

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»**

Кафедра физики

ФИЗИКА

**Индивидуальные задания к самостоятельной работе обучающихся
направлений подготовки: 15.03.01 Машиностроение;
15.03.04 Автоматизация технологических процессов
и производств; 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
всех форм обучения**

**Составители И. С. Елкин
Т. И. Янина
А. А. Мальшин**

**Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 6 от 15.03.2021
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 15.03.05
Протокол № 7 от 24.03.2021
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ**

Кемерово 2021

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	2
СОДЕРЖАНИЕ КУРСА	4
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	8
ЧАСТЬ I	9
1.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ	9
1.2. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПО ЧАСТИ I	17
ЧАСТЬ II	29
2.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ	29
2.2. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПО ЧАСТИ II	36
ПРИЛОЖЕНИЕ	48

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для самостоятельного изучения курса «Физика» студентами технического вуза. В указаниях представлено содержание курса и типовые задачи для успешного освоения курса. Освоение дисциплины направлено на формирование универсальной компетенции УК-1: способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач, а также формирование общепрофессиональной компетенции ОПК-1: умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Целями освоения дисциплины являются изучение физических явлений и законов, установление границ их применимости. При изучении дисциплины «Физика» важная роль отводится получению навыков работы с приборами и оборудованием современной физической лаборатории, использованию различных методик проведения физических измерений и обработки экспериментальных данных.

Самостоятельная работа способствует систематизации и закреплению полученных теоретических знаний. Основным видом самостоятельной работы является выполнение контрольных работ, индивидуальных самостоятельных работ. Индивидуальные задания подобраны таким образом, чтобы для их решения студент проработал основную часть обязательного программного материала, что поможет ему успешно пройти контроль знаний при промежуточной аттестации (зачет, экзамен).

При выполнении индивидуальных заданий студенты заочной формы должны выполнить ДЕСЯТЬ ЗАДАЧ того варианта, номер которого совпадает с ПОСЛЕДНЕЙ ЦИФРОЙ номера его зачетной книжки. Каждая часть индивидуальных заданий вы-

полняется в отдельной тетради. На титульном листе указывается название дисциплины, номер самостоятельной (контрольной) работы (часть I или часть II), фамилию и инициалы студента, номер варианта (номер зачетной книжки) и домашний адрес. В конце работы следует указать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач. Условия задач при оформлении работы необходимо ПЕРЕПИСАТЬ ПОЛНОСТЬЮ, решения задач необходимо сопровождать исчерпывающими пояснениями с использованием рисунков и схем. Задачи решать в общем виде с проверкой размерности полученного результата. Значения величин при подстановке в расчетную формулу должны быть выражены в единицах СИ (SI). Во время экзамена (зачета) выполненная работа защищается, даются пояснения по существу решения задач.

Студентам очной формы обучения во время практических занятий или в электронной форме преподавателем выдаются индивидуальные задания в виде домашних заданий. Выполненные задания представляются преподавателю для проверки. Во время практических аудиторных занятий выполненная индивидуальная работа защищается, даются пояснения по существу решения задач.

К промежуточной аттестации (зачет, экзамен) допускаются студенты, выполнившие и представившие индивидуальные задания по самостоятельной работе и выполнившие работы лабораторного практикума в соответствии с учебной рабочей программой курса.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

ЧАСТЬ I

1. Механика

1.1. Кинематика поступательного и вращательного движений. Механическое движение. Системы отсчета, траектория, длина пути, вектор перемещения. Скорость и ускорение. Нормальное и тангенциальное ускорения. Поступательное и вращательное движение твердого тела. Характеристики вращательного движения: угол элементарного поворота, угловая скорость и угловое ускорение. Связь линейных и угловых кинематических характеристик.

1.2. Динамика. Динамика поступательного движения. Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона. Понятие массы и силы. Второй и третий законы Ньютона. Центр масс системы. Теорема о движении центра масс. Основное уравнение динамики поступательного движения твердого тела. Закон сохранения импульса. Уравнения движения тела переменной массы. Динамика поступательного движения твердого тела.

Динамика вращательного движения. Динамика твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Момент силы относительно точки и оси. Момент импульса системы материальных точек и твердого тела относительно начала координат. Момент инерции твердого тела относительно оси. Вычисление осевых моментов инерции твердых тел. Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Закон сохранения момента импульса.

