И.М. Белый, В.К. Долгий,
И.П. Ильюшонок, И.И. Наркевич

СБОРНИК ЗАДАЧ
ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ

Учебное пособие
для студентов лесохозяйственных
и инженерно-экономических специальностей
заочной формы обучения

Минск БГТУ 2004

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И.М. Белый, В.К. Долгий,
И.П. Ильюшонок, И.И. Наркевич**

СБОРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ

**Учебное пособие
для студентов лесохозяйственных
и инженерно-экономических специальностей
заочной формы обучения**

Минск 2004

УДК 53 (076.6)
ББК 22.3
С 23

Рассмотрено и рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом университета.

Авторы:
И.М. Белый, *В.К. Долгий*, *И.П. Ильюшонок*, *И.И. Наркевич*

Рецензенты:
зав. кафедрой физики БНТУ
доцент *П.Г. Кужир*;
зав. кафедрой медицинской и биологической физики БГМУ
доцент *Г.К. Ильич*;
зав. кафедрой теоретической механики БГТУ
профессор *В.С. Вихренко*

С23 **Сборник задач для контрольных и индивидуальных заданий по физике**: Учеб. пособие для студентов лесохозяйственных и инженерно-экономических специальностей заочной формы обучения / И.М. Белый, В.К. Долгий, И.П. Ильюшонок, И.И. Наркевич − Мн.: БГТУ, 2004. − 116 с.

ISBN 985-434-330-8

В учебном пособии, написанном в соответствии с учебными программами, приведены задачи для выполнения контрольных работ студентами лесохозяйственных и инженерно-экономических специальностей заочной формы обучения.

УДК 53 (076.6)
ББК 22.3

ISBN 985-434-330-8

технологический университет»,
2004

Учебное издание

Белый Илья Михайлович
Долгий Валерий Казимирович
Ильюшонок Ирина Петровна
Наркевич Иван Иванович

**СБОРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ
И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ**

Учебное пособие

Компьютерный набор и верстка
О.В. Хвалей

Редактор *Р.М. Рябая*

Подписано в печать 16.07.04. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,1. Уч.-изд. л. 6,9.
Тираж 300 экз. Заказ

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13а. Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.03.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13.

ВВЕДЕНИЕ

Общие рекомендации по организации самостоятельной работы над курсом «Физика»

Изучение курса физики студентами заочной формы обучения делится на два этапа

Первый (основной) включает прослушивание установочных лекций и самостоятельное изучение программного материала физики с помощью рекомендованной литературы, а также выполнение контрольных работ и получение по ним допуска к собеседованию; второй этап связан с участием в лабораторно-экзаменационной сессии, во время которой выполняются и сдаются лабораторные работы, проводится собеседование по контрольным работам, сдаются зачеты или экзамены.

Необходимо последовательно осваивать курс физики при его изучении, руководствуясь учебной программой, которая приведена в этом пособии (для лесохозяйственных (с. 5−9) и экономических (с. 9−13) специальностей). Нельзя ограничиваться изучением лишь тех вопросов, которые непосредственно связаны с решением задач, включенных в контрольную работу.

Самостоятельная работа при освоении программного материала по учебным пособиям должна сопровождаться составлением конспекта, в котором кратко описываются физические явления, записываются формулировки законов и формулы, выражающие эти законы, а также определения физических величин и их единицы измерения, прорабатываются приведенные в пособиях примеры решения типовых задач.

При необходимости студент может получить консультацию на кафедре физики. При невозможности приехать в университет он может обратиться на кафедру за получением письменной консультации, указав характер возникших затруднений (при изучении учебного материала или выполнении контрольных работ).

Правила выполнения и оформления контрольных работ

1. Каждая работа высылается на рецензию в соответствии с графиком выполнения. Она должна быть выполнена в отдельной ученической тетради, на обложке которой нужно приклеить стандартный заполненный бланк, в котором указываются номер контрольной работы, вариант задания, название дисциплины,

фамилия, инициалы, специальность, курс, шифр, дата сдачи контрольной работы в заочный деканат.

2. Контрольные работы выполняются чернилами синего или фиолетового цвета. Задачи контрольной работы должны иметь те же номера, которые они имеют в этом учебном пособии. Условие каждой задачи необходимо записывать полностью на новой странице. Для замечаний рецензента следует оставлять поля шириной 4−5 см.

3. Решение задачи начинается с составления краткого условия с использованием обозначений, принятых в данном пособии. Идея решения задачи должна быть кратко обоснована с использованием соответствующих законов, определений и положений физики. На используемые уравнения, формулы и соотношения, приведенные в этом пособии, нужно ссылаться с указанием их номеров. Решения всех задач следует пояснять с помощью схемы или рисунка, выполненного карандашом при помощи линейки. Обозначения на чертеже и в тексте решения должны иметь одинаковый вид.

4. Если, несмотря на приложенные усилия и полученные консультации, отдельные задачи решить не удается, нужно оформить работу и привести попытки их решения в соответствующих местах, попутно коротко изложив Ваши соображения и возникшие затруднения. Пусть такая работа не будет принята с первого раза, но рекомендации рецензента, его пояснения и ссылки на нужные места в учебной литературе помогут Вам найти правильное решение при повторном выполнении контрольной работы.

5. Во время лабораторно-экзаменационной сессии при собеседовании Вам предложат пояснить ход решений задач, входящих в контрольные работы, а также физический смысл встречающихся в решениях задач физических величин и применяемых при вычислениях единиц и т. п. Неудовлетворительные ответы на вопросы по контрольным работам потребуют повторного собеседования с изменением сроков сдачи зачета и (или) экзамена.

6. Как правило, задачи следует решать в общем виде, т. е. в буквенном выражении, без вычисления промежуточных величин. Числовые значения подставляются только в окончательную (расчетную) формулу, определяющую искомую величину. Если эта формула не является выражением физического закона, то ее следует вывести на основе соответствующих теоретических сведений. При получении расчетной формулы необходимо:

а) пояснить величины, входящие в используемые формулы;

б) проверить полученную расчетную формулу, для этого нужно подставить в нее вместо входящих физических величин обозначения их единиц и убедиться, совпадают ли единицы правой и левой частей формулы;

в) выразить значения всех величин в единицах СИ и выписать их числовые значения в виде столбика;

г) подставить в расчетную формулу числовые значения величин и провести вычисления.

7. Не следует направлять на рецензию обе работы вместе, необходимо завершить работу над первой контрольной работой и, выслав ее на рецензию, нужно приступить к выполнению второй. Одновременная высылка двух контрольных работ в конце межсессионного периода расценивается как нарушение графика учебного процесса, что может повлечь за собой увеличение сроков проверки таких работ и, соответственно, изменения сроков их защиты (собеседования) и сдачи зачета и (или) экзамена.

8. Получив проверенную работу, студент обязан тщательно изучить все замечания рецензента, уяснить свои ошибки и внести исправления. Если повторно оформленная работа выполнена в новой тетради, то она высылается на рецензию обязательно вместе с той тетрадью, в которой была выполнена ранее незачтенная работа. Замечания и рекомендации, сделанные рецензентом в работе, которая допущена к собеседованию, следует рассматривать как руководство при подготовке к беседе по решениям задач. Все тетради с контрольными работами нужно сохранять, так как на экзамен студент допускается только при их предъявлении.

9. В конце каждой работы необходимо разместить список использованной литературы, указывая ее авторов, место и год издания. Это позволит рецензенту при необходимости дать рекомендации со ссылкой на определенные страницы этих пособий.

Учебная программа для лесохозяйственных специальностей

(*утверждена МО Республики Беларусь 30.07.2002 г., № ТД-226/тип., составитель И.М. Белый − доцент кафедры физики*)

ВВЕДЕНИЕ

Предмет физики и ее связь со смежными науками. Развитие физики и техники и их взаимное влияние друг на друга. Физические законы и их единство, материальность мира.

Раздел 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

1.1. **Кинематика материальной точки и твердого тела.** Кинематические характеристики и уравнения поступательного и вращательного движения материальной точки и твердого тела.

1.2. **Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела.** Законы Ньютона. Масса и сила. Законы изменения и сохранения импульса. Силы упругости, трения, тяготения. Вес тела. Ускорение свободного падения. Невесомость. Уравнение движения центра масс. Момент силы. Уравнение статического равновесия как частный случай уравнения динамики.

1.3. **Работа и энергия.** Работа и мощность. Энергия. Закон сохранения и превращения энергии. Космические скорости. Границы применимости классической механики.

1.4. **Механика твердого тела и жидкостей.** Момент инерции. Теорема Штейнера. Основной закон динамики вращения. Сходство законов поступательного и вращательного движения. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли и следствие из него.

Раздел 2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

2.1. **Молекулярно-кинетические явления.** Опытные законы идеального газа. Уравнение Клапейрона − Менделеева. Уравнения Клаузиуса и Больцмана. Скорость поступательного движения молекул газа.

2.2. **Молекулярные столкновения, проникновения и передачи.** Число столкновений молекул и средняя длина свободного пробега молекулы. Явления переноса и коэффициенты диффузии, теплопроводности и внутреннего трения.

2.3. **Основы термодинамики.** Внутренняя энергия. Теплоемкости газа. Число степеней свободы молекул. Первое начало термодинамики. Работа, совершаемая при изменении объема газа. Адиабатические процессы. Цикл Карно. Второе начало термодинамики.
Энтропия.

2.4. **Реальные газы.** Жидкости и твердые тела. Уравнения ван-дер-Ваальса. Сжижение газов. Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Смачивание. Капиллярные явления. Твердые тела. Монои поликристаллы.

Раздел 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

3.1. **Электростатика.** Понятие об электрическом заряде. Закон Кулона. Электрическое поле и его напряженность. Принцип суперпозиции электрических полей. Поле диполя. Теорема Остроградского − Гаусса и ее приложения.

3.2. **Потенциал.** Вещество в электрическом поле. Работа при перемещении заряда в электрическом поле. Потенциал. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Проводники в электрическом поле. Конденсатор. Энергия электрического поля.

3.3. **Постоянный электрический ток.** Электрический ток. Сила тока. Электродвижущая сила. Напряжение. Сопротивление. Работа и мощность тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление. Закон Ома для замкнутой цепи. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

3.4. **Электрические токи в вакууме, полупроводниках, жидкостях и газах**. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрические явления. Эмиссия электронов. Электронные лампы. Ток в полупроводниках. Запирающий слой. Полупроводниковые устройства. Ток в жидкостях. Электролиз. Ток в газах. Несамостоятельный и самостоятельный газовые разряды.

3.5. **Магнитное поле.** Магнитное поле и его характеристики. Закон Био − Савара − Лапласа и его приложения. Закон Ампера. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Формула Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

3.6. **Электромагнитная индукция.** Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Правило Ленца. Токи Фуко. Взаимная индукция. Трансформаторы. Самоиндукция. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля.

3.7. **Магнитные свойства вещества.** Магнитные моменты электронов и атомов. Диа- и парамагнетики. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Ферромагнетизм. Понятие о теории Максвелла для электромагнитного поля.

Раздел 4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

4.1. **Механические колебания и волны.** Гармонические колебания и их характеристики. Пружинный, физический и математический маятники. Сложение гармонических колебаний.

Волновой процесс. Стоячие волны. Звук и его восприятие.

4.2. **Электромагнитные колебания и переменный ток.** Закрытый колебательный контур. Вибратор Герца. Автоколебательный контур. Контур, вращающийся в магнитном поле. Синусоидальный переменный ток. Обобщенный закон Ома. Электрический резонанс напряжений.

4.3. **Электромагнитные волны.** Представление электромагнитной волны. Шкала электромагнитных волн. Плотность энергии электромагнитных волн. Импульс электромагнитного поля. Понятие о радио и телевидении.

4.4. **Элементы геометрической оптики**. Природа света. Отражение и преломление света. Полное внутреннее отражение. Тонкие линзы. Микроскоп. Основные фотометрические характеристики.

4.5. **Волновые свойства света.** Интерференция света. Применение интерференции света. Дифракция света. Дифракция на пространственной решетке. Дифракция микрочастиц. Понятие о голографии.

4.6. **Взаимодействие электромагнитных волн с веществом и поляризация света.** Дисперсия света. Поглощение света. Физико-химическое и физиологическое действие света. Поляризация света. Законы Малюса и Брюстера. Вращение плоскости поляризации. Поляриметр.

Раздел 5. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

5.1. **Квантовая природа излучения.** Тепловое излучение и его характеристики. Законы Кирхгофа, Стефана − Больцмана и Вина. Оптическая пирометрия. Квантовый характер излучения. Формула Планка.

5.2. **Строение атома.** Модели атома Томсона и Резерфорда. Постулаты Бора. Опыты Франка и Герца. Спектр атома водорода по Бору. Люминесценция. Правило Стокса. Закон Вавилова. Применение люминесценции.

5.3. **Индуцированное излучение. Фотоэффект.** Квантовые генераторы и их применение. Фотоэффект. Законы фотоэффекта. Применение фотоэффекта. Масса и импульс фотона. Давление света. Эффект Комптона.

Раздел 6. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА

6.1. **Атомное ядро.** Естественная радиоактивность. Общие сведения об атомных ядрах. Изотопы. Энергия связи и дефект массы атомного ядра. Ядерные силы. Естественная радиоактивность. Альфа-, бета- и гамма-излучения. Закон радиоактивного распада. Правила смещения. Методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений и частиц.

6.2. **Ядерные реакции.** Искусственная радиоактивность. Ядерные реакции под действием альфа-частиц и нейтронов. Реакция деления ядра. Цепная реакция. Понятие о меченых атомах и ядерной энергетике. Реакция синтеза атомных ядер. Космическое излучение. Понятие об элементарных частицах. Типы взаимодействий объектов материи.

Учебная программа для инженерно-экономических специальностей

(*утверждена ректором БГТУ профессором И.М. Жарским 4 января 2003 г., № ТД-289/баз., составитель Э.В. Ратников − доцент кафедры физики*)

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ. ВВЕДЕНИЕ

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Математика и физика. Физика как часть общечеловеческой культуры. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Общая структура и задачи курса физики.

Основные черты современной физической картины мира. Вещество и поле. Атомно-молекулярное строение вещества. Атомное ядро. Кварки. Элементарные частицы. Античастицы. Взаимопревращение частиц. О единых теориях материи. Иерархия взаимодействий. Сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное взаимодействия. Физическая картина мира и фундаментальная метрология.

Раздел 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Предмет механики. Классическая механика. Квантовая механика. Релятивистская механика.

Физические модели: материальная точка, система материальных точек, абсолютно твердое тело, сплошная среда.

Размерность физических величин. Единицы измерения величин, используемых в механике. Система СИ.

Кинематика точки. Прямолинейное движение точки. Скорость и ускорение при прямолинейном движении. О смысле производной в приложении к физическим вопросам. Кинематика вращательного движения. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и тангенциальное ускорение.

Основная задача динамики. Законы динамики. Масса и импульс тела. Эталон массы в СИ. Релятивистский импульс. Границы применимости классического способа описания движения материальной точки.

Первый закон Ньютона. Понятие инерциальной системы отсчета. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Третий закон Ньютона и закон сохранения импульса. Реактивное движение. Сила как производная импульса. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея.

Работа, мощность, энергия. Потенциальная и кинетическая энергия. Закон сохранения энергии в механике.

Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Центробежная сила инерции. Сила Кориолиса. Вес и взвешивание тел.

Элементы релятивистской динамики. Уравнение движения релятивистской частицы. Преобразования Лоренца. Работа и энергия. Законы сохранения энергии и импульса.

Твердое тело в механике. Энергия движущегося твердого тела. Момент инерции тела относительно неподвижной оси. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Законы сохранения и свойства пространства и времени.

Раздел 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Статистический метод исследования. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Молекулярно-кинетическое толкование термодинамической температуры. Максвелловское распределение молекул по скоростям. Опыт Штерна. Число степеней свободы молекул. Распределение энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

Термодинамический метод исследования. Термодинамическая система. Термодинамические параметры. Равновесные состояния. Обратимые и необратимые процессы. Эквивалентность теплоты и работы. Работа, совершаемая при расширении газа. Теплоемкость идеального газа.

Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам идеального газа. Круговые процессы. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Энтропия. Второе начало термодинамики и границы его применимости.

Реальные газы. Уравнение ван-дер-Ваальса. Критическое состояние вещества. Фазовые переходы.

Элементы механики сплошных сред. Общие свойства жидкостей и газов. Кинематическое описание движения жидкости. Идеальная и вязкая жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли. Гидродинамика вязкой жидкости.

Упругие напряжения. Закон Гука. Растяжение и сжатие стержней.

Звук. Плоская стационарная волна. Одномерное волновое уравнение. Скорость распространения упругих возмущений в стержнях.

Скорость распространения звука в жидкостях и газах. Интенсивность звука. Поглощение звука. Ударные волны.

Раздел 3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Роль электромагнетизма в природе, его значение для техники. Предмет классической электродинамики.

Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Напряженность электростатического поля. Расчет электростатических полей методом суперпозиции. Поле диполя. Электрический дипольный момент.

Электрическое смещение. Поток вектора электрического смещения. Теорема Остроградского − Гаусса для электростатического поля в вакууме и ее применение к расчету поля. Потенциал. Связь потенциала и напряженности поля.

Проводники в электростатическом поле. Поле внутри проводника. Распределение заряда в проводнике. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Поляризованность. Диэлектрическая проницаемость среды.

Электроемкость уединенного проводника. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Закон Ома в дифференциальной форме. Обобщенный закон Джоуля − Ленца в дифференциальной форме. Границы применимости закона Ома.

Магнитное поле. Закон Ампера. Индукция магнитного поля. Закон Био − Савара − Лапласа и его применение к расчету магнитного поля методом суперпозиции. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле кругового тока. Магнитный момент витка с током. Вихревой характер магнитного поля.

Теорема о циркуляции магнитного поля в вакууме и ее применение к расчету магнитного поля. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Контур с током в магнитном поле. Магнитный поток. Работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле.

Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Типы магнетиков. Магнитная проницаемость среды. Ферромагнетики.

Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея в форме, данной Максвеллом. Явление самоиндукции. Индуктивность. Экстратоки замыкания и размыкания. Собственная энергия проводника с током. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Ток смещения. Уравнения Максвелла в интегральной форме. Относительный характер электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля.

Раздел 4. ОПТИКА

Природа света. Шкала электромагнитных волн. Принцип Гюйгенса. Интерференция света. Принцип Гюйгенса − Френеля. Дифракция света. Дифракционная решетка. Голография.

Дифракция на пространственных структурах. Дифракция рентгеновских лучей. Методы рентгеновского анализа.

Рассеяние света. Виды рассеяния. Дисперсия и поглощение света. Поляризация света. Двойное лучепреломление. Оптический эффект Доплера. Атмосферные оптические явления.

Квантовая природа поля. Фотон. Фотоэлектрический эффект. Эффект Комптона. Люминесценция. Индуцированное излучение. Лазер.

Тепловое излучение. Законы теплового излучения. Функция распределения по спектру энергии равновесного излучения абсолютно черного тела (формула Планка).

Раздел 5. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Идея квантования (дискретности), ее обоснование: линейчатые спектры излучения атомов, успех квантовой гипотезы Планка, объяснение фотоэффекта, опыты Франка − Герца. Постоянная Планка. Квантование энергии и момента импульса. Опыт Штерна − Герлаха. Спин. Квантовые числа.

Корпускулярно-волновой дуализм. Дифракция электронов. Дифракция нейтронов. Микрочастицы в двухщелевом интерферометре. Волновые свойства микрочастиц и соотношения неопределенностей. Наборы одновременно измеримых величин.

Стационарное уравнение Шредингера. Временное уравнение Шредингера. Волновая функция и ее статистический смысл. Частица в одномерном ящике. Туннельный переход.

Энергетические уровни атома водорода. Электронное облако для *s*- и *p*-состояний. Принцип Паули. Магнитные моменты атомов. Энергетические уровни молекул.

Раздел 6. АТОМНОЕ ЯДРО

Строение атомных ядер. Ядерные силы. Модели атомных ядер. Дефект массы. Устойчивые и неустойчивые ядра. Радиоактивность. Ядерные реакции. Ядерный реактор. Путь использования ядерной энергии.

1. МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК

1.1. Основные формулы и законы

Физические основы механики

1. Средняя и мгновенная скорости движения материальной точки:

$$\upsilon_{\text{ср}} = \frac{s}{t}, \quad \upsilon_x = \frac{dx}{dt} \quad \text{или} \quad \upsilon = \frac{ds}{dt}. \tag{1.1}$$

2. Проекция скорости (а) и кинематический закон движения (б) при равнопеременном прямолинейном движении и их следствие (в):

$$\begin{aligned} &\text{а) } \upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t, \\ &\text{б) } x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}, \\ &\text{в) } \upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2 = 2a_x (x - x_0), \quad x - x_0 = s. \end{aligned} \tag{1.2}$$

3. Проекция скорости (а) и кинематический закон прямолинейного движения (б) под действием силы тяжести (вверх либо вниз) и их следствие (в):

$$\begin{aligned} &\text{а) } \upsilon_y = \upsilon_{0y} + g_y t, \\ &\text{б) } y = y_0 + \upsilon_{0y} + \frac{g_y t^2}{2}, \\ &\text{в) } \upsilon_y^2 - \upsilon_{0y}^2 = 2g_y (y - y_0), \quad y - y_0 = h. \end{aligned} \tag{1.3}$$

4. Уравнения движения тела, брошенного под углом к горизонту:

$$x = x_0 + \upsilon_{0x} t, \quad y = y_0 + \upsilon_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}. \tag{1.4}$$

5. Модуль полного ускорения точки при криволинейном движении:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}, \quad a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt}, \quad a_n = \frac{\upsilon^2}{R}. \tag{1.5}$$

6. Угловые скорость ω и угол поворота φ при равнопеременном вращении твердого тела:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t, \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt}, \quad \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}. \qquad (1.6)$$

7. Уравнение связи между угловой скоростью, периодом и частотой равномерного вращения:

$$\omega = 2\pi n = 2\pi / T. \qquad (1.7)$$

8. Соотношения, связывающие угловые и линейные величины при вращательном движении твердого тела:

$$S = \varphi R, \quad \upsilon = \omega R, \quad a_\tau = \varepsilon R, \quad a_n = \omega^2 R. \qquad (1.8)$$

9. Второй закон Ньютона (закон изменения импульса материальной точки):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}_i \quad \Rightarrow \quad m\vec{a} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \quad \Rightarrow \quad m\vec{\upsilon} - m\vec{\upsilon}_0 = \vec{F}\Delta t. \qquad (1.9)$$

10. Третий закон Ньютона (закон действия и противодействия):

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \qquad (1.10)$$

11. Сила упругости (закон Гука) для растяжения − сжатия и сдвига:

$$F_{\text{упр}} = -kx \quad \Rightarrow \quad \sigma_n = E\varepsilon_n, \quad \sigma_\tau = G\varepsilon_n, \qquad (1.11)$$

где σ_n − нормальное напряжение; E − модуль Юнга; ε_n − относительная деформация; σ_τ − касательное напряжение; G − модуль сдвига.

12. Сила трения скольжения (закон Кулона) и момент трения качения:

$$F_{\text{тр}} = \mu_{\text{ск}} N, \quad M_{\text{тр}} = \mu_{\text{кач}} N. \qquad (1.12)$$

13. Закон всемирного тяготения (закон Ньютона) в скалярном и векторном виде ($\vec{r}/r$ − единичный вектор):

$$F_{\text{т}} = G\frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad \vec{F}_{\text{т}} = -G\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r}. \qquad (1.13)$$

14. Закон сохранения импульса для замкнутой системы двух материальных точек:

$$m\vec{\upsilon}_1 + m\vec{\upsilon}_2 = m\vec{u}_1 + m\vec{u}_2. \qquad (1.14)$$

15. Работа постоянной F и переменной $F(s)$ сил:

$$A = Fs\cos\alpha, \quad A_{12} = \int_1^2 F(s)ds\cos\alpha. \qquad (1.15)$$

16. Средняя мощность силы и мгновенная мощность:

$$N = A/t, \quad N = \vec{F}\cdot\vec{\upsilon} \quad \Rightarrow \quad N = F\upsilon\cos\alpha. \qquad (1.16)$$

17. Кинетическая энергия точки и твердого тела в поступательном движении (υ_C − скорость центра масс):

$$\text{К} = m\upsilon^2/2, \quad \text{К}_{\text{пост}} = m\upsilon_C^2/2. \qquad (1.17)$$

18. Потенциальные энергии тела, поднятого на высоту h, упруго деформированного тела (пружины) и гравитационного взаимодействия:

$$\Pi = mgh, \quad \Pi = \frac{1}{2}kx^2, \quad \Pi = -G\frac{m_1 m_2}{r}. \qquad (1.18)$$

19. Полная механическая энергия тела или системы тел (точек):

$$E = \text{К} + \Pi. \qquad (1.19)$$

20. Моменты инерции точки или тел относительно некоторой неподвижной оси z:

а) материальной точки, находящейся на расстоянии R от оси вращения:

$$I_z = mR^2; \qquad (1.20)$$

б) сплошного цилиндра радиуса R (или диска) относительно оси, совпадающей с его геометрической осью:

$$I_z = \frac{1}{2}mR^2; \qquad (1.21)$$

в) однородного стержня относительно центральной оси z, перпендикулярной стержню и проходящей через его центр масс (точка C):

$$I_{Cz} = \frac{1}{12}ml^2; \qquad (1.22)$$

г) тела относительно произвольной оси z (теорема Штейнера), расположенной на расстоянии d от центральной оси Cz:

$$I_z = I_{Cz} + md^2. \qquad (1.23)$$

21. Момент силы относительно центра O в векторном и скалярном виде:

$$\vec{M}_0 = \vec{r} \times \vec{F} \quad \Rightarrow \quad M_0 = \pm Fd, \qquad (1.24)$$

где d − плечо силы (расстояние от прямой, вдоль которой действует сила, до оси вращения).

22. Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси z:

$$I_z \varepsilon = M_z, \; M_z = F_{\perp} d, \qquad (1.25)$$

где M_z − момент перпендикулярной к оси составляющей силы $\vec{F}$ относительно этой оси.

23. Момент импульса тела относительно оси вращения в векторном и скалярном виде:

$$\vec{L}_0 = \vec{r} \times m\vec{\upsilon}, \; L_z = \pm I_z \omega. \qquad (1.26)$$

24. Закон сохранения момента импульса для изолированной системы двух тел при их вращательном движении вокруг неподвижной оси z:

$$I_{z1}\omega_1 + I_{z2}\omega_2 = I_{z1}\omega_1' + I_{z2}\omega_2'. \qquad (1.27)$$

25. Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z:

$$К_{вр} = I_z \omega^2 / 2. \qquad (1.28)$$

26. Уравнение гармонического колебания осциллятора:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_0). \qquad (1.29)$$

27. Проекции скорости и ускорения при гармонических колебаниях осциллятора:

$$\upsilon_x = \frac{dx}{dt} = \omega A\cos(\omega t + \varphi_0), \; a_x = \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{d\upsilon_x}{dt} = -\omega^2 A\sin(\omega t + \varphi_0). \qquad (1.30)$$

28. Проекция силы, действующей на колеблющуюся материальную точку (осциллятор), т. е. возвращающая сила:

$$F_x = -m\omega^2 A\sin(\omega t + \varphi_0) = -m\omega^2 x. \qquad (1.31)$$

29. Полная энергия колеблющейся материальной точки (осциллятора):

$$E = К + П = mA^2\omega^2 / 2. \qquad (1.32)$$

30. Периоды колебаний математического, пружинного и физического маятников:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}, \quad T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad T = 2\pi\sqrt{I/(mgl)}. \qquad (1.33)$$

Молекулярная физика и термодинамика

31. Законы Бойля − Мариотта $(T = \text{const})$, Гей-Люссака (p = = const) и Шарля $(V = \text{const})$ соответственно:

$$pV = \text{const}, \quad V/T = \text{const} \quad \text{и} \quad p/T = \text{const}. \qquad (1.34)$$

32. Уравнения связи между массой m газа, количеством вещества ν и молярной массой μ:

$$m = \nu\mu, \quad \nu = m/\mu. \qquad (1.35)$$

33. Уравнение Клапейрона − Менделеева для чистого вещества и для смеси n компонентов газа (с учетом закона Дальтона) соответственно:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \quad \Rightarrow \quad p_{\text{см}}V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + ... + \frac{m_n}{\mu_n}\right)RT. \qquad (1.36)$$

34. Уравнения связи между характеристиками газа и молекул (m_0 − масса молекулы):

$$R = kN_{\text{А}}, \quad \mu = m_0 N_{\text{А}}, \quad N = \nu N_{\text{А}} = mN_{\text{А}}/\mu. \qquad (1.37)$$

35. Средняя кинетическая энергия $\langle\varepsilon\rangle$ хаотического движения молекулы с поступательными, вращательными и колебательными степенями свободы (закон Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы)

$$\langle\varepsilon\rangle = \frac{i}{2}kT, \quad i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{кол}}. \qquad (1.38)$$

36. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов:

$$p=\frac{2}{3}n\langle\varepsilon_{\text{пост}}\rangle,\ \ \langle\varepsilon_{\text{пост}}\rangle=\left\langle\frac{m_0\upsilon^2}{2}\right\rangle,\ \ n=N/V. \tag{1.39}$$

37. Внутренняя энергия U идеального газа массой m:

$$U=\frac{i}{2}\frac{m}{\mu}RT=\frac{i}{2}\nu RT. \tag{1.40}$$

38. Средняя квадратичная скорость, средняя арифметическая и наиболее вероятная скорости молекулы соответственно:

$$\langle\upsilon_{\text{кв}}\rangle=\sqrt{\frac{3RT}{\mu}},\ \ \langle\upsilon\rangle=\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}},\ \ \upsilon_{\text{н.в.}}=\sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \tag{1.41}$$

39. Количество теплоты Q (теплота), необходимое для нагревания тела массой m от температуры T_1 до температуры T_2:

$$Q=cm(T_2-T_1). \tag{1.42}$$

40. Удельные теплоемкости газа при постоянных объеме и давлении соответственно:

$$c_V=\frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V=\frac{i}{2}\cdot\frac{R}{\mu},\ \ c_p=\frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_P=\frac{i+2}{2}\cdot\frac{R}{\mu}. \tag{1.43}$$

41. Молярные теплоемкости газа (C_V и C_p) и коэффициент Пуассона для адиабатического процесса:

$$C_V=\mu c_V,\ \ C_p=\mu c_p,\ \ \gamma=C_p/C_V. \tag{1.44}$$

42. Среднее число z соударений молекулы за единицу времени (d − эффективный диаметр молекул):

$$\langle z\rangle=\sqrt{2}\pi d^2 n\langle\upsilon\rangle. \tag{1.45}$$

43. Средняя длина свободного пробега молекулы газа:

$$\langle l\rangle=\frac{\langle\upsilon\rangle}{z}=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}. \tag{1.46}$$

44. Закон Фика для диффузии (переноса массы) и выражение для коэффициента диффузии D для газов:

$$dm=-D\frac{d\rho}{dx}dS\,dt,\ \ D=\frac{1}{3}\langle\upsilon\rangle\langle l\rangle. \tag{1.47}$$

45. Закон Фурье для теплопроводности (переноса энергии) и выражение для коэффициента теплопроводности λ для газов:

$$dQ = -\lambda \frac{dT}{dx} dS\, dt, \quad \lambda = \frac{1}{3} \rho c_V \langle \upsilon \rangle \langle l \rangle. \tag{1.48}$$

46. Закон Ньютона для вязкого трения (переноса импульса) и выражение для коэффициента динамической вязкости:

$$dF_{\text{тр}} = \eta \frac{d\upsilon}{dx} dS, \quad \eta = \frac{1}{3} \rho \langle \upsilon \rangle \langle l \rangle. \tag{1.49}$$

47. Изменение внутренней энергии идеального газа в термодинамических процессах:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) = m c_V (T_2 - T_1). \tag{1.50}$$

48. Работа газа массой m для изотермического, изобарического и адиабатического процессов соответственно:

$$A = Q = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad A = p(V_2 - V_1) \quad \text{и} \quad A = -m c_V (T_2 - T_1). \tag{1.51}$$

49. Уравнения адиабатического процесса в переменных $p-V$, $T-V$ и $T-p$ соответственно (уравнения Пуассона):

$$pV^{\gamma} = \text{const}, \quad TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad \text{и} \quad T^{\gamma} p^{1-\gamma} = \text{const}. \tag{1.52}$$

50. Термический КПД тепловой машины и идеальной тепловой машины (цикла Карно):

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \tag{1.53}$$

Электростатика и постоянный ток

51. Закон Кулона в скалярной и векторной форме:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2} = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}, \quad \vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^3} \vec{r}, \tag{1.54}$$

где ε_0 − электрическая постоянная, равная $8{,}854\cdot10^{-12}$ Ф/м; $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ − коэффициент, равный $9\cdot10^9$ Н·м²/Кл²; ε − диэлектрическая проницаемость.

