \quad (11.6)$$

11.4. СВЯЗЬ МАССЫ С ЭНЕРГИЕЙ

Энергия покоя E_0 тела (частицы) определяется формулой Эйнштейна:

$$E_0 = mc^2. \quad (11.7)$$

Этот закон пропорциональности массы и энергии отражает возможность взаимопревращения двух видов материи – вещества массой m и поля с энергией E_0 . Полная энергия E тела (частицы) складывается из энергии покоя E_0 и кинетической энергии T : $E = E_0 + T$. Полная энергия следующим образом зависит от скорости v движения тела:

$$E = E_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (11.8)$$

11.5. АТОМНЫЕ ЯДРА

Атомное ядро любого химического элемента состоит из нуклонов. **Нуклоны** – это общее наименование протонов и нейтронов. **Протон** – элементарная частица, имеющая положительный заряд, по абсолютной величине равный заряду электрона. **Нейтрон** – элементарная частица, не имеющая электрического заряда. Для характеристик атомных ядер общеприняты следующие обозначения:

Z – порядковый номер данного химического элемента в периодической системе Д.И. Менделеева (он также равен числу протонов в ядре и числу электронов в оболочке атома);

N – число нейтронов в ядре;

$A = Z + N$ – массовое число, равное числу нуклонов в ядре.

Изотопы – это ядра с одинаковым числом протонов Z , но различным числом нейтронов N .

${}^A_Z X$ – символ ядра некоторого химического элемента X .

Ниже приведены обозначения для нуклонов и некоторых ядер:

${}^1_1 H = {}^1_1 p$ – ядро водорода (протон); ${}^1_0 n$ – нейтрон;

${}^2_1 D$ – дейтерий, ${}^3_1 T$ – тритий (изотопы водорода)

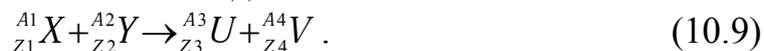
${}^4_2 He$ – ядро гелия (α – частица).

Ядерная реакция – это взаимодействие атомного ядра с другим атомным ядром или элементарной частицей, в результате которого происходит преобразование (превращение) ядер. Поскольку в ядерных реакциях кроме нуклонов участвуют и другие элементарные частицы, на них также распространяются

обозначения, принятые для ядер: ${}_{-1}^0e$ – электрон (отрицательная β – частица); ${}_1^0e^+$ – позитрон (положительная β – частица); ${}^0_0\gamma$ – гамма-квант (фотон большой энергии).

Однако нижний индекс Z для элементарных частиц не обозначает теперь число протонов, а приобретает смысл так называемого зарядового числа.

Ядерные реакции принято записывать в виде

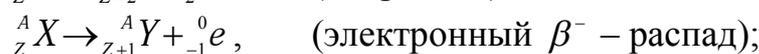


Кроме фундаментальных законов сохранения энергии и импульса в ядерных реакциях имеют место:

– **закон сохранения нуклонов** $(A_1 + A_2 = A_3 + A_4)$;

– **закон сохранения заряда** $(Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4)$.

Ядра некоторых химических элементов могут самостоятельно распадаться на продукты деления. Ниже приводится запись некоторых **реакций ядерного распада**:



Масса ядра $m_{яд}$ всегда меньше суммы масс входящих в его состав нуклонов: $m_{яд} < (Z \cdot m_p + N \cdot m_n)$, где m_p и m_n – массы протона и нейтрона соответственно (см. приложение 1).

Дефект масс Δm – это разница между суммой масс всех нуклонов, содержащихся в ядре, и массой ядра:

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{яд}. \quad (11.10)$$

Для характеристики масс элементарных частиц, ядер, атомов используется понятие атомной единицы массы.

Атомная единица массы (а.е.м.) – это величина, равная 1/12 массы атома углерода ${}^{12}_6C$. Атомную единицу массы можно перевести в единицу массы СИ – килограмм (см. приложение 1).

Из (11.10) следует, что энергия покоя свободных нуклонов всегда больше энергии покоя составленного из них ядра.

Энергия связи ядра – это величина

$$\Delta E_{св} = \Delta m c^2, \quad (11.11)$$

представляющая собой работу по расщеплению ядра на образующие его нуклоны. Энергия связи также численно равна энергии, которая высвобождается в процессе образования из нуклонов атомного ядра.

Удельная энергия связи $\Delta E_{уд}$ – это энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон:

$$\Delta E_{уд} = \Delta E_{св}/A = \Delta E_{св}/(N + Z). \quad (11.12)$$

Энергия ядерной реакции вида (11.9) определяется выражением:

$$W = c^2 \cdot [(m_X + m_Y) - (m_U + m_V)], \quad (11.13)$$

где m_X и m_Y – массы частиц до реакции, а m_U и m_V – массы частиц после реакции. Если $(m_X + m_Y) > (m_U + m_V)$, то реакция происходит с выделением энергии; если $(m_X + m_Y) < (m_U + m_V)$, то энергия поглощается.

11.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Электрон в атоме находится в возбужденном состоянии с энергией, равной $-2,35$ эВ. Чему станет равной энергия электрона, если атом испустит фотон частотой 400 ТГц? Ответ дать в электронвольтах.

Решение:

Дано:

$$E'' = -2,35 \text{ эВ}$$

$$\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

Найти:

$$E' = ? \text{ (эВ)}$$

В соответствии с правилом Бора энергия испущенного фотона ε определяется разностью энергий атомных уровней E'' и E' между которыми происходит переход: $\varepsilon = E'' - E'$. Подставляя сюда выражение для энергии кванта света $\varepsilon = h\nu$, находим энергию электрона $E' = E'' - h\nu$ после перехода. Удобнее сначала вычислить в электронвольтах энергию фотона:

$$h\nu = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{14} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,65 \text{ эВ.}$$

Окончательно получим: $E' = -2,35 - 1,65 = -4$ эВ.

$$\boxed{E' = -4 \text{ эВ.}}$$

2. Луч лазера мощностью 51 мВт падает на поглощающую поверхность. Определить силу светового давления луча на поверхность. Ответ дать в пиконьютонах.

Решение:

Дано:

$$P = 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}$$

Найти:

$$F = ? \text{ (пН)}$$

Применяя второй закон Ньютона, заключаем, что сила давления света на поверхность определяется скоростью изменения импульса лазерного излучения: $F = \Delta p / \Delta t$, где Δp – изменение импульса света за время Δt . Поскольку фотоны полностью поглощаются (конечный импульс равен нулю),

для изменения импульса света получаем: $\Delta p = \Delta N \cdot p_\phi$, где ΔN – число фотонов с импульсом p_ϕ , приходящих на поглощающую поверхность за время Δt . Импульс фотона связан с его энергией: $p_\phi = \varepsilon / c$. Собирая вместе эти выражения, имеем для силы давления: $F = p_\phi \Delta N / \Delta t = \varepsilon \Delta N / c \Delta t$. Мощность излучения выражается через энергию фотона: $P = \varepsilon \Delta N / \Delta t$. Итак, сила светового давления на поглощающую поверхность: $F = P / c$. Расчет несложен:

$$F = 5,1 \cdot 10^{-2} / 3 \cdot 10^8 = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ Н} = 170 \text{ пН.}$$

$$\boxed{F = 170 \text{ пН.}}$$

3. Два образца из цезия облучаются светом от двух разных источников света (частота падающих квантов света 600 и 500 ТГц). Максимальные кинетические энергии фотоэлектронов при этом отличаются в два раза. Определить работу выхода электрона из цезия. Ответ дать в электронвольтах.

Решение:

Дано:

$$\nu_1 = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$\eta = T_1 / T_2 = 2$$

Найти:

$$A = ? \text{ (эВ)}$$

Запишем уравнение фотоэффекта для двух случаев: $h\nu_1 = A + T_1$ и $h\nu_2 = A + T_2$. Из каждого уравнения находим максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона: $T_1 = h\nu_1 - A$ и $T_2 = h\nu_2 - A$. Составив отношение этих энергий, приходим к уравнению относительно неизвестной величины – работы выхода A : $\eta = (h\nu_1 - A) / (h\nu_2 - A)$. Решив его, получаем: $A = h(\eta\nu_2 - \nu_1) / (\eta - 1) = h(2\nu_2 - \nu_1)$. При расчете переводим

$$\text{работу в эВ: } A = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot (2 \cdot 5 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{14}) / 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,65 \text{ эВ.}$$

$$\boxed{A = 1,65 \text{ эВ.}}$$

4. Излучение с частотой 2000 ТГц падает на вещество, для которого частота красной границы фотоэффекта равна 1000 ТГц. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов. Ответ дать в электронвольтах.

Решение:

$\nu = 2 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ $\nu_{кр} = 1 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ <u>Найти:</u> $T_{max} = ? \text{ (эВ)}$
--

Для того, чтобы найти максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона, одного лишь уравнения фотоэффекта $h\nu = A + T_{max}$ недостаточно. Необходимо учесть, что работа выхода A связана с частотой красной границы соотношением $A = h\nu_{кр}$. Подставив это выражение в уравнение фотоэффекта,

получаем: $T_{max} = h(\nu - \nu_{кр})$. Выполняя расчет, находим:

$$T_{max} = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot (2 \cdot 10^{15} - 1 \cdot 10^{15}) / 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,125 \text{ эВ.}$$

$T_{max} = 4,125 \text{ эВ.}$

5. При освещении фотоэлемента светом с длиной волны 500 нм фотоэлектроны полностью задерживаются напряжением 1,125 В. Определить величину задерживающего напряжения при облучении фотоэлемента светом с длиной волны 250 нм. Ответ дать в единицах СИ.

Решение:

<u>Дано:</u> $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ $U_1 = 1,125 \text{ В}$ $\lambda_2 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ <u>Найти:</u> $U_2 = ?$

Запишем формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта $\varepsilon = A + T_{max}$. Энергию фотона: $\varepsilon = hc/\lambda$. При остановке фотоэлектрона его кинетическая энергия полностью переходит в потенциальную энергию заряда в электрическом поле: $T_{max} = eU_3$. Таким образом, уравнение фотоэффекта переписывается так: $hc/\lambda = A + eU_3$. Применим эту формулу для указанных в условии случаев: $hc/\lambda_1 = A + eU_1$ и $hc/\lambda_2 = A + eU_1$. Вычитая одно уравнение из другого, мы приходим к выражению для напряжения $U_2 = U_1 + hc(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)/e$. Численный расчет дает следующее значение для $U_2 = 1,125 + 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot (4 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6) / 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,125 + 2,475 = 3,6 \text{ В.}$

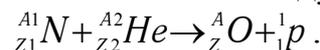
$U_2 = 3,6 \text{ В.}$

6. В результате взаимодействия ядра азота (атомный номер равен 7, массовое число равно 14) с ядром гелия (атомный номер равен 2, массовое число равно 4) образуется изотоп кислорода и протон. Чему равно массовое число образовавшегося изотопа кислорода?

Решение:

<u>Дано:</u> $Z_1 = 7$ $A_1 = 14$ $Z_2 = 2$ $A_2 = 4$ <u>Найти:</u> $A = ?$

Эта ядерная реакция записывается в следующем виде:



По закону сохранения нуклонов имеем для массовых чисел участвующих в реакции продуктов: $A_1 + A_2 = A + 1$. Отсюда находим массовое число изотопа кислорода: $A = A_1 + A_2 - 1 = 14 + 4 - 1 = 17$.

$A = 17$

7. В результате захвата нейтрона ядром изотопа азота (атомный номер 7, массовое число 14) образуется новое ядро и протон. Чему равен атомный номер нового ядра?

Решение:

Дано:

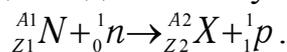
$$Z_1 = 7$$

$$A_1 = 14$$

Найти:

$$Z_2 = ?$$

Запись ядерной реакции в данном случае имеет вид:



По закону сохранения заряда для зарядовых чисел имеем:

$$Z_1 + 0 = Z_2 + 1. \text{ Отсюда получаем атомный номер нового химического элемента } X: Z_2 = Z_1 - 1 = 7 - 1 = 6. \quad \boxed{Z_2 = 6.}$$

8. Дефект массы ядра изотопа гелия (число протонов 2, число нейтронов 1) равен 0,005 а.е.м. Определить удельную энергию связи этого ядра. Ответ дать в пикоджоулях на нуклон.

Решение:

Дано:

$$Z = 2$$

$$N = 1$$

$$\Delta m = 0,005 \text{ а.е.м.}$$

Найти:

$$\Delta E_{y\delta} = ? \text{ (пДж)}$$

Удельная энергия связи ядра определяется выражением: $\Delta E_{y\delta} = \Delta E_{св}/A = \Delta E_{св}/(N + Z)$. Энергия связи ядра $\Delta E_{св}$ связана с дефектом масс: $\Delta E_{св} = \Delta mc^2$. Отсюда получаем формулу для удельной энергии связи: $\Delta E_{y\delta} = \Delta mc^2/(N + Z)$. При численном расчете переводим дефект масс Δm из атомных единиц массы в килограммы:

$$\Delta E_{y\delta} = 0,005 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} / 3 = 2,49 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 0,249 \text{ пДж.}$$

$$\boxed{\Delta E_{y\delta} = 0,249 \text{ пДж.}}$$

9. Вычислить энергию связи ядра атома дейтерия, состоящего из одного протона и одного нейтрона. Масса ядра равна 2,0136 а.е.м. Ответ дать в мегаэлектронвольтах.