1.3. Энергия и работа. Механическая работа. Консервативные и диссипативные силы. Силы тяготения и упругости. Кинетическая энергия поступательного и вращательного движения твердого тела. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку. Закон изменения и сохранения энергии в механике.

1.4. Центральные силы, неинерциальные системы отсчета. Основные свойства поля центральных сил. Траектория движения материальной точки в поле центральных сил. Законы Кеплера. Космические скорости. Движение материальной точки

в неинерциальной системе отсчета. Силы инерции при ускоренном поступательном и произвольном движении системы отсчета.

1.5. Специальная теория относительности.

Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца. Длина отрезка и длительность событий в различных системах отсчета. Закон сложения скоростей. Зависимость массы от скорости. Релятивистское выражение импульса и кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии.

2. Молекулярная физика и термодинамика

2.1. Молекулярно-кинетическая теория газов. Основные положения и уравнения молекулярно-кинетической теории газов. Молекулярно-статистический смысл температуры. Распределение Максвелла. Скорости газовых молекул. Распределение Больцмана.

2.2. Кинетические явления. Число столкновений и длина свободного пробега молекул. Диффузия в газах и твердых телах. Явление внутреннего трения. Динамическая и кинематическая вязкости. Теплопроводность.

2.3. Законы термодинамики.

2.3.1. Внутренняя энергия идеального газа. Работа расширения газа. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики для расчета процессов в газах. Адиабатный процесс. Теплоемкость газов. Недостатки классической теории теплоемкости.

2.3.2. Круговой процесс. Тепловые и холодильные машины. Второе начало термодинамики. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Энтропия. Расчет энтропии.

3. Электродинамика

3.1. Электростатическое поле.

3.1.1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме.

3.1.2. Потенциал – энергетическая характеристика электрического поля. Связь потенциала с напряженностью электрического поля. Эквипотенциальные поверхности.

3.1.3. Диэлектрики. Проводники. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Ионная поляризация. Вектор поляризации. Проводники в электрическом поле. Емкость уединенного проводника. Конденсаторы. Энергия электростатического поля.

3.2. Постоянный электрический ток.

3.2.1. Классическая теория электропроводности металлов и ее опытное обоснование. Закон Ома в дифференциальной форме. Разность потенциалов, сторонние электродвижущие силы, напряжение.

3.2.2. Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме. Работа и мощность тока. Правила Кирхгофа. Затруднения классической электронной теории электропроводности металлов

ЧАСТЬ II

3.3. Магнитное поле.

3.3.1. Индукция магнитного поля. Магнитный момент. Закон Био – Савара – Лапласа. Примеры расчета магнитных полей. Закон полного тока для магнитного поля в вакууме.

3.3.2. Движение заряженных частиц в постоянном магнитном поле. Сила Лоренца. Действие магнитного поля на проводник с током. Закон Ампера. Взаимодействие токов. Контур с током в магнитном поле.

3.3.2. Намагничивание сред. Магнитные моменты атомов. Типы магнетиков. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Магнитная восприимчивость вещества и ее зависимость от температуры. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Ферромагнетики. Магнитный гистерезис.

3.3.3. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле. Явление электромагнитной индукции. Основной закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Индуктивность. Взаимная индуктивность. Энергия магнитного поля.

3.4. Основы теории Максвелла. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной формах. Графическое изображение электромагнитной волны.

4. Колебания и волны

4.1. Гармонические колебания. Механические и электромагнитные колебания и их характеристики. Способы изображения гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Явление резонанса. Автоколебания.

4.2. Механические волны. Фазовая скорость. Продольные и поперечные волны. Плоские и сферические волны. Уравнение бегущей волны. Плотность потока энергии. Вектор Умова. Волновое уравнение.

5. Волновая оптика

5.1. Электромагнитные волны, интерференция. Уравнение электромагнитной волны. Свойства электромагнитных волн. Вектор Умова – Пойтинга. Энергия электромагнитной волны. Методы получения когерентных волн оптического диапазона. Интерференция. Интерференция в тонких пленках. Кольца Ньютона.

5.2. Дифракция.

5.2.1. Принцип Гюйгенса – Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на круглом отверстии. Дифракция Фраунгофера на щели. Дифракционная решетка.