52. Напряженность $\vec{E}$ электрического поля (его силовая характеристика):

$$\vec{E} = \vec{F}/q_0. \tag{1.55}$$

53. Теорема Гаусса для поля $\vec{E}$ в диэлектрической среде ($q^{\text{св}}$ − алгебраическая сумма свободных зарядов, находящихся внутри замкнутой поверхности S):

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon} q^{\text{св}}. \tag{1.56}$$

54. Напряженность $\vec{E}$ электростатического поля точечного заряда q в скалярной и векторной форме:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{\varepsilon r^2}, \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon r^3}\vec{r}. \tag{1.57}$$

55. Напряженность $\vec{E}$ поля, созданного двумя и более точечными зарядами (принцип суперпозиции):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots \vec{E}_n. \tag{1.58}$$

56. Напряженность $\vec{E}$ поля, создаваемого бесконечной равномерной заряженной плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}, \tag{1.59}$$

где $\sigma = q/S$ − поверхностная плотность заряда.

57. Напряженность $\vec{E}$ поля, создаваемого в среде бесконечной равномерно заряженной нитью:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\tau}{\varepsilon r}, \tag{1.60}$$

где $\tau = q/l$ − линейная плотность заряда.

58. Потенциал φ поля (его энергетическая характеристика, П − потенциальная энергия заряда q в этом поле):

$$\varphi = \frac{\Pi}{q} = \frac{A_\infty}{q}, \tag{1.61}$$

где $A_\infty = \Pi$ − работа поля по перемещению заряда q из данной точки поля в бесконечно удаленную точку, где поле отсутствует (нулевой уровень для П).

59. Потенциал φ поля точечного неподвижного заряда q_1, находящегося в диэлектрической среде:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon r}. \tag{1.62}$$

60. Уравнения связи между напряженностью E и потенциалом φ для неоднородного $(E = E(x))$ и однородного полей соответственно:

$$E = -\frac{d\varphi}{dx}, \quad E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}. \tag{1.63}$$

61. Электроемкость C уединенного проводника (q и φ − заряд и потенциал проводника):

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad \Rightarrow \quad C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R \ \text{(для сферы)}. \tag{1.64}$$

62. Электроемкость C конденсатора (q − заряд на его обкладке, U − напряжение для плоского конденсатора):

$$C = \frac{q}{U} \quad \Rightarrow \quad C = \varepsilon_0\varepsilon\frac{S}{d}. \tag{1.65}$$

63. Электроемкость C последовательно соединенных конденсаторов с емкостями C_i:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}. \tag{1.66}$$

64. Электроемкость C параллельно соединенных конденсаторов с емкостями C_i:

$$C = C_1 + C_2 + ... + C_n = \sum_{i=1}^{n} C_i \,. \qquad (1.67)$$

65. Энергия заряженного конденсатора и энергия его электростатического поля соответственно:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}, \quad W = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2 V \,. \qquad (1.68)$$

66. Объемная плотность w энергии электрического поля:

$$w = W/V, \quad w = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2 \,. \qquad (1.69)$$

67. Сила I постоянного тока и его плотность j:

$$I = \frac{q}{t}, \quad I = en\langle \upsilon \rangle S \ \text{(в металлах)}, \quad j = \frac{I}{S} = en\langle \upsilon \rangle \,. \qquad (1.70)$$

68. Электрическое сопротивление R проводника и его зависимость от температуры t:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad R = R_0 (1 + \alpha t) \,. \qquad (1.71)$$

где α − температурный коэффициент сопротивления.

69. Сопротивление R последовательно соединенных проводников с сопротивлениями R_i:

$$R = R_1 + R_2 + ... + R_n = \sum_{i=1}^{n} R_i \,. \qquad (1.72)$$

70. Сопротивление R параллельно соединенных проводников с сопротивлениями R_i:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i} \,. \qquad (1.73)$$

71. Законы Ома для замкнутой цепи, для однородного и неоднородного участков цепи соответственно:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}, \quad I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}}{R + r} \,. \qquad (1.74)$$

72. Работа A и мощность P электрического тока соответственно:

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t\,, \quad P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}\,. \qquad (1.75)$$

73. Закон Джоуля − Ленца для теплоты Q, выделяющейся в сопротивлении R:

$$Q = I^2Rt\,. \qquad (1.76)$$

74. Объединенный закон Фарадея для электролиза (M − молярная масса; n − валентность химического элемента; F − число Фарадея):

$$m = \frac{1}{F}\frac{M}{n}It = \frac{1}{F}\frac{M}{n}q\,. \qquad (1.77)$$

1.2. Примеры решения задач и их оформления

Физические основы механики

Пример 1. Динамика равноускоренного движения. Определить силу натяжения T каната при равноускоренном подъеме с помощью блочного приспособления (рис. 1) груза массой $m =$ 1,5 т, если за время t_1 = 2 с от t_1 = = 2 с начала движения скорость возросла до υ_1 = = 360 см/с.

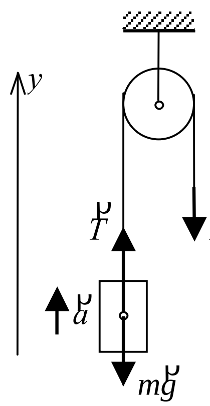


Рис. 1

Дано:
m = 1,5 т = 1,5·10^3 кг
υ_1 = 360 см/с = 3,6 м/с
t_1 = 2 с

Найти: T.

Решение. На груз при его подъеме действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вниз, и сила натяжения каната $\vec{T}$, направленная вверх. Ускорение, получаемое грузом, вызывается равнодействующей этих сил.

Если принять направление вверх за положительное (ось y), то, согласно второму закону Ньютона (1.9), в проекции на эту ось можно написать:

$$ma_y = T - mg \quad \Rightarrow \quad T = mg + ma_y = m(g + a_y). \qquad (1)$$

Проекция ускорения a_y при равноускоренном движении определяется из соотношения (1.2а):

$$a_y = (\upsilon_y - \upsilon_{0y})/t = \upsilon_1 t_1\,, \qquad (2)$$

здесь принято во внимание, что, согласно условию задачи, за время $t = t_1$ проекция скорости υ_y изменилась от нуля $(\upsilon_{0y} = 0)$ до $\upsilon_y = \upsilon_1$.

Подставив в формулу (1) выражение (2), получим расчетную формулу:

$$T = m(g + \upsilon_t / t). \qquad (3)$$

Для проверки единиц правой и левой частей расчетной формулы (3), содержащей сомножитель в виде суммы двух слагаемых, нужно проверить единицы каждого слагаемого:

1 Н = $[mg]$ = 1 кг · 1 м/с^2 = 1 Н; 1 Н = $[m\upsilon_t/t]$ = (1 кг · 1 м/с)/ 1 с = 1 Н.

Подставим числовые значения величин в (3) и проведем вычисления:

$$T = 1{,}50 \cdot 10^3 \left(9{,}81 + \frac{3{,}60}{2}\right) = 1{,}74 \cdot 10^4 \text{ Н} = 17{,}4 \text{ кН}.$$

Пример 2. Динамика равнозамедленного движения. Вагон массой $m =$ 20 т, имеющий начальную скорость υ_0 = 36 км/ч, под действием силы трения $F_{тр}$ = 6 кН через некоторое время останавливается, двигаясь на горизонтальном участке пути. Найти расстояние s, которое пройдет вагон до остановки, и работу A сил трения.

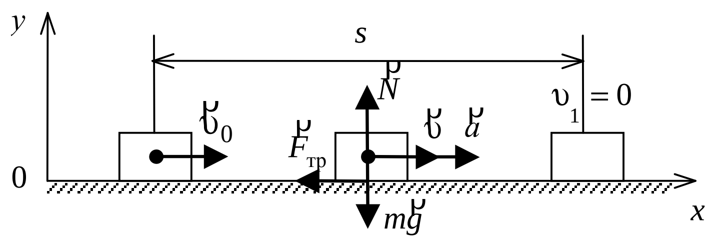


Рис. 2

Дано:
$m =$ 20 т = 2·10^4 кг
υ_0 = 36 км/ч = 10 м/с
$F_{тр}$ = 6 кН = 6·10^3 Н
Найти: s; $A_{тр}$.

Решение.

1. Тормозной путь вагона в направлении оси x (рис. 2) можно определить из соотношения (1.2в)

$$\upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2 = 2a_x s. \qquad (1)$$

Проекцию ускорения a_x найдем с помощью второго закона Ньютона (1.9):

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} \quad \Rightarrow \quad ma_x = -F_{тр} \quad \Rightarrow a_x = -F_{тр} / m < 0. \qquad (2)$$

Подставив в формулу (1) выражение (2) и проекции скоростей $\upsilon_{0x} = \upsilon_0$ и $\upsilon_x = 0$, получим

$$-\upsilon_0^2 = -2F_{\text{тр}}s/m \quad \Rightarrow \quad s = m\upsilon_0^2/(2F_{\text{тр}}). \qquad (3)$$

Проверим единицы измерения правой и левой частей расчетной формулы (3), чтобы убедиться, что они совпадают. Для этого подставляем в формулу вместо величин их единицы в СИ: 1 м = 1 кг × × 1 (м/с^2)/1 кг·м/с^2) = 1 м.

Подставим числовые значения величин в (3) и проведем вычисления:

$$s = \frac{10^2 \cdot 2 \cdot 10^4}{2 \cdot 6 \cdot 10^3} = 167 \text{ м}.$$

2. Работу постоянной силы трения рассчитаем по формуле (1.15):

$$A = Fs\cos\alpha = -F_{\text{тр}}s, \qquad (4)$$

здесь α = 180° − угол между направлениями силы $\vec{F}_{\text{тр}}$ и скорости υ.

После подстановки в формулу (4) числовых значений получим

$$A = -6 \cdot 10^3 \cdot 167 \text{ Дж} = -10^6 \text{ Дж} = -1 \text{ МДж}.$$

Пример 3. Абсолютно упругий удар. Шарик массой m = 100 г упал с высоты h = 2,5 м на горизонтальную плиту и отскочил от нее вследствие упругого удара без потери скорости. Определить среднюю силу $\langle F \rangle$, действовавшую на шарик при ударе, если его продолжительность Δt = 0,1 с.

Дано:
m = 100 г = 0,1 кг
h = 2,5 м
Δt = 0,1 с
Найти: $\langle F \rangle$.

Р е ш е н и е. Из второго закона Ньютона (1) вытекает, что произведение средней силы на время ее действия равно изменению импульса тела, вызванного этой силой:

$$\langle \vec{F} \rangle \Delta t = m\vec{\upsilon}_2 - m\vec{\upsilon}_1 \quad \Rightarrow \quad \langle \vec{F} \rangle = \frac{m(\vec{\upsilon}_2 - \vec{\upsilon}_1)}{\Delta t}, \qquad (1)$$

где Δt − промежуток времени, в течение которого действует сила, а υ_1 и υ_2 − скорости материальной точки в начале и конце этого промежутка.

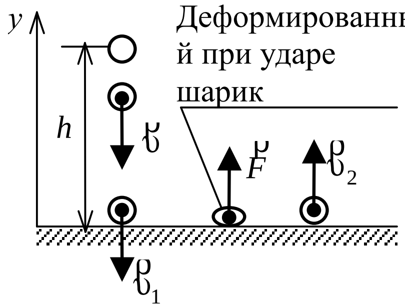


Рис. 3

Если учесть, что скорость $\vec{\upsilon}_2$ после удара (рис. 3) численно равна скорости $\vec{\upsilon}_1$ до удара и противоположна ей по направлению, то формула (1) в проекции на ось y ($\upsilon_{1y} = -\upsilon_1,\ \upsilon_{2y} = \upsilon_1$) примет вид

$$\langle F \rangle = \frac{m(\upsilon_{2y} - \upsilon_{1y})}{\Delta t} = \frac{m(\upsilon_1 + \upsilon_1)}{\Delta t} = \frac{2m}{\Delta t}\upsilon_1 . \quad (2)$$

Так как шарик падает свободно с высоты h (см. формулу (1.3в)), то перед ударом о плиту его скорость $\upsilon_1 = \sqrt{2gh}$. Подставив это выражение в (2), получим расчетную формулу для средней силы и проверим единицы правой и левой частей:

$$\langle F \rangle = \frac{2m}{\Delta t}\sqrt{2gh} \quad \Rightarrow \quad 1\ \text{Н} = 1\ \frac{1\,\text{кг}}{1\,\text{с}} \cdot \sqrt{1\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1\,\text{м}} = 1\ \text{кг·м/с}^2 = 1\ \text{Н}.$$

Подставим числовые значения и проведем вычисления:

$$\langle F \rangle = \frac{2 \cdot 0{,}1}{0{,}1}\sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}5} = 14\ \text{Н}.$$

Пример 4. Работа, энергия и коэффициент полезного действия. Для подъема воды из колодца глубиной h = 20 м (рис. 4) установили насос мощностью N = 3,7 кВт. Определить массу m и объем V воды, поднятой за время t_1 = 7 ч, если КПД насоса η = 80%.

Дано:
h = 20 м
N = 3,7 кВт = $3{,}7 \cdot 10^2$ Вт
t_1 = 7 ч = $2{,}52 \cdot 10^4$ с
η = 80% = 0,8

Найти: M; V.

Решение: КПД определяется формулой

$$\eta = A_{\text{пол}} / A_{\text{затр}} . \quad (1)$$

Полезная работа, совершенная для подъема груза (воды массой m) без ускорения на высоту h, равна потенциальной энергии П, которой обладает этот груз на этой высоте, т. е. A = П = $= mgh$; g − ускорение свободного падения.

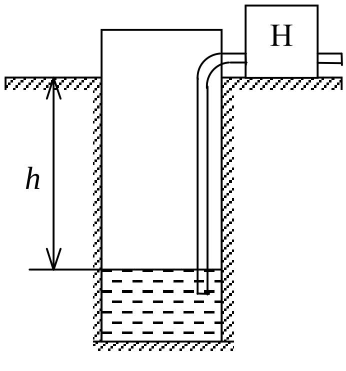


Рис. 4

Затраченную работу двигателя найдем, используя определение (1.16) для мощности $A_{\text{затр}} = Nt$.

Подставив выражение работ в формулу (1), получим

$$\eta = \frac{mgh}{N t} \quad \Rightarrow \quad m = \frac{N t\eta}{gh}. \qquad (2)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (2):

$$1\ \text{кг} = 1\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{с}} 1\,\text{с}/\left(1\,\text{м/с}^2\cdot 1\,\text{м}\right) = \frac{1\,\text{кг}\cdot\text{м/с}^2\cdot 1\,\text{м}}{1\,\text{м}^2/\text{с}^2} = 1\ \text{кг}.$$

Подставим числовые значения и проведем вычисления:

$$m = \frac{3{,}7\cdot 10^3\cdot 2{,}52\cdot 10^4\cdot 0{,}8}{9{,}81\cdot 20} = 3{,}80\cdot 10^5\ \text{кг} = 380\ \text{т}.$$

Чтобы определить объем воды, надо ее массу разделить на плотность:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3{,}80\cdot 10^5}{1\cdot 10^3}\ \text{м}^3 = 380\ \text{м}^3.$$

Пример 5. Динамика криволинейного движения точки. Искусственный спутник Земли движется по круговой орбите на высоте h = 700 км. Определить скорость его движения. Радиус Земли R = = $6{,}37\cdot 10^6$ м, ее масса $M = 5{,}98\cdot 10^{24}$ кг.

Дано:
h = 700 км = $7\cdot 10^5$ м
R = $6{,}37\cdot 10^6$ м
$M = 5{,}98\cdot 10^{24}$ кг

Найти: υ.

Решение. На спутник массой m, движущийся со скоростью υ по круговой орбите, «действует» центробежная сила, определяемая центростремительным ускорением (1.5):

$$F = m\upsilon^2/r, \qquad (1)$$

где r − радиус кривизны траектории.

Если пренебречь сопротивлением среды (которой на высоте 700 км практически нет) и силами тяготения со стороны всех небесных тел, то можно считать, что единственной силой является сила $\vec{F}$ тяготения между спутником и Землей.

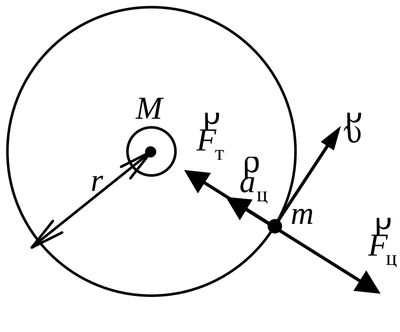


Рис. 5

Согласно закону всемирного тяготения (1.13)

$$F_т = G\,mM/r^2, \qquad (2)$$

где $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ м³/(кг·с²) − гравитационная постоянная.

Эта сила и играет роль центростремительной силы, которая уравновешивает центробежную. Поэтому, приравняв правые части (1) и (2), получим

$$\frac{m\upsilon^2}{r} = G\frac{mM}{r^2} \;\Rightarrow\; \upsilon = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}\,. \qquad (3)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (3), чтобы убедиться, что эти единицы совпадают. Для этого подставляем в формулу вместо величин их единицы в СИ:

$$1\,\text{м/с} = \sqrt{1\,\text{м}^3/\left(\text{кг}\cdot\text{с}^2\right)\cdot 1\,\text{кг}/1\,\text{м}} = 1\ \text{м/с}.$$

Подставим числовые значения и выполним расчеты:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{6{,}67\cdot10^{-11}\cdot5{,}98\cdot10^{24}}{6{,}34\cdot10^{6}+7\cdot10^{5}}} = 7{,}52\cdot10^{3}\ \text{м/с} = 7{,}52\ \text{км/с}.$$

Пример 6. Динамика вращательного движения твердого тела. Маховик в виде сплошного диска массой m = 80 кг и радиусом R = 50 см начал вращаться равноускоренно под действием вращающего момента M = 20 Н·м. Определить: 1) угловое ускорение; 2) кинетическую энергию, приобретенную маховиком за время t = 10 с от начала вращения.

Дано:
m = 80 кг
R = 50 см = 0,5 м
$\omega_0 = 0$
M = 20 Н·м

Найти: ε; K.

Решение.

1. Воспользуемся основным уравнением динамики вращательного движения тела относительно неподвижной оси Ox:

$$M = I_x\varepsilon \;\Rightarrow\; \varepsilon = M/I_x\,, \qquad (1)$$

где I_x − осевой момент инерции маховика.

Момент инерции диска относительно оси, совпадающей с геометрической осью диска (ось Ox), определяется формулой (1.21):

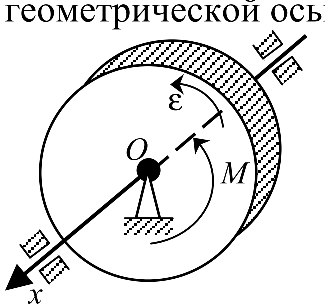


Рис. 6

$$I_x = \frac{1}{2}mR^2\,. \qquad (2)$$

Подставив выражение для I_x из (2) в уравнение (1), получим

$$\varepsilon = 2M \big/ mR^2 = \text{const}. \qquad (3)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (3):

$$1\ \text{с}^{-2} = 1\ \text{Н·м}/(1\ \text{кг}\cdot(1\ \text{м}^2)) = 1\ \text{кг·м}^2\text{·с}^{-2}\cdot 1\ \text{кг}^{-1}\cdot 1\ \text{м}^{-2} = 1\ \text{с}^{-2}.$$

Подставим числовые значения и проведем вычисления:

$$\varepsilon = \frac{2\cdot 20}{80\cdot 0{,}5^2} = 2\ \text{рад/с}^2 = 2\ \text{с}^{-2}.$$

2. Кинетическая энергия тела, вращающегося с угловой скоростью ω, выражается формулой (1.28):

$$\text{К} = I_x\omega^2 \big/ 2. \qquad (4)$$

При равноускоренном вращении угловая скорость ω в момент времени t связана с угловым ускорением ε соотношением (1.6):

$$\varepsilon = (\omega_t - \omega_0)/t, \qquad (5)$$

где ω_0 − начальная угловая скорость.

Так как по условию задачи $\omega_0 = 0$, то из (5) следует, что $\omega_t = \varepsilon t$. Подставив это соотношение и осевой момент (2) в выражение (4), получим расчетную формулу для кинетической энергии:

$$\text{К} = \frac{1}{2}mR^2\frac{\varepsilon^2 t^2}{2} = \frac{m(R\varepsilon t)^2}{4}. \qquad (6)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (7):

$$1\ \text{Дж} = 1\ \text{кг}\ (1\ \text{м}\cdot 1\ \text{с}^{-2}\cdot 1\ \text{с})^2 = 1\ \text{кг}\cdot \text{м}^2\text{·с}^{-2} = 1\ \text{Дж}.$$

Подставим числовые значения в формулу (7) и проведем вычисления:

$$\text{К} = \frac{80\cdot(0{,}5\cdot 2\cdot 10)^2}{4}\ \text{Дж} = 2\cdot 10^3\ \text{Дж} = 2\ \text{кДж}.$$

Пример 7. Гармонические незатухающие колебания. Уравнение колеблющейся точки имеет вид $x = 3\sin\pi t$ (смещение x в сантиметрах, время t в секундах). Определить: 1) амплитуду колебания, циклическую частоту, период и начальную фазу; 2) смещение точки в момент времени t_1 = 1/6 с; 3) максимальную скорость и максимальное ускорение.

Дано:	Решение.
x = 0,03sinπt t_1 = 1/6 с	1. Уравнение гармонического колебательного движения в общем случае имеет следующий вид (1.29):
Найти: 1. A; ω; φ_0 2. $x(t_1)$ 3. υ_{max}; a_{max}.	$$x = A\sin\left(\omega t + \varphi_0\right). \qquad (1)$$ Из сравнения заданного уравнения движения x = 0,03sinπt с уравнением (1) следует, что

амплитуда A = 0,03 м, циклическая частота $\omega = \pi$ с$^{-1}$, начальная фаза φ_0 = 0.

Значение периода T колебаний определяется с помощью соотношения (1.7):

$$\omega = 2\pi/T \quad \Rightarrow \quad T = 2\pi/\omega = 2\pi/\pi = 2 \text{ с.}$$

2. Для определения значения смещения $x(t_1)$ подставим в заданное уравнение движения значение времени t_1 = 1/6 с. Получим

$$x_1 = 3\sin(\pi 1/6) = 0{,}03\sin 30° = 0{,}015 \text{ м.}$$

3. Выражение для проекции скорости колебательного движения найдем, взяв первую производную от смещения x колеблющейся точки:

$$\upsilon_x = \frac{dx}{dt} = 0{,}03\pi\cos\pi t.$$

Максимальное значение скорости равно ее амплитуде:

$$\upsilon_{max} = 0{,}03\pi = 0{,}0942 \text{ м/с.}$$

Аналогично определяем максимальное ускорение. Проекция ускорения есть первая производная от проекции скорости по времени:

$$a_x = \frac{d\upsilon_x}{dt} = -3\pi^2\sin\pi t = 3\pi^2\cos\left(\pi t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \Rightarrow \quad a_{max} = 3\pi^2 = 0{,}296 \text{ м/с}^2.$$

Молекулярная физика и термодинамика

Пример 8. Расчет параметров газовой смеси. В баллоне содержится смесь из ν_1 = 5 молей азота и ν_2 = 10 молей водорода при температуре t = 7°C и давлении $p_{см}$ = 2,5 МПа. Определить плотность газовой смеси.

Дано:
ν_1 = 5 моль; ν_2 = 10 моль
N = 3,7 кВт = 3,7·10^2 Вт
T = 273 + 7 = 300 К
$p_{см}$ = 2,5 МПа = 2,5·10^6 Па

Найти: $\rho_{см}$.

Решение. На основании определения плотности для смеси двух газов имеем:

$$\rho_{см} = \frac{m_1 + m_2}{V}, \tag{1}$$

где m_1 и m_2 − массы азота и водорода соответственно; V − объем газов в баллоне.

Воспользуемся уравнением (1.35), которое связывает массу m вещества с числом его молей:

$$m_1 = \nu_1 \mu_1; \quad m_2 = \nu_2 \mu_2. \tag{2}$$

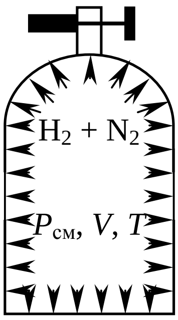


Рис. 7

Для определения объема V газа в баллоне воспользуемся уравнением Клапейрона − Менделеева (1.36), которое записано для смеси газов с учетом закона Дальтона:

$$p_{см} V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) RT = (\nu_1 + \nu_2) RT,$$

где R = 8,31 Дж/(моль·К) − универсальная газовая постоянная; T − термодинамическая температура.

Из последнего соотношения выражаем объем V:

$$V = (\nu_1 + \nu_2) RT / p_{см}. \tag{3}$$

Подставив (1) выражения (2) и (3) для масс m_1, m_2 и объема V, получим расчетную формулу для плотности вещества:

$$\rho = \frac{(\nu_1 \mu_1 + \nu_2 \mu_2) p_{см}}{(\nu_1 + \nu_2) RT}. \tag{4}$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы:

$$1\,\text{кг/м}^3 = \frac{1\,\text{моль} \cdot 1\,\text{кг}/\text{моль} \cdot 1\,\text{Па}}{1\,\text{моль} \cdot 1\,\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 1\,\text{К}} =$$

$$= 1\text{ кг} \cdot \text{Па/Дж} = 1\text{ кг} \cdot \text{Н/(м}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м)} = 1\text{ кг/м}^3.$$

Подставим числовые значения и проведем вычисления:

$$\rho = \frac{\left(5 \cdot 28 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3}\right) \cdot 2{,}5 \cdot 10^{6}}{\left(5+10\right) \cdot 8{,}31 \cdot 280} = 11{,}5 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 9. Применение уравнений связи между характеристиками вещества и молекул (атомов). В сосуде находится гелий массой $m = 1$ кг. Определить массу одного атома гелия и их количество.

Дано: m = 2 кг	Решение.
Найти: N; m_0.	1. Число молекул N в заданной массе газа определяется выражением

$$N = \nu N_A = \frac{m}{\mu} N_{\text{A}}, \qquad (1)$$

где $\nu = m/\mu$ − количество вещества; μ = $4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль − молярная масса гелия; N_{A} = $6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ − число Авогадро.