Решение:

Дано:

$$Z = 1$$

$$N = 1$$

$$m_{яд} = 2,0136 \text{ а.е.м.}$$

Найти:

$$\Delta E_{св} = ? \text{ (МэВ)}$$

Запишем выражение для энергии связи ядра: $\Delta E_{св} = \Delta mc^2$. Входящий сюда дефект масс рассчитывается по формуле $\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{яд}$. Рассчитываем $\Delta m = 1 \cdot 1,007 + 1 \cdot 1,009 - 2,0136 = 0,0024 \text{ а.е.м.}$ Массы протона m_p и нейтрона m_n в атомных единицах взяты из Приложения 1. Теперь вычисляем (с учетом единиц измерения) энергию связи:

$$\Delta E_{св} = 0,0024 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,241 \cdot 10^6 \text{ эВ} = 2,241 \text{ МэВ.}$$

$$\boxed{\Delta E_{св} = 2,241 \text{ МэВ.}}$$

10. В результате взаимодействия ядра дейтерия, масса которого $m_D = 2,014 \text{ а.е.м.}$, с ядром трития ($m_T = 3,016 \text{ а.е.м.}$) образуется ядро атома гелия ($m_{He} = 4,001 \text{ а.е.м.}$) и нейтрон. Какая энергия выделяется при этой термоядерной реакции? Ответ дать в мегаэлектронвольтах. Учесть, что 1 а.е.м. соответствует энергия 931 МэВ.

Решение:

Дано:

$$m_D = 2,014 \text{ а.е.м.}$$

$$m_T = 3,016 \text{ а.е.м.}$$

$$m_{He} = 4,001 \text{ а.е.м.}$$

$$1 \text{ а.е.м} = 931 \text{ МэВ}$$

Найти:

$$W = ? \text{ (МэВ)}$$

Данная термоядерная реакция записывается в виде: ${}^2_1D + {}^3_1T \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$. Энергию ядерной реакции можно найти по правилу $W = c^2 \cdot [(m_D + m_T) - (m_{He} + m_n)]$. Однако, в отличие от предыдущих задач, расчет здесь значительно облегчен заданием переводного множителя между атомными единицами массы и мегаэлектронвольтами. Поэтому сначала вычисляем в а.е.м. комбинацию масс продуктов реакции $[(m_D + m_T) - (m_{He} + m_n)] = [(2,014 + 3,016) - (4,001 + 1,009)] = 0,02 \text{ а.е.м.}$, а затем просто умножаем полученное число на переводной множитель: $W = 931 \cdot 0,02 = 18,62 \text{ МэВ}$. $W = 18,62 \text{ МэВ}$

11.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задачи 3 класса трудности

3.1. Работа выхода электрона из меди равна 4,125 эВ. Найти в ТГц частоту красной границы фотоэффекта для меди.

3.2. Определить в нг массу покоя тела с энергией покоя 1800 Дж.

3.3. Определить в эВ работу выхода электрона из оксидного катода, если частота красной границы фотоэффекта в этом случае равна 400 ТГц.

3.4. Определить в а.е.м. дефект массы альфа-частицы, масса которой равна 4,002 а.е.м.

3.5. Во сколько раз энергия кванта рентгеновских лучей с длиной волны 1 нм, больше энергии кванта видимого света с длиной волны 600 нм?

3.6. При исследовании фотоэффекта было обнаружено, что максимальная кинетическая энергия, которую может получить вылетевший из образца электрон, в 4 раза меньше энергии одного кванта света. Определить, во сколько раз работа выхода электрона из данного образца больше максимальной кинетической энергии фотоэлектрона.

3.7. Сколько нейтронов содержится в ядре изотопа германия с массовым числом 72? Атомный номер германия 32.

3.8. Дефект массы одного из изотопов бора равен 0,05 а.е.м. Определить в пДж энергию связи ядра этого изотопа.

3.9. Массовое число трития (изотопа водорода) равно 3, масса ядра трития 3,017 а.е.м. Найти в а.е.м. дефект массы этого ядра.

3.10. Дефект массы ядра изотопа углерода 0,1 а.е.м., дефект массы ядра одного из изотопов хрома 0,4 а.е.м. Во сколько раз энергия связи ядра хрома больше энергии связи ядра углерода?

3.11. Энергия связи ядра одного из изотопов меди равна 560 МэВ. Энергия связи ядра изотопа бора 80 МэВ. Во сколько раз дефект массы изотопа меди больше дефекта массы ядра бора?

3.12. Энергетический спектр атома водорода выглядит так: основное состояние $-13,6 \text{ эВ}$, первое возбуждённое $-3,4 \text{ эВ}$, второе возбуждённое $-1,4 \text{ эВ}$. Во сколько раз энергия фотона, испущенного атомом водорода при переходе из

первого возбуждённого состояния в основное, больше энергии фотона, испущенного при переходе из второго возбуждённого состояния в первое?

3.13. Определить в ТГц частоту красной границы фотоэффекта для вещества, работа выхода электрона с поверхности которого равна 3,3 эВ.

3.14. Фотокатод облучается светом, энергия каждого кванта которого равна 3 эВ. На сколько электрон-вольт возрастёт максимальная кинетическая энергия каждого фотоэлектрона при увеличении энергии кванта света в 2 раза?

3.15. Вакуумный фотоэлемент освещается монохроматическим светом. Найти в СИ величину задерживающей разности потенциалов, которую необходимо приложить к электродам фотоэлемента для того, чтобы сила тока в нём стала равной нулю. Известно, что работа выхода электрона с поверхности фотокатода 2,1 эВ, а энергия светового кванта 3 эВ.

3.16. Определить в эВ работу выхода электрона с поверхности фотокатода, если при облучении его светом, энергия каждого кванта которого 5 эВ, фототок прекращается при задерживающем напряжении 0,8 В.

3.17. Оптический квантовый генератор (лазер) излучает свет частотой 400 ТГц. Определить в эВ энергию кванта этого излучения.

3.18. При исследовании фотоэффекта найдено, что задерживающее напряжение равно 1,82 В. Определить в км/с максимальную скорость электронов, вылетающих из катода?

3.19. Полученный искусственным путем изотоп фосфора P_{15}^{30} радиоактивен. Этот изотоп распадается, в результате чего образуется изотоп кремния (порядковый номер в периодической системе 14) и испускается позитрон. Определить массовое число ядра изотопа кремния.

3.20. Определить в ТГц частоту излучения лазера, если известно, что излучение происходит при переходах электронов из состояния с энергией $-3,85$ эВ в состояние с энергией $-6,325$ эВ.

3.21. Анод вакуумного фотоэлемента находится под потенциалом -3 В относительно катода. Какую минимальную энергию должен иметь каждый квант монохроматического света, падающего на фотокатод, чтобы в фотоэлементе появился электрический ток? Работа выхода электрона из фотокатода 2 эВ. Ответ дать в эВ.

3.22. Ядро изотопа кальция Ca_{20}^{40} претерпевает бета-распад. Найти массовое число ядра элемента, образующегося в результате этого процесса.

3.23. Ядро изотопа рения Re_{75}^{186} претерпевает альфа-распад. Найти массовое число ядра, образующегося в результате этого процесса.

3.24. Ядро изотопа гафния Hf_{72}^{178} претерпевает электронный бета-распад. Какой номер в периодической таблице будет иметь элемент, образующийся в результате этого процесса?

3.25. Монохроматический свет имеет частоту 40 ТГц. Определить в мкм длину волны света.

3.26. Изотоп ядра урана (число протонов 92, число нейтронов 147) претерпел электронный бета-распад. Определить число протонов в ядре образовавшегося элемента.

3.27. Определить в эВ работу выхода фотоэлектрона из металла, если фотоэффект начинается при частоте света 1000 ТГц.

3.28. Дефект массы ядра изотопа He_2^4 гелия равен 0,006 а.е.м. Определить число нейтронов в ядре, если его масса равна 3,017 а.е.м.

3.29. Масса ядра одного из изотопов лития Li_3^6 равна 6,017 а.е.м. Определить в а.е.м. дефект массы этого ядра.

3.30. Во сколько раз число протонов в ядре изотопа германия Ge_{32}^{72} больше числа нейтронов в ядре изотопа кислорода O_{16}^8 ?

3.31. Ядро атома кислорода содержит 8 протонов и 8 нейтронов. Во сколько раз в атоме кислорода масса ядра больше массы всех электронов? Принять, что масса электрона составляет 1/2000 массы нуклона. Дефектом массы пренебречь.

3.32. При поглощении фотона с энергией 8 эВ атом переходит в возбуждённое состояние с энергией –3,4 эВ. Найти в эВ энергию атома в основном состоянии.

3.33. Энергия каждого кванта света, вызывающего фотоэффект из металла, равна 2,5 эВ. На сколько электрон-вольт возрастёт максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, если энергия падающего кванта будет в 3 раза больше?

3.34. Масса фотона составляет 1,6 а.е.м. Определить в ГэВ энергию этого фотона.

3.35. Поверхность металла облучается светом, энергия одного кванта которого равна 5,6 эВ. Работа выхода электрона из металла 3 эВ. Найти в эВ максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона.

3.36. Найти в ТГц частоту красной границы фотоэффекта, если работа выхода электрона из облучаемого светом металла 0,825 эВ.

3.37. Массовое число атома цинка равно 65, число нейтронов в ядре этого атома равно 35. Сколько электронов в атоме цинка?

3.38. Определить в эВ работу выхода электронов из металла, если фотоэффект начинается при частоте падающего света 400 ТГц.

3.39. Определить в пДж энергию покоя электрона.

3.40. В результате взаимодействия ядра азота N_{14}^7 с ядром гелия He_2^4 образуется изотоп кислорода и протон. Чему равно массовое число образовавшегося изотопа кислорода?

3.41. Атом при переходе из стационарного состояния с энергией –6 эВ излучил квант энергии 10 эВ и перешёл в основное стационарное состояние. Определить в эВ энергию атома в основном состоянии.

3.42. Электрон в атоме перешёл с одного энергетического уровня на другой, излучив при этом квант света частотой 800 ТГц. На сколько электрон-вольт уменьшилась энергия атома?

3.43. Энергия каждого кванта света, которым облучается металл, в пять раз больше работы выхода электрона из этого металла. Какую долю от энергии кванта составляет максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, вылетевшего из металла?

3.44. При взаимодействии ядра алюминия Al_{13}^{27} с ядром гелия He_2^4 образуется нейтрон и ядро изотопа фосфора с массовым числом, равным 30. Определить атомный номер образовавшегося ядра фосфора.

3.45. Атомный номер азота 7, удельная энергия связи 6 МэВ, полная энергия связи 72 МэВ. Сколько нейтронов в ядре этого элемента?

3.46. Во сколько раз энергия каждого кванта света, которым облучается металл, больше работы выхода электрона из этого металла, если работа выхода в два раза больше максимальной кинетической энергии фотоэлектронов?

3.47. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, вылетающего из металла, в 3 раза больше работы выхода электрона из этого металла. Во сколько раз энергия фотона больше работы выхода?

3.48. В ядре одного из изотопов калия 19 протонов и 21 нейтрон. Удельная энергия связи для этого ядра 8,5 МэВ. Определить в МэВ минимальную энергию, необходимую для того, чтобы разделить это ядро на составляющие его нуклоны.

3.49. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, вылетающего из металла, в 3 раза больше работы выхода электрона из этого металла. Во сколько раз энергия фотона больше работы выхода?

3.50. Поверхность металла облучается светом, в котором каждый квант обладает энергией 4,5 эВ. Работа выхода электрона из этого металла равна 2,5 эВ. Найти в эВ максимальную кинетическую энергию, с которой фотоэлектрон может вылететь из металла.

3.51. Определить в ТГц частоту света, если известно, что энергия каждого из его фотонов равна 3,3 эВ.

3.52. На сколько электрон-вольт изменится работа выхода электрона из металлической пластинки, если энергия падающих на пластинку фотонов изменится с 4 эВ до 6 эВ?

3.53. Найти в МэВ энергию связи ядра изотопа некоторого элемента, дефект массы которого равен 0,04 а.е.м.

3.54. В результате ядерной реакции ядро захватывает нейтрон и испускает протон. На сколько единиц изменилось в ходе реакции массовое число ядра?

3.55. Ядро изотопа полония At_{84}^{209} претерпело электронный бета-распад. Определить число протонов в образовавшемся ядре.

Задачи 4 класса трудности

4.1. Кальций и цирконий имеют в периодической таблице Менделеева порядковые номера 20 и 40 соответственно. Во сколько раз заряд всех ядер в одном моле циркония больше заряда всех ядер в двух молях кальция?

4.2. Энергия каждого фотона в пучке монохроматического света равна 1,5 эВ. Определить в нм длину волны этого света.

4.3. При исследовании фотоэффекта образца из алюминия нашли, что длина волны красной границы фотоэффекта равна 412,5 нм. Определить в эВ работу выхода электрона из этого образца.

4.4. При облучении медной пластинки квантами света, каждый из которых имеет энергию 5,4 эВ, наблюдается фотоэффект. Работа выхода электрона из меди равна 4,1 эВ. Найти в СИ минимальное задерживающее напряжение, при котором фототок в этом опыте равен нулю.

4.5. Фотоны с энергией 2,1 эВ вызывают фотоэффект с поверхности цезия, работа выхода которого равна 1,9 эВ. На сколько электрон-вольт нужно увели-

чить энергию фотона, чтобы максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона увеличилась в три раза?

4.6. Найти в МэВ энергию связи ядра изотопа кадмия, если известно, что дефект массы ядра этого изотопа составляет 0,008 а.е.м.

4.7. В результате взаимодействия ядра атома плутония с альфа-частицей образуется ядро атома кюрия ^{242}Cm и нейтрон. Определить массовое число ядра плутония.

4.8. Для ионизации атома некоторого химического элемента необходима энергия 4,125 эВ. Найти в ТГц минимальную частоту электромагнитного излучения, способного вызвать ионизацию.

4.9. При облучении поверхности металла светом частотой 260 ТГц максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона равна работе выхода электрона из металла. Определить в ТГц частоту красной границы фотоэффекта.

4.10. Фотокатод облучается монохроматическим светом частотой $2 \cdot 10^{14}$ Гц. Работа выхода электрона с поверхности фотокатода 0,825 эВ. С какой максимальной скоростью вылетают фотоэлектроны? Ответ дать в СИ.

4.11. Для ионизации атома некоторого химического элемента необходима энергия 0,825 эВ. Найти в ТГц минимальную частоту электромагнитного излучения, способного вызвать ионизацию.

4.12. При поглощении кванта света частотой 600 ТГц, атом перешёл из стационарного состояния с энергией $E = -6,875$ эВ в другое стационарное состояние. Определить в эВ энергию конечного стационарного состояния атома.