5.3. Поляризация световых волн

5.3.1. Естественный и поляризованный свет. Поляризаторы. Законы Малюса и Брюстера. Двойное лучепреломление и его использование. Вращение плоскости поляризации. Искусственная анизотропия.

6. Квантовая физика, физика атома

6.1. Квантовая физика.

6.1.1. Тепловое излучение и его характеристики. Абсолютно черное тело. Законы излучения абсолютно черного тела. Противоречия классической физики. Квантовая гипотеза и формула Планка.

6.1.2. Энергия и импульс световых квантов. Фотоэффект и его законы. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Эффект Комптона. Единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитных излучений.

6.2. Элементы квантовой механики.

6.2.1. Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц. Гипотеза де Бройля. Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма частиц. Дифракция электронов и нейтронов. Свойства волн де Бройля. Соотношение неопределенностей для координат и импульса, энергии и времени.

6.2.2. Движение микрочастиц. Уравнение Шредингера и его решение для простейших случаев. Атом, квантовые числа. Периодический закон Менделеева.

6.3. Атомное ядро, ядерные реакции и элементарные частицы.

6.3.1. Строение атомных ядер. Ядерные силы. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Энергия связи. Реакции деления и синтеза.

6.3.2. Общие свойства элементарных частиц. Взаимопревращения. Фундаментальные взаимодействия. Переносчики и участники. Лептоны, адроны, кварки.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – 14-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 560 с. – (Высшее профессиональное образование). – ISBN 5769539367. – Текст : непосредственный.

2. Савельев, И. В. Курс физики. В 3 т. Том 1. Механика. Молекулярная физика : учебное пособие / И. В. Савельев. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 356 с. – ISBN 978-5-8114-0685-2. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106894> (дата обращения: 17.01.2021). – Текст : электронный.

3. Савельев, И. В. Курс физики. В 3 т. Том 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика: учебное пособие / И. В. Савельев. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 468 с. – ISBN 978-5-8114-4253-9. – URL: <https://e.lanbook.com/book/117715> (дата обращения: 17.01.2021). – Текст : электронный.

4. Савельев, И. В. Курс физики. В 3 т. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц : учебное пособие / И. В. Савельев. –

7-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 308 с. – ISBN 978-5-8114-4254-6. – URL: <https://e.lanbook.com/book/117716> (дата обращения: 17.01.2021). – Текст : электронный.

Дополнительная литература

1. Чертов, А. Г. Задачник по физике : учебное пособие для вузов / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – Москва : Физматлит, 2006. – 640 с. – ISBN 5940520987. – Текст : непосредственный.

2. Фирганг, Е. В. Руководство к решению задач по курсу общей физики : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим и технологическим направлениям и специальностям / Е. В. Фирганг. – 4-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 352 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 9785811407651. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=405. – Текст : непосредственный + электронный.

3. Калашников, Н. П. Физика: Интернет-тестирование базовых знаний : учебное пособие для подготовки студентов вузов к Федеральному интернет-тестированию по физике / Н. П. Калашников, Н. М. Кожевников. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 160 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 9785811409259. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=172. – Текст : непосредственный + электронный.

ЧАСТЬ I

1.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. Скорость мгновенная $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{ds}{dt} \vec{\tau}$,

где \vec{r} – радиус-вектор материальной точки; t – время; s – расстояние вдоль траектории движения (путь); $\vec{\tau}$ – единичный вектор, касательный к траектории.

2. Ускорение *мгновенное*

тангенциальное $\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau}$;

нормальное $\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}$;

$$\text{полное} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}; \quad \vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau; \quad a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2},$$

где R – радиус кривизны траектории; \vec{n} – единичный вектор главной нормали.

$$3. \text{ Скорость угловая} \quad \vec{\omega} = \frac{d\vec{\phi}}{dt},$$

где $d\vec{\phi}$ – угол элементарного поворота.

$$4. \text{ Ускорение угловое} \quad \vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

Связь между линейными и угловыми величинами

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

$$5. \text{ Импульс материальной точки} \quad \vec{p} = m\vec{v}.$$

$$6. \text{ Основное уравнение динамики материальной точки (второй закон Ньютона)} \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}.$$