Так как молекула гелия одноатомная, то число атомов равно числу молекул. Подставим числовые значения в формулу (1) и произведем вычисления:

$$N = \frac{2 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}}{4 \cdot 10^{-3}} = 3{,}01 \cdot 10^{26} \text{ атомов.}$$

2. Чтобы рассчитать массу m_0 одного атома, нужно заданную массу вещества разделить на число атомов, содержащихся в этой массе:

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{2}{3{,}01 \cdot 10^{26}} = 6{,}67 \cdot 10^{-27} \text{ кг.} \qquad (2)$$

Заметим, что массу атома можно найти, используя его относительную массу в атомных единицах массы (по таблице Менделеева) и перевести ее в килограммы (1 а.е.м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг):

$$m_0 = 4 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 6{,}64 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Пример 10. Классическая теория идеального газа. Определить внутреннюю энергию водяного пара массой m = 180 г при температуре t = − 73°С, принимая его за идеальный газ, а также кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы пара при той же температуре.

Дано:
m = 180 г = 0,18 кг
T = 200 К

Найти: U; $\varepsilon_{вр}$.

Решение.

1. На каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая энергия (закон Больцмана о равномерном распределении энергии), выражаемая формулой

$$\varepsilon_0 = kT/2\,, \tag{1}$$

где k = 1,38·10^{-23} Дж/К − постоянная Больцмана.

Так как вращательному движению трехатомной молекулы соответствуют три степени свободы (вращение вокруг трех осей), то энергия вращательного движения молекулы водяного пара

$$\varepsilon_{вр} = 3kT/2 = 3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 200/2 = 4{,}14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

2. Внутренняя энергия идеального газа, равная средней кинетической энергии всех молекул газа, выражается формулой (1.40):

$$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} RT\,, \tag{2}$$

где i = 6 − число степеней свободы молекулы воды (трехатомная молекула имеет три поступательные и три вращательные степени свободы); μ = 18·10^{-3} кг/моль − молярная масса воды; R = 8,31 Дж/(моль·К) − универсальная газовая постоянная.

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (2):

$$1\,\text{Дж} = \frac{1\,\text{кг}}{1\,\text{кг}/\text{моль}} 1\,\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К}) \cdot 1\,\text{К} = 1 \text{ Дж.}$$

Подставим числовые данные в формулу (1) и проведем вычисления:

$$U = \frac{6 \cdot 0{,}18 \cdot 8{,}31 \cdot 200}{2 \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 4{,}99 \cdot 10^{4} \text{ Дж} = 49{,}9 \text{ кДж.}$$

Пример 11. Изопроцессы. Работа газа. Теплота. Кислород массой m = 320 г изобарически расширяется при давлении p = 2·10^5 Па от V_1 до V_2. Температура газа изменяется от t_1 = 20°С до некоторого значения t_2. Определить работу A, совершенную газом при расширении, и конечный объем V_2 газа, если на

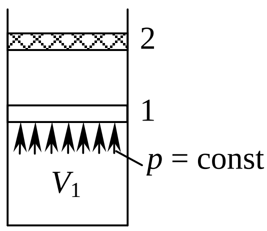


Рис. 8

изобарическое расширение затрачена теплота Q = = 10 кДж.

Дано:	Решение.
m = 320 г = 0,32 кг $p = 2\cdot10^5$ Па; T_1 = 293 К $Q = 10^4$ Дж	1. Формулу работы газа для изобарического процесса (1.51) преобразуем с учетом уравнения Клапейрона − Меделеева (1.36):
Найти: A.	

$$\left.\begin{aligned} A &= p(V_2 - V_1) \\ p(V_2 - V_1) &= \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1) \end{aligned}\right\} \Rightarrow A = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где $\mu = 32\cdot10^{-3}$ кг/моль − молярная масса кислорода; R = = 8,31 Дж/(моль·К) − универсальная газовая постоянная.

Неизвестная разность температур $\Delta T = T_2 - T_1$ может быть найдена из формулы (1.42) для теплоты изобарического процесса:

$$Q = c_p m(T_2 - T_1), \quad (2)$$

где $c_p = (i+2)R/(2\mu)$ − удельная теплоемкость при p = const. Из формулы (2) выражаем разность температур:

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{mc_p} = \frac{2\mu Q}{(i+2)mR}. \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в формулу (1), получим

$$A = \frac{m}{\mu}R\frac{2\mu Q}{(i+2)mR} = \frac{2Q}{i+2}. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что единицы правой и левой частей одинаковы (1 Дж = 1 Дж).

С помощью (4) для двухатомной молекулы кислорода O_2, имеющей три поступательные и две вращательные степени свободы (i = 3 + 2 = 5), получим

$$A = \frac{2\cdot10^4}{5+2} = 2{,}86\cdot10^3 \text{ Дж} = 2{,}86 \text{ кДж}.$$

2. Для нахождения конечного объема V_2 воспользуемся формулой (1.51) для работы газа в изобарическом процессе:

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1, \quad (5)$$

Второе слагаемое в скобках, содержащее неизвестное значение начального объема V_1, можно определить, воспользовавшись уравнением Клапейрона − Менделеева для начального состояния газа:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1. \qquad (6)$$

Подставив выражение (6) в формулу (5), получим

$$A = pV_2 - \frac{m}{\mu} RT_1 \quad \Rightarrow \quad V_2 = \frac{1}{p}\left(A + \frac{m}{\mu} RT_1 \right). \qquad (7)$$

Для проверки единиц левой и правой частей расчетной формулы (7), содержащей сомножитель в виде суммы двух слагаемых, нужно проверить единицы каждого слагаемого:

$$1\ \text{м}^3 = [A/p] = 1\text{Дж}/1\ \text{Па} = \frac{1\,\text{Н} \cdot 1\,\text{м}}{1\,\text{Н} \cdot 1\,\text{м}^{-2}} = 1\ \text{м}^3;$$

$$1\ \text{м}^3 = [mRT_1/\mu p] = \frac{1\text{кг} \cdot 1\,\text{Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 1\,\text{К}}{1\,\text{кг/моль} \cdot 1\,\text{Па}} = 1\ \text{Дж}/1\ \text{Па} = 1\ \text{м}^3.$$

Подставим все числовые значения в расчетную формулу (7) и проведем вычисления:

$$V_2 = \frac{1}{2 \cdot 10^5}\left(2{,}86 \cdot 10^3 + \frac{0{,}32}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 8{,}31 \cdot 293 \right) = 0{,}136\ \text{м}^3 = 136\ \text{л}.$$

Пример 12. Определение молекулярно-кинетических характеристик молекул. Сильно разреженный воздух находится при температуре t = 0°С и давлении p = 1,01 Па. Приняв средний диаметр молекул воздуха $d = 2{,}9 \cdot 10^{-8}$ см, определить среднюю длину их свободного пробега и среднее число столкновений за одну секунду.

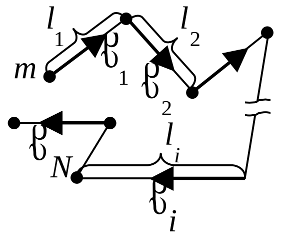
Дано:
T = 273 К
p = 1,01 Па
$d = 2{,}9 \cdot 10^{-10}$ м

Найти: $\langle l \rangle$; $\langle z \rangle$.

Решение. Средняя длина свободного пробега молекул определяется формулой (l_i − длина свободного пробега молекулы на участке траектории с номером i на рис. 9):

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}, \qquad (1)$$

где d − диаметр молекулы; $n = N/V$ − концентрация молекул, т. е. число молекул в единице объема газа.



$i = 1, 2, \ldots, N$ − число столкновений

Рис. 9

Для определения n преобразуем уравнение Клапейрона − Менделеева (1.36) с учетом соотношений (1.35) и (1.37). Получим

$$p = \nu \frac{N_A kT}{V} = nkT \quad \Rightarrow \quad n = \frac{p}{kT}, \qquad (2)$$

где p − давление газа; T − температура газа; k = = 1,38·10^{-23} Дж/К − постоянная Больцмана.

Подставив выражение для n из (2) в (1), получим расчетную формулу для средней длины свободного пробега молекулы:

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}. \qquad (3)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (3):

1 м = 1 Дж·К$^{-1}$ · 1 К/(1 м^2 · 1 Па) = 1 Дж/м^2·Па = 1 Н·м/м^2·Н·м$^{-2}$ = 1 м.

Подставим значения всех величин в формулу (3) и проведем расчеты:

$$\langle l \rangle = \frac{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 273}{\sqrt{2} \cdot 3{,}14 \cdot \left(2{,}9 \cdot 10^{-10}\right)^2 \cdot 1{,}01} = 10^{-2} \text{ м} = 1 \text{ см}.$$

2. Среднее число столкновений молекул газа связано с длиной свободного пробега соотношением (1.46):

$$\langle z \rangle = \frac{\langle \upsilon \rangle}{\langle l \rangle}. \qquad (4)$$

Здесь $\langle \upsilon \rangle$ − средняя арифметическая скорость молекул, которую можно определить по второй формуле из соотношений (1.41):

$$\langle \upsilon \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}, \qquad (5)$$

где R = 8,31 Дж/(моль·К) − универсальная газовая постоянная; μ = = 29·10^{-3} кг/моль − молярная масса воздуха.

Подставим выражение для $\langle \upsilon \rangle$ из (5) в формулу (4) и, сделав соответствующие преобразования, получим

$$\langle z\rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu\langle l\rangle^2}}. \qquad (6)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (6):

$$1\,\text{с}^{-1} = \sqrt{1\,\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})\cdot 1\,\text{К}/\left(1\,\text{кг}/\text{моль}\cdot 1\,\text{м}^2\right)} =$$
$$= \sqrt{1\,\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}\cdot 1\,\text{кг}^{-1}\cdot 1\,\text{м}^{-2}} = 1\,\text{с}^{-1}.$$

Подставим числовые значения в (6) и проведем вычисления:

$$\langle z\rangle = \sqrt{\frac{8\cdot 8{,}31\cdot 273}{3{,}14\cdot 29\cdot 10^{-3}\cdot 10^{-4}}} = 4{,}46\cdot 10^3\ \text{с}^{-1}.$$

Пример 13. Расчет скоростей хаотического (теплового) движения молекул газа. Плотность газа ρ = 0,2 кг/м^3, а давление p = = 1,01·10^4 Па. Определить среднюю квадратичную скорость молекул и сравнить ее с наиболее вероятной скоростью движения молекул газа.

Дано:
p = 1,01·10^4 Па
ρ = 0,2 кг/м^3

Найти: $\upsilon_{\text{кв}}$; $\upsilon_{\text{кв}}/\upsilon_{\text{н.в.}}$.

Решение. Средняя квадратичная скорость определяется по первой формуле из соотношений (1.41):

$$\langle\upsilon_{\text{кв}}\rangle = \sqrt{3RT/\mu}, \qquad (1)$$

где R − универсальная газовая постоянная; T − абсолютная температура газа; μ − молярная масса.

Воспользуемся уравнением Клапейрона − Менделеева (1.36) для установления связи между выражением RT/μ и заданными значениями давления и плотности газа:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \Rightarrow \frac{RT}{\mu} = \frac{pV}{m} = \frac{p}{\rho}. \qquad (2)$$

Подставив значение выражения (2) в (1), найдем

$$\langle\upsilon_{\text{кв}}\rangle = \sqrt{3p/\rho}. \qquad (3)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (3):

$$1\,\text{м}/\text{с} = \sqrt{1\,\text{Н}/\text{м}^2\cdot 1\,\text{м}^3/\text{кг}} = \sqrt{1\,\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}/1\,\text{кг}} = \text{м}\cdot\text{с}^{-1}.$$

Подставим числовые значения в формулу (3) и выполним расчеты:

$$\langle \upsilon_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3 \cdot 1{,}01 \cdot 10^4}{0{,}2}} = 389 \text{ м/с}.$$

Используя (1.41), определим отношение средней квадратичной и наиболее вероятной скоростей молекул газа:

$$\frac{\langle \upsilon_{\text{кв}} \rangle}{\upsilon_{\text{н.в}}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \Bigg/ \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3}{2}} = 1{,}23.$$

Пример 14. Адиабатический процесс. Углекислый газ, взятый при температуре t_1 = 0°С, был адиабатически сжат так, что его объем уменьшился в три раза. Определить температуру воздуха после сжатия.

Дано:	Решение. Зависимость между температурой и объемом при адиабатном сжатии выражается уравнением Пуассона (второе уравнение из соотношений (1.52)):
T_1 = 273 К	
V_2/V_1 = 3	
Найти: T_2.	

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}, \tag{1}$$

где $\gamma = C_p / C_V$ − отношение молярных теплоемкостей газа при постоянном давлении (C_p) и постоянном объеме (C_V).

Используя формулы (1.44) и (1.43), получим

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{c_p}{c_V} = \frac{i+2}{i}, \tag{2}$$

где i − число степеней свободы молекул газа.

Так как углекислый газ (CO_2) состоит из трех молекул, то i = 6 (три поступательные и три вращательные степени свободы) и, следовательно,

$$\gamma = \frac{6+2}{6} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3} = 1{,}33.$$

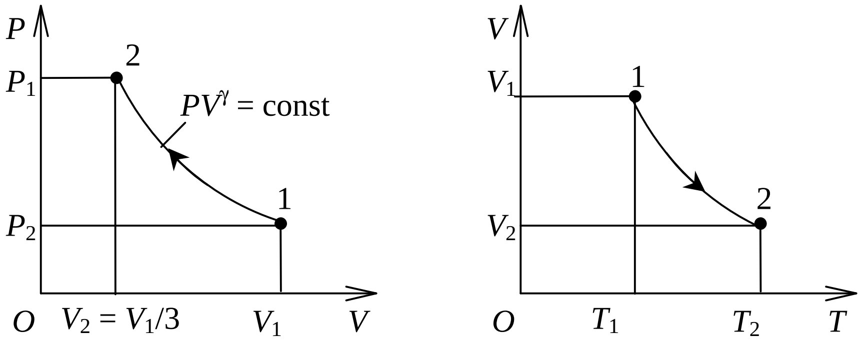


Рис. 10

На рис. 10 схематично изображены проекции адиабаты на фазовые плоскости $p - V$ (pV^{γ} = const) и $V - T$ (TV^{γ} = const, $\Rightarrow V \sim T^{-3}$).

Из уравнения (1) получим, что

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}. \qquad (3)$$

Подставим числовые значения в (3) и проведем вычисления:

$$T_2 = 273\cdot 3^{\gamma - 1}\ \text{К} = 273\cdot 3^{0,33} \ \Rightarrow \ T_2 = 392\ \text{К}.$$

Пример 15. Расчет циклических процессов. Нагреватель тепловой машины, работающей по циклу Карно, имеет температуру t_1 = = 197°C. Определить температуру t_2 холодильника, если 3/4 теплоты, полученной от нагревателя, газ отдает холодильнику.

Дано:
T_1 = 470 К
$Q_2 = 3/4Q_1$

Найти: T_2.

Решение. Термический КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно (рис. 11), определяется формулами (1.53):

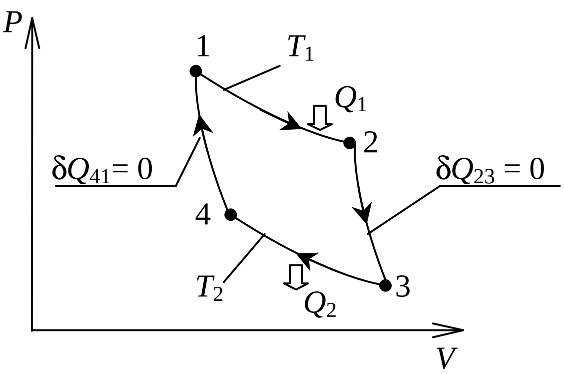


Рис. 11

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \ \ \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \qquad (1)$$

Приравняв правые части формул (1) и (2), получим

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \qquad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow T_2 = \frac{Q_2}{Q_1} T_1.$$

Подставим числовые значения в формулу (4) и проведем вычисления:

$$T_2 = 470 \frac{3Q_1}{4Q_1} = 352 \text{ К} \text{ или } t_2 = T_2 - 273 = 79°\text{C}.$$

Электростатика и постоянный ток

Пример 16. Равновесие заряженных частиц. Два положительных заряда q_1 = 5 нКл и q_2 = 3 нКл находятся на расстоянии d = 20 см друг от друга. Где надо поместить третий отрицательный заряд Q_3, чтобы он оказался в равновесии?

Дано:
$q_1 = 5 \cdot 10^{-9}$ Кл
$q_2 = 3 \cdot 10^{-9}$ Кл
d = 0,2 м

Найти: r.

Решение. На отрицательный заряд q_3 действуют силы притяжения к положительным зарядам q_1 и q_2: $\vec F_1$, направленная от заряда q_3 к заряду q_1, и $\vec F_2$, направленная от заряда q_3 к заряду q_2. Заряд q_3 будет находиться в равновесии, если равнодействующая этих сил равна нулю:

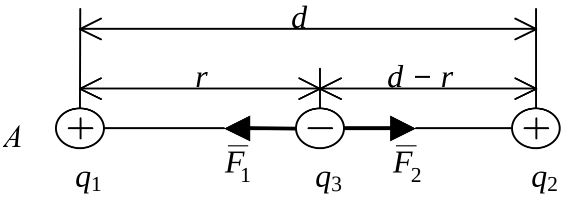


Рис. 12

Р
ис
.
21
В

$$\vec F_1 + \vec F_2 = 0 \Rightarrow \vec F_1 = -\vec F_2, \quad (1)$$

т. е. силы $\vec F_1$ и $\vec F_2$ должны быть численно равны и направлены в противоположные стороны. Это возможно только в том случае, если заряд q_3 находится между зарядами q_1 и q_2 (рис. 12).

Используя закон Кулона (1.54), получим

$$\frac{|q_1||q_3|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} = \frac{|q_2||q_3|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon(d-r)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{r^2} = \frac{|q_2|}{(d-r)^2}.$$

Извлекая из обеих частей равенства квадратный корень, получим

$$\frac{\sqrt{|q_1|}}{r^2}=\frac{\sqrt{|q_2|}}{d-r} \quad \Rightarrow \quad d\sqrt{|q_1|}-r\sqrt{|q_1|}=r\sqrt{|q_2|} \quad \Rightarrow \quad r=\frac{d\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|}+\sqrt{|q_2|}}. \quad (2)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (2) и выполним расчеты:

$$r=\frac{0{,}2\sqrt{5\cdot10^{-9}}}{\sqrt{5\cdot10^{-9}}+\sqrt{3\cdot10^{-9}}}=\frac{0{,}2\cdot7{,}07\cdot10^{-5}}{7{,}07\cdot10^{-5}+5{,}47\cdot10^{-5}}=$$
$$=0{,}113\,\text{м}=11{,}3\,\text{см}.$$

Итак, для того чтобы заряд q_3 находился в равновесии, его надо поместить на прямой, соединяющей заряды q_1 и q_2 на расстоянии r = = 11,3 см от заряда Q_1 (рис. 12).

Пример 17. Равновесие с учетом электрических сил. На шелковой нити в воздухе подвешен маленький положительно заряженный шарик массой m = 90 мг. Если ниже шарика на расстоянии r = 1 см от него поместить равный по величине, но отрицательный заряд, то сила натяжения T нити увеличится в 3 раза. Определить значение заряда шарика.

Дано:
$m = 9\cdot10^{-5}$ кг
r = 0,01 м
$T_2 = 3T_1$

Найти: q.

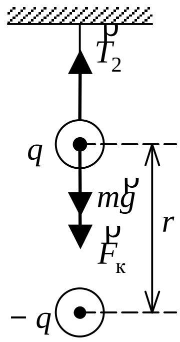


Рис. 13

Р е ш е н и е. На подвешенный на нити шарик первоначально действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити $\vec{T}_1$, направленная вдоль нити вверх. Шарик при этом находится в равновесии и, следовательно,

$$T_1 = mg. \quad (1)$$

После того как ниже заряженного шарика был расположен отрицательный заряд (рис. 13), появилась сила Кулона $\vec{F}_к$, которая направлена в сторону отрицательного заряда (сила притяжения). В этом случае сила натяжения

$$T_2 = mg + F_к.$$

Поскольку $T_2 = 3T_1$ (по условию задачи), то, учитывая равенство (1), запишем:

$$3mg = mg + F_к \quad \Rightarrow \quad 2mg = F_к. \quad (2)$$

Используя закон Кулона (1.54), получим:

$$2mg = k\frac{q^2}{\varepsilon r^2} \quad \Rightarrow \quad q = \sqrt{\frac{2mg\varepsilon r^2}{k}}, \qquad (3)$$

где $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Н·м/Кл^2.

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (3):

$$1\,\text{Кл} = \sqrt{\frac{1\,\text{кг} \cdot 1\,\text{м}/\text{с}^2 \cdot \text{м}^2}{1\,\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2}} = 1\,\text{Кл}.$$

Подставим числовые значения и проведем вычисления:

$$q = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-5} \cdot 9{,}81 \cdot 1 \cdot \left(10^{-2}\right)^2}{9 \cdot 10^9}} = 4{,}43 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл} = 4{,}43\ \text{нКл}.$$

Пример 18. Определение равнодействующей электрических сил. В вершинах равностороннего треугольника со стороной a = = 20 см находятся заряды q_1 = q_2 = − 10 нКл и q_3 = 20 нКл. Определить силу, действующую на заряд q = 1 нКл, расположенный в центре треугольника.

Дано:
$q_1 = q_2 = -10^{-8}$ Кл
$q_3 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл
$q = 10^{-9}$ Кл
$a = 0{,}2$ м

Найти: F_p.

Решение. На заряд q, расположенный в центре треугольника, со стороны зарядов q_1, q_2 и q_3, действуют силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ (притяжения) и $\vec{F}_3$ (отталкивания) (рис. 14). Так как заряды q_1 и q_2 равны и находятся на одинаковых расстояниях от заряда q, то силы притяжения $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ численно равны:

$$F_1 = F_2. \qquad (1)$$

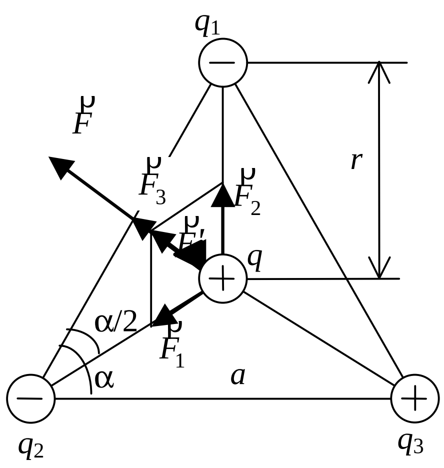


Рис. 14

Равнодействующая этих сил $\vec{F}' = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, направленная вдоль диагонали ромба, совпадает по направлению с силой $\vec{F}_3$. Ее модуль определяем по теореме косинусов (с учетом равенства (1)):

$$F' = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\alpha} =$$
$$= F_1\sqrt{2(1-\cos\alpha)}. \qquad (2)$$

Так как силы $\vec{F}'$ и $\vec{F}_3$ направлены по одной прямой и в одну сторону, то их равнодействующая равна сумме модулей сил $\vec{F}'$ и $\vec{F}_3$:

$$F = F_1\sqrt{2(1-\cos\alpha)} + F_3.$$

Для определения модулей F_1 и F_3 воспользуемся законом Кулона (1.54):

$$F = k\frac{|q_1||q|}{\varepsilon r^2}\sqrt{2(1-\cos\alpha)} + k\frac{|q_3||q|}{\varepsilon r^2} =$$
$$= k\frac{|q|}{\varepsilon r^2}\left(|q_1|\sqrt{2(1-\cos\alpha)} + |q_3|\right). \qquad (3)$$

Из рассмотрения треугольников на рис. 14 следует, что

$$\alpha = 2r\cos(\alpha/2) \quad \Rightarrow \quad r = \frac{a}{2\cos(\alpha/2)} = \frac{2a}{2\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}.$$

С учетом этого формула (3) примет вид

$$F = \frac{3k|q|}{\varepsilon a^2}(|q_1| + |q_3|), \quad k = 9\cdot10^9\ \text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2. \qquad (4)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (4):

$$1\,\text{Н} = \frac{1\,\text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2\cdot1\,\text{Кл}\cdot1\,\text{Кл}}{1\,\text{м}^2} = 1\,\text{Н}.$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (4) и проведем вычисления:

$$F = \frac{3\cdot9\cdot10^9\cdot10^{-9}}{1\cdot4\cdot10^{-2}}\left(10^{-8} + 2\cdot10^{-8}\right) = 2{,}02\cdot10^{-5}\ \text{Н} = 20{,}2\ \text{мкН}.$$

Пример 19. Применение принципа суперпозиции для расчета характеристик электростатического поля. Электрическое поле создано в вакууме двумя точечными зарядами q_1 = 2 нКл и q_2 = = − 3 нКл. Расстояние между зарядами d = 20 см. Определить напряженность и потенциал электрического поля в точке A (рис. 15), находящейся на расстоянии r_1 = 15 см от первого и r_2 = 10 см от второго заряда.

Дано:
$q_1 = 2\cdot10^{-9}$ Кл
$q_2 = 3\cdot10^{-9}$ Кл
d = 0,2 м
r_1 = 0,15 м
r_2 = 0,1 м

Найти: E; φ.

Решение. Согласно принципу суперпозиции (1.58), каждый заряд создает электрическое поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность $\vec{E}$ результирующего электрического поля в каждой его точке может быть найдена как векторная сумма напряженностей $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \qquad (1)$$

Напряженности электрических полей в вакууме, создаваемых в точке A первым и вторым зарядами, находятся соответственно по формуле (1.57):

$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2}, \quad E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2}, \quad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}. \qquad (2)$$

Для определения направлений напряженностей (формула (1.55)) поместим в точку A пробный заряд $q_0 > 0$.

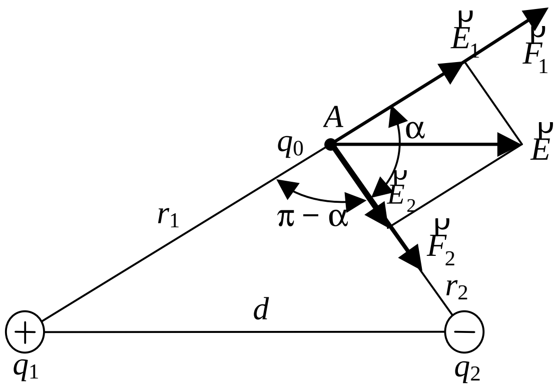


Рис. 15

Вектор $\vec{E}_1$ направлен по прямой, соединяющей заряд q_1 и точку A, от заряда q_1, так как между положительными зарядами q_1 и q_0 возникают силы отталкивания $(\vec{F}_1 = q_0\vec{E}_1)$. Вектор $\vec{E}_2$ направлен по прямой, соединяющей заряд q_2 и точку A, к заряду q_2, так как отрицательный заряд q_2 притягивает заряд q_0 $(\vec{F}_2 = q_0\vec{E}_2)$.

Модуль вектора $\vec{E}$ найдем по теореме косинусов с учетом выражений (2) и (3):

$$E=\sqrt{E_1^2+E_2^2+2E_1E_2\cos\alpha}=k\sqrt{\frac{\left|q_1^2\right|}{r_1^4}+\frac{\left|q_2^2\right|}{r_2^4}+\frac{2|q_1||q_2|}{r_1^2r_2^2}\cos\alpha}, \quad (3)$$

где α − угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$.

Для треугольника со сторонами r_1, r_2 и d запишем теорему косинусов и найдем cos α = − cos (π − α):

$$d^2=r_1^2+r_2^2-2r_1r_2\cos(\pi-\alpha) \;\Rightarrow\; \cos\alpha=\frac{d^2-r_1^2-r_2^2}{2r_1r_2}. \quad (4)$$

Потенциал поля является скалярной величиной, которая связана выражением (1.63) с напряженностью поля. Поэтому с учетом принципа суперпозиции потенциал φ равен алгебраической сумме потенциалов, созданных в точке *A* зарядами q_1 и q_2:

$$\varphi=\varphi_1+\varphi_2 \text{ − принцип суперпозиции для потенциала.} \quad (5)$$

Потенциал в точке *A* поля, созданного в вакууме точечным зарядом, определяется по формуле (1.62):

$$\varphi=k\frac{q}{r}, \quad k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}. \quad (6)$$

Потенциал φ_1 является положительным, поскольку $q_1>0$, а потенциал φ_2 − отрицательным, так как $q_2<0$.

Вычислим значение $\cos\alpha$ по формуле (4):

$$\cos\alpha=\frac{0{,}2^2-0{,}15^2-0{,}1^2}{2\cdot0{,}15\cdot0{,}1}=0{,}25.$$

Подставив числовые значения величин в формулу (6), найдем модуль *E*:

$$E=9\cdot10^9\cdot\sqrt{\frac{\left(2\cdot10^{-9}\right)^2}{(0{,}15)^4}+\frac{\left(3\cdot10^{-9}\right)^2}{(0{,}1)^4}+\frac{2\cdot2\cdot10^{-9}\cdot3\cdot10^{-9}\cdot0{,}25}{(0{,}15)^2(0{,}1)^2}}=$$

$$=9\cdot10^2\sqrt{11{,}1}\text{ В/м} = 3\cdot10^3\text{ В/м} = 3\text{ кВ/м}.$$

Подставив числовые значения величин в формулу (6), определим

$$\varphi_1 = 9\cdot10^9\cdot\frac{2\cdot10^{-9}}{15\cdot10^{-2}} = 120\ \text{В};\ \ \varphi_2 = 9\cdot10^9\cdot\frac{\left(-3\cdot10^{-9}\right)}{10\cdot10^{-2}} = -\,270\ \text{В}.$$

Потенциал результирующего поля в точке *A* найдем, подставив в формулу (6) числовые значения потенциалов φ_1 и φ_2 с учетом их знаков:

$$\varphi = 120\ \text{В} - 270\ \text{В} = -\,150\ \text{В}.$$

Пример 20. Движение заряда в поле точечного заряда. Какова скорость движения электрона вокруг протона в атоме водорода, если орбиту электрона считать круговой с радиусом r = $0{,}53\cdot10^{-8}$ см.