4.13. Энергия связи ядра атома лития равна 29,88 МэВ. Найти в а.е.м. дефект массы этого ядра.

4.14. При облучении поверхности металла монохроматическим излучением частотой 300 ТГц максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона в два раза меньше работы выхода электрона из металла. Найти в ТГц частоту красной границы фотоэффекта.

4.15. Энергия одного кванта света равна 31,35 эВ. Найти в ТГц частоту света.

4.16. Атом при переходе из стационарного состояния с энергией $E = -6$ эВ в основное состояние излучил квант света частотой 1200 ТГц. Определить в эВ энергию атома в основном состоянии.

4.17. Найти в ТГц частоту монохроматического света, если энергия каждого кванта в нём равна 8,25 эВ.

4.18. Масса ядра одного из изотопов лития равна 7,007 а.е.м. Определить в а.е.м. дефект массы этого ядра, если атомный номер лития 3, а массовое число 7.

4.19. Определить в ТГц частоту света, падающего на поверхность металла, если работа выхода электрона из этого металла равна 3 эВ, а максимальная кинетическая энергия вылетающих электронов равна 1,125 эВ.

4.20. Определить в пДж энергию связи ядра изотопа некоторого элемента, дефект массы которого равен 0,05 а.е.м.

4.21. Ядро изотопа магния (массовое число 24, атомный номер 12) подвергается бомбардировке протонами. Определить число нуклонов в образующемся в результате реакции ядре, если реакция сопровождается испусканием альфа-частиц.

4.22. Фотосинтез в зелёном листе растений интенсивно проходит при поглощении красного света с длиной волны 0,66 мкм. Определить в эВ энергию одного фотона этого света.

4.23. При взаимодействии ядра алюминия (массовое число 27, атомный номер 13) с альфа-частицей образовалось новое ядро и протон. Определить атомный номер образовавшегося элемента.

4.24. Какая минимальная энергия необходима для расщепления ядра изотопа лития на составляющие его нуклоны, если массовое число 7, заряд ядра – 3, масса ядра – 7,017 а.е.м? Ответ дать в МэВ. Учесть, что массе 1 а.е.м. соответствует энергия покоя 931 МэВ.

4.25. Во сколько раз частота излучения, падающего на металл, больше частоты красной границы фотоэффекта для этого металла, если максимальная кинетическая энергия вылетающих электронов равна работе выхода электрона из металла?

4.26. При электрическом разряде в трубке, наполненной криптоном (массовое число 86), излучаются фотоны с энергией 1,5 эВ. Определить в нм длину волны излучения.

4.27. Излучение источника видимого света лежит в интервале частот от 400 ТГц до 750 ТГц. Во сколько раз отличаются импульсы фотонов, соответствующих границам спектра?

4.28. В результате взаимодействия ядра дейтерия, масса которого $m_1 = 2,014$ а.е.м., с ядром трития ($m_2 = 3,016$ а.е.м.) образуется ядро атома гелия ($m_3 = 4,001$ а.е.м.) и нейтрон. Какая энергия выделяется при этой термоядерной реакции? Ответ дать в МэВ. Учесть, что 1 а.е.м. соответствует энергии 931 МэВ.

4.29. При термоядерной реакции слияния ядра дейтерия с ядром трития выделяется 18 МэВ энергии. Определить в ГДж суммарную энергию, которая выделится, если прореагирует 1 г дейтерия.

4.30. Работающий в непрерывном режиме газовый лазер даёт монохроматическое излучение с частотой 500 ТГц, излучая каждую секунду 66 мДж энергии. Сколько фотонов испускает такой лазер в течение одной пикосекунды?

4.31. При столкновении альфа-частицы с ядром бериллия, имеющем 4 протона, происходит ядерная реакция, в результате которой образуется новое ядро и нейтрон. Определить для нового ядра его атомный номер в таблице Менделеева.

4.32. В результате взаимодействия ядра алюминия (число протонов в ядре равно 13, массовое число 27) с альфа-частицей образуется ядро изотопа фосфора и нейтрон. Определить массовое число образующегося ядра.

4.33. Протон взаимодействует с ядром изотопа кислорода (атомный номер изотопа 8, массовое число 17). В результате реакции образуется новое ядро и нейтрон. Чему равен атомный номер нового ядра?

4.34. В результате взаимодействия гамма-кванта с ядром кальция (атомный номер 20, массовое число 40) образуются ядро нового атома и протон. Чему равно массовое число нового ядра?

4.35. Две металлические пластинки, работа выхода из которых равна 3 эВ и 4 эВ соответственно, освещаются монохроматическим светом. Энергия одного фотона этого света равна 5 эВ. Во сколько раз максимальная кинетическая

энергия электрона, вылетающего из первой пластинки, больше, чем максимальная кинетическая энергия электрона, вылетающего из второй пластинки?

4.36. С какой максимальной скоростью вылетают электроны из металла при облучении его фотонами с энергией 4,52 эВ, если работа выхода электрона из этого металла равна 2,7 эВ? Ответ дать в км/с.

4.37. Определить в эВ работу выхода электрона из металла, если фотоэффект начинается при частоте падающего света 800 ТГц.

4.38. В процессе ядерной реакции в ядро попадает ускоренный протон, и вылетает альфа-частица. На сколько единиц (в элементарных единицах заряда e) уменьшается при этом заряд ядра - мишени?

4.39. Электрон в атоме водорода находится в стационарном состоянии с энергией, равной $-13,6$ эВ. Определить в эВ энергию состояния, в котором окажется электрон после поглощения атомом фотона частотой $3 \cdot 10^{15}$ Гц.

4.40. Атом находится в возбуждённом состоянии с энергией, равной $-2,35$ эВ. Определить в эВ энергию атома после его перехода в основное состояние, если этот процесс сопровождается излучением одного фотона частотой $4 \cdot 10^{14}$ Гц.

4.41. Во сколько раз энергия рентгеновского фотона, имеющего длину волны 0,1 нм, больше энергии фотона видимого света с длиной волны 500 нм?

4.42. В результате захвата нейтрона ядром изотопа азота (атомный номер 7, массовое число 14) образуется новое ядро и протон. Чему равен атомный номер нового ядра?

Задачи 5 класса трудности

5.1. Бариевый фотокатод облучается монохроматическим светом, в котором энергия каждого светового кванта равна 3,42 эВ. Работа выхода электрона из этого катода 1,6 эВ. Определить в км/с максимальное значение скорости электронов, вылетающих из катода в результате фотоэффекта.

5.2. Поверхность металла облучается монохроматическим светом. Было определено, что задерживающее напряжение для фотоэлектронов равно 2,485 В. Определить в ТГц частоту падающего на металл света, если работа выхода электрона из этого металла равна 1,64 эВ.

5.3. Поверхность калия облучается монохроматическим светом частотой $8 \cdot 10^{14}$ Гц. Работа выхода электрона из калия 2,2 эВ. Определить в эВ максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона в этом опыте.

5.4. Найти в СИ задерживающее напряжение для фотоэлектронов, испускаемых при освещении калия светом с длиной волны 330 нм. Работу выхода электрона из калия принять равной 2 эВ.

5.5. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона красного света, частота которого 455 ТГц. Ответ дать в км/с.

5.6. Найти в ТГц частоту света, вырывающего с поверхности фотокатода электроны, полностью задерживающиеся отрицательным потенциалом 1,65 В. Частота красной границы фотоэффекта для материала катода 300 ТГц.

5.7. Вычислить в МэВ энергию связи ядра атома дейтерия, состоящего из 1 протона и 1 нейтрона. Масса ядра равна 2,0136 а.е.м.

5.8. При облучении поверхности фотокатода монохроматическим светом с частотой 1100 ТГц фотоэлектроны удаётся полностью затормозить отрицательным потенциалом 0,4125 В. Найти в ТГц частоту красной границы фотоэффекта для данного фотокатода.

5.9. Определить в эВ энергию фотона, падающего на поверхность металла, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона равна 2,475 эВ, а частота красной границы фотоэффекта для этого металла равна $4 \cdot 10^{14}$ Гц.

5.10. Литиевый фотокатод облучается монохроматическим светом, в котором энергия каждого кванта равна 3,6 эВ. Величина задерживающего напряжения для фотоэлектронов, вырываемых светом с поверхности лития, равна 1,2 В. Определить в эВ работу выхода электрона из лития.

5.11. Дефект массы ядра изотопа гелия (число протонов 2, число нейтронов 1) равен 0,005 а.е.м. Определить удельную энергию связи этого ядра. Ответ дать в пДж на нуклон.

5.12. Поверхность металла облучается монохроматическим светом с энергией кванта 3,3 эВ. Работа выхода электрона из этого металла равна 2 эВ. Определить в СИ величину задерживающего напряжения.

5.13. Масса ядра изотопа бериллия (число протонов 4, число нейтронов 3) равна 7,02 а.е.м. Определить удельную энергию связи этого ядра. Ответ дать в пДж на нуклон.

5.14. Два одинаковых цезиевых образца облучаются светом от двух разных источников монохроматического света с частотами квантов 600 ТГц и 500 ТГц. Максимальные кинетические энергии фотоэлектронов при этом отличаются в два раза. Определить в эВ работу выхода электрона из цезия.

5.15. Энергия связи ядра кальция равна 7,47 МэВ, число протонов в ядре 20, число нейтронов – тоже 20. Определить в а.е.м. массу ядра кальция.

5.16. Определить энергию кванта монохроматического света, падающего на поверхность металла, если максимальная энергия фотоэлектрона, вылетающего из металла, равна 1,275 эВ. Частота красной границы фотоэффекта для этого металла составляет 10^{15} Гц.

5.17. Найти в эВ энергию кванта в пучке монохроматического света с длиной волны 300 нм.

5.18. Определить в нм длину волны излучения, если каждый квант этого излучения обладает энергией 1,5 эВ.

5.19. Во сколько раз энергия фотона рентгеновского излучения с длиной волны 1 нм, больше энергии фотона видимого света с частотой $6 \cdot 10^{14}$ Гц?

5.20. Определить в нм длину волны красной границы фотоэффекта для некоторого металла, если работа выхода электрона из этого металла равна 4,125 эВ.

5.21. В результате захвата альфа-частицы ядром изотопа азота (массовое число 14, атомный номер 7) образуется протон и новое ядро. Определить число протонов в новом ядре.

5.22. Металлическая пластинка, работа выхода электрона из которой равна 2,475 эВ, последовательно освещается излучением с частотой $7 \cdot 10^{14}$ Гц и $8 \cdot 10^{14}$ Гц. Во сколько раз увеличивается при этом максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона?

5.23. Калиевый фотокатод облучается монохроматическим светом с длиной волны 450 нм. Работа выхода электрона из калия равна 2 эВ. Определить в эВ максимальную кинетическую энергию электрона, вылетающего из фотокатода.

5.24. Длина волны красной границы фотоэффекта для некоторого металла равна 275 нм. Определить в эВ минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект из этого металла.

5.25. Атом, получив в результате неупругого соударения с электроном энергию 4,5 эВ, излучает квант света. Определить в нм наименьшую возможную длину волны излучения.

5.26. Во сколько раз масса покоя электрона больше массы фотона видимого излучения с длиной волны 660 нм?

5.27. На сетчатку глаза человека направлен свет с длиной волны 495 нм. Глаз воспринимает излучение данной длины волны при мощности светового потока, не меньшей $3 \cdot 10^{-16}$ Вт. Определить минимальное число фотонов, которые должны попасть на сетчатку глаза за 2 секунды, чтобы человек заметил свет.

5.28. Атом водорода может находиться в основном состоянии с энергией $E = -13,6$ эВ и в возбуждённых состояниях с энергиями $E_1 = -3,4$ эВ, $E_2 = -1,4$ эВ. Во сколько раз энергия фотона, испущенного при переходе атома из первого возбуждённого состояния в основное, больше энергии фотона, испущенного при переходе атома из второго возбуждённого состояния в первое возбуждённое состояние?

5.29. Во сколько раз изменилась мощность источника электромагнитного излучения, если при неизменной частоте излучения число квантов, испускаемых источником за 10 с, уменьшилось со 120 до 100?

5.30. Если освещать фотокатод светом с частотой 600 ТГц, то минимальное напряжение, при котором прекращается фототок, $U_{\min} = 1,125$ В. Определить в СИ значение U_{\min} при облучении этого же фотокатода светом с частотой $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц.

5.31. Определить в МэВ энергию, выделяющуюся при образовании ядра изотопа гелия (массовое число – 3, атомный номер – 2) из отдельных нуклонов, если масса ядра изотопа равна 3,007 а.е.м.

5.32. Работа выхода электрона из некоторого металла 4,125 эВ. Определить в нм максимальную длину падающего на металл излучения, при которой возможен фотоэффект.

5.33. Сколько фотонов монохроматического света прошло через отверстие в диафрагме, если их суммарная энергия равна 13,2 эВ, а длина волны света 750 нм?

5.34. При испускании атомом фотона полная энергия атома изменилась на 4,125 эВ. Найти в нм длину волны излученного фотона.

5.35. Излучение с частотой $2 \cdot 10^{15}$ Гц падает на вещество, для которого частота красной границы фотоэффекта равна $1 \cdot 10^{15}$ Гц. Определить в эВ максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона в этом опыте.

5.36. Определить в нм длину волны излучения, если каждый квант этого излучения обладает энергией 1,5 эВ.

5.37. На сколько электрон вольт изменяется энергия атома при излучении им фотона с длиной волны 412,5 нм?

Задачи 6 класса трудности

6.1. На изолированную металлическую пластинку, потенциал которой равен нулю, направлено монохроматическое излучение с частотой 800 ТГц. До какого потенциала зарядится пластинка при длительном освещении, если работа выхода электрона из неё равна 2 эВ? Ответ дать в СИ.

6.2. В результате захвата нейтрона ядром изотопа азота (массовое число 14, атомный номер 7) образуется альфа-частица и новое ядро. Определить число нейтронов в новом ядре.