7. Закон сохранения импульса для изолированной системы

$$\sum_i m_i \vec{v}_i = \text{const.}$$

$$8. \text{ Радиус-вектор центра масс} \quad \vec{r}_c = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}.$$

$$9. \text{ Работа силы} \quad A = \int \vec{F} d\vec{r} = \int F \cos \alpha dr.$$

$$10. \text{ Мощность} \quad N = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \vec{v}.$$

11. Потенциальная энергия

$$\text{упруго деформированного тела} \quad \Pi_{\text{упр}} = \frac{k(\Delta l^2)}{2};$$

$$\text{гравитационного взаимодействия} \quad \Pi_{\text{грав}} = -G \frac{m_1 m_2}{r};$$

$$\text{тела в однородном гравитационном поле} \quad \Pi = mgh + \text{const.}$$

12. Кинетическая энергия материальной точки

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

13. Закон сохранения механической энергии для изолированной системы $E = T + \Pi = \text{const.}$

14. Момент инерции

материальной точки относительно оси OO' $I_{OO'} = mr^2$,

где r – расстояние между материальной точкой и осью вращения.

Момент инерции тела относительно оси CC' , проходящей через центр масс:

тонкостенного цилиндра (кольца) $I_{CC'} = mR^2$;

сплошного цилиндра (диска) $I_{CC'} = \frac{1}{2}mR^2$;

полого шара $I_{CC'} = \frac{2}{5}mR^2$;

тонкого стержня длиной l , если ось вращения перпендикулярна стержню $I_{CC'} = \frac{1}{12}ml^2$.

Момент инерции тела массой m относительно произвольной оси OO' (теорема Штейнера) $I_{OO'} = I_{CC'} + md^2$,

где d – расстояние между параллельными осями.

15. Момент силы относительно точки $\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]$,

где \vec{r} – радиус-вектор точки приложения силы \vec{F} .

16. Момент импульса твердого тела $\vec{L} = J\vec{\omega}$.

17. Основное уравнение динамики вращательного движения

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = J\vec{\epsilon}.$$

18. Работа при вращательном движении $A = \int \vec{M} d\vec{\phi}$.

19. Кинетическая энергия вращающегося тела

$$T = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{L^2}{2J}.$$

20. Релятивистское сокращение длины $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$,

где l_0 – длина покоящегося тела; c – скорость света в вакууме.

21. Релятивистское замедление времени $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$

где t_0 – собственное время.

22. Релятивистская масса $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$

где m_0 – масса покоя.

23. Энергия покоя частицы $E_0 = m_0 c^2.$

24. Полная энергия релятивистской частицы

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

25. Релятивистский импульс $\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$

26. Кинетическая энергия релятивистской частицы

$$T = E - E_0 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

27. Релятивистское соотношение между полной энергией и импульсом $E^2 = p^2 c^2 + E_0^2.$

28. Количество вещества $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M},$

где N – число молекул; N_A – постоянная Авогадро; m – масса вещества; M – молярная масса.

29. Уравнение Менделеева – Клапейрона

$$pV = \nu RT,$$

где p – давление газа; V – объем; R – молярная газовая постоянная; T – термодинамическая температура.

30. Средняя энергия молекулы $\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$,

где i – число степеней свободы; k – постоянная Больцмана.

31. Изменение внутренней энергии идеального газа

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T.$$

32. Скорости молекул

средняя квадратичная $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/M};$

средняя арифметическая $\langle v \rangle = \sqrt{8kT/(\pi m_0)} = \sqrt{8RT/(\pi M)};$

наиболее вероятная $v_{\text{в}} = \sqrt{2kT/m_0} = \sqrt{2RT/M}.$

33. Средняя длина свободного пробега $\langle \lambda \rangle = (\sqrt{2}\pi d^2 n)^{-1},$

где d – диаметр молекулы; n – концентрация газа.

34. Среднее число столкновений $\langle z \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n.$

35. Распределение молекул в поле потенциальных сил

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{\Pi}{kT}\right),$$

где Π – потенциальная энергия молекулы.

36. Барометрическая формула $p = p_0 \exp\left(-\frac{m_0 g h}{kT}\right).$

37. Уравнение диффузии (закон Фика) $dm = -D_0 \frac{d\rho}{dx} dS dt,$

где D_0 – коэффициент диффузии; ρ – плотность; dS – элементарная площадка, перпендикулярная оси Ox .