Дано:
$m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг
$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
$r = 0{,}53\cdot10^{-10}$ м
$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Найти: υ.

Решение. При движении электрона по круговой орбите центростремительной силой является сила электрического притяжения электрона к протону, т. е. справедливо равенство

$$F_{\text{цс}} = F_{\text{к}}. \qquad (1)$$

Для электрона массой m, имеющего скорость υ на орбите радиуса r, центростремительная сила определяется по формуле

$$F_{\text{цс}} = \frac{m\upsilon^2}{r}. \qquad (2)$$

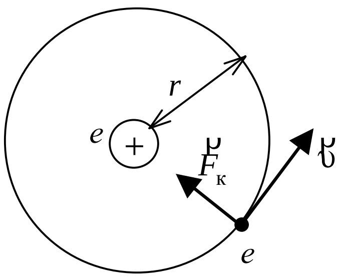


Рис. 16

Модуль силы $F_{\text{к}}$, согласно закону Кулона (1.54), для зарядов в вакууме (ε = 1) выражается формулой

$$F_{\text{к}} = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}. \qquad (3)$$

Используя равенство (1), приравниваем выражения (2) и (3). В результате получаем расчетную формулу для скорости электрона:

$$\frac{m\upsilon^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} \ \Rightarrow\ \upsilon = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0\varepsilon m r}}. \qquad (4)$$

Проверим единицы правой и левой частей формулы (4):

$$1\ \frac{м}{с}=\frac{1\,Кл}{\sqrt{1\ Ф/м\cdot 1\,кг\cdot 1\,м}}=\frac{1\,Кл}{\sqrt{1\,Ф\cdot 1\,кг}}=\frac{1\,Кл}{\sqrt{1\,Ф\cdot 1\,кг\cdot 1\ м^2/с^2\cdot 1\,с^2/м^2}}=$$

$$=\frac{1\,Кл}{\sqrt{1\,Ф\cdot 1\,Дж\cdot 1\,с^2/м^2}}=\frac{1\,Кл}{\sqrt{1\,Кл/В\cdot 1\,В\cdot 1\,Кл\cdot 1\,с^2\,/\,м^2}}=1\,м/с.$$

Подставим числовые значения в формулу (4) и проведем вычисления:

$$\upsilon=\frac{1{,}6\cdot 10^{-19}}{\sqrt{4\pi\cdot 1\cdot\dfrac{1}{4\pi\cdot 9\cdot 10^{9}}\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 0{,}53\cdot 10^{-10}}}=2{,}2\cdot 10^{6}\ м/с = 2{,}2\ Мм/с.$$

Пример 21. Использование уравнения связи между потенциалом и напряженностью. Потенциал φ в точке поля, расположенной на расстоянии r = 10 см от некоторого заряда q в вакууме, равен 300 В. Определить заряд и напряженность поля в этой точке.

Дано:
r = 0,1 м
φ = 300 В
ε = 1

Найти: q; E.

Решение. Потенциал точки центральносимметричного поля, созданного точечным зарядом, определяется по формуле (1.62) при ε = 1:

$$\varphi=k\cdot q\,/\,r,\ \ k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\cdot 10^{9}\ Н\cdot м^2/Кл^2. \qquad (1)$$

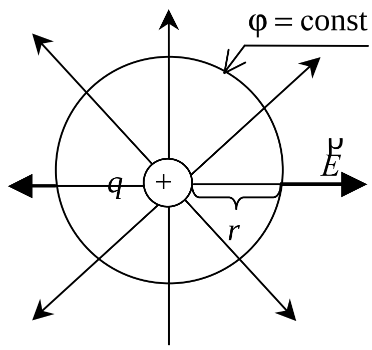


Рис. 17

Эквипотенциальными поверхностями являются сферы, для которых $\varphi=\mathrm{const}$. Из формулы (1) выразим q и, подставив значения, выполним расчеты:

$$q=\frac{r\varphi}{k}=\frac{0{,}1\cdot 300}{9\cdot 10^{9}}=3{,}33\cdot 10^{-9}\ Кл = 3{,}33\ нКл. \qquad (2)$$

Для любой точки поля точечного заряда справедливо равенство

$$E=\varphi\,/\,r, \qquad (3)$$

которое получается на основании формулы связи (1.63):

$$E=-\frac{d\varphi}{dr}=k\frac{q}{r^2}=\frac{\varphi}{r}. \qquad (4)$$

Подставим числовые значения в формулу (3) и проведем расчеты:

$$E = \frac{300}{0{,}1} = 3000 \text{ В/м} = 3 \text{ кВ/м}.$$

Пример 22. Движение заряда в однородном электростатическом поле. Вектор $\vec{E}$ направлен вдоль силовой линии (рис. 18), которая начинается на положительном заряде и уходит в бесконечность. Электрон, начальная скорость которого υ_0 = 2 Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью E = 10 кВ/м так, что вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности. Определить скорость электрона по истечении времени t_1 = 1 нс.

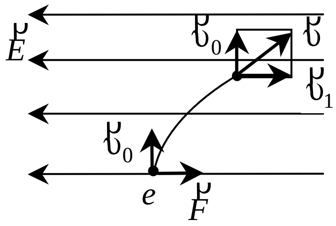


Рис. 18

Дано:
$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
$\upsilon_0 = 2\cdot10^6$ м/с
$E = 10^4$ В/м
$\vec{\upsilon}_0 \perp \vec{E}$
$t_1 = 10^{-9}$ с

Найти: $\vec{\upsilon}_1$.

Решение. На электрон напряженностью $\vec{E}$, находящийся в электрическом поле, действует сила, определяемая формулой (1.55):

$$\vec{F} = q\vec{E} = -e\vec{E}. \qquad (1)$$

Поскольку заряд электрона отрицательный, то эта сила направлена противоположно направлению силовых линий поля. Она сообщает электрону массой m ускорение, которое рассчитывается на основании второго закона Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \vec{F}/m = \text{const}. \qquad (2)$$

Таким образом, в момент времени t скорость электрона находится по формуле (1.2а):

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t \quad \Rightarrow \quad \vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{\upsilon}_1,$$

где $\vec{\upsilon}_1 = \vec{a}t$ − скорость, которую получает электрон под действием сил поля.

Модуль скорости $\vec{\upsilon}_1$ находим с учетом выражений (1) и (2):

$$\vec{\upsilon}_1 = \frac{|F|}{m}t = \frac{eEt}{m}. \qquad (3)$$

Так как скорости $\vec{\upsilon}_0$ и $\vec{\upsilon}_1$ взаимно перпендикулярны, то значение результирующей скорости находим по теореме Пифагора:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + \upsilon_1^2} = \sqrt{\upsilon_0^2 + \left(\frac{eEt}{m}\right)^2} . \qquad (4)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (4) и проведем вычисления:

$$\upsilon = \sqrt{4 \cdot 10^{12} + \left(\frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^4 \cdot 10^{-9}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}\right)^2} = 2{,}66 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 2{,}66 \text{ Мм/с}.$$

Используя аналогию с движением тела, брошенного под углом к горизонту в однородном поле сил тяжести, можно заметить, что электрон будет двигаться по параболе.

Пример 23. Работа сил электростатического поля точечного заряда. В точке M поля точечного заряда q = 40 нКл находится заряд q = 1 нКл. Под действием сил поля заряд q_1 (первоначально неподвижный) перемещается из точки M в точку N, находящуюся вдвое дальше от заряда q, чем точка M. При этом совершается работа A_1 = 0,1 мкДж. Определить расстояние Δr, на которое переместится заряд q_1.

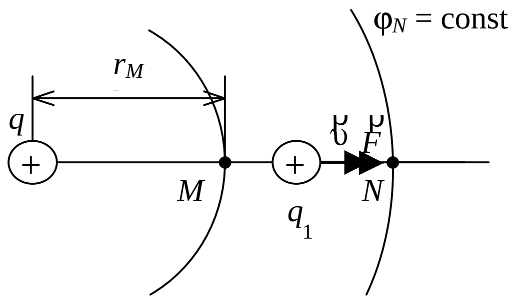


Рис. 19

Дано:
$q = 4{,}0 \cdot 10^{-8}$ Кл
$q_1 = 1 \cdot 10^{-9}$ Кл
$r_N = 2\, r_M$
$A_1 = 0{,}1 \cdot 10^{-6}$ Дж

Найти: υ.

Решение. Под действием силы отталкивания заряд начнет двигаться вдоль силовой линии напряженности. Работа A этой силы при перемещении заряда q_1 находится с помощью определения (1.61) для потенциала φ:

$$A = \Pi_M - \Pi_N = q_1(\varphi_M - \varphi_N), \qquad (1)$$

где φ_M и φ_N − потенциалы точек M и N поля соответственно.

Для поля, созданного точечным зарядом q, потенциалы точек начала и конца пути находим по формуле (1.62):

$$\varphi_M = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_M}; \quad \varphi_N = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_N}. \qquad (2)$$

Подставляя выражения для φ_M, φ_N из (2) в (1) и учитывая, что $r_N = 2r_M$, получаем

$$A = \frac{q_1 q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_N}\right) = A = \frac{q_1 q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{2r_M} \quad \Rightarrow \quad r_M = \frac{q_1 q}{8\pi\varepsilon_0 A}. \qquad (3)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (3) и проведем вычисления:

$$r_M = \frac{10^{-9}\cdot 4\cdot 10^{-8}}{8\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 10^{-7}} = 1{,}8 \text{ м.}$$

Под действием сил поля заряд q_1 переместится на расстояние

$$\Delta r = r_N - r_M = 2r_M - r_M = r_M = 1{,}8 \text{ м.}$$

Пример 24. Закон сохранения энергии для заряда в электростатическом поле. Первоначально покоившийся электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = \varphi_1 - \varphi_2 = 800$ В. Определить скорость, приобретенную электроном.

Дано:
$U = 800$ В
$e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл
$m = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг

Найти: υ.

Решение. По закону сохранения энергии заряда в поле консервативных сил, кинетическая энергия $\mathrm{K} = m\upsilon^2/2$, приобретенная зарядом, равна работе A, совершаемой электрическим полем при перемещении этого заряда:

$$\mathrm{K} = A \quad \Rightarrow \quad m\upsilon^2/2 = A. \qquad (1)$$

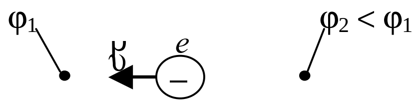


Рис. 20

Работа сил электрического поля при перемещении электрона равна убыли потенциальной энергии. Поскольку заряд электрона отрицательный, то он перемещается из точки с меньшим потенциалом φ_2 в точку с большим потенциалом φ_1 (рис. 20). Тогда

$$A = eU = \Pi_2 - \Pi_1 = q(\varphi_2 - \varphi_1). \qquad (2)$$

Подставив в уравнение (1) выражение (2), получим расчетную формулу для скорости:

$$m\upsilon^2/2 = eU \quad \Rightarrow \quad \upsilon = \sqrt{2eU/m}. \qquad (3)$$

Проверим единицы левой и правой частей расчетной формулы (4):

$$1\frac{\text{м}}{\text{с}}=\sqrt{\frac{1\,\text{Кл}\cdot 1\,\text{В}}{1\,\text{кг}}}=\sqrt{\frac{1\,\text{Дж}}{1\,\text{кг}}}=\sqrt{\frac{1\,\text{Н}\cdot 1\,\text{м}}{1\,\text{кг}}}=\sqrt{\frac{1\,\text{кг}\cdot 1\,\text{м}^2}{1\,\text{с}^2\cdot 1\,\text{кг}}}=1\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу и проведем вычисления:

$$\upsilon=\sqrt{\frac{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 800}{9{,}11\cdot 10^{-31}}}=1{,}68\cdot 10^{7}\text{ м/с}=16{,}8\text{ Мм/с}.$$

Пример 25. Электроемкость плоского конденсатора. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого d_1 = 3 см, заряжен до разности потенциалов U_1 = 300 В и отключен от источника. Каково будет напряжение U_2 на пластинах конденсатора, если его пластины раздвинуть до расстояния d_2 = 6 см.

Дано:
U_1 = 300 В
d_1 = 0,03 м
d_2 = 0,06 м

Найти: U_2.

Решение. Емкость плоского конденсатора до раздвижения пластины найдем по формуле (1.65):

$$C_1=\frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d_1},\qquad (1)$$

где ε − диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего пространство между пластинами конденсатора; S − площадь пластин конденсатора.

На пластинах заряженного конденсатора напряжение

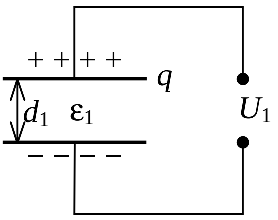


Рис. 21

$$U_1=q/C_1,\qquad (2)$$

где q − заряд на положительной обкладке конденсатора.

Подставляя в выражение (2) емкости конденсатора из (1), получим

$$U_1=\frac{qd_1}{\varepsilon_0\varepsilon S}.\qquad (3)$$

Поскольку при раздвижении пластин заряды на обкладках не изменяются (конденсатор отключен от источника), то напряжение после раздвижения пластин

$$U_2 = \frac{qd_2}{\varepsilon_0 \varepsilon S}. \qquad (4)$$

Разделив почленно уравнения (3) и (4), получим

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad \Rightarrow \quad U_2 = \frac{d_2}{d_1} U_1. \qquad (5)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу и проведем вычисления:

$$U_2 = \frac{0{,}06}{0{,}03} \cdot 300 = 600 \text{ В}.$$

Пример 26. Энергия и плотность энергии плоского конденсатора. Плоский конденсатор с площадью пластин S = 50 см^2 и расстоянием между ними заряжен до разности потенциалов U = 100 В. Пространство между обкладками заполнено диэлектриком (фарфором). Определить энергию поля и объемную плотность энергии поля конденсатора.

Дано:
$S = 5 \cdot 10^{-3}$ м^2
$d = 2 \cdot 10^{-3}$ м
U = 100 В
$\varepsilon = 5$
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

Найти: W; w.

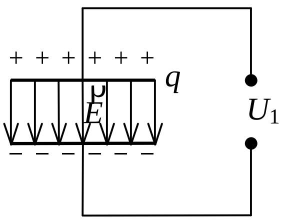


Рис. 22

Решение. Энергия поля заряженного конденсатора может быть определена по формуле (1.68):

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2 V, \qquad (1)$$

где ε_0 − электрическая постоянная; ε − диэлектрическая проницаемость среды (фарфор), заполняющей пространство между пластинами; $E = U/d$ − напряженность поля между обкладками конденсатора; $V = S \cdot d$ − объем между обкладками.

Подставив выражение для E и V в формулу (1), получим

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d} \quad \Rightarrow \quad W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U^2}{2d^2} V. \qquad (2)$$

Объемная плотность w энергии поля конденсатора равна энергии, заключенной в единице объема поля, и поэтому может быть определена по формуле (1.69):

$$w = \frac{W}{V} = \frac{W}{Sd} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U^2}{2d^2}. \qquad (3)$$

Подставим числовые значения в формулы (3) и (4) и проведем вычисления:

$$W = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot (100)^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 5{,}54 \cdot 10^{-7} \text{ Дж} = 554 \text{ нДж}.$$

$$w = \frac{5{,}54 \cdot 10^{-7}}{50 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 5{,}54 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^3 = 55{,}4 \text{ мДж/м}^3.$$

Пример 27. Применение законов Ома для расчета электрических цепей. Динамомашина питает N = 100 параллельно включенных электроламп сопротивлением R_1 = 240 Ом каждая. Сопротивление подводящих проводов R_2 = 0,6 Ом. Определить электродвижущую силу $\mathcal{E}$ динамомашины, если ее внутреннее сопротивление r = 0,5 Ом и напряжение на ее зажимах U = 120 В.

Дано:
N = 100
R_1 = 240 Ом
R_2 = 0,6 Ом
r = 0,5 Ом
U = 120 В

Найти: $\mathcal{E}$.

Решение. Электродвижущую силу динамомашины определим с помощью закона Ома для полной цепи (1.74)

$$\mathcal{E} = I(R + r), \qquad (1)$$

где I − сила тока в цепи; R − сопротивление внешней цепи.

Сопротивление R внешней цепи находим по формулам, определяющим сопротивление последовательно соединенных подводящих проводов и магазина с параллельным соединением электроламп (1.72; 1.73):

$$R = R_2 + R_M = R_2 + \frac{R_1}{N}, \text{ где } \frac{1}{R_M} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i} = \frac{N}{R_i}. \qquad (2)$$

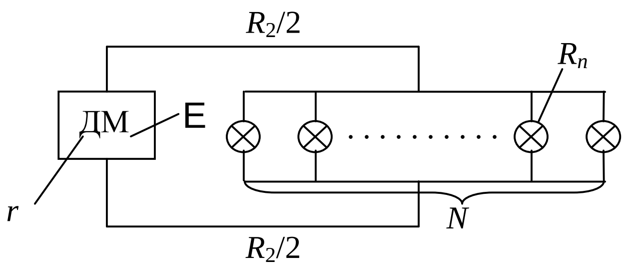


Рис. 23

Суммарную силу тока во внешней цепи найдем по закону Ома для однородного участка цепи (1.74):

$$I = U/R. \qquad (3)$$

Подставив в (1) выражение R из (2) и I из (3), получим

$$\mathrm{E} = \frac{U}{R_1/N + R_2}\left(\frac{R_1}{N} + R_2 + r\right). \qquad (4)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (4) и проведем расчеты:

$$\mathrm{E} = \frac{120}{\frac{240}{100} + 0{,}6}\left(\frac{240}{100} + 0{,}6 + 0{,}5\right) = 140 \text{ В}.$$

Пример 28. Мощность и КПД электродвигателя. Электромотор приводится в движение от сети постоянного напряжения U = 120 В. Через обмотку якоря мотора при его работе I = 10 А. Активное сопротивление мотора R = 3 Ом. Определить мощность P_1, потребляемую мотором, и его коэффициент полезного действия η.

Дано:
U = 120 В
R = 3 Ом
I = 10 А

Найти: P; η.

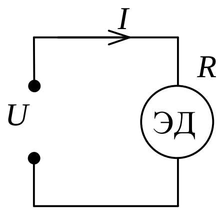


Рис. 24

Решение. Общая мощность P_1, потребляемая мотором, определяется по формуле (1.75):

$$P_1 = IU. \qquad (1)$$

Мощность тока, расходуемая на нагревание обмоток мотора, определяется по формуле (1.75):

$$P_2 = I^2 R. \qquad (2)$$

Коэффициент полезного действия мотора

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{зат}}} = \frac{P_{\text{пол}}}{P_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_1}, \qquad (3)$$

где $P_{\text{пол}} = P_1 - P_2$ − полезная мощность, расходуемая на создание вращательного движения вала электромотора.

Подставляя в (3) выражения (1) и (2), получим

$$\eta = \frac{IU - I^2 R}{IU} = \frac{U - IR}{U}. \qquad (4)$$

Подставим числовые значения в формулы (1), (4) и проведем вычисления:

$$P_1 = IU = 10 \cdot 120 = 1200 \text{ Вт} = 1{,}2 \text{ Квт}; \quad \eta = \frac{120 - 10 \cdot 3}{120} = 0{,}75 = 75\%.$$

Пример 29. Явление термоэлектродвижущей силы (термоЭДС). Термопара, сопротивление которой R_1 = 6 Ом, с последовательно подключенным гальванометром позволяет зафиксировать (измерить) минимальное изменение температуры $\Delta t_{мин}$ = 0,006°С. Найти сопротивление R_2 гальванометра чувствительностью I_0 = 1,5·10^{-8} А (цена деления шкалы гальванометра), подключенного к термопаре. Постоянная термопары k = 0,05 мВ/°С.

Дано:
R_1 = 6 Ом
$\Delta t_{мин}$ = 6·10^{-3}°С
I_0 = 1,5·10^{-8} А
k = 5·10^{-5} В/°С

Найти: R_2.

Решение. Электродвижущая сила E, возникающая в термопаре при разности температур $\Delta t = t_2 - t_1$ ее спаев, вычисляется по формуле

$$\mathsf{E} = k(t_2 - t_1) = k\Delta t. \qquad (1)$$

С другой стороны, согласно закону Ома для замкнутой цепи (1.74),

$$\mathsf{E} = IR = I(R_1 + R_2), \qquad (2)$$

где I − сила тока в цепи термопары; $R = R_1 + R_2$ − полное сопротивление цепи с последовательным соединением термопары и гальванометра.

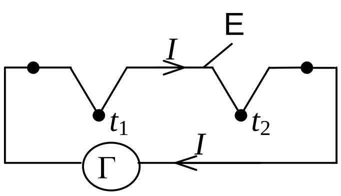


Рис. 25

Приравнивая правые части выражений (1) и (2), получим:

$$k(t_2 - t_1) = I(R_1 + R_2) \Rightarrow R_2 = \frac{k(t_2 - t_1) - IR_1}{I}. \qquad (3)$$

Минимальному изменению температуры соответствует одно деление шкалы гальванометра. Поэтому если стрелка отклонилась на n делений, то

$$\Delta t = \Delta t_{мин} n; \; I = I_0 n. \qquad (4)$$

Подставив выражения (4) в формулу (3) и сократив на n, получим расчетную формулу для сопротивления гальванометра:

$$R_2 = \frac{k\Delta t_{мин} - I_0 R_1}{I_0}. \qquad (4)$$

Подставим числовые значения и проведем вычисления:

$$R_2 = \frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^{-3} - 1{,}5 \cdot 10^{-8} \cdot 6}{1{,}5 \cdot 10^{-8}} = 14 \text{ Ом}.$$

1.3. Контрольная работа № 1

Студент-заочник должен решить восемь задач, номера которых определяются по двум последним цифрам шифра. Номера задач выбираются из таблицы вариантов. Например, шифр студента 12931, *следовательно, он должен в соответствии с таблицей вариантов решить задачи* 3; 23; 43; 63; 83; 103; 123; 143, *определяющие содержание его первой части.*

Таблица вариантов

Последняя цифра	Предпоследняя цифра	
	нечетная	четная
0	1, 21, 41, 61, 81, 101, 121, 141	2, 22, 42, 62, 82, 102, 122, 142
1	3, 23, 43, 63, 83, 103, 123, 142	4, 24, 44, 64, 84, 104, 124, 144
2	5, 25, 45, 65, 85, 105, 125, 145	6, 26, 46, 66, 86, 106, 126, 146
3	7, 27, 47, 67, 87, 107, 127, 147	8, 28, 48, 68, 88, 108, 128, 148
4	9, 29, 49, 69, 89, 109, 129, 149	10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150
5	11, 31, 51, 71, 91, 111, 131, 151	12, 32, 52, 72, 92, 112, 132, 152
6	13, 33, 53, 73, 93, 113, 133, 153	14, 34, 54, 74, 94, 114, 134, 154
7	15, 35, 55, 75, 95, 115, 135, 155	16, 36, 56, 76, 96, 116, 136, 156
8	17, 37, 57, 77, 97, 117, 137, 157	18, 38, 58, 78, 98, 118, 138, 158
9	19, 39, 59, 79, 99, 119, 139, 159	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160

Механика

1. Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью υ_1 = 16 км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью υ_2 = 12 км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью
υ_3 = 5 км/ч. Определите среднюю скорость студента на всем пути.

2. Двигаясь с постоянным ускорением в одном направлении, тело за два последовательных промежутка времени величиной по t = 2 с каждый проходит отрезки пути s_1 = 16 м и S_2 = 8 м. Найдите скорость тела в начале первого отрезка?

3. Самолет летит на высоте h = 180 м со скоростью υ_1 = = 180 км/ч. С самолета надо сбросить пакет на катер, который движется со скоростью υ_2 = 21,3 км/ч навстречу самолету. На каком расстоянии от катера нужно сбросить пакет?

4. Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время t = 2 мин оно изменило частоту вращения от n_1 = 240 об/мин до

n_2 = 60 об/мин. Определите угловое ускорение колеса и число полных оборотов.

5. Три четверти пути автомобиль прошел со скоростью υ_1 = = 60 км/ч, оставшуюся часть пути − со скоростью υ_2 = 80 км/ч. Какова средняя скорость автомобиля?

6. Тело движется из состояния покоя равноускоренно и в течение пятой секунды от начала движения прошло путь s = 27 м. С каким ускорением двигалось тело?

7. В мишень с расстояния l = 50 м сделали два выстрела в горизонтальном направлении при одинаковой наводке винтовки. Скорость первой пули υ_1 = 320 м/с, второй − υ_2 = 350 м/с. Определите расстояние между пробоинами.

8. Трамвай начал двигаться равноускоренно по закругленному участку пути и, пройдя расстояние s = 250 м, развил скорость υ = = 36 км/ч. Найдите тангенциальное, нормальное и полное ускорения трамвая через время t = 40 с после начала движения. Радиус закругления R = 200 м.

9. Расстояние между двумя светофорами машина прошла на первом участке, равном 0,1 всей его длины, равноускоренно и набрала скорость υ = 20 м/с. Затем она шла равномерно с этой скоростью и на последнем участке, равном по длине первому, тормозила с постоянным ускорением. Какова средняя скорость автомашины?

10. Свободно падающее тело последние h = 196 м прошло за время t = 4 с. С какой высоты и сколько времени падало тело?

11. С башни высотой h = 30 м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью υ_0 = 10 м/с. Определите уравнение траектории тела и скорость тела в момент падения на Землю.

12. Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения n = = 50 об/с после выключения тока, сделав N = 628 оборотов, остановился. Определите угловое ускорение якоря.

13. Расстояние между двумя станциями, равное S = 36 км, поезд прошел со средней скоростью $\upsilon_{ср}$ = 54 км/ч. На разгон он тратил время t_1 = 2 мин, на снижение скорости − t_3 = 1 мин, а остальное время поезд двигался с постоянной скоростью. Определите наибольшую скорость υ_{max} .

14. Тело движется из состояния покоя равноускоренно. Во сколько раз путь, пройденный за вторую секунду, больше пути, пройденного за первую секунду?

15. Диск радиусом R = 10 см вращается так, что зависимость линейной скорости точек, лежащих на ободе диска, от времени задается уравнением $\upsilon = At + Bt^2$, где A = 0,3 м/с^2, B = 0,1 м/с^3. Определите угол α, который образует вектор полного ускорения с радиусом диска через время t_2 = 2 с от начала движения.

16. Из пункта А в пункт В пароход идет по течению реки t_1 = = 5 сут, а обратно − t_2 = 7 сут. Как долго будет плыть плот от пункта А до пункта В?

17. Автомобиль, двигаясь равноускоренно, через время t = 5 с после начала движения достиг скорости υ = 36 км/ч. Какой путь прошел автомобиль за третью секунду движения?

18. Тело брошено горизонтально со скоростью υ_0 = 15 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите радиус кривизны R траектории тела через время t = 2 с после начала движения.

19. С какой высоты падало тело без начальной скорости, если путь, пройденный за последнюю секунду, в n = 7 раз больше пути, пройденного за первую секунду.

20. Колесо вращается с постоянным угловым ускорением ε = = 3 рад/с^2. Определите радиус колеса, если через время t = 1 с после начала движения полное ускорение колеса составляло a = 7,5 м/с^2.

21. Найдите удлинение стальной пружины длиной l = 50 см, к концу которой прикреплен шарик массой m = 100 г, если он при вращении делает n = 60 об/мин. Жесткость пружины k = 10 кН/м.

22. Груз массой m = 100 кг перемещают равноускоренно по горизонтальной поверхности, прилагая силу F = 200 Н, направленную под углом α = 30° к горизонту. С каким ускорением движется тело, если коэффициент трения равен μ = 0,1? Начальная скорость равна нулю.

23. На дне шахтной клети лежит груз массой m = 100 кг. Каков будет вес этого груза, если клеть: а) поднимается с ускорением a = = 0,3 м/с^2 вертикально вверх; б) движется равномерно; в) опускается с ускорением a = 0,4 м/с^2; г) свободно падает?

24. Ящик массой m = 20 кг тянут с силой F = 120 Н по горизонтальной поверхности. Если эта сила приложена под углом α_1 = 60° к горизонту, то ящик движется равномерно. С каким ускорением будет двигаться ящик, если ту же силу приложить под углом $\alpha_2 = 30°$ к горизонту?

25. С горы высотой h = 2 м и основанием b = 5 м съезжают санки, которые останавливаются, пройдя горизонтально путь s = 35 м от основания горы. Найдите коэффициент трения, считая его постоянным на всем пути.

26. На длинной нити, перекинутой через блок, подвешены на одном уровне одинаковые грузы. От одного из грузов отделяется часть, масса которой равна 1/5 массы груза, и через время t = 1 с падает на землю. Через какое время после этого достигнет земли другой груз?

27. Автомобиль массой m = 1 т едет по выпуклому мосту, радиус кривизны которого R = 250 м, со скоростью υ = 72 км/ч. С какой силой F давит автомобиль на мост в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет угол α = 30° с вертикалью?

28. Вес некоторого тела на полюсе Земли на ΔP = 313,6 мН больше, чем его вес на экваторе. Чему равна масса этого тела? Угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси ω = 79 мкрад/с, радиус Земли $R_З$ = 6400 км.

29. На какой высоте над поверхностью Земли ускорение свободного падения в 16 раз меньше, чем на земной поверхности? Радиус Земли $R_З$ = 6400 км.