6.3. Найти в ТГц частоту света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов 3,3 В. Фотоэффект начинается при частоте света 600 ТГц.

6.4. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с длиной волны 500 нм. При задерживающей разности потенциалов между катодом и анодом 1,2 В фототок прекращается. Определить в эВ работу выхода электрона из материала катода.

6.5. Электрон, ускоренный электрическим полем, приобрел скорость, при которой его полная энергия стала в 2,6 раза больше энергии покоя. Определить в кВ разность потенциалов, пройденную электроном.

6.6. Во сколько раз длина волны излучения, падающего на металлическую пластинку, меньше длины волны красной границы фотоэффекта, если максимальная кинетическая энергия вылетающих электронов в два раза больше работы выхода электрона из металла?

6.7. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с длиной волны λ . Известно, что при задерживающей разности потенциалов между катодом и анодом, равной 2 В, фототок прекращается. Работа выхода электрона из материала катода равна 2,125 эВ. Определить в нм величину λ .

6.8. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить в СИ величину задерживающей разности потенциалов, которую нужно приложить, чтобы задержать электроны, испускаемые под действием ультрафиолетовых лучей с частотой 10^{15} Гц.

6.9. Одна из пластин плоского воздушного незаряженного конденсатора освещается светом с частотой 10^{15} Гц. Фотоэлектроны, попадающие на другую пластину, заряжают её, в результате чего между обкладками конденсатора возникает разность потенциалов U . Определить в СИ максимальное значение U , если работа выхода электрона равна 2 эВ.

6.10. Катод фотоэлектронного устройства облучается излучением с частотой 1000 ТГц. При увеличении частоты в 1,2 раза задерживающее напряжение между катодом и анодом, при котором фототок становится равным нулю, увеличивается в 1,5 раза. Определить в ТГц частоту красной границы фотоэффекта для материала фотокатода.

6.11. При освещении катода вакуумного фотоэлемента светом частотой 10^{15} Гц фототок с поверхности катода прекращается при разности потенциалов

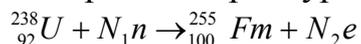
между катодом и анодом 2 В. Определить в эВ работу выхода электрона из материала катода.

6.12. При освещении фотоэлемента светом с длиной волны 500 нм фотоэлектроны полностью задерживаются напряжением 1,125 В. Определить в СИ величину задерживающего напряжения при облучении фотоэлемента светом с длиной волны 250 нм.

6.13. В среде с абсолютным показателем преломления n распространяется монохроматическое электромагнитное излучение с длиной волны 82,5 нм. Энергия каждого фотона этого излучения 10 эВ. Определить n .

6.14. Катод вакуумного фотоэлемента освещается монохроматическим ультрафиолетовым светом. При увеличении задерживающего напряжения между катодом и анодом выше 4,25 В фототок прекращается. Определить в ТГц частоту света. Работа выхода электрона из материала катода равна 4 эВ.

6.15. Сотый элемент таблицы Менделеева фермий Fm впервые был получен путем кратковременного облучения урана сверхмощным потоком нейтронов. В этих условиях ядро урана может сразу поглотить более десяти нейтронов и затем, путем ряда β -распадов перейти в трансурановый элемент:



Сколько нейтронов поглотило ядро урана и сколько электронов было испущено в ходе этой ядерной реакции? Ответ дать в виде разности $N = N_1 - N_2$.

6.16. В атомной подводной лодке “Наутилус“ (США) мощность ядерного реактора равна 15 МВт, а к.п.д. – 20%. Ядерное горючее для реактора выполнено в виде одинаковых стандартных устройств, которые называются тепловыделяющими элементами (сокращённо – ТВЭЛ). Каждый ТВЭЛ содержит делящееся вещество (обогащенный уран) массой 1 кг и обеспечивает надежный отвод тепла от топлива к теплоносителю. Какое минимальное количество ТВЭЛов необходимо для годового плавания лодки, если при делении 1 кг урана выделяется энергия $7 \cdot 10^{13}$ Дж? Считать, что 1 год равен $3 \cdot 10^7$ с.

Задачи 7 класса трудности

7.1. В опыте А. Столетова на цинковую пластинку направлялось излучение от электрической дуги. До какого максимального потенциала заряжалась при этом пластинка, если наименьшая длина волны в спектре излучения дуги равнялась 300 нм? Работа выхода электрона из цинка 3,3 эВ. Ответ дать в СИ.

7.2. Третий блок Белоярской АЭС имеет электрическую мощность 600 МВт при к.п.д., равном 47 процентов. Определить в СИ массу урана ${}^{235}U$, расходуемого в течение двух суток, если известно, что при делении одного ядра этого элемента выделяется энергия 200 МэВ.

7.3. На один из вольфрамовых электродов двухэлектродной лампы падает излучение с длиной волны 150 нм. Между электродами приложено тормозящее напряжение 10 В. На каком расстоянии от облучаемого электрода скорость электронов уменьшится до нуля, если расстояние между электродами 40 см? Работа выхода электрона 4,5 эВ. Ответ дать в см.

7.4. В результате реакции слияния неподвижных ядер дейтерия (заряд ядра $Z = 1$, массовое число $A = 2$) и трития ($Z = 1$, $A = 3$) образуется новое ядро и ней-

трон. Определить, какую часть выделившейся при реакции энергии составляет кинетическая энергия нейтрона. Не учитывать дефект массы и разницу между массами протона и нейтрона.

7.5. На катод фотоэлемента падает излучение с частотой 10^{15} Гц. При увеличении частоты излучения в два раза задерживающее напряжение между катодом и анодом фотоэлемента возрастает в три раза. Определить в нм длину волны красной границы фотоэффекта для данного фотоэлемента.

7.6. Атомный реактор приводит в действие турбогенератор мощностью 200 МВт. Определить в процентах к.п.д. генератора, если в течение суток расходуется 470 г урана ^{235}U , а при делении одного ядра ^{235}U выделяется энергия 200 МэВ. Принять, что число Авогадро равно $6 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

7.7. Луч лазера мощностью 51 мВт падает на поглощающую поверхность. Определить в пН силу светового давления луча на поверхность.

7.8. Капля воды объёмом 0,1 мл нагревается светом с длиной волны 750 нм, поглощая $7 \cdot 10^{10}$ фотонов в секунду. Определить в нК/с скорость нагревания воды, считая, что вся энергия, полученная каплей, расходуется только на её нагревание. Удельная теплоёмкость воды 4,2 кДж/(кг·К).

7.9. В одном из проектов системы противоракетной обороны предлагалось вывести на орбиту химический лазер, создающий излучение мощностью $2,52 \cdot 10^7$ Вт. Энергия и импульс каждого фотона этого излучения равны: $E = 1,875$ эВ, $p = 10^{-24}$ г·м/с. Определить в мН силу отдачи, действующую на лазер при его работе.

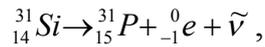
7.10. Плоский алюминиевый катод электронной лампы освещается излучением с длиной волны 165 нм. Определить в мм максимальное расстояние, на которое может удалиться от катода фотоэлектрон в тормозящем однородном электрическом поле напряжённостью 37,5 В/см. Длина волны красной границы фотоэффекта для алюминия 330 нм.

7.11. Луч лазера с длиной волны 660 нм имеет вид конуса с углом при вершине 10^{-4} рад. Оптическая мощность излучения равна 3 мВт. Определить в СИ максимальное расстояние от лазера до наблюдателя, при котором наблюдатель сможет увидеть лазерный луч. Учесть, что глаз воспринимает свет при условии, что на сетчатку попадает не менее 100 фотонов за секунду. Диаметр зрачка принять равным 0,5 см.

7.12. Невозбуждённый атом водорода налетает с кинетической энергией T на другой такой же, но неподвижный атом. В результате происходит неупругое лобовое соударение. Определить в эВ минимальное значение T , при котором данный процесс может сопровождаться испусканием фотона. Учесть, что энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ.

7.13. Водородная лампа работает в режиме, при котором в спектре излучения присутствуют все спектральные линии водорода. Свет лампы падает на фотоэлемент с палладиевым катодом. Работа выхода электрона из палладия равна 5 эВ. Определить в СИ величину напряжения, полностью прекращающего ток в фотоэлементе.

7.14. Реакция распада неподвижного ядра кремния $^{31}_{14}\text{Si}$ протекает по схеме:



где символом $\tilde{\nu}$ обозначено антинейтрино – нейтральная частица, энергия покоя которой равна нулю. Масса ядра кремния ${}_{14}^{31}\text{Si}$ равна 30,9753 а.е.м., масса ядра фосфора ${}_{15}^{31}\text{P}$ равна 30,9738 а.е.м. Кинетическая энергия образовавшегося электрона равна его энергии покоя – 0,51 МэВ. Пренебрегая кинетической энергией ядра фосфора, определить в МэВ энергию антинейтрино. Принять, что энергия покоя частицы с массой 1 а.е.м. равна 931 МэВ.

7.15. Атом водорода находится в возбужденном состоянии, и его электрон вращается по боровской орбите с номером n . При переходе атома в основное состояние он излучает два фотона. Импульс первого из них равен $1,36 \cdot 10^{27}$ кг·м/с, частота второго равна частоте красной границы фотоэффекта для материала, у которого работа выхода электрона составляет 10,2 эВ. Определить значение n . Учесть, что энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ.

7.16. Монохроматический параллельный пучок фотонов, падающий нормально на чёрную пластинку, оказывает на нее давление 0,4 мкПа. Энергия каждого фотона в пучке 10 эВ, коэффициент поглощения света пластинкой равен 100%. Определить в СИ число фотонов, пролетающих в единицу времени через единицу площади поперечного сечения пучка.

7.17. Электрон в атоме водорода перешёл со второй боровской орбиты на первую, и в результате атом излучил фотон. Этот фотон попал на катод фото диода и выбил из него электрон с кинетической энергией T . Работа выхода электрона из катода равна 8,2 эВ. Определить в эВ максимально возможное значение величины T в этом процессе. Учесть, что энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ.

Задачи 8 класса трудности

8.1. Свободное неподвижное ядро иридия ${}^{192}\text{Ir}$ находится в возбужденном состоянии. Энергия возбуждения этого состояния равна 112,5 кэВ. В результате перехода ядра в основное состояние испускается γ -квант. Принимая энергию покоя ядра иридия равной 180 ГэВ, определить, во сколько раз энергия излученного γ -кванта больше энергии отдачи ядра? Использовать формулу:

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}, \text{ если } x < 10^{-3}.$$

8.2. В результате абсолютно упругого соударения фотона и протона, летевших по взаимно перпендикулярным направлениям, протон остановился, а длина волны фотона изменилась на 20%. Скорость протона до столкновения много меньше скорости света, энергия покоя протона принять равной 936 МэВ. Определить в МэВ энергию фотона до столкновения.

8.3. Фотон рентгеновского излучения с энергией, составляющей 5,25% энергии покоя электрона, сталкивается с неподвижным электроном и после удара улетает в противоположном направлении. Удар – упругий и центральный. Определить в СИ скорость электрона после столкновения, полагая, что она много меньше скорости света.

ТЕМА 12. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ

Задачи 4 класса трудности

4.1. Спортсмен бежит со скоростью 10 м/с перпендикулярно оси телекамеры на расстоянии 20 м от неё. Расстояние от объектива камеры до фотоприёмника, на котором формируется изображение, равно 25 см. Определить в см/с скорость перемещения изображения спортсмена по фотоприёмнику.

4.2. В однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл находится прямолинейный проводник с током под углом 30° к вектору магнитной индукции. Длина проводника 0,8 м, сила тока 15 А. Под действием магнитного поля проводник переместился на расстояние 1,8 м. Определить в СИ совершённую при этом работу.

4.3. Протон, летящий со скоростью 1 км/с, влетает в однородное электростатическое поле с напряжённостью E . Под действием поля он движется с ускорением $8 \cdot 10^{10}$ м/с². Определить в СИ величину E . Масса протона $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

4.4. С каким ускорением будет двигаться частица массой $5 \cdot 10^{-6}$ кг и зарядом 10^{-6} Кл, если её поместить в однородное электрическое поле напряжённостью 10^4 В/м? Ответ дать в СИ.

4.5. Под действием некоторой силы F частица массой 0,01 кг движется с постоянной по величине скоростью 10 м/с по дуге окружности радиусом 0,1 м. Определить в СИ величину F .

4.6. Шар A , движущийся со скоростью 10 м/с, налетает на такой же неподвижный шар B . После неупругого удара шары движутся как одно целое. На сколько градусов увеличилась температура шаров после столкновения, если в теплоту превратилось 40% первоначальной кинетической энергии шара A . Удельная теплоёмкость материала шаров 200 Дж/(кг·К).

4.7. Электрон, пройдя в электрическом поле ускоряющую разность потенциалов U , приобрёл кинетическую энергию $3,2 \cdot 10^{-17}$ Дж. Определить в СИ величину U .

4.8. В однородном электростатическом поле с напряжённостью 10^5 В/м движется вдоль силовых линий поля заряженная частица с зарядом $2 \cdot 10^{-5}$ Кл. На сколько единиц СИ возрастает импульс частицы за 0,5 с полёта?

4.9. Электрон ускоряется в электрическом поле, двигаясь вдоль силовой линии поля. В двух точках траектории электрона A и B его скорость соответственно равна $4 \cdot 10^6$ м/с и $2 \cdot 10^7$ м/с. Определить в СИ разность потенциалов между точками A и B .

4.10. Вокруг положительно заряженного шарика вращается по круговой орбите радиусом $3 \cdot 10^{-3}$ м отрицательно заряженная пылинка массой $1 \cdot 10^{-6}$ кг. Заряд шарика $q_1 = 2 \cdot 10^{-10}$ Кл, заряд пылинки $q_2 = -2 \cdot 10^{-10}$ Кл. Определить в СИ ускорение, с которым движется пылинка.

4.11. Определить в СИ напряжённость электрического поля, под действием которого находящийся в вакууме заряженный шарик движется с ускорением $0,2$ м/с². Заряд шарика 2 нКл, его масса $5 \cdot 10^{-6}$ кг.