38. Уравнение теплопроводности $dQ = -\kappa \frac{dT}{dx} dS dt,$

где κ – коэффициент теплопроводности.

39. Сила внутреннего трения $dF = -\eta \frac{dv}{dx} dS,$

где η – динамическая вязкость.

40. Коэффициент диффузии $D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle \lambda \rangle.$

41. Вязкость динамическая $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle \lambda \rangle = D\rho.$

42. Теплопроводность $\kappa = \frac{1}{3} c_V \rho \langle v \rangle \langle \lambda \rangle = \eta c_V,$

где c_V – удельная теплоемкость при постоянном объеме.

43. Первое начало термодинамики

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

где $dU = \nu \cdot C_V \cdot dT$, $\delta A = p \cdot dV$.

44. Работа расширения газа при процессах:

изобарном $A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1);$

изотермическом $A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2};$

адиабатном $A = -\Delta U = \frac{p_1 T_1}{(\gamma - 1)} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right],$ где $\gamma = \frac{C_p}{C_V}.$

45. Уравнение Пуассона

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

46. Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad \eta_{\text{ц.Карно}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где Q_1 и T_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, и его температура; Q_2 и T_2 – количество теплоты, переданное холодильнику и его температура.

47. Изменение энтропии $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}.$

48. Закон Кулона

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

где q_1 и q_2 – величины точечных зарядов; ϵ_0 – электрическая постоянная; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; r – расстояние между зарядами.

49. Напряженность электрического поля $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$

Напряженность поля

точечного заряда $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2};$

бесконечно длинной заряженной нити $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r};$

заряженной бесконечной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon};$

между двумя разноименно заряженными плоскостями

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

где τ – линейная плотность заряда; σ – поверхностная плотность заряда; r – кратчайшее расстояние до источника поля.

50. Электрическое смещение $\vec{D} = \epsilon_0\epsilon\vec{E}.$

51. Работа перемещения заряда в электростатическом поле

$$A = q \int_1^2 E_l dl = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

где φ_1 и φ_2 – потенциалы начальной и конечной точек.

52. Потенциал поля точечного заряда $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}.$

53. Связь между потенциалом и напряженностью

$$E_l = -\frac{d\varphi}{dr}.$$

54. Емкость

точечного заряда $C = \frac{q}{\varphi};$

плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}.$

55. Емкость батареи конденсаторов соединенных:

параллельно $C = \sum_i C_i;$

последовательно $\frac{1}{C} = \sum_i \frac{1}{C_i}.$

56. Энергия поля

заряженного проводника $W_э = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q\varphi}{2};$

заряженного конденсатора $W_э = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 V,$

где V – объем конденсатора.

57. Объемная плотность энергии

$$W_э = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{ED}{2}.$$

58. Сила тока $I = \frac{dq}{dt}.$

59. Закон Ома

в дифференциальной форме $\vec{j} = \gamma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho};$

в интегральной форме $I = \frac{U}{R},$

где γ – удельная проводимость; ρ – удельное сопротивление; U – напряжение; R – сопротивление цепи; j – плотность тока.

60. Закон Джоуля-Ленца

в дифференциальной форме $w = \vec{j}\vec{E} = \gamma E^2 = \frac{E^2}{\rho};$

в интегральной форме $dQ = IUdt = \frac{U^2}{R} dt = I^2 R dt.$

61. Сопротивление однородного проводника $R = \frac{\rho l}{S},$

где l – длина проводника; S – площадь его поперечного сечения.

62. Зависимость удельного сопротивления от температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления; t – температура по шкале Цельсия.

1.2. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПО ЧАСТИ I

Кинематика

1.1. Тело движется с ускорением, изменяющимся по закону $a = 5t - 10$. Определить скорость тела в конце пятой секунды и пройденный путь за это же время.

1.2. Автомобиль движется по закруглению шоссе, имеющему радиус кривизны 100 м. Закон движения автомобиля выражается уравнением $s = 100 + 5t - 2t^2$. Найти скорость автомобиля, его тангенциальное, нормальное и полное ускорение в конце пятой секунды.