30. Брусок массой m = 2,8 кг перемещают вверх вдоль вертикальной стены с помощью силы, равной F = 70 Н и направленной под углом α к вертикали. Найдите ускорение бруска, если известно, что $\sin\alpha = 0,6$, а коэффициент трения между стеной и бруском μ = 0,4.

31. Через блок перекинута нить, к одному концу которой прикреплен груз массой m_1 = 30 г. Другой конец нити соединен с невесомой пружиной, к концу которой прикреплен груз массой m_2 = 50 г. При движении грузов длина пружины равна l = 17,5 см. Какова длина пружины в нерастянутом состоянии, если под действием силы в F = = 1 Н пружина удлиняется на Δl = 0,2 м?

32. Радиус некоторой планеты в 10 раз больше, чем радиус Земли, а средняя плотность вещества планеты в 2 раза меньше средней плотности Земли. Во сколько раз ускорение свободного падения на поверхности планеты больше, чем на поверхности Земли?

33. Деревянный брусок массой m_1 = 400 г лежит на столе. К нему привязана нить, перекинутая через неподвижный блок, укрепленный на конце стола. К свободному концу нити подвешен груз массой m_2 = 100 г, вследствие чего брусок приходит в движение и проходит из состояния покоя путь s = 8 см за время t = 2 с. Найдите коэффициент трения.

34. Лыжник спускается с горы высотой h = 12 м и длиной l = = 36 м, а затем движется по горизонтальному пути до полной остановки. Определите длину горизонтального пути, если коэффициент трения μ = 0,05.

35. Какой угол с вертикалью образует нить конического маятника (тело, подвешено на нити, которая при движении описывает коническую поверхность) длиной l = 1,2 м, если его период обращения T = 2 с?

36. С какой минимальной скоростью должен ехать мотоциклист по внутренней поверхности вертикального цилиндра радиусом R = = 10 м, чтобы все время оставаться в одной горизонтальной плоскости? Коэффициент трения между шинами мотоцикла и поверхностью цилиндра равен μ = 0,25.

37. Расстояние между центрами Земли и Луны равно 60 земным радиусам. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли. На каком расстоянии от поверхности Земли находится точка, в которой тело притягивается Землей и Луной с одинаковой силой?

38. Гирька массой m = 100 г, привязанная к резиновому шнуру, вращается с угловой скоростью ω = 10 рад/с по окружности в горизонтальной плоскости так, что шнур составляет угол α = 60° с вертикалью. Найдите длину нерастянутого шнура, если его жесткость k = = 40 Н/м.

39. Для равномерного подъема груза массой m = 100 кг по наклонной плоскости с углом наклона α = 30° надо прилагать силу F = = 600 Н. С каким ускорением будет двигаться груз вниз, если его отпустить?

40. Для устранения бокового давления колес поезда на рельсы при движении по закругленным участкам пути наружный рельс укладывают несколько выше внутреннего. Определите высоту возвышения внешнего рельса над внутренним, если радиус закругления R = 800 м, скорость поезда υ = 72 км/ч и ширина колеи b = 1,5 м.

41. Тележка двигается с постоянной скоростью. Человек, скорость которого в 2 раза больше, догоняет тележку, вскакивает на нее и остается на ней, в результате чего скорость тележки увеличивается на 20%. Во сколько раз масса тележки больше массы человека?

42. Определите мощность подъемника, который равномерно поднимает вверх по наклонной плоскости с углом наклона α = 30° груз, импульс которого p = $3{\cdot}10^3$ кг·м/с. Коэффициент трения равен μ = 0,2.

43. С башни высотой h = 30 м горизонтально брошен камень. Найдите потенциальную энергию камня через время t = 2 с после начала движения. Масса камня m = 0,2 кг. На поверхности земли потенциальная энергия равна нулю.

44. Тело массой m_1 = 0,5 кг падает с некоторой высоты на плиту массой m_2 = 1 кг, укрепленную на пружине жесткостью k = 4 кН/м. Определите, на какую длину сожмется пружина, если в момент удара скорость груза υ = 5 м/с. Удар считать неупругим.

45. В воде с глубины h = 5 м поднимают равномерно до поверхности камень объемом V = 0,6 м^3. Плотность камня ρ = = 2500 кг/м^3. Найдите работу по подъему камня. Плотность воды $\rho_в$ = = 10^3 кг/м^3.

46. В результате взрыва ракета разлетается на три части. Два куска летят под прямым углом друг к другу. Кусок массой m_1 = 1 кг − со скоростью υ_1 = 12 м/с, кусок массой m_2 = 2 кг − со скоростью υ_2 = = 8 м/с. Третий кусок отлетает со скоростью υ_3 = 40 м/с. Какова его масса?

47. Две пружины одинаковой длины, имеющие жесткости k_1 и k_2, соединены между собой одним концом последовательно. Какую работу надо совершить, чтобы растянуть пружины на x см?

48. Если акробат стоит неподвижно на сетке, то она прогибается на Δl = 5 см. На сколько прогнется эта сетка, если акробат прыгнет на нее с высоты h = 10 м?

49. Неупругие шары массами m_1 = 1 кг и m_2 = 2 кг движутся навстречу друг другу со скоростями соответственно υ_1 = 1 и υ_2 = 2 м/с. Найдите изменение кинетической энергии системы при ударе.

50. Тело массой m = 1 кг свободно падает с высоты h = 20 м на вертикально стоящую пружину. При ударе пружина сжимается на Δl = = 0,1 м. Определите жесткость пружины.

51. Шар массой m = 4 кг, имевший скорость υ_1 = 5 м/с, сталкивается с покоящимся шаром такой же массы. После абсолютно неупругого столкновения шары двигаются с одинаковыми скоростями. Сколько теплоты выделилось при столкновении?

52. Груз массой m_1 = 2 кг соскальзывает без трения с наклонной доски на неподвижную платформу массой m_2 = 18 кг. С какой скоростью начнет двигаться платформа, когда груз упадет на нее? Угол наклона доски к горизонту α = 60°, высота начального положения груза над уровнем платформы h = 1,8 м.

53. Человек массой m_1 = 60 кг, стоя на коньках, горизонтально бросает перед собой груз массой m_2 = 2 кг со скоростью υ = 3 м/с, а сам откатывается назад. Через сколько секунд после броска человек остановится, если коэффициент трения коньков о лед μ = 0,01?

54. Падающим с высоты h = 1,2 м грузом забивают сваю, которая от удара уходит в землю на Δx = 2 см. Определите среднюю силу удара и его продолжительность, если масса груза m = 500 кг, а масса сваи значительно меньше массы груза.

55. Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на легком жестком стержне. Масса пули в 1000 раз меньше массы шара. Расстояние от точки подвеса стержня до центра шара равно l = 1 м. Найдите скорость пули, если стержень с шаром от удара пули отклонится на угол α = 10° от вертикали.

56. Летевший снаряд разорвался на два осколка с равными массами. Скорости осколков равны υ_1 = 300 м/с и υ_2 = 400 м/с, угол между векторами скоростей равен α = 90°. Найдите скорость снаряда до разрыва.

57. Мяч, летевший со скоростью υ_1 = 15 м/с, отбрасывается ударом ракетки в противоположное направление со скоростью υ_2 = = 20 м/с. Чему равно изменение импульса мяча, если изменение его кинетической энергии при этом составляет ΔK = 8,75 Дж?

58. Вагон массой m_1 = 50 т движется со скоростью υ = 12 км/ч и встречает стоящую на пути платформу массой m_2 = 30 т. Вычислите расстояние, пройденное платформой и вагоном после сцепления, если коэффициент трения равен $\mu = 0{,}05$.

59. Санки с седоком общей массой $m = 100$ кг съезжают с горы высотой $h = 8$ м и длиной $l = 100$ м. Какова средняя сила сопротивления движению санок, если в конце горы они достигли скорости $\upsilon = 10$ м/с, а начальная скорость равна нулю.

60. Груз массой $m = 5$ кг падает с высоты $h = 5$ м и проникает в грунт на $\Delta x = 5$ см. Определите среднюю силу сопротивления грунта.

61. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $I = 1{,}5$ кг·м^2, вращаясь при торможении равнозамедленно за промежуток времени $t = 1$ мин уменьшил частоту своего вращения с $n_1 = 240$ об/мин до $n_2 = 120$ об/мин. Определите угловое ускорение маховика, момент силы торможения и работу торможения.

62. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 50$ см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 6{,}4$ кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением $a = 2$ м/с^2. Определите момент инерции вала.

63. Горизонтальная платформа массой $m = 25$ кг и радиусом $R = 80$ см вращается с частотой $n = 18$ об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. Считая платформу диском, определите частоту вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции с $I_2 = 3{,}5$ кг·м^2 до $I_2 = 1$ кг·м^2.

64. Если увеличить массу груза, подвешенного к спиральной пружине, на $\Delta m = 600$ г, то период колебаний груза возрастает в 2 раза. Определите массу первоначально подвешенного груза.

65. Точка совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 10$ см и периодом $T = 5$ с. Определите максимальную скорость и максимальное ускорение гармонически колеблющейся точки.

66. Как изменится период колебаний маятника, если его перенести с поверхности Земли на Луну? Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а радиус Земли в 3,7 раза больше радиуса Луны.

67. Материальная точка колеблется согласно уравнению $x = A\cos\omega t$, где $A = 5$ см, а $\omega = \pi/12$ с$^{-1}$. Когда возвращающая сила достигает значения $F = -12$ мН, потенциальная энергия точки оказывается равной $П = 0,15$ мДж. Определите этот момент времени.

68. Один математический маятник имеет период $T_1 = 3$ с, а другой − $T_2 = 4$ с. Каков период колебаний математического маятника, длина которого равна сумме длин указанных маятников?

69. Колесо радиусом $R = 30$ см и массой $m = 3$ кг скатывается без трения по наклонной плоскости длиной $l = 5$ м и углом наклона $\alpha = 25°$. Определите момент инерции колеса, если его скорость в конце движения составляла $\upsilon = 4,6$ м/с.

70. Человек массой $m_1 = 60$ кг, стоящий на краю горизонтальной платформы массой $m_2 = 120$ кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой $n_1 = 10$ об/мин, переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека − точечной массой, определите, с какой частотой будет вращаться платформа.

71. К ободу однородного сплошного диска массой $m = 10$ кг, насаженного на ось, приложена постоянная касательная сила $F = 30$ Н. Определите кинетическую энергию через время $t = 4$ с после начала действия силы.

72. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R =$ $= 20$ см, момент инерции которого $I = 0,15$ кг·м^2, намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 0,5$ кг. До начала вращения барабана высота груза над полом составляла $h = 2,3$ м. Определите время спуска груза до пола.

73. Тонкий однородный стержень длиной $l = 60$ см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, отстоящей на расстоянии $x = 15$ см от его середины. Определите период колебаний стержня, если он совершает малые колебания.

74. Полная энергия гармонически колеблющейся точки равна $E = 10$ мкДж, а максимальная сила, действующая на точку, составляет $F_{max} = -0,5$ мН. Напишите уравнение движения этой точки, если период колебаний равен $T = 4$ с, а начальная фаза $\varphi_0 = \pi/6$.

75. Вентилятор вращается с частотой $n = 600$ об/мин. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и, сделав $N = 50$ оборотов, остановился. Работа сил торможения равна $A = 31,4$ Дж. Определите момент сил торможения и момент инерции вентилятора.

76. Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой $m = 0,2$ кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массой m_1 = 0,35 кг и m_2 = 0,55 кг. Пренебрегая трением в оси блока, определите ускорение грузов.

77. Однородный диск радиусом R = 20 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей на расстоянии x = 15 см от центра диска. Определите период колебаний диска относительно этой оси.

78. Тело массой m = 10 г совершает гармонические колебания по закону $x = 0{,}1\cos\left(4\pi t + \dfrac{\pi}{4}\right)$. Определите максимальное значение возвращающей силы.

79. Один из маятников совершил N_1 = 10 колебаний, другой за то же время совершил N_2 = 6 колебаний. Разность длин маятников равна Δl = 16 см. Определите длины маятников.

80. К ободу однородного сплошного диска радиусом R = 50 см приложена постоянная касательная сила F = 100 Н. При вращении диска на него действует момент сил трения $M_{\text{тр}}$ = 2 Н·м. Определите массу диска, если известно, что его угловое ускорение постоянно и равно ε = 16 рад/с^2.

Молекулярная физика

81. В баллоне вместимостью V = 10 л находится газ при температуре t = 27°C. Вследствие утечки газа давление в баллоне снизилось на Δp = 4,2 кПа. Сколько молекул вышло из баллона? Температуру считать неизменной.

82. Определите коэффициент теплопроводности азота при давлении p = 100 кПа и температуре t = 17°C. Эффективный диаметр молекул азота принять равным d = 0,38 нм.

83. Определите температуру газа, находящегося в закрытом сосуде, если давление газа при нагревании на ΔT = 1 К увеличивается на 0,4% первоначального значения.

84. Определите плотность смеси газов водорода массой m_1 = 8 г и кислорода массой m_2 = 64 г при температуре T = 290 К и давлении p = 0,1 МПа. Газы считать идеальными.

85. Определите давление, оказываемое газом на стенки сосуда, если его плотность равна ρ = 0,01 кг/м^3, а средняя квадратичная скорость молекул газа составляет $\langle \upsilon_{\text{кв}} \rangle$ = 480 м/с.

86. Какова была начальная температура воздуха, если при нагревании его на ΔT = 3 К объем увеличился на 1% от первоначального.

87. Определите среднюю продолжительность свободного пробега молекул водорода при температуре t = 27°С и давлении p = = 0,5 кПа. Эффективный диаметр молекулы водорода примите равным d = 0,28 нм.

88. Какая масса воздуха выйдет из комнаты объемом V = 60 м^3 при повышении температуры от T_1 = 280 К до T_2 = 300 К при нормальном давлении?

89. Газ находится в вертикальном цилиндре под поршнем массой M_1 = 5 кг. Какой массы груз надо положить на поршень, чтобы он остался в прежнем положении при увеличении абсолютной температуры в 2 раза? Атмосферное давление p = 100 кПа, площадь поршня S = 100 мм^2.

90. Под каким давлением надо наполнить воздухом баллон емкостью V_1 = 10 л, чтобы при соединении его с баллоном емкостью V_2 = = 30 л, содержащим воздух при давлении p = 100 кПа, установилось общее давление $p_{см}$ = 200 кПа?

91. Определите коэффициент теплопроводности азота, находящегося в некотором объеме при температуре T = 280 К. Эффективный диаметр молекул азота принять равным d = 0,38 нм.

92. В трубке, закрытой с одного конца, столбик воздуха заперт столбиком ртути высотой h = 19 см. Если трубку поставить открытым концом вниз, длина воздушного столбика будет l_1 = 10 см, а если открытым концом вверх, то l_2 = 6 см. Найдите атмосферное давление. Плотность ртути $\rho_{рт}$ = 13600 кг/м^3.

93. В сосуде вместимостью V = 0,3 л при температуре t = 17°С находится некоторый газ. На сколько понизится давление газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет $N = 10^{19}$ молекул?

94. Когда из сосуда выпустили часть газа, давление в нем упало на 40%, а абсолютная температура − на 10%. Какую часть газа выпустили?

95. Аэростат объемом $V_1 = 10^3$ м^3 заполняют водородом при t_1 = = 7°С. Давление в нем должно быть p_1 = 100 кПа. Сколько баллонов водорода потребуется, если в баллоне емкостью V_2 = 50 л при температуре t_2 = 27°С давление p_2 = 4 МПа?

96. Определите коэффициент диффузии кислорода при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы кислорода примите равным d = 0,36 нм.

97. Резиновый шар содержит V_1 = 2 л воздуха, находящегося при температуре t_1 = 20°C и атмосферном давлении p_1 = 104 кПа. Какой объем займет воздух, если шар будет опущен в воду на глубину h = 10 м? Температура воды t_2 = 4°C, плотность воды $\rho_в$ = = 1000 кг/м^3.

98. В вертикальной трубке, закрытой снизу, с площадью поперечного сечения S = 0,1 см^2 находится V = 6 см^3 воздуха, запертого столбиком ртути высотой h = 4 см. Какова будет высота столба воздуха, если добавить m = 27,2 г ртути? Атмосферное давление считать нормальным. Плотность ртути $\rho_{рт}$ = 13600 кг/м^3.

99. При некоторых условиях коэффициент диффузии водорода равен $D = 1{,}42 \cdot 10^{-4}$ м^2/с, а его вязкость при тех же условиях равна η = = 8,5 мкПа·с. Определите концентрацию молекул водорода.

100. Объем пузырька по мере всплывания его со дна озера на поверхность увеличивается в 3 раза. Какова глубина озера? Температуру считать постоянной по всей глубине озера, атмосферное давление p = 100 кПа. Плотность воды $\rho_в$ = 1000 кг/м^3.

101. Генератор излучает импульсы сверхвысокой частоты с энергией в каждом импульсе W = 6 Дж. Частота повторения импульсов ν = 700 Гц. КПД генератора η = 60%. Сколько литров воды в час надо пропускать через охлаждающую систему генератора, чтобы вода нагрелась не выше чем на Δt = 10°C?

102. Два одинаковых шарика, сделанных из вещества с удельной теплоемкостью c = 450 Дж/(кг·К), движутся навстречу друг другу со скоростями υ_1 = 40 м/с и υ_2 = 20 м/с. Определите, на сколько градусов они нагреются в результате неупругого столкновения.

103. С какой высоты должен падать оловянный шарик, чтобы при ударе о поверхность он полностью расплавился? Считать, что 50% энергии шарика идет на его нагревание и плавление. Начальная температура шарика t_0 = 32°C. Температура плавления олова $t_{ол}$ = = 232°C, удельная теплоемкость $c_{ол}$ = 250 Дж/кг·К, удельная теплота плавления $\lambda_{ол}$ = 59,6 кДж/кг.

104. В цилиндре с площадью основания S = 100 см^2 находится газ при температуре T_1 = 300 К. На высоте h = 30 см от основания цилиндра расположен поршень массой m = 60 кг. Какую работу совершит газ при расширении, если его температуру медленно повысить на Δt = 50°C? Атмосферное давление $p_{атм}$ = 100 кПа.

105. Некоторое количество идеального одноатомного газа при изобарном нагревании получает Q = 10 Дж теплоты. Какую работу совершает этот газ при адиабатическом охлаждении до первоначальной температуры?

106. Идеальный одноатомный газ в количестве ν = 1 моль нагрели сначала изохорно, а затем изобарно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в 2 раза. Какое количество теплоты получил газ в этих двух процессах, если его начальная температура была T_1 = 100 К.

107. Два моля газа изобарно нагревают от T_1 = 400 К до T_2 = = 800 К, затем изохорно охлаждают до T_3 = 500 К. Далее газ охлаждают изобарно так, что его объем уменьшается до первоначального, и наконец газ изохорно нагревают до T_4 = 400 К. Найдите работу, совершенную газом в этом цикле.

108. В вертикальном теплоизолированном цилиндре под поршнем находится некоторое количество гелия при температуре T_1 = = 240 К. На поршне лежит груз массой, равной половине массы поршня. Груз мгновенно убирают и дожидаются прихода системы к равновесию. Чему станет равна температура газа? Над поршнем газа нет.

109. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, использует в качестве холодильника тающий лед при температуре t_2 = 0°С, а в качестве нагревателя − кипящую воду при t_1 = 100°С. Какая масса льда образуется при получении от сети энергии W = 25 кДж?

110. Кусок льда массой m = 100 г, имевший температуру t_1 = = 0°С, превращен в пар при температуре t_2 = 100°С. Определите изменение энтропии, полагая, что давление p = 1 атм осталось неизменным. Удельная теплота плавления льда λ = 335 кДж/кг, удельная теплоемкость воды $c_в$ = 4190 Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования $L = 22{,}6 \cdot 10^5$ Дж/кг.

111. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если в процессе изохорного нагревания кислорода объемом V = 20 л его давление изменилось на Δp = 100 кПа.

112. Азот, находившийся при температуре T_1 = 400 К, подвергли адиабатному расширению, в результате которого его объем увеличился в 5 раз, а внутренняя энергия уменьшилась на ΔU = 4 кДж. Определите массу азота.

113. Кислород объемом V = 1 л находится под давлением p = = 1 МПа. Определите, какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его объем вдвое в результате изобарного процесса.

114. Для нагревания некоторого количества идеального газа с молярной массой μ = 28 кг/кмоль на ΔT = 14 К при постоянном давлении потребовалось Q_1 = 29 Дж теплоты. Чтобы затем охладить этот же газ до исходной температуры при постоянном объеме, у него надо отнять Q_2 = 20,7 Дж теплоты. Найдите массу газа.

115. Кислород в количестве m = 10 г, находившийся при нормальных условиях, сжимают до объема V_2 = 1,4 л. Найдите давление и температуру кислорода после сжатия и работу сжатия, если кислород сжимают изотермически.

116. Кислороду при изобарном его нагревании сообщили Q = = 0,1 МДж теплоты. Найдите изменение внутренней энергии и выполненную работу.

117. Кислород массой m = 10 г, находившийся при нормальных условиях, сжимают до объема V_2 = 1,4 л. Найдите давление и температуру кислорода после сжатия и работу сжатия, если кислород сжимают адиабатически.

118. Найдите изменение энтропии при превращении m = 1 г воды при температуре t_1 = 0°C в пар при температуре t_2 = 100°C. Удельная теплоемкость воды $c_в$ = 4190 Дж/кг·К, удельная теплота парообразования $L = 22{,}6\cdot 10^5$ Дж/кг

119. Объем кислорода при адиабатном его расширении количеством вещества ν = 2 моль, находящегося при нормальных условиях, увеличился в три раза. Определите изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

120. Необходимо сжать воздух от объема V_1 = 10 л до V_2 = 2 л. Как выгоднее его сжимать (адиабатически или изотермически)?

Электростатика и постоянный ток

121. В элементарной теории атома водорода принимают, что электрон обращается вокруг ядра по круговой орбите. Определите радиус орбиты, если частота обращения электрона $n = 6{,}56\cdot 10^{15}$ с$^{-1}$.

122. Три одинаковых заряда по q_1 = q_2 = q_3 = 1 нКл каждый расположены по вершинам равностороннего треугольника. Какой отрицательный заряд надо поместить в центре треугольника, чтобы его притяжение уравновесило силы взаимного отталкивания зарядов?

123. Два одинаковых отрицательных заряда по $q_1 = q_2 = 100$ нКл и массой $m_1 = m_2 = 0{,}3$ г каждый движутся по окружности радиусом $R = 10$ см вокруг положительного заряда $q = 100$ нКл. При этом отрицательные заряды находятся на концах одного диаметра. Найдите угловую скорость вращения зарядов.

124. На тонкой изолирующей нити подвешен шарик массой $m =$ $= 2$ г, имеющий заряд $q_1 = 20$ нКл. Как близко надо поднести к нему снизу одноименный и равный ему заряд, чтобы сила натяжения нити уменьшилась вдвое?

125. Два шарика с зарядами q и $2q$ находятся на расстоянии $r =$ $= 20$ см друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы он оказался в равновесии?

126. Двадцать семь одинаковых капелек ртути, заряженных до потенциала $\varphi_1 = 20$ В каждая, сливаются в одну большую каплю. Каков потенциал образовавшейся капли?

127. В точке A напряженность поля точечного заряда равна $E_A =$ $= 36$ В/м, а в точке $B - E_B = 9$ В/м. Определите напряженность поля в точке C, лежащей посередине между точками A и B.

128. Два точечных заряда по $q_1 = q_2 = 10$ нКл каждый закреплены на расстоянии $r = 4$ см друг от друга. Посередине между зарядами помещают заряженную частицу массой $m = 2$ мг с зарядом q $= 36$ нКл и отпускают. Какую скорость приобретет частица на большом расстоянии от зарядов?

129. Свинцовый шарик плотностью $\rho_{св} = 11{,}3$ г/см^3 и диаметром $d = 0{,}5$ см помещен в глицерин плотностью $\rho_г = 1{,}26$ г/см^3. Определите заряд шарика, если в однородном электростатическом поле шарик оказался взвешенным в глицерине. Электростатическое поле направлено вертикально вверх, и его напряженность $E = 4$ кВ/см.

130. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику напряжения. Когда один из конденсаторов погрузили в жидкий диэлектрик, заряды на пластинах конденсаторов увеличились в 1,5 раза. Найдите диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

131. Бесконечная равномерно заряженная плоскость имеет поверхностную плотность зарядов $\sigma = 9$ мкКл/м^2. Над ней находится алюминиевый шарик с зарядом $q = 36{,}8$ мкКл. Какой радиус должен иметь шарик, чтобы он не падал? Плотность алюминия $\rho_{ал} =$ $= 2700$ кг/м^3.

132. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин S = = 200 см^2 заряжен до разности потенциалов U = 2 кВ. После зарядки конденсатор отключили от источника напряжения и пространство между пластинами заполнили эбонитом. Определите изменение емкости конденсатора и изменение напряженности электрического поля внутри конденсатора. Расстояние между пластинами d = 1 см, диэлектрическая проницаемость эбонита равна ε = 4,3.

133. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины к другой, приобретает скорость $\upsilon = 10^6$ м/с. Расстояние между пластинами d = 5,3 мм. Определите объемную плотность энергии поля в конденсаторе.

134. Сила электростатического отталкивания уравновешивает силу гравитационного притяжения двух одинаковых капелек воды радиусом R = 0,1 мм. Определите заряд капель. Плотность воды $\rho_в$ = = 1000 кг/м^3.

135. Два маленьких шарика, каждый массой по $m_1 = m_2$ = 0,5 г, подвешены на нитях длиной $l_1 = l_2$ = 40 см. После электризации одинаковыми зарядами они разошлись на расстояние r = 5 см. Определите заряды, сообщенные шарикам.

136. Два точечных электрических заряда q_1 = 1 нКл и q_2 = = − 2 нКл находятся в воздухе на расстоянии r = 10 см друг от друга. Определите напряженность и потенциал поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние r_1 = 7 см и от второго заряда на r_2 = 9 см.

137. Какую работу надо совершить, чтобы перенести точечный заряд q = 20 нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии r = 28 см от поверхности проводящего шара радиусом R = = 2 см, если шар заряжен до потенциала U = 300 В? Шар находится в воздухе.

138. В однородное электрическое поле, образованное двумя вертикальными пластинами, помещен шарик массой m = 4,5 мг, подвешенный на тонкой нити длиной l = 2 м. Шарик отклонился на Δx =

= 2 см от первоначального положения. Найдите напряженность электрического поля, если на шарике находится $N = 15 \cdot 10^{10}$ избыточных электронов.

139. Электрон, начальная скорость которого υ_0 = 1 Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью E = 100 В/м так, что начальная скорость электрона противоположна напряженности поля. Найдите кинетическую энергию электрона по истечении времени t = 10 нс.

140. Конденсатор емкостью C_1 = 6 мФ был заряжен до разности потенциалов U_1 = 40 В. После отключения от источника тока к нему был присоединен параллельно другой незаряженный конденсатор емкостью $C_2 = 10^{-2}$ Ф. На какую величину изменится энергия первого конденсатора в момент присоединения второго?

141. Общее сопротивление двух последовательно соединенных проводников R_{I} = 50 Ом, а параллельно соединенных R_{II} = 12 Ом. Определите сопротивление каждого проводника.

142. Определите внутреннее сопротивление r элемента, если известно, что при замыкании на внешнее сопротивление R_1 = 14 Ом напряжение на его зажимах U_1 = 28 В, а при замыкании на сопротивление R_2 = 29 Ом напряжение на зажимах U_2 = 29 В.

143. Определите температуру нити лампочки, если при ее включении в сеть напряжением U = 220 В по нити идет ток силой I = = 0,68 А. Сопротивление вольфрамовой нити при t = 20°С равно R_0 = = 36 Ом. Температурный коэффициент сопротивления вольфрама α = $= 5{,}1 \cdot 10^{-3}$ град$^{-1}$.

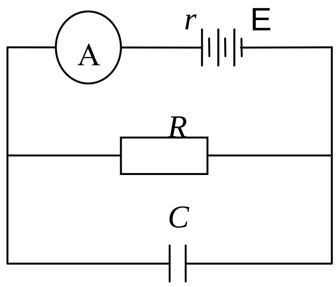
144. Какой длины надо взять нихромовый проводник диаметром d = 0,5 мм, чтобы изготовить электрический камин, работающий при напряжении U = 120 В и дающий Q = 1 МДж теплоты в час? Удельное сопротивление нихрома $\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

145. Элемент с внутренним сопротивлением r = 4 Ом замкнут внешним сопротивлением R_1 = 8 Ом. При каком другом внешнем сопротивлении будет выделяться такое же количество теплоты в единицу времени?

146. В электрический чайник налито V = 0,6 л воды при t = 0°С. Через какой промежуток времени после его включения вся вода в чайнике выкипит? Сопротивление обмотки чайника R = 14,4 Ом, напряжение в сети U = 220 В, КПД η = 60%. Удельная теплоемкость воды $c_{\text{в}}$ = 4190 Дж/кг·К, удельная теплота парообразования L = $= 22{,}6 \cdot 10^5$ Дж/кг.

147. При электролизе раствора серной кислоты расходуется мощность P = 37 Вт. Определите сопротивление электролита, если за t = 50 мин выделяется m = 0,3 г водорода. Молярная масса воздуха составляет 29 г/моль, валентность равна 1.

148. Батарея состоит из трех последовательно соединенных элементов, ЭДС каждого из которых E = 2 В и внутреннее сопротивление r = 0,4 Ом. Определите величину сопротивления и напряженность поля в плоском конденсаторе, если расстояние между обкладками d = 0,16 см, а сила тока в цепи I = 1 А (см. рисунок).



149. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если во внешней цепи при силе тока I_1 = 4 А развивается мощность P_1 = 10 Вт, а при силе тока I_2 = 2 А мощность P_2 = 8 Вт.

150. Определите суммарный импульс электронов в прямом проводе длиной l = 500 м, по которому течет ток I = 20 А.

151. Небольшая сельская гидроэлектростанция расходует ежеминутно V = 240 м^3 воды. Высота напора воды h = 4 м. Сколько электроламп может обслуживать такая установка, если каждая лампа потребляет ток силой I = 1 А при напряжении U = 220 В? Коэффициент полезного действия всей гидроустановки η = 75%.

152. Определите диаметр поперечного сечения и длину проводника из алюминия, если его сопротивление R = 0,1 Ом, а масса m = = 54 г. Удельное сопротивление алюминия ρ_* = $2{,}8\cdot10^{-8}$ Ом·м, плотность алюминия ρ = 2750 кг/м^3.

153. К сети напряжением U = 120 В присоединяются два резистора. При последовательном их соединении ток в цепи равен I_1 = = 3 А, а при параллельном − I_2 = 16 А. Чему равны сопротивления резисторов?

154. Две проволоки из одинакового материала диаметрами d_1 = = 0,2 мм и d_2 = 0,8 мм служат нагревателями и включаются в сеть параллельно. При длительной работе температуры проволок оказываются одинаковыми. Найдите длину более толстой проволоки, если длина более тонкой l_1 = 55 см, а количество теплоты, отдаваемое за t = 1 с в окружающую среду, пропорционально площади поверхности (при одинаковой температуре).

155. По медному проводнику сечением S = 0,8 мм^2 течет ток I = = 80 мА. Найдите среднюю скорость упорядоченного движения электронов вдоль проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон.

156. Под каким напряжением нужно передавать электроэнергию на расстояние l = 10 км, чтобы при плотности тока j = 0,5 А/мм^2 в стальных проводах двухпроводной линии электропередачи потери в линии составляли 1% от передаваемой мощности? Удельное сопротивление стали ρ_* = 0,12·10^{-6} Ом·м.

157. Определите температуру почвы, в которую помещена термопара железо − константан с постоянной α = 50 мкВ/°С, если стрелка включенного в цепь термопары гальванометра с ценой деления 1 мкА и сопротивлением R = 10 Ом отклоняется на n = 40 делений. Второй спай термопары погружен в тающий лед. Сопротивлением термопары пренебречь.

158. Электромотор, потребляющий ток I = 10 А, расположен на расстоянии l = 2 км от генератора, дающего напряжение U = 220 В. Мотор соединен с генератором медными проводами. Найдите сечение подводящих проводов, если потеря напряжения в проводах 8%. Удельное сопротивление меди ρ_* = = 1,7·10^{-8} Ом·м.

159. Определите мощность и силу тока, потребляемую электромотором, приводящим в действие насосную установку, снабжающую водой животноводческую ферму с суточным расходом воды объемом V = 30 м^3. Вода подается на высоту h = 20 м. КПД установки η = 80%, напряжение с сети U = 220 В, мотор работает t = 6 ч в сутки.

160. Один спай термопары с постоянной α = 50 мкВ/°С помещен в печь, другой − в тающий лед. Стрелка гальванометра, подключенного к термопаре, отклонилась при этом на n = 200 делений. Определите температуру в печи, если сопротивление гальванометра вместе с термопарой r = 1 Ом, а одно деление его шкалы соответствует силе тока в 1 мкА (чувствительность гальванометра).

2. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

2.1. Основные формулы и законы

Электромагнетизм

1. Связь между магнитной индукцией $\vec{B}$ и напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля (для векторов и их модулей):

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}, \quad B = \mu_0 \mu H, \tag{2.1}$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды (для воздуха, вакуума и немагнитных сред μ = 1).

2. Принцип суперпозиции магнитных полей: магнитная индукция $\vec{B}$ результирующего поля от нескольких источников равна векторной сумме магнитных индукций $\vec{B}_i$ (i = 1, 2, …, n):

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i . \tag{2.2}$$

3. Модуль B магнитной индукции поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I, на расстоянии r от оси проводника:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2\pi r}. \tag{2.3}$$

4. Модуль магнитной индукции в центре кругового проводника радиусом R с током I:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}. \tag{2.4}$$

5. Модуль магнитной индукции внутри соленоида длиной l с током I, имеющего N плотно прилегающих друг к другу витков провода:

$$B = \mu_0 \mu I \frac{N}{l}. \tag{2.5}$$

6. Сила Ампера, действующая на прямой проводник длиной l с током I в магнитном поле $\vec{B}$:

$$\vec{F}_A = I\vec{l} \times \vec{B}, \quad F_A = IlB\sin\alpha, \qquad (2.6)$$

где α – угол между направлениями тока I и магнитной индукции $\vec{B}$.

7. Модуль силы F_A взаимодействия двух длинных прямых параллельных проводников с токами I_1 и I_2, находящимися на расстоянии r друг от друга, действующей на отрезок проводника длиной l:

$$F_A = \mu_0\mu\frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}. \qquad (2.7)$$

8. Вектор магнитного момента p_m плоского контура площадью S с током I:

$$\vec{p}_m = I\vec{S}, \quad p_m = IS, \qquad (2.8)$$

где $\vec{S} = S \cdot \vec{n}$ – вектор, равный по модулю площади S контура и совпадающий по направлению с нормалью $\vec{n}$ к его плоскости, направление которой определяется по правилу буравчика.

9. Модуль магнитного момента короткой катушки, содержащей N витков с током I (S − площадь контура витков катушки):

$$p_m = ISN. \qquad (2.9)$$

10. Механический вращающий момент $\vec{M}$ (и его модуль), действующий на контур с током (имеющий магнитный момент $\vec{p}_m$), который помещен в однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$:

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}, \quad M = p_m B\sin\alpha, \qquad (2.10)$$

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

11. Сила Лоренца, действующая на заряд q, движущийся со скоростью $\vec{\upsilon}$ в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$:

$$\vec{F}_Л = q\vec{\upsilon} \times \vec{B}, \quad F_Л = q\upsilon B\sin\alpha, \qquad (2.11)$$

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

12. Магнитный поток Φ_m через плоский контур площадью S в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$:

$$\Phi_m = BS\cos\alpha, \qquad (2.12)$$

где α – угол между направлениями нормали $\vec{n}$ к плоскости контура (см. формулу (2.8)) и вектора $\vec{B}$.

13. Потокосцепление ψ (полный магнитный поток, сцепленный со всеми N витками соленоида с индуктивностью L и током I):

$$\psi = N\Phi_m, \quad \psi = LI, \tag{2.13}$$

где Φ_m – магнитный поток через один виток.

14. Индуктивность L соленоида длиной l, содержащего N витков:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l^2} V, \tag{2.14}$$

где $V = S \cdot l$ – объем соленоида с поперечным сечением S.

15. Основной закон электромагнитной индукции (закон Фарадея – Ленца) для мгновенного $\mathcal{E}_i$ и среднего $\langle \mathcal{E}_i \rangle$ значений ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\psi}{dt}; \quad \langle \mathcal{E}_i \rangle = -\frac{\Delta\psi}{\Delta t}. \tag{2.15}$$

16. Мгновенное $\mathcal{E}_{si}$ и среднее $\langle \mathcal{E}_{si} \rangle$ значение ЭДС самоиндукции для соленоида с индуктивностью L и изменяющимся током I:

$$\mathcal{E}_{si} = -L\frac{dI}{dt}, \quad \langle \mathcal{E}_{si} \rangle = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}. \tag{2.16}$$

17. Энергия W магнитного поля в соленоиде с индуктивностью L и током I:

$$W = \frac{LI^2}{2}. \tag{2.17}$$

18. Объемная плотность w энергии магнитного поля индукцией B и напряженностью H ($B = \mu\mu_0 H$):

$$w = \frac{W}{V} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2}. \tag{2.18}$$

<u>Оптика</u>

19. Абсолютный показатель преломления среды:

$$n = c/\upsilon, \tag{2.19}$$

где c и υ – скорости света в вакууме и среде соответственно.

20. Закон преломления света на границе двух сред:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}, \qquad (2.20)$$

где α – угол падения; β – угол преломления; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй среды.

21. Предельный угол $\alpha_{пр}$ полного внутреннего отражения света на границе с оптически менее плотной средой ($n_2 < n_1$):

$$\sin\alpha_{пр} = n_2 / n_1 . \qquad (2.21)$$

22. Оптическая сила линзы с фокусным расстоянием f:

$$D = 1/f . \qquad (2.22)$$

23. Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f}, \qquad (2.23)$$

где s и s' – расстояния от предмета и его изображения до оптического центра линзы соответственно.

24. Поперечное увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{h_2}{h_1} = \frac{s'}{s}, \qquad (2.24)$$

где h_1 и h_2 – высота предмета и изображения соответственно.

25. Угловое увеличение лупы с фокусным расстоянием f:

$$\Gamma = L/f, \qquad (2.25)$$

где L – расстояние наилучшего зрения (L = 25 см).

26. Освещенность E поверхности, создаваемая точечным источником силой света I в точке поверхности, удаленной от него на расстояние r:

$$E = \frac{I\cos\alpha}{r^2}, \qquad (2.26)$$

где α – угол между лучом и нормалью в точке падения луча.

27. Условие максимума интенсивности света при интерференции:

$$\Delta = m\lambda;\; m = 0, 1, 2, \ldots, \tag{2.27}$$

где Δ – оптическая разность хода двух световых волн с длиной волны λ.

28. Условие минимума интенсивности света при интерференции:

$$\Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2};\quad m = 0, 1, 2, \ldots . \tag{2.28}$$

29. Расстояние Δx между интерференционными полосами (или ширина полосы) на экране, полученными от двух когерентных источников света с длиной волны λ:

$$\Delta x = \frac{l\lambda}{d},\quad d << l, \tag{2.29}$$

где d – расстояние между источниками, находящимися на расстоянии l от экрана.

30. Условие главных максимумов интенсивности света при дифракции на дифракционной решетке с периодом $d = 1/n$ (n – число штрихов на единицу длины решетки):

$$d\sin\varphi = \pm m\lambda;\quad m = 0, 1, 2, \ldots, \tag{2.30}$$

где φ – угол дифракции.

31. Закон Брюстера для явления полной поляризации света на границе двух сред:

$$\mathrm{tg}\,\alpha_{\text{Б}} = n_2/n_1, \tag{2.31}$$

где $\alpha_{\text{Б}}$ – угол Брюстера.

32. Угол поворота φ плоскости поляризации света в оптически активных растворах:

$$\varphi = \alpha_0 c l, \tag{2.32}$$

где α_0 – удельное вращение; c – концентрация оптически активного вещества в растворе; l – длина пути света в этом веществе.

33. Энергетическая светимость $R_э$ излучающей поверхности тела:

$$R_э = \frac{W}{St} = \frac{\Phi}{S}, \tag{2.33}$$

где S – площадь поверхности тела, излучающей энергию W за время t; $\Phi = W/t$ – мощность излучения, т. е. поток энергии с площади S тела.

34. Закон Стефана – Больцмана для абсолютно черного тела, имеющего температуру T:

$$R_э = \sigma T^4, \tag{2.34}$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана.

35. Закон смещения Вина для теплового излучения:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \tag{2.35}$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости; b – постоянная Вина.

36. Энергия ε кванта света (фотона с массой m и импульсом p):

$$\varepsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = mc^2 = pc, \tag{2.36}$$

где h – постоянная Планка; ν и c – частота и скорость света; λ – длина волны.

37. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + K_{\max} = A + m\upsilon_{\max}^2/2, \tag{2.37}$$

где A – работа выхода электрона из вещества; $K_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия электрона, выбитого фотоном с энергией $h\nu$.

38. Красная граница фотоэффекта, т. е. минимальная частота ν_0 или максимальная длина волны λ_0 света, при которой еще возможен фотоэффект ($\lambda_0 = c/\nu_0$):

$$\nu_0 = \frac{A}{h}, \quad \text{или} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A}, \tag{2.38}$$

39. Давление света p при нормальном падении света на поверхность:

$$p = \frac{E_э}{c}(1+\rho), \quad E_э = \frac{W}{St} = \frac{\Phi}{S}, \tag{2.39}$$

где $E_э$ – энергетическая освещенность поверхности; ρ – коэффициент отражения; W – энергия света, падающая на площадь поверхности S за время t; Φ – поток энергии излучения; c – скорость света.

Физика атома и атомного ядра

40. Частота ν линии спектра атома водорода, соответствующая переходу электрона из состояния с номером n_2 в состояние с номером n_1:

$$\nu_{12} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right), \tag{2.40}$$

где R – постоянная Ридберга; n_1 и n_2 – номера энергетических уровней атома.

41. Радиусы r_n электронных боровских орбит в атоме водорода:

$$r_n = a_0 n^2, \quad n = 1, 2, 3, \ldots, \tag{2.41}$$

где a_0 – первый боровский радиус; n – номер орбиты.

42. Закон радиоактивного распада ядер атомов:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \tag{2.42}$$

где N_0 – число радиоактивных ядер в начальный момент времени; N – число нераспавшихся ядер в момент времени t; λ – постоянная радиоактивного распада.

43. Связь периода полураспада $T_{1/2}$ радиоактивных ядер с постоянной распада λ:

$$T_{1/2} = \ln 2/\lambda. \tag{2.43}$$

44. Активность A радиоактивного препарата, содержащего N нераспавшихся ядер:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N. \tag{2.44}$$

45. Формула Эйнштейна для взаимосвязи массы и энергии:

$$E = mc^2. \tag{2.45}$$

46. Энергия связи ядра атома, содержащего Z протонов и $(A - Z)$ нейтронов:

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = c^2\left[Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}\right] = c^2[Zm_H + (A - Z)m_n - m], \tag{2.46}$$

где Δm – дефект массы ядра; m_p, m_n, $m_я$ – соответственно массы покоя протона, нейтрона и ядра; m_H и m – соответственно массы атома водорода и атома, энергия связи которого вычисляется.

47. Энергия ядерной реакции:

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)], \qquad (2.47)$$

где m_1 и m_2 – массы покоя ядра мишени и бомбардирующей частицы соответственно; $(m_3 + m_4)$ – сумма масс покоя ядер, образующихся в результате реакции.

2.2. Примеры решения задач и их оформления

Электромагнетизм

Пример 1. Магнитное поле прямого тока. Принцип суперпозиции. По двум длинным прямолинейным и параллельным проводам, расположенным в воздухе на расстоянии d = 4 см, в противоположных направлениях текут токи I_1 = 0,3 А, I_2 = 0,5 А. Найдите магнитную индукцию поля в точке A, которая находится на расстоянии r_1 = = 2 см от первого провода на продолжении линии, соединяющей провода (рис. 26).

Дано:
I_1 = 0,3 А
I_2 = 0,5 А
d = 0,04 м
r_1 = 0,02 м

Найти: $\vec{B}$.

Решение. На рис. 26 прямолинейные провода расположены перпендикулярно к плоскости чертежа. Маленькими кружочками изображены их сечения. Ток I_1 течет к нам (знак ⦿), а ток I_2 − от нас (знак ⊗). В соответствии с принципом суперпозиции (2.2), магнитная индукция $\vec{B}$ результирующего поля в точке A равна векторной сумме индукций $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ полей, создаваемых каждым током в отдельности, т. е.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2. \qquad (1)$$

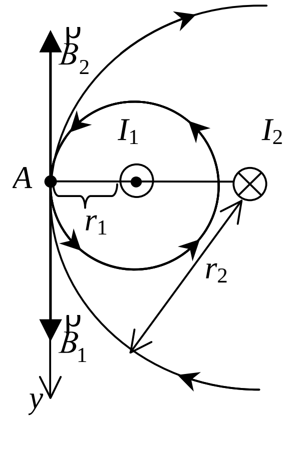


Рис. 26

Для того чтобы найти направления векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$, проведем через точку A линии магнитной индукции полей, созданных токами I_1 и I_2.

Линии магнитной индукции прямого провода с током представляют собой концентрические окружности с центрами на оси провода. Направление линии магнитной индукции совпадает с движением концов рукоятки правого буравчика, ввинчиваемого по направлению тока (правило буравчика). Поэтому линии магнитной индукции полей токов I_1 и I_2, проходящие через точку A, представляют собой окружности радиусов r_1 и r_2.

По правилу буравчика находим, что линия магнитной индукции поля, созданного током I_1, направлена против часовой стрелки, а током I_2 − по часовой стрелке. Изобразим векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ в точке A: каждый из них направлен по касательной к соответствующей силовой линии в этой точке. Так как векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны, то векторное равенство (1) можно заменить алгебраическим, проецируя его на ось y, совпадающую с касательной в точке A:

$$B_y = B_1 - B_2. \qquad (2)$$

Индукция магнитного поля тока I, текущего по прямому бесконечно длинному проводу, вычисляется по формуле (2.3), т. е.

$$B = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I}{r}, \qquad (3)$$

где μ_0 = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м − магнитная постоянная; μ − магнитная проницаемость среды, в которой расположен провод; r − расстояние от провода до точки, в которой определяется индукция.

Подставив выражения B_1 и B_2 в равенство (2), получим

$$B = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I_1}{r_1} - \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\frac{I_2}{r_2} \Rightarrow B = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}\left(\frac{I_1}{r_1} - \frac{I_2}{r_2}\right). \qquad (4)$$

Подставим числовые значения в СИ и выполним расчеты (r_2 = = $r_1 + d$ = 0,06 м):

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi}\left(\frac{0,3}{0,02} - \frac{0,5}{0,06}\right) = 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 1,33 \text{ мкТл}.$$

Пример 2. Магнитная индукция поля соленоида. Из проволоки диаметром d = 0,1 мм и сопротивлением R = 25 Ом намотан соленоид на картонном цилиндре (витки вплотную прилегают друг к другу). Определите индукцию магнитного поля на оси соленоида, если напряжение на концах обмотки U = 2 В.

Дано:
$d = 10^{-4}$ м;
$R = 25$ Ом
$U = 2$ В

Найти: B.

Решение. Индукция магнитного поля на оси соленоида длиной l вычисляется по формуле (2.5):

$$B = \mu_0 \mu \frac{N}{l} I = \mu_0 \mu I n, \qquad (1)$$

где $n = N/l$ − число витков на единицу длины соленоида; I − сила тока, текущего по обмотке соленоида.

Поскольку $l = N \cdot d$ (витки плотно прилегают друг к другу), то

$$n = 1/d\,. \qquad (2)$$

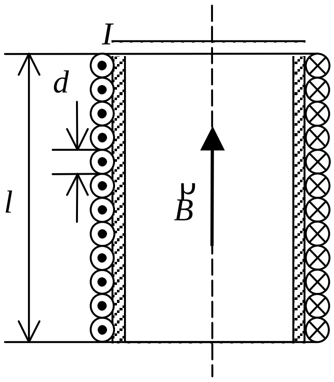


Рис. 27

Силу тока, текущего по обмотке, найдем по закону Ома для однородного участка цепи:

$$I = U/R. \qquad (3)$$

Подставим выражения (2) и (3) в формулу (1):

$$B = \mu_0 \mu \frac{U}{Rd}\,. \qquad (2)$$

Подставим числовые значения всех величин в расчетную формулу (2) и проведем вычисления ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\mu = 1$):

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{2}{25 \cdot 10^{-4}} = 1{,}01 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 1{,}01 \text{ мТл}.$$

Пример 3. Сила Ампера. Прямой провод длиной $l = 10$ см, по которому течет ток $I = 0{,}5$ А, помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям (линиям магнитной индукции). Изобразите на рисунке направление силы Ампера и найдите модуль индукции магнитного поля, если оно действует на прямой провод с силой $F_A = 2{,}6$ мН.

Дано:
$l = 0{,}1$ см
$I = 0{,}5$ А
$F_A = 2{,}6 \cdot 10^{-3}$ Н

Найти: B.

Решение. В соответствии с законом Ампера, сила F_A, с которой однородное магнитное поле действует на прямой провод длиной l с током I, вычисляется по формуле (2.6):

$$F_A = IBl \sin\alpha, \qquad (1)$$

где B − индукция магнитного поля, в которое проводник помещен; α − угол между направлением тока и направлением вектора индукции $\vec{B}$.

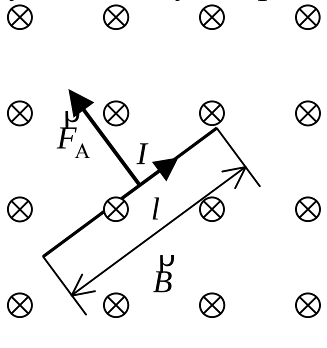


Рис. 28

Из формулы (1) найдем модуль магнитной индукции:

$$B = \frac{F_А}{Il\sin\alpha}. \qquad (2)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (2) и проведем вычисления (α = 90°; $\sin\alpha$ = 1):

$$B = \frac{2{,}6\cdot 10^{-3}}{0{,}5\cdot 0{,}1} = 0{,}052 \text{ Тл} = 52 \text{ мТл}.$$

Направление силы Ампера определяем по правилу левой руки, при этом учитываем, что линии магнитной индукции направлены от нас (перпендикулярно рисунку).

Пример 4. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Протон, пройдя ускоряющую разность потенциалов U = 400 В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией B = 0,2 Тл и начал двигаться по окружности. Вычислите радиус траектории протона.

Дано:
U = 400 В
B = 0,2 Тл
Найти: R.

Решение. На заряженную частицу (протон, q = = e), движущуюся со скоростью υ в магнитном поле $\vec{B}$, действует сила $F_л$, называемая силой Лоренца. Модуль этой силы вычисляется по формуле (2.11):

$$F_Л = e\upsilon B\sin\alpha,$$

где α − угол между направлением векторов скорости $\vec{\upsilon}$ и индукции $\vec{B}$.

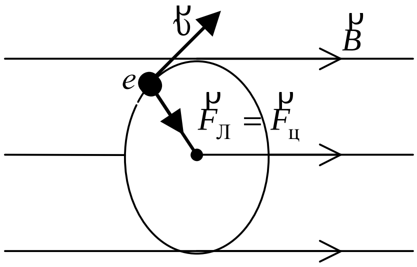


Рис. 29

Поскольку по условию задачи протон движется по замкнутой траектории (окружности), то из векторной формулы для силы Лоренца можно заключить, что составляющая вектора скорости в направлении вектора $\vec{B}$ равна нулю, т. е. α = 90°.

Направление силы Лоренца подчиняется правилу левой руки. Угол между направлениями $\vec{\upsilon}$ и $\vec{F}_Л$ всегда составляет 90°. Следовательно, сила Лоренца для протона массой m является центростремительной силой ($F_ц = m\upsilon^2/R$). Поэтому

$$\frac{m\upsilon^2}{R} = e\upsilon B\sin\alpha \quad \Rightarrow \quad R = \frac{m\upsilon}{eB\sin\alpha}. \tag{1}$$

Протон приобрел скорость, пройдя ускоряющую разность потенциалов. По закону сохранения энергии работа, совершенная полем (A = eU), равна кинетической энергии К, приобретенной протоном
(К = $m\upsilon^2/2$):

$$eU = \frac{m\upsilon^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \upsilon = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \tag{2}$$

Подставляя выражение для υ из формулы (2) в уравнение (1), получим расчетную формулу

$$R = \frac{\sqrt{2emU}}{eB\sin\alpha}. \tag{3}$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы. Для этого подставим в формулу вместо величин их единицы:

$$1\,\text{м} = \frac{\sqrt{1\,\text{Кл}\cdot 1\,\text{кг}\cdot 1\,\text{В}}}{1\,\text{Кл}\cdot 1\,\text{Тл}} = \frac{\sqrt{1\,\text{Кл}\cdot 1\,\text{кг}\cdot 1\,\text{Дж/Кл}}}{1\,\text{Кл}\cdot 1\,\text{Н}/(\text{А}\cdot\text{м})} =$$
$$= \frac{\sqrt{1\,\text{кг}\cdot 1\,\text{кг}\cdot \text{м}^2/\text{с}^2}}{1\,\text{Кл}\cdot 1\,\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}/\left(1\,\text{Кл}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}\right)} = 1\,\text{м}.$$

Подставим числовые значения в формулу (3) и проведем вычисления: (e = 1,60·10^{-19} Кл; m = 1,67·10^{-27} кг; $\alpha = \pi/2$, $\sin\alpha$ = 1):

$$R = \frac{\sqrt{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}\cdot 4\cdot 10^2}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 2\cdot 10^{-1}\cdot 1} = 1{,}45\cdot 10^{-2}\ \text{м} = 1{,}45\ \text{см}.$$

Пример 5. Магнитный момент контура с током. Ток, текущий в круглой рамке, содержащей N витков, создает магнитное поле. В центре рамки магнитная индукция B = 0,126 Тл. Найдите вектор магнитного момента рамки с радиусом R = 10 см, если она расположена в воздухе.

Дано:
B = 0,126 Тл
R = 0,1 м
$\mu = 1$
Найти: $\vec{p}_m$.

Решение. Магнитный момент рамки из N витков с током I определяется по формуле (2.9):

$$p_m = ISN, \qquad (1)$$

где $S = \pi R^2$ − площадь, охватываемая витком.

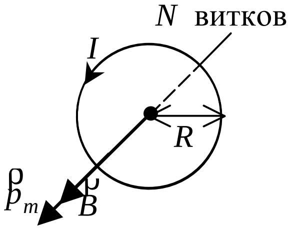


Рис. 30

Используя формулу (2.4) для индукции магнитного поля в центре кругового тока (многовиткового), определим силу тока:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I N}{2R} \Rightarrow I = \frac{2BR}{\mu_0 \mu N}.$$

Подставляя в (1) выражения для силы тока I и площади S рамки, получим

$$p_m = \frac{2\pi B R^3}{\mu_0 \mu}. \qquad (2)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (2) и проведем вычисления ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м):

$$p_m = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}126 \cdot (0{,}1)^3}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 1} \text{ А·м}^2 = 6{,}3 \cdot 10^2 \text{ А·м}^2 = 630 \text{ А·м}^2.$$

Направления векторов $\vec{B}$ и $\vec{p}_m$ согласованы с направлением кругового тока в соответствии с правилом буравчика.

Пример 6. Явление электромагнитной индукции. Плоская рамка площадью S = 100 см^2, содержащая N = = 20 витков тонкого провода, вращается в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,1 Тл. Амплитуда ЭДС индукции $\varepsilon_{i\max}$ = 10 В. Определите частоту вращения рамки.

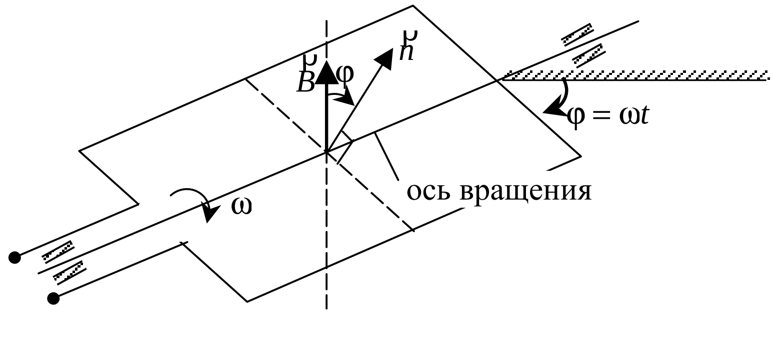


Рис. 31

Дано:
$S = 10^{-2}$ м^2
$N = 20$
$B = 0{,}1$ Тл
$\mathcal{E}_{i\max} = 10$ В

Найти: n.

Р е ш е н и е. Для определения частоты ν вращения рамки используем ее связь с угловой скоростью вращения (T − период вращения):

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu \;\Rightarrow\; \nu = \omega/2\pi. \qquad (1)$$

Мгновенное значение ЭДС индукции находим по формуле (2.15) с учетом выражения (2.13) для потокосцепления ψ:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\psi}{dt} = -N\frac{d\Phi_m}{dt} = -N\frac{d(BS\cos\omega t)}{dt} = NBS\omega\sin\omega t. \qquad (2)$$

Здесь $\omega t = \varphi$ − угол между нормалью $\vec{n}$ к плоскости рамки и магнитной индукцией $\vec{B}$.

Амплитудой ЭДС индукции является коэффициент выражения (2), стоящий перед синусом угла $\varphi = \omega t$, поэтому

$$\mathcal{E}_{i\max} = NBS\omega \;\Rightarrow\; \omega = \frac{\mathcal{E}_{i\max}}{NBS}. \qquad (3)$$

Подставляя выражение (3) для ω в формулу (1), получаем

$$\nu = \frac{\mathcal{E}_{i\max}}{2\pi NBS}. \qquad (4)$$

Подставим значения всех величин в расчетную формулу (4) и проведем вычисления:

$$\nu = \frac{10}{2\pi\cdot 20\cdot 0{,}1\cdot 10^{-2}} = \frac{10^3}{4\pi} = 79{,}5 \text{ с}^{-1}.$$

Пример 7. Индуктивность соленоида. Магнитный поток. На немагнитный каркас длиной l = 50 см и площадью поперечного сечения S = 3 см^2 намотан в один слой провод диаметром d = 0,4 мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Найти индуктивность получившегося воздушного соленоида и магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение соленоида при токе I = 1 А, а также потокосцепление.

Дано:
l = 0,5 м
S = $3{\cdot}10^{-4}$ м^2
d = $4{\cdot}10^{-4}$ м
I = 1 А; μ = 1

Найти: L; Φ_m; ψ.

Решение.