Задачи 5 класса трудности

5.1. Выпущенная из ружья свинцовая пуля попала в песок и застряла в нём. При этом 12,6% кинетической энергии пули превратилось в её внутреннюю энергию, и температура пули повысилась на 20 К. Определить в СИ скорость пули. Удельная теплоёмкость свинца 126 Дж/(кг·К).

5.2. Во сколько раз увеличится период колебаний математического маятника при изменении температуры окружающей среды от 0 °С до 300 °С, если коэффициент линейного расширения материала нити равен $0,0007 \text{ K}^{-1}$?

5.3. На сколько секунд увеличится период колебаний математического маятника длиной 9,8 м при изменении температуры окружающей среды от 0 °С до 300 °С, если коэффициент линейного расширения материала нити равен $0,0007 \text{ K}^{-1}$?

5.4. Электрон, вылетевший с нулевой скоростью из катода вакуумного диода, приобретает к моменту попадания на анод кинетическую энергию, равную энергии фотона с длиной волны 0,66 мкм (красный свет). Определить в СИ разность потенциалов между катодом и анодом.

5.5. Нейтрон, летящий со скоростью 2260 км/с, поглощается неподвижным ядром кадмия ($A = 112, Z = 48$). Определить в км/с скорость ядра, образующегося в результате ядерной реакции. Массовое число нейтрона принять равным 1.

5.6. Заряженный шарик движется вдоль силовых линий однородного электростатического поля с напряжённостью 10^5 В/м . Заряд шарика 3 мкКл. Определить, на сколько джоулей изменяется кинетическая энергия шарика на пути 15 м.

5.7. Космический аппарат массой 200 кг совершает медленный спуск в плотных слоях некоторой планеты. При этом на него действует постоянная сила сопротивления 600 Н. Найти в СИ приращение температуры спускаемого аппарата на каждом километре пути, если удельная теплоёмкость аппарата 750 Дж/(кг·К). Нагреванием атмосферы пренебречь.

5.8. Колебательный контур содержит конденсатор ёмкостью 10^{-9} Ф и катушку индуктивности. Определить в мкс период электромагнитных колебаний в данном контуре, если известно, что при протекании по катушке тока силой 0,1 А этот ток создаёт магнитный поток через поперечное сечение катушки, равный 10^{-4} Вб .

5.9. В однородном электрическом поле, силовые линии которого вертикальны, находится заряженная капля масла массой 10^{-8} кг . При напряжённости поля $2 \cdot 10^5 \text{ В/м}$ капля неподвижно висит в воздухе. Определить в СИ заряд капли.

5.10. Разность потенциалов между катодом и анодом в электронной лампе равна 91 В, расстояние – 10^{-3} м . Определить в СИ ускорение, с которым электрон, вылетевший из катода лампы, движется к аноду.

5.11. Шарик, подвешенный рядом со стенкой на невесомой нити длиной 10 м, отвели от стенки на угол 90° и отпустили. После удара о стенку шарик отклонился от стенки на угол 60° . На сколько градусов повысилась температура шарика, если в его внутреннюю энергию перешло 10% потерянной механической энергии? Удельная теплоёмкость материала шарика 490 Дж/(кг·К).

5.12. Метеор влетает в атмосферу Земли. В результате взаимодействия с атмосферой он разогревается, плавится и затем полностью испаряется. Определить в СИ минимальную скорость, которой метеор обладает в жидком состоянии. Удельная теплота парообразования вещества, из которого состоит метеор, равна 7,2 кДж/кг.

5.13. В водопаде высотой 1200 м 70% прироста кинетической энергии воды превращается в теплоту нагревания воды. На сколько градусов Цельсия увеличивается температура воды, если её удельная теплоёмкость равна 4200 Дж/(кг·К)? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

5.14. Электродвигатель подъёмного крана работает от напряжения 380 В и потребляет ток 20 А. Определить в процентах к.п.д. механизма, если груз массой 1 т кран поднимает на высоту 19 м за 50 с.

Задачи 6 класса трудности

6.1. Излучение ближнего ультрафиолета частотой 831 ТГц может вызвать расщепление молекулы газа. Определить в СИ минимальную температуру, до которой надо нагреть газ, чтобы процесс расщепления мог произойти при столкновении молекул газа. Считать, что все молекулы газа двигаются со среднеквадратичной скоростью. Принять постоянную Авогадро равной $6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

6.2. Пластмассовый шарик объёмом 10^{-5} м^3 всплывает в воде с постоянной скоростью. Найти в СИ силу тяжести, действующую на шарик.

6.3. Теплоизолированный сосуд содержит электрическую спираль. В сосуд помещают кусок льда массой 1,1 кг с температурой $0 \text{ }^\circ\text{C}$, а спираль подключают к сети постоянного тока с напряжением 110 В. Определить в СИ время, через которое лёд растает, если по спирали протекает ток 5 А. Удельная теплота плавления льда равна 335 кДж/кг.

6.4. К пружинному динамометру подвесили груз, и указатель динамометра опустился на 2,45 см. После этого груз оттянули немного вниз, отпустили, и груз стал колебаться. Определить в СИ период этих колебаний.

6.5. В вакуумной камере создано однородное электрическое поле, напряжённость которого равна 100 В/м и направлена вертикально вниз. В камере свободно падает шарик массой 5 г. На сколько единиц СИ изменится ускорение свободного падения шарика, если ему сообщить заряд $4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$?

6.6. Положительно заряженная пылинка массой $4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ и зарядом $2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$, движется по круговой орбите радиусом 0,1 м вокруг отрицательно заряженного шарика. Заряд шарика равен $-2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$. Определить в СИ скорость движения пылинки.

6.7. На дифракционную решётку падает нормально пучок света от газоразрядной трубки, заполненной водородом. Спектральная линия, возникающая при переходе атома водорода между уровнями с энергиями $-1,4 \text{ эВ}$ и $-3,4 \text{ эВ}$, наблюдается в спектре четвертого порядка ($k = 4$) под углом 30° . Определить в мкм период решётки.

6.8. Импульсный индикатор, излучающий свет с длиной волны 600 нм, получает энергию от конденсатора, который предварительно заряжают до разности потенциалов 10 В. В процессе излучения конденсатор полностью разряжа-

ется, время его разрядки равно 0,1 с. Определить в СИ среднее число фотонов, излучаемых индикатором в единицу времени в течение импульса. Ёмкость конденсатора 3,3 нФ.

6.9. Частица с импульсом 10^{-8} кг·м/с влетает в однородное магнитное поле с индукцией 0,01 Тл и под действием поля движется в нём по окружности радиусом 1 м. Найти в мкКл заряд частицы.

6.10. Свинцовая пуля, летевшая со скоростью u , при ударе о препятствие расплавилась, при этом 8% кинетической энергии пули превратилось в её внутреннюю энергию. Температура пули до удара 27 °С, температура плавления свинца 327 °С, удельная теплота плавления 23,5 кДж/кг, удельная теплоёмкость 130 Дж/(кг·К). Определить в СИ величину u .

6.11. Стальная пуля массой 9 г, летевшая со скоростью 300 м/с, попадает в закреплённую на неподвижной подставке стальную мишень массой 2,991 кг и застревает в ней. Определить в СИ изменение температуры мишени, если температура пули до попадания в мишень равна температуре мишени. Считать, что вся кинетическая энергия пули превращается в тепло. Удельная теплоёмкость стали 450 Дж/(кг·К).

6.12. Электрон движется под действием электрического поля по некоторой траектории, проходящей через точки A и B . Разность потенциалов между этими точками 100 В. A - начальная точка траектории, в ней скорость электрона равна нулю. Определить в км/с скорость электрона в точке B . Удельный заряд электрона (отношение заряда электрона к его массе) принять равным $1,8 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

6.13. Электрон с начальной скоростью $u_0 = 3,2 \cdot 10^6$ м/с влетает в вакууме в однородное электрическое поле с напряжённостью $E = 9,1$ В/м. Векторы u_0 и E параллельны. Определить в СИ время, через которое скорость электрона станет равной нулю.

6.14. В процессе ядерного синтеза 20 г водорода превращаются в 19,9736 г гелия. Сколько тонн льда, взятого при 0 °С, можно растопить, полностью используя выделившуюся при синтезе энергию? Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.

6.15. Резиновую камеру, накачанную воздухом до давления 200 кПа и объёма 5 л, опускают с поверхности озера на глубину 5 м. Определить в литрах объём камеры на этой глубине. Считать, что давление, создаваемое растянутой резиной, и температура воды при опускании камеры не изменяются. Ускорение свободного падения принять 10 м/с².

6.16. Соленоид, состоящий из 1000 витков, замкнут накоротко и помещён в магнитное поле так, что его ось параллельна линиям магнитной индукции. Площадь поперечного сечения соленоида 40 см², сопротивление 160 Ом. Индукция магнитного поля нарастает с постоянной скоростью $B' = 10^{-3}$ Тл/с, вследствие этого в соленоиде протекает ток. Определить в мкВт мощность тепловой энергии, выделяющейся в соленоиде.

6.17. В электронной лампе расстояние между катодом и анодом равно $2 \cdot 10^{-3}$ м. Электрон, вылетевший с катода со скоростью $4 \cdot 10^3$ м/с, долетает до анода за 10^{-7} с. Считая электрическое поле в лампе однородным, определить в СИ его напряжённость.

Задачи 7 класса трудности

7.1. Точные астрономические часы с секундным маятником установлены и выверены в подвальном помещении на уровне Земли. На сколько секунд будут отставать за сутки эти часы, если их перенести на верхний этаж высотного здания, расположенный на высоте 200 м над уровнем Земли? Радиус Земли принять равным 6400 км.

7.2. Маленький шарик массой 5 г подвешен на нити длиной 1 м в однородном электростатическом поле с напряжённостью $9 \cdot 10^4$ В/м. Силовые линии поля направлены вертикально вниз. Шарик сообщают заряд 5 мкКл, отклоняют от положения равновесия и отпускают. Определить в СИ период колебаний шарика. Ускорение свободного падения незаряженного шарика принять равным 10 м/с^2 .

7.3. Цилиндрический сосуд стоит вертикально. Снизу он закрыт, а сверху - открыт. В сосуд сверху вставляют поршень массой 2 кг и отпускают. Площади поперечных сечений сосуда и поршня одинаковы и равны 10 см^2 . Определить в кПа давление в сосуде в момент, когда поршень падает с максимальной скоростью. Трением пренебречь. Атмосферное давление равно 100 кПа.

7.4. В лазере излучение возникает в результате переходов электронов с энергетического уровня $E_1 = -3,7$ эВ на уровень $E_2 = -6,7$ эВ. Свет от лазера падает нормально на дифракционную решётку с периодом 4,125 мкм. Определить порядок максимума k , наблюдаемого под углом дифракции 30° .

7.5. Проволочный виток с площадью 10 см^2 разрезан в некоторой точке, и в разрез включен конденсатор ёмкостью 10 мкФ. Виток помещён в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны площади витка. В некоторый момент времени магнитная индукция начинает расти с постоянной скоростью $B' = 5 \cdot 10^{-3}$ Тл/с. Вследствие этого конденсатор постепенно заряжается до некоторой предельной величины q_0 . Определить эту величину. Ответ дать в СИ.

7.6. К коромыслу рычажных весов подвешены два груза равной массы. Если один из грузов поместить в керосин, а другой - в воду, то равновесие весов не нарушится. Во сколько раз отличаются плотности грузов? Плотность керосина 800 кг/м^3 .

7.7. В планетарной модели атома водорода электрон движется вокруг протона по определённым (разрешённым) круговым орбитам. На одной из таких орбит угловая скорость электрона равна $2 \cdot 10^{15}$ рад/с. Определить в нм радиус орбиты. Массу электрона принять равной $9 \cdot 10^{-31}$ кг.

7.8. Определить в СИ силу тока в нагревательном элементе электрического чайника, который работает от сети с напряжением 120 В. Чайник вмещает 1,6 л воды, его к.п.д. 80%, и если его наполнить водой с температурой 10°C , то вода закипит через 21 минуту. Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$.

7.9. Определить в СИ частоту, с которой частица массой $2 \cdot 10^{-7}$ кг и зарядом $3,14 \cdot 10^{-6}$ Кл вращается по круговой орбите в магнитном поле с индукцией 0,8 Тл.

7.10. Электрон из состояния покоя начинает двигаться под действием электрического поля и проходит в нём разность потенциалов U . Затем он влетает в однородное магнитное поле с индукцией 9,1 мТл и движется в этом поле по ок-

ружности радиусом 1 см. Оба процесса с электроном происходят в вакууме. Найти в СИ величину U .

7.11. Круглый виток провода замкнут на конденсатор ёмкостью 50 мкФ и помещён в однородное магнитное поле. Диаметр витка 4 см. Нормаль к плоскости витка составляет угол 60° с направлением вектора магнитной индукции. При изменении магнитной индукции с постоянной скоростью B' конденсатор заряжается, причём заряд конденсатора сначала нарастает до величины 6,28 нКл, а затем остаётся неизменным. Определить в СИ величину B' .

7.12. На сколько градусов Цельсия нагреется алюминиевый провод при пропускании по нему электрического тока силой 3 А в течение 1 минуты? Площадь поперечного сечения провода 10 мм². Плотность алюминия равна $2,7 \cdot 10^3$ кг/м³, удельная теплоёмкость 900 Дж/(кг·К), удельное сопротивление $2,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Считать, что вся выделяемая током энергия идет на нагревание провода.

7.13. Электропечь включена в сеть переменного тока с амплитудным значением напряжения 220 В. К.п.д. печи 80%, полное сопротивление её нагревательных элементов 18 Ом. Определить в СИ массу воды, взятой при температуре кипения, которую можно испарить в этой печи за 1 час. Удельная теплота парообразования $2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг.

7.14. В стеклянной бутылке, закрытой резиновой пробкой, находится воздух при температуре T_1 и давлении 10^5 Па, равном атмосферному давлению. Чтобы вытащить пробку из бутылки, к ней нужно приложить силу 40 Н. Если постепенно нагревать бутылку, то при температуре T_2 пробка выскочит сама. Во сколько раз T_2 больше T_1 ? Площадь отверстия горлышка бутылки 20 см².

7.15. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа CO_2 . Температура его у поверхности планеты 800 К, а давление 10^7 Па. Определить в СИ минимальный объём исследовательского зонда массой 1100 кг, необходимый для того, чтобы зонд мог плавать в нижних слоях атмосферы Венеры. Молярная масса углекислого газа 44 г/моль.

7.16. Цилиндрический сосуд заполнен воздухом и поставлен вертикально. На дне сосуда лежит полый стальной шарик объёмом 8,31 см³ и массой 0,58 г. В сосуд начинают накачивать воздух при постоянной температуре 27 °С, и в тот момент, когда давление воздуха достигает некоторой величины p_1 , шарик начинает подниматься вверх. Определить в СИ величину p_1 . Молярная масса воздуха 29 г/моль.

7.17. Определить в нс время, за которое электроны в вакуумном диоде пролетают от катода до анода. Расстояние между катодом и анодом 1 мм, анодное напряжение 182 В. Начальную скорость электронов полагать равной нулю.

7.18. Отклоняющие пластины в электронно-лучевой трубке - квадратные, размером 5×5 см². Напряжённость электрического поля между пластинами 4000 В/м. Определить, на сколько мм смещаются в сторону при прохождении между пластинами электроны с кинетической энергией 2500 эВ.

7.19. Миниатюрный электромотор раздвигает пластины плоского воздушного конденсатора со скоростью 8,85 мм/с (с такой скоростью возрастает расстояние между пластинами). Конденсатор заряжен и отключен от источника

питания, заряд конденсатора 100 мкКл, площадь каждой его пластины $0,5 \text{ м}^2$. Определить в СИ полезную мощность электромотора.

7.20. При выстреле из пушки сгорание пороха в снарядной гильзе приводит к образованию 100 молей порохового газа с температурой 2000 К. К моменту вылета снаряда из ствола пушки температура газа падает до 1000 К. Определить в СИ скорость снаряда в момент вылета, если масса снаряда 2,493 кг. Считать, что выстрел производится в горизонтальном направлении, пороховой газ – одноатомный и идеальный, а процесс расширения газа при выстреле – адиабатический.

7.21. Электрическая лампочка объёмом 0,5 л наполнена идеальным одноатомным газом до давления 2 кПа. Лампочку теплоизолируют и подключают к сети постоянного тока напряжением 12 В. Определить в кПа давление газа в лампочке после пропускания по её спирали тока 1 А в течение 2 с.

7.22. Воздух внутри оболочки воздушного шара вместимостью 1662 м^3 нагревается газовой горелкой до температуры 400 К. Определить в килограммах грузоподъёмность этого шара при температуре окружающего воздуха 290 К и давлении 10^5 Па . Молярная масса воздуха $2,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$. Вес оболочки шара и оборудования не учитывать.

7.23. Определить в СИ массу бензина, которую израсходует двигатель автомобиля на пути 300 км, если масса машины 5 тонн, к.п.д. двигателя 20%, а сила сопротивления движению составляет 0,04 веса машины? Удельная теплота сгорания бензина равна $4,9 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$.

7.24. Путём электролиза слабого раствора серной кислоты получили 8,31 л водорода при $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 10^5 Па . Напряжение между электродами электролитической ванны составляло 6 В, электрохимический эквивалент водорода равен 10^{-8} кг/Кл . Определить в кДж количество израсходованной электроэнергии, если к.п.д. установки 80%.

7.25. Определить в кН среднюю силу сопротивления воды движению корабля, если в течение 20 часов при средней скорости 28,8 км/ч в топке судового двигателя сгорает 72 тонны угля. К.п.д. двигателя 10%, удельная теплота сгорания угля 32 МДж/кг.

7.26. Троллейбус массой 11 т движется равномерно со скоростью 36 км/ч. Коэффициент трения равен 0,02. Найти в СИ силу тока в обмотке электродвигателя, если напряжение равно 550 В, а к.п.д. двигателя 80%.

7.27. Плоские фотокатод и анод расположены параллельно друг другу на расстоянии 4,55 мм в однородном магнитном поле, вектор индукции которого параллелен электродам. Фотокатод облучают светом, в котором энергия кванта равна $6,55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Работа выхода электрона из фотокатода $2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Определить в мТл минимальную индукцию магнитного поля, при которой фототок прекращается. Считать, что электроны вылетают из фотокатода перпендикулярно к его поверхности.

7.28. Электрон влетает со скоростью 10^6 м/с в однородное магнитное поле под углом 60° к линиям индукции. Величина магнитной индукции 10^{-2} Тл . Под действием поля электрон движется по винтовой линии с радиусом R и шагом h .

Определить в мм величину h . Удельный заряд электрона принять равным $e/m = 2 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

7.29. Катушка индуктивности диаметром 4 см, имеющая 400 витков провода сечением 1 мм^2 , расположена в однородном магнитном поле так, что её ось параллельна линиям индукции поля. Концы катушки замкнуты накоротко. Величина магнитной индукции изменяется с постоянной скоростью $V' = 0,1$ Тл/с, вследствие чего в катушке протекает ток. Удельное сопротивление провода катушки $1,57 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Определить в мДж количество теплоты, выделяющейся в катушке за 1с.

Задачи 8 класса трудности

8.1. На горной метеостанции, где давление воздуха равно $0,831 \cdot 10^5$ Па, а температура 300 К, готовят к старту метеорологический зонд, наполняя его гелием. Определить в СИ наименьший радиус зонда, при котором он может подняться в воздух, если зонд имеет форму шара и поверхностная плотность его оболочки равна 50 г/м^2 . Молярная масса гелия равна 4 г/моль, воздуха – 29 г/моль.

8.2. Квадратная проводящая рамка со стороной 10 см, двигаясь со скоростью $u = 4$ м/с, пересекла область однородного магнитного поля, ширина которой превышает размер рамки. Вектор скорости u лежит в плоскости рамки и перпендикулярен вектору магнитной индукции B . Сопротивление рамки 8 Ом, $B = 0,4$ Тл. Определить в мДж количество теплоты, выделившейся в рамке за время её движения через магнитное поле.

8.3. Через двухэлектродную лампу (диод) с плоскими электродами течёт ток 100 мА. Напряжение на лампе 879 В. Определить в мкН силу, с которой действует на анод лампы падающий на него электронный пучок, считая скорость электронов вблизи катода равной нулю. Отношение заряда электрона к его массе принять $175,8$ Кл/мкг.

8.4. На нити длиной 25 см подвешен груз. От удара в горизонтальном направлении груз получает некоторую начальную скорость u_0 . Определить в СИ минимальную величину u_0 , при которой груз после удара будет вращаться в вертикальной плоскости.

8.5. В вертикально расположенном цилиндре под поршнем находится 28 г азота при температуре 273 К. Поршень не закреплён, его масса 100 кг, а площадь поперечного сечения, равная площади поперечного сечения цилиндра, составляет 100 см^2 . Определить в СИ приращение потенциальной энергии поршня при нагревании цилиндра до температуры 473 К. Трением пренебречь, ускорение свободного падения принять 10 м/с^2 . Атмосферное давление равно 100 кПа.

8.6. Два одинаковых цилиндрических сосуда A и B расположены вертикально и соединены снизу тонкой трубкой с краном. Сверху сосуда открыты. При закрытом кране сосуды заполняют разными жидкостями до одной и той же высоты 1 м. Плотность жидкости в сосуде A 1 г/см^3 , в сосуде B – 2 г/см^3 . Площадь поперечного сечения каждого сосуда 30 см^2 . Какое количество теплоты выделится в этой системе после открывания крана и установления равновесия? Ответ дать в СИ.

8.7. Деревянный кирпич массой 1 кг с площадью основания $0,04 \text{ м}^2$ плавает на поверхности воды. Кирпич слегка утапливают и резко отпускают. Определить в СИ период колебаний кирпича. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

8.8. Определить в пс период малых колебаний полярной молекулы в однородном электрическом поле напряжённостью $33,2 \text{ кВ/м}$. Полярную молекулу можно схематически представить в виде “гантельки” длиной $0,16 \text{ нм}$, на концах которой находятся одинаковые точечные массы по 10 а.е.м. , несущие заряды $+10e$ и $-10e$ (e - заряд электрона).

8.9. В теплоизолированном вертикально расположенном цилиндре с площадью поперечного сечения 10 см^2 под не закреплённым поршнем массой 5 кг находится 1 моль идеального одноатомного газа. На внутренней поверхности цилиндра закреплён небольшой нагревательный элемент с полезной мощностью 149 Вт . При включения элемента поршень приходит в движение, и через некоторое время движется с постоянной (установившейся) скоростью. Определить в СИ эту скорость. Теплоёмкость цилиндра не учитывать. Атмосферное давление равно 100 кПа .

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

Тема 1. Кинематика

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер Задачи	Ответ	Номер Задачи	Ответ
3.1	0,5	3.34	2	4.10	600	5.1	4	5.34	40	7.1	7
3.2	15	3.35	5,5	4.11	2200	5.2	490	5.35	3	7.2	5,28
3.3	4,9	3.36	5	4.12	100	5.3	20	5.36	0,625	7.3	25
3.4	1,884	3.37	20	4.13	2,82	5.4	5	5.37	2	7.4	45
3.5	2	3.38	36	4.14	4,9	5.5	4	5.38	1	7.5	45
3.6	1	3.39	40	4.15	50	5.6	0,8	5.39	60	7.6	3
3.7	14	3.40	20	4.16	100	5.7	150			7.7	30
3.8	4,5	3.41	43,2	4.17	15	5.8	50			7.8	4,9
3.9	1	3.42	10	4.18	18	5.9	15			7.9	5,408
3.10	200	3.43	±20	4.19	0,9	5.10	15	6.1	9,8	7.10	32
3.11	2,5	3.44	1	4.20	75	5.11	20	6.2	250	7.11	9
3.12	72	3.45	1,4	4.21	20	5.12	1	6.3	6,125	7.12	540
3.13	0,5	3.46	9,8	4.22	5	5.13	1,8	6.4	25	7.13	30
3.14	125,6	3.47	0,5	4.23	4	5.14	5	6.5	30	7.14	80
3.15	9,9	3.48	2	4.24	3,2	5.15	29,4	6.6	30	7.15	28,2
3.16	11	3.49	9	4.25	0,01	5.16	19,6	6.7	31	7.16	30
3.17	5	3.50	2	4.26	10	5.17	20	6.8	5		
3.18	10	3.51	31,4	4.27	5	5.18	5	6.9	15		
3.19	0,2	3.52	1	4.28	0,075	5.19	0,5	6.10	175		
3.20	2	3.53	20	4.29	0,5	5.20	200	6.11	0,72		
3.21	14,7	3.54	10	4.30	2	5.21	98	6.12	3		
3.22	40	3.55	40	4.31	70	5.22	0,3	6.13	6		
3.23	18	3.56	20	4.32	43,2	5.23	70	6.14	2,9		
3.24	0,2			4.33	40	5.24	2	6.15	2		
3.25	2,4	4.1	100	4.34	15	5.25	20	6.16	4,5		
3.26	3,8	4.2	31,4	4.35	9	5.26	15				
3.27	3,25	4.3	3	4.36	32	5.27	360				
3.28	2,82	4.4	2	4.37	105	5.28	3				
3.29	0,04	4.5	1	4.38	5	5.29	200				
3.30	3,14	4.6	2	4.39	10	5.30	1,5				
3.31	5	4.7	1	4.40	4	5.31	3,375				
3.32	0,25	4.8	40	4.41	20	5.32	1				
3.33	5	4.9	12	4.42	2	5.33	0,5				

Тема 2. Динамика

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер Задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	500	3.35	5	4.11	300	5.1	25	5.35	2,45	7.1	0,8
3.2	2,4	3.36	2	4.12	200	5.2	41	5.36	100	7.2	1470
3.3	0,2	3.37	99	4.13	490	5.3	6,86	5.37	10,5	7.3	70,8
3.4	98	3.38	5	4.14	1	5.4	1500	5.38	600	7.4	9,2
3.5	50	3.39	500	4.15	0,4	5.5	0,25	5.39	16	7.5	1
3.6	4	3.40	625	4.16	6	5.6	110	5.40	600	7.6	31,4
3.7	300	3.41	9,8	4.17	16	5.7	10	5.41	7	7.7	235,2
3.8	2	3.42	0,5	4.18	8	5.8	750			7.8	2,5
3.9	15	3.43	600	4.19	88,2	5.9	10			7.9	1,96
3.10	490	3.44	1000	4.20	150	5.10	7	6.1	200	7.10	1,256
3.11	0,1	3.45	2	4.21	6000	5.11	10	6.2	588	7.11	1600
3.12	39,2	3.46	800	4.22	4	5.12	1,6	6.3	46,4	7.12	45
3.13	600	3.47	300	4.23	2,5	5.13	5	6.4	5	7.13	0,5
3.14	1470	3.48	7	4.24	10	5.14	1	6.5	10	7.14	2820
3.15	90	3.49	1,5	4.25	0,6	5.15	5,88	6.6	7,5	7.15	11,7
3.16	1960	3.50	1,6	4.26	1	5.16	23,52	6.7	50		
3.17	7500	3.51	2	4.27	25	5.17	1100	6.8	3,52		
3.18	1	3.52	1	4.28	4,02	5.18	18	6.9	90	8.1	1
3.19	1,9	3.53	3000	4.29	1,5	5.19	20	6.10	50,4		
3.20	4	3.54	2,75	4.30	100	5.20	2	6.11	12		
3.21	120	3.55	0,2	4.31	1,5	5.21	0,1	6.12	0,2		
3.22	225	3.56	22	4.32	1,2	5.22	40	6.13	70		
3.23	0,2			4.33	90	5.23	770	6.14	206		
3.24	70			4.34	1,4	5.24	980	6.15	14		
3.25	3	4.1	6	4.35	784	5.25	8	6.16	0,12		
3.26	5000	4.2	600	4.36	2000	5.26	87,5	6.17	9,8		
3.27	98	4.3	588	4.37	120	5.27	108	6.18	71,4		
3.28	2500	4.4	480	4.38	0,36	5.28	5,96	6.19	4900		
3.29	0,675	4.5	0,02	4.39	560	5.29	0,7	6.20	980		
3.30	5000	4.6	200	4.40	680	5.30	1,96	6.21	5		
3.31	500	4.7	2,5	4.41	4,4	5.31	1,25				
3.32	40	4.8	50	4.42	160	5.32	1,568				
3.33	50	4.9	6,5	4.43	135	5.33	0,9				
3.34	4	4.10	4			5.34	49				