1. Индуктивность соленоида вычисляется по формуле (2.14):

$$L = \mu_0 \mu n^2 V\,, \qquad (1)$$

где $n = N/l$ − число витков, приходящихся на единицу длины соленоида; $V = S \cdot l$ − объем соленоида.

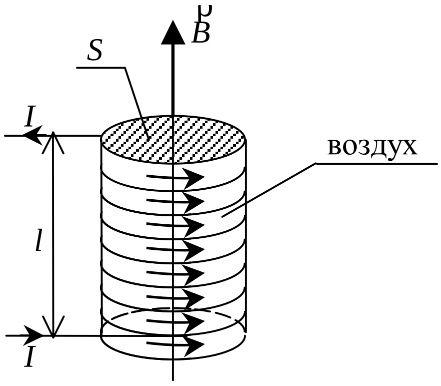


Рис. 32

Поскольку витки плотно прилегают друг к другу, то длина $l = Nd$,
тогда:

$$n = N/l = 1/d\,. \qquad (2)$$

Подставим выражения для n и V в формулу (1):

$$L = \mu_0 \mu\, Sl/d^2\,. \qquad (3)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (3) и проведем вычисления (μ_0 = $4\pi{\cdot}10^{-7}$ Гн/м; μ = 1):

$$L = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}5}{4 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 1{,}17{\cdot}10^{-3}\text{ Гн} = 1{,}17\text{ мГн}.$$

2. Любое поперечное сечение площадью S в соленоиде при наличии в нем тока пронизывается потоком магнитной индукции $\vec{B}$ (магнитным потоком), определяемым по формуле (2.12) при α = 0:

$$\Phi_m = BS\,, \qquad (4)$$

Модуль магнитной индукции B соленоида определяется по формуле (2.5):

$$B = \mu_0 \mu I n\,. \qquad (5)$$

Подставив выражения (2) и (5) для n и B в (4), получим расчетную формулу для магнитного потока Φ_m, а следовательно, и потокосцепление $\psi = N{\cdot}\Phi_m$:

$$\Phi_m = \mu_0 \mu\, IS/d\,; \quad \psi = \Phi_m l/d\,. \qquad (6)$$

Подставим числовые значения в расчетные формулы (6) и проведем вычисления:

$$\Phi_m = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1\frac{1 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 9{,}42 \cdot 10^{-7}\text{ Вб} = 0{,}942\text{ мкВб};$$

$$\psi = 0{,}942 \cdot \frac{0{,}5}{4 \cdot 10^{-4}} = 1{,}177 \cdot 10^{3}\text{ мкВб} = 1{,}177\text{ мВб}.$$

Оптика

Пример 8. Освещенность поверхности. Лампа с силой света I = 50 кд расположена на расстоянии r = 1 м от лежащей на столе книги. Освещенность книги E = 25 лк. Под каким углом падает свет на книгу? На какой высоте подвешена лампа над столом?

Дано:
I = 50 кд
r = 1 м
E = 25 лк

Найти: α; h.

Решение. Лампу можно принять за точечный источник света, если ее размеры малы в сравнении с ее расстоянием до книги. Поэтому определить угол α, под которым падает свет на книгу, можно из формулы (2.21) для освещенности E:

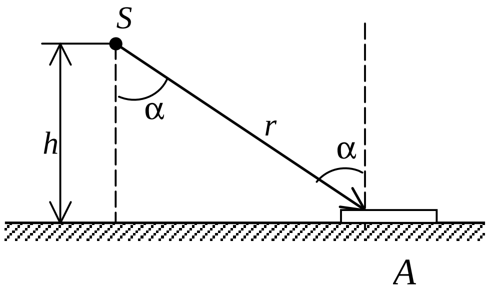


Рис. 33

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha \quad \Rightarrow \quad \cos\alpha = \frac{Er^2}{I}. \quad (1)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (1) и проведем вычисления:

$$\cos\alpha = \frac{25 \cdot 1^2}{50} = 0{,}5, \Rightarrow \ \alpha = 60°.$$

Из рис. 33 видно, что высота h лампы над столом является прилежащим к углу α катетом. Поэтому

$$h = r\cos\alpha = 1 \cdot 0{,}5\text{ м} = 0{,}5\text{ м}.$$

Пример 9. Дифракция света. Определите число штрихов на длине 1 мм дифракционной решетки, если при нормальном падении света с длиной волны λ = 600 нм решетка дает первый главный максимум на расстоянии l = 3,3 см от центрального. Экран расположен в фокальной плоскости линзы на расстоянии L = 110 см от решетки ($f << L$).

Дано: $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м $l = 3{,}3 \cdot 10^{-2}$ м $L = 1{,}1$ м $m = 1$	Решение. Число штрихов n на 1 мм решетки определим по формуле $$n = 1/d\,, \qquad (1)$$ где d − период решетки, т. е. расстояние между ее штрихами.
Найти: n.	

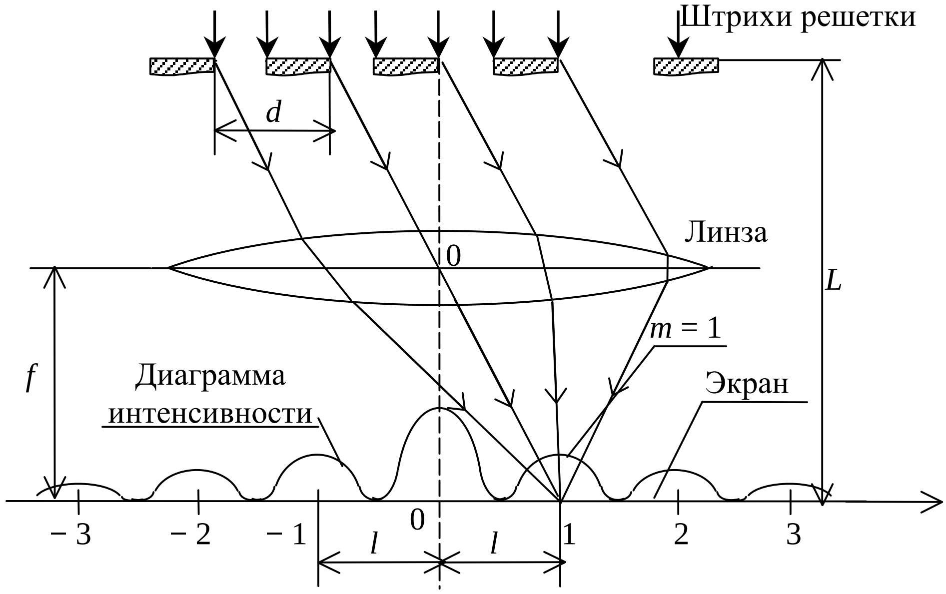


Рис. 34

Период решетки d найдем из формулы условия максимумов интенсивности (2.30):

$$d \cdot \sin\varphi = m\lambda \quad \Rightarrow \quad d = m\lambda/\sin\varphi, \qquad (2)$$

где φ − угол, под которым наблюдается m-й максимум (рис. 34); m − порядок (номер) максимума.

Ввиду того что для максимума 1-го порядка угол φ мал, можно принять

$$\sin\varphi \approx \mathrm{tg}\,\varphi = \frac{l}{L - f} \approx \frac{l}{L}. \qquad (3)$$

Формула (1) с учетом выражений (2) и (3) позволяет получить расчетную формулу для числа штрихов n:

$$n = \frac{\sin\varphi}{n\lambda} = \frac{l}{m\lambda L}. \qquad (4)$$

Подставим числовые значения в формулу (4) и проведем вычисления:

$$n = \frac{3{,}3 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}10} = 50\,000 \text{ м}^{-1} = 500 \text{ мм}^{-1}.$$

Пример 10. Оптически активные вещества. Определите концентрацию C сахарного раствора, если при прохождении света через трубку с этим раствором длиной l = 20 см плоскость поляризации света поворачивается на угол φ = 10°. Удельное вращение сахара в растворе α_0 = 0,6 град/(дм·проц).

Дано:	
l = 0,2 м φ = 10° $\alpha_0 = 6 \dfrac{\text{град}}{\text{м} \cdot \text{проц}}$	Р е ш е н и е. Концентрацию раствора определим из формулы (2.32), которая определяет угол поворота плоскости поляризации в оптически активных веществах:
Найти: C.	

$$\varphi = \alpha_0 C l \quad \Rightarrow \quad C = \frac{\varphi}{\alpha_0 l}. \qquad (1)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (1) и проведем вычисления:

$$C = \frac{10}{6 \cdot 0{,}2} = 8{,}33 \text{ \%}.$$

Пример 11. Тепловое излучение. Максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при некоторой температуре приходится на длину волны λ_m = 1мкм. Вычислите энергетическую светимость $R_э$ тела при этой температуре и энергию W, излучаемую с площади S = 300 см^2 поверхности тела за время t = 4 мин. Определить также массу излучения, которая соответствует этой энергии.

Дано:	
$\lambda_m = 10^{-6}$ м $S = 3 \cdot 10^{-2}$ м^2 t = 240 с	Р е ш е н и е. Энергетическая светимость $R_э$ абсолютно черного тела при температуре T определяется по формуле (2.34) закона Стефана − Больцмана:
Найти: $R_э$; W; m.	

$$R_э = \sigma T^4, \qquad (1)$$

где σ = 5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4) − постоянная Стефана − Больцмана.

Абсолютную температуру T тела определим из закона смещения Вина (формула (2.35); b = 2,89·10^{-3} м·К − постоянная Вина):

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \;\Rightarrow\; T = \frac{b}{\lambda_m}. \qquad (2)$$

Подставив выражение (2) для T в формулу (1), получим

$$R_э = \sigma\left(\frac{b}{\lambda_m}\right)^4. \qquad (3)$$

Проверим единицы величин правой и левой частей расчетной формулы (3):

$$1\ \text{Вт/м}^2 = 1\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К}^4)\cdot(1\ \text{м}\cdot\text{К/м})^4,\ 1\ \text{Вт/м}^2.$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (3) и проведем вычисления:

$$R_э = 5{,}67\cdot10^{-8}\left(\frac{2{,}89\cdot10^{-3}}{10^{-6}}\right)^4 = 3{,}95\cdot10^6\ \text{Вт/м}^2 = 3{,}95\ \text{МВт/м}^2.$$

Энергию, излучаемую с площади S поверхности нагретого тела за 1 мин, определим с помощью формулы (2.33):

$$R_э = W/(St) \;\Rightarrow\; W = R_э St. \qquad (4)$$

Проверим единицы величин правой и левой частей формулы (4):

$$1\ \text{Дж} = 1\ \text{Вт/м}^2\cdot1\ \text{м}^2\cdot1\ \text{с} = 1\ \text{Дж}.$$

Подставим числовые значения в формулу (4) и проведем вычисления:

$$W = 3{,}95\cdot10^6\cdot3\cdot10^{-2}\cdot240 = 2{,}84\cdot10^7\ \text{Дж} = 28{,}1\ \text{МДж}.$$

Массу m излучения определим исходя из закона Эйнштейна взаимосвязи энергии и массы (формула (2.44); c = 3·10^8 м/с − скорость света):

$$E = mc^2 \;\Rightarrow\; m = E/c^2. \qquad (5)$$

Подставим числовые значения в расчетную формулу (5) и проведем вычисления (c = 3·10^8 м/с − скорость света):

$$m = \frac{7{,}10 \cdot 10^6}{\left(3 \cdot 10^8\right)^2} = 7{,}88 \cdot 10^{-11}\ \text{кг} = 7{,}88 \cdot 10^{-5}\ \text{мг}.$$

Пример 12. Давление света. Нормально к поверхности площадью S = 3 см^2 в течение времени t = 10 мин падает свет, энергия которого W = 20 Дж. Определите энергетическую освещенность поверхности и объемную плотность энергии света, а также давление света на поверхность, если она: а) полностью поглощает лучи; б) полностью отражает лучи.

Дано:
$S = 3 \cdot 10^{-4}$ м^2
t = 600 с
W = 20 Дж;
а) ρ = 0
б) ρ = 1

Найти: $E_э$; w; P; ρ.

Решение. Энергетическая освещенность $E_э$ равна энергии излучения, падающей на единицу площади в единицу времени (формула (2.39)):

$$E_э = W/(St). \quad (1)$$

Подставим числовые значения в формулу (1) величин и проведем вычисления

$$E_э = \frac{20}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 600} = 111\ \text{Дж/(м}^2\cdot\text{с)} = 111\ \text{Вт/м}^2.$$

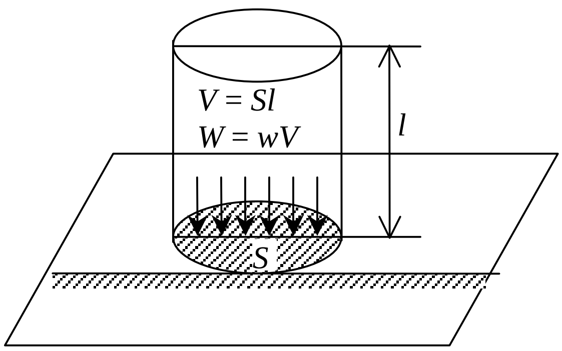


Рис. 35

Плотность энергии w светового пучка в объеме V (w = = W/V), связанная с энергетической освещенностью $E_э$, рассчитывается по формуле

$$w = \frac{W}{V} = \frac{W}{S \cdot l} = \frac{W}{S \cdot c \cdot t} = \frac{E_э}{c}, \quad (2)$$

где $l = ct$ − путь, проходимый фронтом волны за время t.

Подставив числовые значения в формулу (2), получим

$$w = 111/3 \cdot 10^8 = 0{,}37 \cdot 10^{-6}\ \text{Дж/м}^3 = 0{,}37\ \text{мкДж/м}^3.$$

Давление света определяется по формуле (2.39):

$$p = \frac{E_э}{c}(1 + \rho) = w(1 + \rho),$$

где ρ − коэффициент отражения света поверхностью.

1. Если поверхность полностью поглощает свет, то $\rho = 0$. Тогда

$$p = \frac{E_э}{c} = \frac{111}{3 \cdot 10^8} = 3{,}7 \cdot 10^{-7}\ \text{Па} = 0{,}37\ \text{мкПа}.$$

2. Если поверхность полностью отражает лучи, то $\rho = 1$. Тогда

$$p = 2\frac{E_э}{c} = 2 \cdot 0{,}37\ \text{мкПа} = 0{,}74\ \text{мкПа}.$$

Пример 13. Внешний фотоэффект. Определите максимальную кинетическую энергию K_{max} и максимальную скорость υ фотоэлектронов при облучении натрия светом длиной волны $\lambda = 400$ нм, если красная граница фотоэффекта для натрия $\lambda_0 = 600$ нм.

Дано:	
$\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$ м	
$\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-7}$ м	
Найти: K_{max}; υ.	

Решение. Максимальную кинетическую энергию вырываемых фотоэлектронов определим из уравнения Эйнштейна (2.37) для фотоэффекта (рис. 36):

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{max}^2}{2} \Rightarrow K_{max} = \frac{m\upsilon_{max}^2}{2} = h\nu - A, \qquad (1)$$

где $h\nu$ − энергия фотона; A − работа выхода электрона; m − масса электрона.

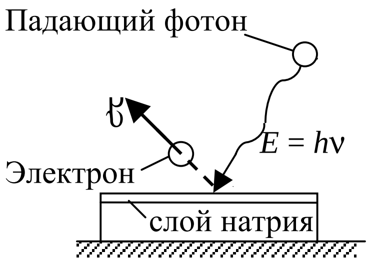


Рис. 36

Частоту ν света выразим через его длину волны λ и скорость c света в вакууме:

$$\lambda = cT = c/\nu \Rightarrow \nu = c/\lambda, \qquad (2)$$

Если поверхность металла освещать светом частотой ν_0, соответствующей красной границе фотоэффекта, то кинетическая энергия фотоэлектронов равна нулю и, следовательно,

$$h\nu_0 = A \Rightarrow A = h\nu_0 = hc/\lambda_0, \qquad (3)$$

где ν_0 и λ_0 − минимальная частота и максимальная длина волны света соответственно, при которых еще возможен фотоэффект.

Подставим в формулу (1) для кинетической энергии выражения (2) и (3) для ν и A:

$$\mathrm{K}_{max} = h\frac{c}{\lambda} - h\frac{c}{\lambda_0} = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right). \qquad (4)$$

Проверим единицы правой и левой частей расчетной формулы (4):

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Дж·с·1 м/с·1м}^{-1} = 1 \text{ Дж}.$$

Подставим числовые значения в формулу (4) и проведем вычисления (h = 6,63·10^{-34} Дж·с):

$$\mathrm{K}_{max} = 6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}\left(\frac{1}{4\cdot10^{-7}} - \frac{1}{6\cdot10^{-7}}\right) = 1{,}67\cdot10^{-19} \text{ Дж} =$$

$$= \frac{1{,}67\cdot10^{-19}}{1{,}60\cdot10^{-19}} \text{ эВ} = 1{,}04 \text{ эВ}; \quad 1 \text{ эВ} = 1{,}60\cdot10^{-19} \text{ Дж}.$$

Используя формулу $\mathrm{K}_{max} = m\upsilon_{max}^2/2$, определим максимальную скорость фотоэлектронов (m = 9,11·10^{-31} кг)

$$\upsilon_{max} = \sqrt{2\mathrm{K}_{max}/m} = \sqrt{2\cdot1{,}67\cdot10^{-19}/9{,}11\cdot10^{-31}} = 6{,}06\cdot10^{5} \text{ м/с} = 606 \text{ км/с}.$$

Физика атома и атомного ядра

Пример 14. Атомный спектр. Определите энергию (в джоулях и электронвольтах) фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с третьего энергетического уровня на первый, а также длину электромагнитной волны, соответствующей этому фотону.

Дано:	Решение. Переход электрона в атоме водорода с отдаленной орбиты на внутреннюю сопровождается излучением фотона, энергия ε которого определяется формулой (2.36):
n_1 = 1	
n_2 = 3	
Найти: ε; λ.	

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda, \qquad (1)$$

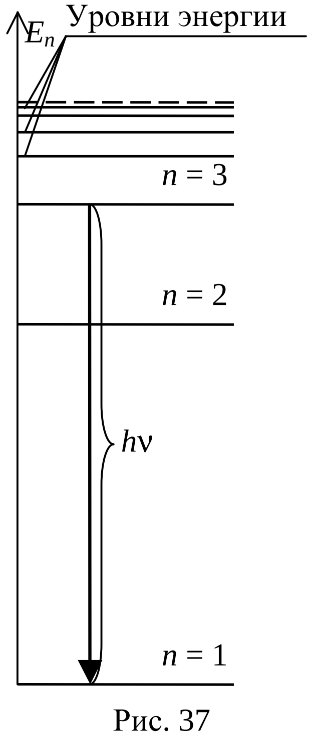


Рис. 37

где h = 6,63·10^{-34} Дж·с − постоянная Планка; c = 3·10^{8} м/с − скорость света в вакууме; ν, λ − частота и длина волны, соответствующие фотону с энергией ε.

Частота волны излучаемого света связана с номерами орбит соотношением (2.40), которое с учетом формулы $\nu = c/\lambda$ позволяет определить длину волны излучения:

$$\nu = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \Rightarrow \frac{c}{\lambda} = R\frac{n_2^2 - n_1^2}{n_1^2 n_2^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{c}{R}\frac{n_1^2 n_2^2}{n_2^2 - n_1^2}, \qquad (2)$$

где R − постоянная Ридберга; n_1 − номер энергетического уровня, на который переходит электрон; n_2 − номер энергетического уровня, с которого уходит электрон.

Подставим числовые значения в формулу (2) и проведем вычисления (R = 3,3·10^{15} с$^{-1}$):

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3{,}3 \cdot 10^{15}}\frac{9}{8} = 1{,}02 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 102 \text{ нм}.$$

Подставив числовые значения в формулу (1), находим энергию фотона (1 эВ = 1,6·10^{-19} Дж):

$$\varepsilon = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1{,}02 \cdot 10^{-7}} = 1{,}95 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} = \frac{1{,}95 \cdot 10^{-18}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ} = 12{,}2 \text{ эВ}.$$

Пример 15. Энергия связи ядра. Определите дефект массы Δm (в а.е.м.)* и энергию связи ядра атома бора ${}^{10}_{5}\text{B}$ (в электронвольтах).

Дано:
${}^{10}_{5}\text{B}$
Найти: Δm; $E_{св}$.

Решение. Дефект массы ядра, определяющий энергию связи ядра (формула (2.45)), представляет собой разность массы нуклонов (протонов и нейтронов), составляющих ядро, и массы ядра. Он определяется по формуле

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я, \qquad (1)$$

где m_p, m_n, $m_я$ − массы протона, нейтрона и ядра атома соответственно; Z − зарядовое число (число протонов в ядре); A −

* а.е.м. − это обозначение атомной единицы массы, в которой выражаются массы молекул атомов и элементарных частиц. 1 а.е.м. = 1/12 массы атома изотопа углерода ${}^{12}_{6}\text{C}$ (1 а.е.м. = 1,66·10^{-27} кг).

массовое число (общее число нуклонов в ядре); $(A - Z)$ − число нейтронов в ядре.

Числа Z и A указываются при написании символа элемента: Z − слева внизу; A − слева вверху.

В данном случае для бора $Z = 5$, $A = 10$.

Масса ядра равна разности массы атома $m_а$ и массы всех его электронов, т. е.

$$m_я = m_а - Zm_e. \qquad (2)$$

Подставив выражение (2) в формулу (1), получим

$$\Delta m = Zm_{^1_1\mathrm{H}} + (A - Z)m_n - m_а, \qquad (3)$$

где $m_{^1_1\mathrm{H}} = m_p + m_e$ − масса атома водорода.

Подставим числовые значения в формулу (3) и проведем вычисления ($m_{^1_1\mathrm{H}}$ = 1,00783 а.е.м., m_n = 1,00867 а.е.м., $m_а$ = 10,01294 а.е.м.):

$$\Delta m = 5 \cdot 1{,}00783 + (10 - 5)1{,}00867 - 10{,}01294 = 0{,}06956 \text{ а.е.м.}$$

Энергия связи ядра − это энергия, которая выделяется в виде электромагнитного излучения при образовании ядра из свободных нуклонов. Она определяется по формуле (2.45):

$$E_{св} = \Delta mc^2 \quad \Rightarrow \quad E_{св} = 931\,\Delta m, \qquad (4)$$

где c − скорость света в вакууме; 931 − коэффициент, показывающий, какая энергия в мегаэлектронвольтах соответствует массе в 1 а.е.м.

Подставив значение Δm в формулу (4), вычислим энергию связи:

$$E_{св} = 931 \cdot 0{,}06956 \text{ МэВ} = 64{,}8 \text{ МэВ}.$$

Пример 16. Энергия ядерной реакции. Вычислите энергию ядерной реакции

$$^{16}_{8}\mathrm{O} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} = {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He},$$

Определите, выделяется или поглощается эта энергия.

Дано:	Решение. Энергию ядерной реакции определяем по формуле (2.46):
Уравнение ядерной реакции	$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] = c^2 \cdot \Delta m, \qquad (1)$$
Найти: Q.	

где Δm − изменение массы при реакции, т. е. разность между массой ядер, вступивших в реакцию, и массой ядер, образовавшихся в результате реакции:

$$\Delta m = (m_{^{16}_{8}\mathrm{O}} + m_{^{2}_{1}\mathrm{H}}) - (m_{^{14}_{7}\mathrm{N}} + m_{^{4}_{2}\mathrm{He}}). \qquad (2)$$

Здесь $m_{^{16}_{8}\mathrm{O}}$ − масса атома кислорода; $m_{^{2}_{1}\mathrm{H}}$ − масса атома дейтерия (изотопа водорода); $m_{^{14}_{7}\mathrm{N}}$ − масса атома азота; $m_{^{4}_{2}\mathrm{He}}$ − масса атома гелия. Массы атомов подставляем в формулу (2) и вычисляем:

$$\Delta m = (15{,}99491 + 2{,}01410) - (14{,}00307 + 4{,}00260) = 0{,}00334 \text{ а.е.м.}$$

Используя в формуле (1) значение массы Δm в а.е.м., получим энергию ядерной реакции в мегаэлектронвольтах по формуле (1 а.е.м = = 931 МэВ):

$$Q = 931\,\Delta m = 931 \cdot 3{,}34 \cdot 10^{-3} = 3{,}11 \text{ МэВ}.$$

Поскольку $\Delta m > 0$, то масса исходных ядер больше массы образовавшихся ядер и, следовательно, энергия в данной реакции выделяется.

2.3. Контрольная работа № 2

Электромагнетизм

1. Два длинных прямых параллельных проводника, по которым текут в противоположных направлениях токи I_1 = 0,2 А и I_2 = 0,4 А, находятся на расстоянии r = 14 см. Найдите индукцию магнитного поля в точке, расположенной между проводниками на расстоянии r_1 = = 4 см от первого из них.

2. По двум длинным прямым параллельным проводникам в одном направлении текут токи I_1 = 1 А и I_2 = 3 А. Расстояние между проводниками r = 40 см. Найдите индукцию магнитного поля в точке, находящейся посередине между проводниками.

3. Определите индукцию магнитного поля двух длинных прямых параллельных проводников с одинаково направленными токами I_1 = 0,2 А и I_2 = 0,4 А в точке, лежащей на продолжении прямой, соединяющей проводники с токами, на расстоянии r_2 = 2 см от второго проводника. Расстояние между проводниками r = 10 см.

4. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут в противоположных направлениях токи I_1 = 1 А и I_2 = 3 А. Расстояние между проводниками r = 8 см. Определите индукцию магнитного поля в точке, находящейся на продолжении прямой, соединяющей проводники, на расстоянии r_1 = 2 см от первого проводника.

5. Определите напряженность и индукцию магнитного поля у стенки длинной электронно-лучевой трубки диаметром d = 6 см, если через сечение электронного шнура проходит $N = 10^{18}$ электронов в t = = 1 с. Считайте электронный шнур тонким и центральным.

6. По двум длинным прямым проводникам, расположенным параллельно на расстоянии r = 15 см друг от друга, текут в противоположных направлениях токи I_1 = 10 А и I_2 = 5 А. Определите индукцию магнитного поля в точке, расположенной на расстоянии r_1 = 5 см от первого проводника на продолжении отрезка прямой, соединяющей проводники.

7. Определите индукцию магнитного поля двух длинных прямых параллельных проводников с одинаково направленными токами
I = 10 А в точке, расположенной на продолжении прямой, соединяющей проводники с токами, на расстоянии r_2 = 10 см от второго проводника. Расстояние между проводниками r = 40 см.

8. Два параллельных длинных прямых проводника с токами силой I = 2 А, текущими в противоположных направлениях, расположены на расстоянии r = 15 см друг от друга. Определите индукцию магнитного поля в точке, лежащей между проводниками, на расстоянии r_2 = 3 см от второго проводника.

9. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут в одном направлении токи I_1 = 2 А и I_2 = 3 А. Расстояние между проводниками r = 12 см. Найдите индукцию магнитного поля в точке, лежащей на отрезке прямой, соединяющей проводники, на расстоянии r_1 = 12 см от первого проводника.

10. Два длинных прямых параллельных проводника, по которым текут в противоположных направлениях токи I_1 = 0,2 А и I_2 = 0,4 А, расположены на расстоянии r = 12 см друг от друга. Определите индукцию магнитного поля в точке, лежащей в середине отрезка прямой, соединяющей проводники.

11. Индукция магнитного поля в центре проволочного кольца радиусом r = 20 см, по которому течет ток, равна B = 4 мкТл. Найдите разность потенциалов на концах кольца, если его сопротивление R = = 3,14 Ом.

12. Из проволоки длиной l = 3,14 м и сопротивлением R = = 2 Ом сделали кольцо. Определите индукцию магнитного поля в центре кольца, если на концах провода создана разность потенциалов U = 1 В.

13. На концах проволочного кольца радиусом r = 20 см и сопротивлением R = 12 Ом разность потенциалов U = 3,6 В. Определите индукцию магнитного поля в центре кольца.

14. Проволочное кольцо сопротивлением R = 5 Ом включено в цепь так, что разность потенциалов на его концах U = 3 В. Индукция магнитного поля в центре кольца B = 3 мкТл. Определите радиус кольца.

15. Из медной проволоки длиной l = 6,28 м площадью поперечного сечения S = 0,5 мм^2 сделали кольцо. Чему равна индукция магнитного поля в центре кольца, если на концах проволоки разность потенциалов U = 3,4 В?

16. Соленоид длиной l = 10 см и сопротивлением R = 30 Ом содержит N = 200 витков. Определите индукцию магнитного поля соленоида, если разность потенциалов на концах обмотки U = 6 В.

17. Соленоид сопротивлением R = 6 Ом имеет N = 1000 витков. Напряжение на концах обмотки U = 12 В. Найдите длину соленоида, если индукция его магнитного поля B = 3,78 мТл.

18. Найдите индукцию магнитного поля соленоида, если он намотан в один слой из проволоки диаметром d = 0,8 мм с сопротивлением R = 12 Ом и напряжение на концах его обмотки U = 12 В.

19. Соленоид намотан из проволоки сопротивлением R = 32 Ом. При напряжении на концах проволоки U = 3,2 В магнитная индукция внутри соленоида B = 628 мкТл. Определите число витков на 1 м длины соленоида.

20. Соленоид сделан из проволоки сопротивлением R = 64 Ом. При напряжении на концах проволоки U = 1,6 В индукция магнитного поля внутри соленоида B = 31,4 мкТл. Определите число витков соленоида на 1 м длины.

21. Как и во сколько раз изменится сила, действующая на проводник с током в однородном магнитном поле, если угол между направлениями поля и тока изменится с 30° до 60°?

22. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут одинаковые токи. Расстояние между ними r = 10 см. Определите силу тока, если проводники взаимодействуют с силой F = 0,02 Н на каждый метр длины.

23. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут токи одинаковой силы. Как и во сколько раз изменится сила взаимодействия проводников, приходящаяся на единицу длины, если расстояние между проводниками изменится с r_1 = 80 см до r_2 = 20 см.

24. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут токи I_1 = 5 А и I_2 = 3 А. Расстояние между проводниками r_1 = 10 см. Определите силу взаимодействия, приходящуюся на 1 метр длины проводников. Как и во сколько раз изменится эта сила, если проводники раздвинуть на расстояние r_2 = 10 см?

25. Три длинных прямых параллельных провода лежат в одной плоскости так, что крайние провода отстоят от среднего на r = 10 см. По проводам текут одинаковые токи силой I = 10 А, причем в крайних проводах направления токов совпадают. Найдите силу, действующую на отрезок длиной 1 м каждого провода.

26. Рамка площадью S = 6 см^2 помещена в однородное магнитное поле с индукцией B = 3 мТл. Определите максимальный вращающий момент, действующий на рамку, если в ней течет ток

силой I =
= 2 А.

27. Определите вращающий момент, действующий на виток с током силой I = 5 А, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией B = 3 мТл, если плоскость витка составляет угол β = 60° с направлением линий индукции поля. Площадь витка S = 10 см^2.

28. На виток с током силой I = 10 А, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией B = 20 мТл, действует вращающий момент M = 10^{-3} Н·м. Плоскость витка параллельна силовым линиям поля. Определите площадь витка.

29. Очень короткая катушка содержит N = 600 витков тонкого провода. Катушка имеет квадратное сечение со стороной a = 8 см. Найдите магнитный момент катушки при силе тока I = 1 А.

30. Протон равномерно движется по окружности радиусом R = = 0,5 см со скоростью υ = 10^6 м/с. Определите магнитный момент, создаваемый эквивалентным круговым током.

31. Протон движется по окружности радиусом R = 2 мм в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,2 Тл. Какова кинетическая энергия протона?

32. Протон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям со скоростью υ = $2 \cdot 10^6$ м/с. Индукция магнитного поля B = 2 мТл. Вычислите ускорение протона в магнитном поле.

33. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов U = = 1 кВ, влетел в однородное магнитное поле с индукцией B = 2 мТл под углом α = 45°. Определите силу, действующую на электрон.

34. Протон влетел в однородное магнитное поле, индукция которого B = 20 мТл, перпендикулярно силовым линиям поля и описал дугу радиусом R = 5 см. Определите импульс протона.

35. Электрон влетел в однородное магнитное поле, индукция которого B = 200 мкТл, перпендикулярно силовым линиям поля и описал дугу окружности радиусом R = 4 см. Определите кинетическую энергию электрона.

36. Заряженная частица движется по окружности радиусом R = = 2 см в однородном магнитном поле с индукцией B = 12,6 мТл. Определите удельный заряд q/m частицы, если ее скорость υ = 10^6 м/с.

37. Протон, пройдя ускоряющую разность потенциалов U = = 600 В, движется параллельно длинному прямому проводу на расстоянии r = 2 мм от него. Какая сила подействует на протон, если по проводу пропустить ток I = 10 А?

38. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов U = = 1 кВ, влетел в однородное магнитное поле под углом α = 30°. Определите индукцию магнитного поля, если оно действует на электрон с силой $F = 3\cdot10^{-18}$ Н.

39. Протон и электрон, двигаясь с одинаковой скоростью υ, влетают в однородное магнитное поле. Как и во сколько раз будут отличаться радиусы кривизны траектории этих частиц?

40. Электрон в однородном магнитном поле с индукцией B = = 0,1 Тл движется по окружности. Найдите силу эквивалентного кругового тока, создаваемого движением электрона.

41. Определите магнитный поток в соленоиде длиной l = 20 см и сечением S = 1 см^2, содержащем N = 500 витков при токе силой I = = 2 А. Сердечник немагнитный.

42. Круговой проволочный виток площадью S = 50 см^2 находится в однородном магнитном поле. Магнитный поток, пронизывающий виток, Φ_m = 1 мВб. Определите индукцию магнитного поля, если плоскость витка составляет угол β = 30° с направлением линий индукции.

43. Плоский контур площадью S = 12 см^2 находится в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,04 Тл. Определите магнитный поток, пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол β = 60° с линиями поля.

44. В однородном магнитном поле с индукцией B = 0,1 Тл находится плоская рамка. Плоскость рамки составляет угол β = 30° с линиями индукции поля. Магнитный поток, пронизывающий рамку, $\Phi_m = 10^{-4}$ Вб. Определите площадь рамки.

45. На длинный картонный каркас диаметром D = 5 см уложена однослойная обмотка (виток к витку) из проволоки диаметром d = = 0,2 мм. Определите магнитный поток, создаваемый таким соленоидом при силе тока I = 0,5 А.

46. В средней части соленоида, содержащего n = 8 витков/см, помещен круговой виток диаметром D = 4 см. Плоскость витка расположена под углом β = 60° к оси соленоида. Определите магнитный поток, пронизывающий виток, если сила тока в обмотке соленоида $I = 1$ А.

47. Магнитный поток Φ_m = 10^{-2} Вб пронизывает замкнутый контур. Определите среднее значение ЭДС индукции $\langle \mathcal{E}_i \rangle$, которая возникает в контуре, если магнитный поток изменится до нуля за время
Δt = 0,001 с.

48. Магнитный поток, пронизывающий замкнутый контур, возрастает с Φ_{m1} = 10^{-2} Вб до Φ_{m2} = $6 \cdot 10^{-2}$ Вб за промежуток времени Δt =
= 0,001 с. Определите среднее значение ЭДС индукции, возникающей в контуре.

49. В однородном магнитном поле с индукцией B = 0,2 Тл равномерно с частотой ν = 10 $с^{-1}$ вращается рамка, площадь которой S = 100 $см^2$. Определите мгновенное значение ЭДС, соответствующее углу β = 45° между плоскостью рамки и силовыми линиями поля.

50. Рамка площадью S = 0,03 $м^2$ имеет N = 400 витков и вращается в магнитном поле с индукцией $B = 3 \cdot 10^{-2}$ Тл. Максимальная ЭДС в рамке $\mathcal{E}_{si\ \max}$ = 1,5 В. Определите период вращения.

51. Проволочный виток диаметром D = 5 см и сопротивлением R = 0,02 Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией B =
= 0,3 Тл. Плоскость витка составляет угол β = 40° с линиями индукции. Какой заряд потечет по витку при выключении магнитного поля?

52. В однородном магнитном поле находится плоский виток площадью S = 10 $см^2$, расположенный перпендикулярно линиям индукции. Найдите силу тока, текущего по витку, если поле убывает с постоянной скоростью $\Delta\Phi_m/\Delta t$ = 0,1 Тл/с. Сопротивление витка R = 10 Ом.

53. В соленоиде объемом V = 500 $см^3$ с плотностью обмотки n =
= 10^4 витков на метр при увеличении силы тока наблюдалась ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si}$ = 1 В. Каковы скорость изменения силы тока и магнитного потока в соленоиде? Сердечник соленоида немагнитный.

54. В катушке при изменении силы тока от I_1 = 0 до I_2 = 2 А за время Δt = 0,1 с возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si}$ = 6 В. Определите индуктивность катушки.

55. Индуктивность катушки L = 10,5 Гн. Определите ЭДС самоиндукции, если за время Δt = 0,1 с сила тока в катушке, равномерно изменяясь, уменьшилась с I_1 = 25 до I_2 = 20 А.

56. Соленоид длиной l = 12,5 см имеет радиус витков r = 2,5 см. При изменении силы тока от I_1 = 5 А до I_2 = 10 А за Δt = 0,1 с возникла ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si}$ = 10 В. Найдите число витков соленоида.

57. Соленоид длиной l = 0,1 м содержит N = 3000 витков, радиус каждого витка r = 2,5 см. Определите ЭДС самоиндукции в соленоиде, если за Δt = 1 с сила тока изменилась на ΔI = 40 А.

58. Сила тока в катушке уменьшилась с I_1 = 12 А до I_2 = 8 А. При этом энергия магнитного поля катушки уменьшилась на ΔW = = 2 Дж. Найдите индуктивность катушки и энергию магнитного поля в обоих случаях.

59. Определите энергию магнитного поля катушки, содержащей N = 200 витков, если при силе тока I = 4 А в ней возникает магнитный поток Φ_m = 0,01 Вб. Какова индуктивность катушки?

Оптика

60. Соленоид длиной l = 50 см и площадью поперечного сечения S = 2 см^2 имеет индуктивность L = 0,2 мкГн. При каком токе объемная плотность энергии магнитного поля в немагнитном сердечнике соленоида w = 1мДж/м^3?

61. Пучок параллельных лучей света падает на поверхность воды под углом α = 60°. Ширина пучка в воздухе d_1 = 10 см. Определите ширину пучка в воде. Показатель преломления воды n = 1,33.

62. Найдите угол падения света из воздуха на стекло, при котором отраженный и преломленный лучи образуют прямой угол. Скорость света в стекле $\upsilon = 2\cdot10^8$ м/с.

63. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом α = 60°. Какова толщина пластинки, если при выходе из нее луч сместился на d = 20 мм? Показатель преломления стекла n = 1,73.

64. Из воздуха на стекло падает свет под углом α = 30°. Найдите угол преломления, если длина волны света в воздухе $\lambda_0 = 6{,}5\cdot10^{-7}$ м, а в стекле $\lambda = 4{,}2\cdot10^{-7}$ м.

65. Луч света выходит из глицерина в воздух. Предельный угол полного внутреннего отражения для этого луча $\alpha_{пр}$ = 42°52′. Найдите скорость света в глицерине.

66. С какого расстояния был сделан снимок поезда, если высота вагона на снимке h_2 = 3 мм, а действительная высота вагона h_1 = 3 м? Главное фокусное расстояние объектива фотоаппарата f = 15 см.

67. Вычислите увеличение лупы с фокусным расстоянием f = = 3 см.

68. Полученное с помощью линзы изображение предмета на экране в пять раз больше предмета. Расстояние между предметом и экраном L = 150 см. Определите оптическую силу линзы и ее фокусное расстояние.

69. Какое увеличение дает линза с оптической силой D = 5 дптр, если она находится на расстоянии s = 25 см от предмета?

70. Человек с нормальным зрением пользуется линзой с оптической силой D = 16 дптр как лупой. Какое увеличение дает такая лупа?

71. Оптимальное значение освещенности, необходимое для укоренения роста черенков черной смородины, E = 800 лк. На какой высоте помещен источник света силой I = 200 кд? Свет падает перпендикулярно поверхности грядки.

72. Норма минимальной освещенности для содержания птиц E = = 20 лк (лампы накаливания). Определите силу света лампочки, подвешенной на высоте h = 1 м при угле падения света α = 60°.

73. Для переработки сельскохозяйственных продуктов необходимо создать освещенность E = 75 лк. Определите силу света лампы, которую следует подвесить на высоте h = 1 м.

74. Лампы подвешены в теплицах на высоте h = 0,6 м. Норма освещенности для выращивания рассады огурцов E = 400 лк. Определите силу света ламп, если свет падает нормально к поверхности почвы. Считайте, что освещенность создается одной лампой.

75. Норма минимальной освещенности содержания животных E = 20 лк (лампы накаливания). Определите силу света лампы, подвешенной на высоте h = 3 м. Расчет произведите при условии, что эту освещенность создают две лампы, расположенные на расстоянии d =

= 8 м друг от друга.

76. На каком расстоянии друг от друга необходимо подвесить две лампы в теплицах, чтобы освещенность на поверхности земли в точке, лежащей между лампами, была не менее E = 200 лк? Высота теплицы h = 2 м. Сила света каждой лампы I = 800 кд.

77. На рабочем месте для переработки сельскохозяйственных продуктов необходимо создать освещенность E = 150 лк. Определите силу света лампы, подвешенной на высоте h = 2 м.

78. При выращивании ранней капусты выбирается площадка квадратной формы со стороной a = 1,3 м. Лампа силой света I = = 400 кд подвешена над центром площадки на высоте h = 2,2 м. Определите максимальную и минимальную освещенность площадки.

79. Норма минимальной освещенности для содержания птиц E = = 60 лк. Определите силу света лампы, которую необходимо подвесить на высоте h = 2 м, чтобы создать под ней такую освещенность.

80. На рабочем месте приготовления кормов следует создать освещенность E = 100 лк. На какой высоте должна быть подвешена лампа силой света I = 100 кд?

81. В некоторой точке экрана пересекаются два когерентных луча с оптической разностью хода Δ = 6 мкм. Усиление или ослабление света будет наблюдаться в этой точке, если длина волны: 1) λ_1 = = 500 нм; 2) λ_2 = 480 нм?

82. Найдите все длины волн видимого света (от 0,4 до 0,76 мкм), которые в результате интерференции при разности хода интерферирующих лучей Δ = 1,8 мкм будут максимально усилены.

83. Расстояние между двумя когерентными источниками света с длиной волны λ = 0,5 мкм равно d = 0,1 мм. Расстояние между световыми полосами на экране равно Δx = 1 см. Определите расстояние от источников до экрана.

84. Расстояние между двумя когерентными источниками света d = 0,5 мм, расстояние от источников до экрана l = 3 м, длина световой волны λ = 0,6 мкм. Определите расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране.

85. Дифракционная решетка содержит n = 120 штрихов на 1 мм. Найдите длину волны света, падающего на решетку, если угол между двумя спектральными линиями первого порядка равен $\Delta\varphi$ = 8°.

86. На дифракционную решетку нормально падает свет с длиной волны $\lambda_1 = 5{,}89 \cdot 10^{-7}$ м. Максимум первого порядка виден под углом $\varphi_1 = 18°$. Найдите длину волны света, для которого максимум второго порядка виден под углом $\varphi_2 = 25°$. Каково число штрихов на 1 мм решетки?

87. На дифракционную решетку, содержащую $n = 200$ штрихов на 1 мм, падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м. Спектральную линию какого наибольшего порядка можно наблюдать с помощью такой решетки? Определите угол отклонения лучей, соответствующий этой линии.

88. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Определите период дифракционной решетки, если в направлении под углом $\varphi = 41°$ совпадают максимумы двух линий с длинами волн $\lambda_1 =$ $= 6{,}563 \cdot 10^{-7}$ м и $\lambda_2 = 4{,}101 \cdot 10^{-7}$ м.

89. Какова ширина всего спектра первого порядка для белого света (длины волн заключены в пределах от $\lambda_1 = 0{,}4$ до $\lambda_2 = 0{,}76$ мкм), если спектр получен на экране, отстоящем на $l = 3$ м от дифракционной решетки с периодом $d = 0{,}01$ мм?

90. Найдите период дифракционной решетки, если на экране, отстоящем от решетки на $l = 1$ м, расстояние между спектрами первого порядка для света с длиной волны $\lambda = 7{,}6 \cdot 10^{-7}$ м равно $\Delta x =$ $= 15{,}2$ см.

91. Угол Брюстера при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен $\alpha_Б = 57°$. Определите скорость света в этом кристалле.

92. Предельный угол полного внутреннего отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен $\alpha_{пр} = 43°$. Определите угол Брюстера для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

93. Луч света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом $\alpha = 54°$. Определите угол преломления луча, если отраженный луч полностью поляризован.

94. Угол преломления луча в жидкости равен $\beta = 35°$. Определите показатель преломления жидкости, если известно, что отраженный луч максимально поляризован.

95. Предельный угол полного внутреннего отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен $\alpha_{пр} =$

$= 40{,}5°$. Определите угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла.

96. Определите удельное вращение сахарозы в соке сахарного тростника, если угол поворота плоскости поляризации составляет $\varphi =$ $= 17°$ при длине трубки с раствором $l = 10$ см. Концентрация раствора $C = 0{,}25$ г/см^3.

97. При прохождении света через слой 10%-ного сахарного раствора толщиной $l_1 = 15$ см плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 12{,}9°$. В другом растворе, в слое толщиной l_2 $= 12$ см, плоскость поляризации повернулась на $\varphi_2 = 7{,}2°$. Найдите концентрацию второго раствора.

98. При прохождении света через слой 6%-ного раствора сахарозы толщиной $l_1 = 2$ дм плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 14{,}2°$. В другом растворе, в слое толщиной l_2 $= 12$ см, плоскость поляризации повернулась на $\varphi_2 = 7{,}1°$. Найдите концентрацию второго раствора.

99. Раствор глюкозы с массовой концентрацией $C_1 = 0{,}21$ г/см^3, находящийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через раствор, на $\varphi_1 =$ $= 24°$. Определите массовую концентрацию глюкозы в другом растворе в трубке такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на $\varphi_2 = 18°$.

100. Определите массовую концентрацию сахарного раствора, если при прохождении света через трубку длиной $l = 20$ см с этим раствором плоскость поляризации света поворачивается на $\varphi = 10°$. Удельное вращение сахара $\alpha_0 = 1{,}17 \cdot 10^{-2}$ рад·м^2.

101. Абсолютно черное тело находится при температуре $T_1 =$ $= 3000$ K. При остывании тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 8$ мкм. Определите температуру, до которой охладилось тело.

102. Абсолютно черное тело нагрели от температуры $T_1 = 600$ K до $T_2 = 2400$ K. Определите, во сколько раз увеличилась его энергетическая светимость; как и на сколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости.

103. Сколько энергии излучается в пространство за время τ = = 10 ч с площади S = 1 га пахотной земли, имеющей температуру t = 10°С? Какова масса этого излучения? Считайте почву абсолютно черным телом.

104. Максимум энергии излучения абсолютно черного тела приходится на длину волны λ_m = 1 мкм. На какую длину волны он сместится, если температура тела уменьшится на ΔT = 900 К?

105. Максимум энергии излучения Солнца приходится на длину волны λ_m = 0,5 мкм. Считая, что Солнце излучает как абсолютно черное тело, определите температуру его поверхности и мощность, излучаемую его поверхностью.

106. Абсолютно черное тело излучает W = 10 кДж энергии с S = = 1 м^2 своей поверхности за t = 1 секунду. Определите длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела.

107. Абсолютно черное тело имеет температуру T_1 = 500 К. Какова будет температура этого тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в 5 раз?

108. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения сместится с красной границы видимого спектра (λ_{m1} = 780 нм) на фиолетовую (λ_{m2} = = 390 нм)?

109. Солнечные лучи приносят в минуту на поверхность S = = 1 м^2 почвы энергию W = 83,4 кДж. Какой должна быть температура почвы, чтобы она излучала такую же энергию обратно в мировое пространство?

110. Сколько энергии излучается в пространство за время τ = 10 ч с площади S = 1 га пахотной земли, имеющей температуру t = 27°С? Считайте почву черным телом.

111. При освещении поверхности металла светом с длинами волн λ_1 = 350 нм и λ_2 = 450 нм максимальные скорости фотоэлектронов отличаются в 2 раза. Определите работу выхода электронов из этого металла.

112. Как и во сколько раз изменится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, если длину волны света, освещающего поверхность скандия, изменить от $\lambda_1 = 2{,}5\cdot10^{-7}$ м до $\lambda_2 = 1{,}25\cdot10^{-7}$ м? Работа выхода электронов из скандия A = 3,3 эВ.

113. При уменьшении в 1,5 раза длины волны света, освещающего поверхность вещества, задерживающая разность потенциалов изменяется от U_1 = 1,6 В до U_2 = 3 В. Определите работу выхода электронов из этого вещества.

114. Металл с работой выхода электронов A = 4,5 эВ освещается светом с энергией фотонов ε = 4,9 эВ. Определите максимальный импульс, передаваемый металлу при вылете одного фотоэлектрона.

115. При освещении светом платиновой пластинки задерживающая разность потенциалов составила U_1 = 3,7 В. Когда платиновую пластинку заменили пластинкой из другого металла, задерживающую разность потенциалов пришлось увеличить на ΔU = 2,3 В. Определите работу выхода электронов из другого металла. Работа выхода электронов из платины A_1 = 6,3 эВ.

116. Работы выхода электронов из двух металлов отличаются в два раза. При их освещении одним и тем же светом задерживающие разности потенциалов отличаются на 3 В. Определите работу выхода электронов из каждого металла.

117. Красная граница фотоэффекта для некоторого материала равна λ_0 = 700 нм. Материал освещают светом с длиной волны λ_1 = = 600 нм, а затем − с некоторой другой длиной волны. Определите эту длину волны, если отношение максимальных скоростей фотоэлектронов равно 3/4.

118. Красная граница фотоэффекта для калия равна λ_0 = = $6{,}2 \cdot 10^{-7}$ м. Определите задерживающую разность потенциалов для фотоэлектронов при освещении калия светом с длиной волны λ = = $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м, а также работу выхода электронов из калия.

119. Определите красную границу фотоэффекта для цезия, если при освещении его поверхности светом с длиной волны λ = 400 нм максимальная скорость фотоэлектронов равна $\upsilon_{max} = 6{,}5 \cdot 10^5$ м/с.

120. Поверхность металла освещается светом с длиной волны λ = 0,1 мкм. Красная граница фотоэффекта λ_0 = 0,3 мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

121. На животноводческой ферме для дезинфекции воздуха в помещении молодняка провели ультрафиолетовое облучение. Энергетическая освещенность $E_э$ = 6 Вт/м^2, длина волны λ = 254 нм.

Сколько фотонов пролетело через площадку S = 1 м^2 за t = 1 с? Площадка перпендикулярна лучам.

122. Для дезинфекции воздуха в инкубаторском помещении применено излучение длиной волны λ = 280 нм. Энергетическая освещенность $E_э$ = 6 Вт/м^2. Сколько фотонов прошло через перпендикулярную площадку S = 1 м^2 за t = 10 мин работы излучателя?

123. Максимум поглощения света α-каротином соответствует длинам волн λ_1 = 0,446 мкм и λ_2 = 0,476 мкм. Определите частоту, энергию и импульс фотонов, поглощаемых α-каротином.

124. Лазерной установкой в течение t = 10 мин облучаются семена огурцов. Длина волны излучаемого света λ = 632 нм, энергетическая освещенность $E_э$ = 250 Вт/м^2. Сколько фотонов попало на семя площадью S = 4 мм^2?

125. Определите длину волны фотона, имеющего импульс, равный импульсу электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U = 100 В.

126. Определите длину волны света, кванты которого имеют такую же энергию, что и электроны, прошедшие разность потенциалов U = 4,1 В.

127. Найдите длину волны и частоту излучения, масса фотона в котором равна массе покоя электрона.

128. Давление света с длиной волны λ = 500 нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно p = 0,12 мкПа. Определите число фотонов, падающих ежесекундно на S = 1 м^2 поверхности.

129. На идеально отражающую поверхность площадью S = 5 см^2 за t = 3 минуты нормально падает свет, энергия которого W = 9 Дж. Определите световое давление, оказываемое на эту поверхность.

130. Определите давление солнечных лучей, падающих нормально на черноземную почву. Энергия солнечных лучей, падающих на S = 1 м^2 за t = 1 ч, равна $W = 5 \cdot 10^6$ Дж. Коэффициент отражения чернозема ρ = 0,08.

131. На зеркальную плоскую поверхность нормально падает свет с длиной волны λ = 0,55 мкм. Поток излучения составляет Φ = = 0,45 Вт. Определите число фотонов, падающих на поверхность за t = = 3 с, а также силу давления, испытываемую этой поверхностью.

132. Свет с длиной волны λ = 500 нм падает нормально на плоскую зеркальную поверхность и давит на нее с силой F = 10 нН. Определите число фотонов, ежесекундно падающих на эту поверхность.

133. Параллельный пучок лучей падает нормально на почву, мульчированную молотым мелом, и производит давление p = = 5,4 мкПа. Коэффициент отражения мела ρ = 0,8. Определите энергию излучения, падающего за t = 1 с на S = 1 м^2.

Физика атома и атомного ядра

134. Определите работу, которую необходимо совершить, чтобы удалить электрон со второй боровской орбиты атома водорода за пределы притяжения его ядром.

135. Фотон с энергией ε = 12,12 эВ, поглощенный атомом водорода, находящимся в основном состоянии, переводит атом в возбужденное состояние. Определите номер энергетического уровня этого состояния.

136. Определите частоту света, излучаемого атомом водорода при переходе электрона на второй энергетический уровень, если радиус орбиты электрона изменился в 9 раз.

137. Определите энергию фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с пятого энергетического уровня на второй, а также длину электромагнитной волны, соответствующей этому фотону.

138. Определите энергию, которую поглощает атом водорода при переходе электрона со второго энергетического уровня на четвертый. Вычислите эту энергию в джоулях и электронвольтах.

139. При переходе электрона внутри атома водорода с одного энергетического уровня на другой излучается квант света с энергией ε = 1,89 эВ. Определите длину волны и импульс этих квантов.

140. Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определите длину волны, энергию и импульс излученного фотона.

141. Для агробиологических исследований в питательную смесь введена m = 1 мг радиоактивного изотопа $^{32}_{15}\mathrm{P}$, период полураспада которого $T_{1/2}$ = 14,28 сут. Определите постоянную распада и активность фосфора.

142. При радиометрических исследованиях в навеске почвы обнаружен стронций ${}^{90}_{38}\mathrm{Sr}$, активность которого A = 107 Бк. Какова масса стронция в навеске? Период полураспада $T_{1/2}$ = 27,7 лет.

143. Для биологического исследования кролику с пищей введен радиоактивный ${}^{24}_{11}\mathrm{Na}$, активность которого A = 0,1 мкКи. Определите массу введенного радиоактивного элемента. Период полураспада изотопа равен $T_{1/2}$ = 14,96 ч.

144. Для проведения биологического эксперимента в организм ягненка введен радиоактивный изотоп ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ массой $m = 2{,}4\cdot10^{-16}$ кг. Какова активность введенного вещества? Период полураспада $T_{1/2}$ = = 8,05 дн.

145. Активность семян пшеницы, замоченных в растворе азотнокислого натрия, содержащем радиоактивный изотоп ${}^{24}_{11}\mathrm{Na}$, составляет $A = 6{,}02\cdot10^{-16}$ Ки. Какова масса поглощенного семенами радиоактивного изотопа? Период полураспада $T_{1/2}$ = = 14,96 дн.

146. Какая доля радиоактивных ядер изотопа углерода ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ распадается за t = 100 лет? Период полураспада ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ $T_{1/2}$ = 5570 лет.

147. Масса радиоактивного препарата йода ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ $m = 5\cdot10^{-10}$ кг. Сколько ядер этого препарата распадается за t = 1 мин? Период полураспада ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ $T_{1/2}$ = 8 сут.

148. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за t = 8 дней. Найдите период полураспада этого элемента.

149. Определите, во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за три года, если за один год оно уменьшилось в 4 раза.

150. Определите период полураспада радона ${}^{222}_{86}\mathrm{Rn}$, если из имевшихся 10^6 ядер за t = 3 часа распалось $4{,}2\cdot10^5$ ядер.

151. Вычислите дефект массы и энергию связи ядра дейтерия ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$.

152. Сколько энергии освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро?

153. Найдите удельную энергию связи, т. е. энергию связи, приходящуюся на один нуклон ядра изотопа ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$.

154. Определите дефект массы и энергию связи ядра трития ${}_{1}^{3}\mathrm{H}$.

155. Сколько энергии необходимо затратить для того, чтобы ядро гелия ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$ разделить на нуклоны?

156. Сколько энергии выделится при образовании одного ядра ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$ из протонов и нейтронов?

157. Определите энергию, выделившуюся при образовании гелия ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$ массой m = 1 г из протонов и нейтронов.

158. Определите энергию, необходимую для того, чтобы ядро ${}_{3}^{7}\mathrm{Li}$ разделить на нуклоны.

159. Вычислите энергию ядерной реакции

$${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{1}^{2}\mathrm{H} \rightarrow {}_{7}^{13}\mathrm{N}+{}_{1}^{3}\mathrm{H}.$$

Выделяется или поглощается эта энергия?

160. Вычислите энергию ядерной реакции

$${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{6}^{14}\mathrm{C}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}.$$

Выделяется или поглощается эта энергия?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Для лесохозяйственных специальностей

Основная

1. Белый И.М. Краткий курс лекций по физике для студентов спец. Т.16.01. и Э.03.01. Мн.: БГТУ, 2002.

2. Грабовский Р.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1980.

3. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. М.: Высшая школа, 1986.

Дополнительная

4. Наркевич И.И., Волмянский Э.И. и др. Физика для ВУЗов. Мн.: Вышэйшая школа, 1992.

5. Белый И.М., Волмянский Э.И. и др. Лабораторные работы по курсу физика для студентов спец. Т.16.01. «Лесное хозяйство». Мн.: БГТУ, 1993.

6. Белый И.М. Сборник задач для контрольных и индивидуальных заданий по физике для студентов специальностей Т.16.01. «Лесное хозяйство» и Э.03.01. «Экономика и руководство предприятием (фирмой)». Мн.: БГТУ, 1998.

II. Для инженерно-экономических специальностей

Основная

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985.

2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. и др. Курс физики. М.: Высшая школа, 1987.

3. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. М.: Высшая школа, 1986.

Дополнительная

4. Джанколи Д. Физика. М.: Мир, 1989. Т. 1, 2.

5. Наркевич И.И., Волмянский Э.И. и др. Физика для ВУЗов. Мн.: Вышэйшая школа, 1992.

6. Белый И.М. Сборник задач для контрольных и индивидуальных заданий по физике для студентов специальностей Т.16.01. «Лесное хозяйство» и Э.03.01. «Экономика и руководство предприятием (фирмой)». Мн.: БГТУ, 1998.

СОДЕРЖАНИЕ