Тема 3. Жидкости и газы

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	8	3.38	80	4.12	8310	5.1	800	5.38	2500	7.1	0,3
3.2	60	3.39	60	4.13	117	5.2	0,6	5.39	2	7.2	1
3.3	1	3.40	300	4.14	2	5.3	32	5.40	140	7.3	41
3.4	700	3.41	1,5	4.15	980	5.4	0,1	5.41	300	7.4	2,7
3.5	9,8	3.42	800	4.16	0,25	5.5	0,2	5.42	0,75	7.5	1
3.6	9,8	3.43	78,4	4.17	1568	5.6	20	5.43	100	7.6	0,72
3.7	8	3.44	300	4.18	2000	5.7	98	5.44	1,25	7.7	4,41
3.8	3	3.45	4,5	4.19	28	5.8	56	5.45	500	7.8	1,75
3.9	60	3.46	4,5	4.20	0,1	5.9	2	5.46	375	7.9	2,5
3.10	900	3.47	16	4.21	273	5.10	800	5.47	0,5	7.10	0,5
3.11	2	3.48	2	4.22	588	5.11	16	5.48	300	7.11	10⁻⁴
3.12	0,15	3.49	1,5	4.23	2	5.12	32	5.49	10	7.12	1,15
3.13	16	3.50	84	4.24	350	5.13	2	5.50	120	7.13	2,25
3.14	4	3.51	98	4.25	800	5.14	10	5.51	700		
3.15	20	3.52	250	4.26	0,01	5.15	4	5.52	14		
3.16	6	3.53	16	4.27	800	5.16	0,2	5.53	102		
3.17	1,5	3.54	0,25	4.28	640	5.17	10				
3.18	300	3.55	200	4.29	875	5.18	30			8.1	285
3.19	300	3.56	1,2·10⁴	4.30	1,2	5.19	30			8.2	1,385
3.20	4	3.57	630	4.31	250	5.20	0,02	6.1	1		
3.21	2	3.58	10	4.32	25	5.21	10	6.2	1200		
3.22	0,032	3.59	4	4.33	5,6·10⁻²	5.22	20	6.3	444		
3.23	1,8·10⁴	3.60	1960	4.34	490	5.23	6·10⁴	6.4	50		
3.24	30	3.61	0,4	4.35	3	5.24	8,4	6.5	25		
3.25	640			4.36	24,93	5.25	980	6.6	1		
3.26	300			4.37	3	5.26	6	6.7	1·10⁻³		
3.27	166,2	4.1	500	4.38	0,125	5.27	0,1	6.8	83,1		
3.28	4	4.2	16	4.39	480	5.28	2	6.9	0,029		
3.29	270	4.3	5,9	4.40	2,5	5.29	27	6.10	927		
3.30	2,94·10⁴	4.4	490	4.41	4·10⁻³	5.30	1662	6.11	3090		
3.31	98	4.5	1	4.42	24,93	5.31	580	6.12	5,488		
3.32	10	4.6	2	4.43	72	5.32	900	6.13	1250		
3.33	600	4.7	900	4.44	2,25	5.33	600	6.14	750		
3.34	320	4.8	240			5.34	1000	6.15	100		
3.35	0,02	4.9	30			5.35	9,8	6.16	0,7		
3.36	0,04	4.10	0,08			5.36	3				
3.37	200	4.11	1			5.37	0,16				

Тема 4. Тепловые явления

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер Задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	100	3.35	100	4.11	100	5.1	800	5.35	123	7.1	2
3.2	0	3.36	7479	4.12	250	5.2	0,42	5.36	1,5	7.2	200
3.3	520	3.37	1,6	4.13	360	5.3	0,42	5.37	0,01	7.3	415,5
3.4	20	3.38	200	4.14	1000	5.4	600	5.38	77	7.4	20,775
3.5	2	3.39	4	4.15	40	5.5	50			7.5	320
3.6	3	3.40	0,1	4.16	28,5	5.6	72			7.6	65,9
3.7	73	3.41	5	4.17	322	5.7	1015			7.7	40
3.8	400	3.42	4	4.18	90	5.8	41550	6.1	1,5	7.8	5
3.9	20	3.43	810	4.19	32	5.9	1000	6.2	20	7.9	800
3.10	300	3.44	2,5	4.20	20	5.10	2493	6.3	2507	7.10	0,025
3.11	600	3.45	45	4.21	24	5.11	0,5	6.4	333	7.11	249,3
3.12	5	3.46	280	4.22	1800	5.12	831	6.5	498,6	7.12	0,12
3.13	-22	3.47	0,2	4.23	20	5.13	120	6.6	2493	7.13	9045
3.14	22	3.48	340	4.24	273	5.14	9040	6.7	1,8	7.14	475
3.15	4,8	3.49	375	4.25	500	5.15	1,676	6.8	1800	7.15	700
3.16	3	3.50	76	4.26	24,93	5.16	56	6.9	3	7.16	2,57
3.17	52	3.51	0,06	4.27	1,6	5.17	400	6.10	455	7.17	5,83·10⁴
3.18	0	3.52	80	4.28	2	5.18	100	6.11	330	7.18	249,3
3.19	0	3.53	60	4.29	25	5.19	1000	6.12	6	7.19	332,4
3.20	50	3.54	100	4.30	20	5.20	100	6.13	55	7.20	150
3.21	0,5	3.55	249,3	4.31	180	5.21	80	6.14	320		
3.22	25	3.56	0,7	4.32	105	5.22	5200				
3.23	1172			4.33	2493	5.23	1500			8.1	2100
3.24	500			4.34	0,25	5.24	1662				
3.25	100	4.1	180	4.35	100	5.25	709				
3.26	2	4.2	105	4.36	1000	5.26	1,36				
3.27	1300	4.3	2493	4.37	58	5.27	600				
3.28	60	4.4	0,25	4.38	21	5.28	15				
3.29	39	4.5	100	4.39	5000	5.29	0,082				
3.30	140	4.6	1000	4.40	0,3	5.30	4,5				
3.31	0,2	4.7	58			5.31	1298				
3.32	450	4.8	21			5.32	2,5				
3.33	0,75	4.9	5000			5.33	400				
3.34	1,5	4.10	0,3			5.34	702				

Тема 5. Силовое действие электрического поля

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер Задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	100	4.1	3	5.1	$1,96 \cdot 10^4$	6.1	8000	7.1	9
3.2	0,2	4.2	3	5.2	0,75	6.2	0,3	7.2	1
3.3	0,1	4.3	9	5.3	200	6.3	45	7.3	17,7
3.4	1	4.4	3	5.4	2,5	6.4	3200	7.4	98
3.5	1	4.5	20	5.5	49	6.5	0,98	7.5	$1,6 \cdot 10^{-16}$
3.6	0,5	4.6	1,2	5.6	4500	6.6	10	7.6	0,45
3.7	7	4.7	0,3	5.7	2,7	6.7	30	7.7	0,2
3.8	7,85	4.8	2	5.8	1800			7.8	20
3.9	9	4.9	-3	5.9	5400			7.9	3
3.10	200	4.10	4	5.10	1000				
3.11	0,1	4.11	10	5.11	9				
3.12	0,9	4.12	100	5.12	3				
3.13	2	4.13	0,04	5.13	0,9				
3.14	2	4.14	11	5.14	4			8.1	1
3.15	24	4.15	4	5.15	1,8			8.2	$1,6 \cdot 10^{16}$
3.16	7	4.16	4,55	5.16	2000				
3.17	4	4.17	6,28	5.17	0,2				
3.18	2,25			5.18	18				
3.19	7,5			5.19	0,018				
3.20	9			5.20	1				
3.21	0,9			5.21	2				
3.22	5								
3.23	100								
3.24	2								
3.25	9								

Тема 6. Потенциал и энергия электрического поля

Номер	Ответ	Номер	Ответ	Номер	Ответ	Номер	Ответ	Номер	Ответ
3.1	9	4.1	20	5.1	200	6.1	$5 \cdot 10^{-6}$	7.1	1
3.2	5	4.2	5	5.2	5000	6.2	3	7.2	5
3.3	5	4.3	20	5.3	0,5	6.3	12	7.3	1,6
3.4	885	4.4	240	5.4	5	6.4	36	7.4	4
3.5	5	4.5	30	5.5	0,04	6.5	2	7.5	70
3.6	5	4.6	200	5.6	800	6.6	0,3	7.6	177
3.7	25	4.7	0,5	5.7	700	6.7	180	7.7	628
3.8	54	4.8	4	5.8	100	6.8	3,6	7.8	1100
3.9	14,16	4.9	2	5.9	200	6.9	1,41	7.9	5
3.10	0,05	4.10	280	5.10	100	6.10	1	7.10	0,628
3.11	0,6	4.11	2	5.11	2			7.11	5
3.12	0,18	4.12	0,5	5.12	4			7.12	3
3.13	800	4.13	5	5.13	3				
3.14	7,5	4.14	2	5.14	1				
3.15	0,108	4.15	1,77	5.15	5			8.1	0,8
3.16	60	4.16	1						
3.17	100	4.17	50						
3.18	60	4.18	0,25						
3.19	1	4.19	1						
3.20	100	4.20	700						
3.21	8	4.21	2						
3.22	20	4.22	1050						
3.23	17,7	4.23	$1,2 \cdot 10^{-8}$						
3.24	88,5	4.24	20						
3.25	7,5								
3.26	9								
3.27	5								
3.28	200								
3.29	3								
3.30	10								
3.31	300								

Тема 7. Постоянный электрический ток

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	От-вет	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	11,5	3.35	110	4.11	100	5.1	1	5.35	3,24	7.1	6,5
3.2	9	3.36	130	4.12	21	5.2	2	5.36	8	7.2	0,24
3.3	60	3.37	56	4.13	27	5.3	0,2	5.37	1,25	7.3	275
3.4	75	3.38	1	4.14	1,2	5.4	54	5.38	800	7.4	5,05
3.5	1,5	3.39	8	4.15	600	5.5	27,5			7.5	1680
3.6	1,7	3.40	2	4.16	0,9	5.6	37,5			7.6	0,32
3.7	2	3.41	50	4.17	25	5.7	8	6.1	10	7.7	40
3.8	0,16	3.42	36	4.18	9	5.8	4500	6.2	1	7.8	30
3.9	6	3.43	20	4.19	5	5.9	1	6.3	6	7.9	0
3.10	1,6	3.44	2	4.20	15	5.10	4	6.4	1,25	7.10	14,1
3.11	5,5	3.45	27	4.21	5,2	5.11	4	6.5	6	7.11	1,75
3.12	24	3.46	100	4.22	0,5	5.12	200	6.6	82	7.12	3,2
3.13	10	3.47	50	4.23	9	5.13	5	6.7	2	7.13	16
3.14	8	3.48	60	4.24	220	5.14	360	6.8	14	7.14	1,2
3.15	2	3.49	1,5	4.25	440	5.15	1,2	6.9	1475	7.15	9
3.16	10	3.50	22	4.26	8	5.16	8	6.10	360	7.16	4
3.17	750	3.51	44	4.27	1,25	5.17	50	6.11	24		
3.18	100	3.52	1,5	4.28	10	5.18	90	6.12	7		
3.19	400	3.53	1	4.29	60	5.19	0,5	6.13	5		
3.20	968	3.54	3	4.30	150	5.20	50	6.14	1,3		
3.21	0,033	3.55	0,75	4.31	1	5.21	0,018	6.15	4,5		
3.22	2	3.56	20	4.32	100	5.22	12	6.16	0,75		
3.23	2,5			4.33	5	5.23	44	6.17	4,5		
3.24	2			4.34	24	5.24	0,4				
3.25	68	4.1	1	4.35	16	5.25	4				
3.26	50	4.2	15	4.36	150	5.26	3				
3.27	2	4.3	12	4.37	100	5.27	8				
3.28	20	4.4	54	4.38	0,2	5.28	2,4				
3.29	12,1	4.5	0,3	4.39	70	5.29	8000				
3.30	21,6	4.6	10	4.40	0,02	5.30	2				
3.31	20	4.7	250	4.41	40	5.31	0,35				
3.32	1	4.8	200	4.42	0,4	5.32	880				
3.33	5	4.9	1,5			5.33	56				
3.34	13	4.10	20			5.34	110				

Тема 8. Электромагнетизм

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	От-вет	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	5	3.35	3,2	4.10	0,02	5.1	500	5.35	10	7.1	10
3.2	500	3.36	0,1	4.11	2,5	5.2	0,15	5.36	0,5	7.2	0,3
3.3	0,3	3.37	5	4.12	2,5	5.3	1	5.37	1,8	7.3	0,3
3.4	8	3.38	2	4.13	0,02	5.4	100	5.38	4000	7.4	40
3.5	1	3.39	2	4.14	30	5.5	0,167	5.39	0,012	7.5	0,628
3.6	0,2	3.40	0,5	4.15	2	5.6	20			7.6	4
3.7	8	3.41	1	4.16	800	5.7	5			7.7	0,1
3.8	3	3.42	0,4	4.17	1	5.8	0,112			7.8	0,2
3.9	200	3.43	2	4.18	0,4	5.9	0,01	6.1	30	7.9	0,15
3.10	250	3.44	4	4.19	1	5.10	0,2	6.2	0,6	7.10	0,1
3.11	10	3.45	2	4.20	4	5.11	0,2	6.3	0,2	7.11	1,5
3.12	20	3.46	5	4.21	90	5.12	1·10⁻³	6.4	0,1	7.12	2,5
3.13	2	3.47	0,2	4.22	2	5.13	32	6.5	0,1	7.13	0,1
3.14	0,2	3.48	0,4	4.23	200	5.14	2	6.6	60	7.14	0,054
3.15	2	3.49	0,02	4.24	50	5.15	0,1	6.7	100	7.15	2
3.16	0,02	3.50	20	4.25	1	5.16	0,025	6.8	0,5		
3.17	0,2	3.51	0,5	4.26	30	5.17	5	6.9	0,1		
3.18	10	3.52	0,002	4.27	9	5.18	1	6.10	0,1		
3.19	200	3.53	0,16	4.28	20	5.19	2	6.11	200		
3.20	0,075	3.54	0,024	4.29	90	5.20	2,5	6.12	4		
3.21	-24	3.55	15	4.30	8	5.21	0,1	6.13	312,5		
3.22	100	3.56	10	4.31	2	5.22	1,2	6.14	2,5		
3.23	1			4.32	0,02	5.23	0,2				
3.24	5000			4.33	0,45	5.24	1,25				
3.25	0,02			4.34	2	5.25	0,8				
3.26	30	4.1	10	4.35	10	5.26	30				
3.27	0,2	4.2	3	4.36	80	5.27	6				
3.28	30	4.3	0,5	4.37	10	5.28	0,2				
3.29	1,2	4.4	3	4.38	4	5.29	0,4				
3.30	0,5	4.5	9	4.39	0,2	5.30	2				
3.31	2	4.6	9,6	4.40	0,11	5.31	4				
3.32	2	4.7	12,5	4.41	0,3	5.32	0,25				
3.33	2	4.8	0,125			5.33	10				
3.34	2,5	4.9	1000			5.34	0,4				

Тема 9. Колебания и волны

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	400	3.35	10	4.10	5	5.1	0,25	5.35	2,5	7.1	16
3.2	180	3.36	2,45	4.11	0,25	5.2	25	5.36	5·10⁴	7.2	1
3.3	0,314	3.37	2	4.12	48	5.3	1884	5.37	4	7.3	4
3.4	9,84	3.38	2	4.13	5	5.4	0,5	5.38	5·10³	7.4	0,2
3.5	31,4	3.39	2	4.14	2	5.5	320	5.39	1	7.5	0,942
3.6	2000	3.40	4	4.15	0,4	5.6	0,628	5.40	0,314	7.6	0,45
3.7	2000	3.41	900	4.16	100	5.7	29,4			7.7	0,4
3.8	0,4	3.42	5	4.17	0,98	5.8	16			7.8	1
3.9	0,628	3.43	2000	4.18	2	5.9	4			7.9	1,5
3.10	90	3.44	62,8	4.19	10	5.10	200	6.1	2	7.10	0,8
3.11	180	3.45	314	4.20	9,2	5.11	94,2	6.2	2	7.11	600
3.12	4	3.46	90	4.21	7,2	5.12	2,82	6.3	0,2	7.12	48
3.13	2000	3.47	600	4.22	10	5.13	1,2	6.4	9		
3.14	2000	3.48	5	4.23	4	5.14	2,5	6.5	0,628		
3.15	0,785	3.49	0,98	4.24	2,5	5.15	0,3	6.6	0,5		
3.16	3,14	3.50	500	4.25	2000	5.16	942	6.7	1,5	8.1	1
3.17	400	3.51	150	4.26	2000	5.17	0	6.8	2,25		
3.18	2,5	3.52	3,14	4.27	0,05	5.18	0,628	6.9	1,5		
3.19	62,8	3.53	0,05	4.28	1500	5.19	1,57	6.10	2		
3.20	0,72	3.54	0,5	4.29	90	5.20	2	6.11	0,3		
3.21	0,314	3.55	9	4.30	1,6	5.21	0,5	6.12	2		
3.22	2	3.56	0,05	4.31	0,018	5.22	0,05	6.13	0,06		
3.23	0,03			4.32	100	5.23	16	6.14	0,01		
3.24	12			4.33	12	5.24	100	6.15	4		
3.25	5			4.34	1	5.25	0,25	6.16	0,05		
3.26	6,28	4.1	2,5	4.35	0,314	5.26	500				
3.27	4·10⁻⁴	4.2	1·10⁻³	4.36	3,14	5.27	60				
3.28	3	4.3	0,157	4.37	125,6	5.28	1				
3.29	0,2	4.4	270	4.38	9	5.29	4				
3.30	7,2	4.5	0,125	4.39	1,5	5.30	2				
3.31	2	4.6	6,28	4.40	0	5.31	8				
3.32	200	4.7	0,3			5.32	90				
3.33	10	4.8	72			5.33	180				
3.34	60	4.9	8			5.34	0				

Тема 10. Оптика

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	30	3.34	4	4.6	1,8	4.39	4	5.28	30	6.17	1
3.2	22	3.35	$2 \cdot 10^5$	4.7	430	4.40	55	5.29	1,6	6.18	0,45
3.3	60	3.36	1,8	4.8	1,6	4.41	-0,3	5.30	0,2	6.19	0,075
3.4	1.25	3.37	60	4.9	120	4.42	1	5.31	0,8	6.20	2,4
3.5	110	3.38	-0,3	4.10	750			5.32	3	6.21	1,6
3.6	3900	3.39	5	4.11	30			5.33	4		
3.7	0,9	3.40	80	4.12	0,48	5.1	1,5	5.34	0,5		
3.8	4,5	3.41	36	4.13	$2 \cdot 10^5$	5.2	85	5.35	0,2		
3.9	144	3.42	0,75	4.14	1	5.3	1,6	5.36	15	7.1	8
3.10	0,6	3.43	1,75	4.15	1,8	5.4	2	5.37	0,2	7.2	6
3.11	0,5	3.44	1,5	4.16	2	5.5	0,05	5.38	0,75	7.3	2
3.12	1,2	3.45	45	4.17	0,5	5.6	$1,2 \cdot 10^5$	5.39	400	7.4	500
3.13	30	3.46	3	4.18	4,5	5.7	1,54	5.40	0,03	7.5	62,8
3.14	0,55	3.47	1,8	4.19	1	5.8	0,4	5.41	4	7.6	1,6
3.15	3000	3.48	1,1	4.20	3	5.9	1,8	5.42	1,2	7.7	0,25
3.16	500	3.49	55	4.21	12	5.10	2			7.8	500
3.17	2	3.50	1	4.22	0,12	5.11	1,41			7.9	6
3.18	32	3.51	0,3	4.23	1,5	5.12	3,75	6.1	-0,3	7.10	-15
3.19	59	3.52	5	4.24	30	5.13	6,25	6.2	1,6	7.11	0,2
3.20	0,6	3.53	7500	4.25	3	5.14	1,5	6.3	0,2	7.12	12
3.21	1,5	3.54	0,5	4.26	-5	5.15	0,55	6.4	1,5	7.13	45
3.22	80	3.55	0,45	4.27	30	5.16	250	6.5	1	7.14	9
3.23	0,1	3.56	30	4.28	1,2	5.17	1,5	6.6	7,2	7.15	1,4
3.24	40	3.57	2,5	4.29	9	5.18	4	6.7	2,5	7.16	90
3.25	7,5	3.58	40	4.30	4	5.19	800	6.8	10		
3.26	5			4.31	0,4	5.20	400	6.9	8		
3.27	0,5			4.32	0,4	5.21	600	6.10	12		
3.28	1,25			4.33	1,21	5.22	0,5	6.11	1,5		
3.29	2	4.1	0,8	4.34	1,2	5.23	100	6.12	1,25		
3.30	4000	4.2	100	4.35	4,5	5.24	2,4	6.13	0,24		
3.31	45	4.3	2,4	4.36	0,775	5.25	5	6.14	7		
3.32	0,4	4.4	60	4.37	0,4	5.26	0,16	6.15	0,2		
3.33	4800	4.5	0,7	4.38	2	5.27	7	6.16	9		

Тема 11. Микрофизика

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
3.1	1000	3.35	2,6	4.11	200	5.1	800	5.35	4,125	7.1	0,825
3.2	0,02	3.36	200	4.12	-4,4	5.2	1000	5.36	825	7.2	2,7
3.3	1,65	3.37	30	4.13	0,032	5.3	1,1	5.37	3	7.3	15
3.4	0,03	3.38	1,65	4.14	200	5.4	1,75			7.4	0,8
3.5	600	3.39	0,0819	4.15	7600	5.5	1,1			7.5	600
3.6	3	3.40	17	4.16	-10,95	5.6	700			7.6	45
3.7	40	3.41	-16	4.17	2000	5.7	2,241	6.1	1,3	7.7	170
3.8	7,47	3.42	3,3	4.18	0,05	5.8	1000	6.2	6	7.8	44
3.9	0,008	3.43	0,8	4.19	1000	5.9	4,125	6.3	1400	7.9	84
3.10	4	3.44	15	4.20	7,47	5.10	2,4	6.4	1,275	7.10	1
3.11	7	3.45	5	4.21	21	5.11	0,249	6.5	819	7.11	5·10⁸
3.12	5,1	3.46	1,5	4.22	1,875	5.12	1,3	6.6	3	7.12	20,4
3.13	800	3.47	4	4.23	14	5.13	0,747	6.7	300	7.13	8,6
3.14	3	3.48	340	4.24	37,24	5.14	1,65	6.8	1,65	7.14	0,3765
3.15	0,9	3.49	4	4.25	2	5.15	40,312	6.9	2,125	7.15	4
3.16	4,2	3.50	2	4.26	825	5.16	5,4	6.10	600	7.16	7,5·10¹⁹
3.17	1,65	3.51	800	4.27	1,875	5.17	4,125	6.11	2,125	7.17	2
3.18	800	3.52	0	4.28	18,62	5.18	825	6.12	3,6		
3.19	30	3.53	37,35	4.29	864	5.19	500	6.13	1,5		
3.20	600	3.54	0	4.30	2·10⁵	5.20	300	6.14	2000		
3.21	5	3.55	85	4.31	6	5.21	8	6.15	9	8.1	3,2·10⁶
3.22	40			4.32	30	5.22	2	6.16	33	8.2	832
3.23	182			4.33	9	5.23	0,75				
3.24	73			4.34	39	5.24	4,5				
3.25	7,5	4.1	1	4.35	2	5.25	275				
3.26	93	4.2	825	4.36	800	5.26	2,73·10⁵				
3.27	4,125	4.3	3	4.37	3,3	5.27	1500				
3.28	1	4.4	1,3	4.38	1	5.28	5,1				
3.29	0,031	4.5	0,4	4.39	-1,225	5.29	1,2				
3.30	4	4.6	7,47	4.40	-4	5.30	3,6				
3.31	4000	4.7	239	4.41	5000	5.31	14,94				
3.32	-11,4	4.8	1000	4.42	6	5.32	300				
3.33	5	4.9	130			5.33	8				
3.34	1,494	4.10	0			5.34	300				

Тема 12. Комбинированные задачи

Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ	Номер задачи	Ответ
4.1	12,5	5.1	200	6.1	13200	7.1	2,7	8.1	0,18
4.2	0,54	5.2	1,1	6.2	0,098	7.2	0,628	8.2	0,16
4.3	835	5.3	0,628	6.3	670	7.3	119,6	8.3	10
4.4	2000	5.4	1,875	6.4	0,314	7.4	5	8.4	3,5
4.5	10	5.5	20	6.5	$8 \cdot 10^{-4}$	7.5	$5 \cdot 10^{-11}$	8.5	831
4.6	0,05	5.6	4,5	6.6	0,3	7.6	1,25	8.6	$4,9 \cdot 10^{-3}$
4.7	200	5.7	4	6.7	4,95	7.7	0,4	8.7	0,314
4.8	1	5.8	6,28	6.8	$5 \cdot 10^{12}$	7.8	5	8.8	31,4
4.9	1092	5.9	$4,9 \cdot 10^{-13}$	6.9	1	7.9	2	8.9	0,4
4.10	40	5.10	$1,6 \cdot 10^{16}$	6.10	1250	7.10	728		
4.11	500	5.11	0,01	6.11	0,3	7.11	0,2		
		5.12	120	6.12	6000	7.12	0,06		
		5.13	2	6.13	$2 \cdot 10^{-6}$	7.13	1,76		
		5.14	49	6.14	7200	7.14	1,2		
				6.15	4	7.15	16,62		
				6.16	0,1	7.16	$6 \cdot 10^6$		
				6.17	1,82	7.17	0,25		
						7.18	1		
						7.19	10		
						7.20	1000		
						7.21	34		
						7.22	550		
						7.23	60		
						7.24	500		
						7.25	400		
						7.26	49		
						7.27	1,25		
						7.28	1,57		
						7.29	3,2		

ПРИЛОЖЕНИЕ

Некоторые физические постоянные и единицы

№	Название	Значение
1	Ускорение свободного падения	$g = 9,8 \text{ м/с}^2$
2	Плотность воды	$\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$
3	Давление при нормальных условиях	$P_0 = 10^5 \text{ Па}$
4	Температура при нормальных условиях	$T_0 = 273 \text{ К}$
5	Молярная масса кислорода	$\mu_{\text{O}} = 0,032 \text{ кг/моль}$
6	Молярная масса водорода	$\mu_{\text{H}} = 0,002 \text{ кг/моль}$
7	Молярная масса азота	$\mu_{\text{N}} = 0,028 \text{ кг/моль}$
8	Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
9	Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
10	Коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$
11	Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
12	Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
13	Постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
14	Масса покоя электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
15	Масса покоя протона	$m_p = 1,007 \text{ а.е.м.}$
16	Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,009 \text{ а.е.м.}$
17	Электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
18	Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Значения приставок единиц измерения

Наименование	Обозначение	Множитель
пико	п	10^{-12}
нано	н	10^{-9}
микро	мк	10^{-6}
милли	м	10^{-3}
кило	к	10^3
мега	М	10^6
гига	Г	10^9
тера	Т	10^{12}

Кроме того:

$\pi = 3,14$
$\pi^2 = 10$
$\sqrt{2} = 1,41$
$\frac{6,6}{1,6} = 4,125$