1.3. Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 0,14$ м/с и $D = 0,01$ м/с. Через какое время после начала движения тело будет иметь ускорение 1 м/с²? Найти среднее ускорение тела за этот промежуток времени.

1.4. Камень брошен горизонтально со скоростью 15 м/с. Найти нормальное и тангенциальное ускорения камня через 2 с после начала движения.

1.5. Тело брошено со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту. Найти радиус кривизны траектории движения тела через время 2 с после начала движения.

1.6. Тело брошено под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Найти тангенциальное и нормальное ускорения в начальный момент движения.

1.7. Колесо вращается с угловым ускорением 2 рад/с². Через время 0,5 с после начала движения полное ускорение колеса 13,6 см/с². Найти радиус колеса.

1.8. Тело вращается равноускоренно с начальной угловой скоростью 5 рад/с и угловым ускорением 1 рад/с². Сколько оборотов сделает тело за 10 с?

1.9. Колесо вращается так, что зависимость угла поворота радиус колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $B = 1$ рад/с, $C = 1$ рад/с² и $D = 1$ рад/с³. Найти радиус колеса, если известно, что к концу второй секунды движения для точек, лежащих на ободе колеса, нормальное уско-

рение 346 м/с^2 .

1.10. Материальная точка движется по окружности, радиус которой 20 м. Зависимость пути, пройденного точкой, от времени выражается уравнением $s = t^3 + 4t^2 - t + 8$. Определить пройденный путь, угловую скорость и угловое ускорение точки через 3 с от начала ее движения.

Динамика поступательного движения

1.11. Невесомый блок укреплен на конце стола. Две гири равной массы $m_1 = m_2 = 2 \text{ кг}$ соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Коэффициент трения при движении гири по горизонтальной поверхности равен $\mu = 0,05$. Найти: 1) ускорение, с которым движутся гири; 2) натяжение нити. Трением в блоке пренебречь, нить нерастяжимая и невесомая.

1.12. Тело массой 30 кг тянут равномерно по полу с помощью веревки, образующей угол 30° с полом. Коэффициент трения 0,25. Определить силу, под действием которой движется тело.

1.13. Молекула массой $4,65 \cdot 10^{-23} \text{ кг}$, летящая со скоростью 560 м/с, упруго ударяется о стенку сосуда под углом 30° к нормали. Найти изменение импульса молекулы при ударе и импульс, полученный стенкой за время удара.

1.14. Брусок массой 250 г движется по горизонтальному столу под действием силы натяжения привязанной к нему нити. Нить перекинута через прикрепленный к столу блок и привязана к другому падающему бруску массой 150 г. Определить силу натяжения нити, если коэффициент трения равен 0,15. Массой блока пренебречь.

1.15. Какую минимальную горизонтальную силу надо приложить к бруску массой 2,6 кг, находящемуся на наклонной плоскости, чтобы удержать его от соскальзывания вниз? Длина наклонной плоскости 75 см, высота 30 см, коэффициент трения равен 0,25.

1.16. На горизонтальном столе лежат два бруска, связанные нитью. Первый брусок тянут с силой 35 Н под углом 30° к горизонту. Коэффициент трения брусков о стол 0,1. Масса первого бруска 3 кг, второго – 1,5 кг. Определить ускорение, с которым

движутся тела, и силу натяжения нити между брусками.

1.17. Тело, масса которого 2,5 кг, движется вниз по наклонной плоскости с углом наклона 30° под действием силы 5 Н, направленной горизонтально. Определить ускорение тела, если коэффициент трения тела о плоскость равен 0,25.

1.18. В неподвижном лифте гирька, подвешенная на пружине, растягивает ее на 12 см. На сколько сантиметров растягивается пружина при опускании лифта с ускорением $1,25 \text{ м/с}^2$?

1.19. Тело массой 125 кг поднимают по наклонной плоскости с ускорением $2,5 \text{ м/с}^2$. Какую силу необходимо приложить параллельно наклонной плоскости для подъема тела. Коэффициент трения 0,125, при угле наклона плоскости к горизонту 30° .

1.20. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 30° . Зависимость пройденного телом расстояния S от времени t дается уравнением $S = Ct^2$, где $C = 1,73 \text{ м/с}$. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

Динамика вращательного движения

1.21. Две гири с разными массами соединены нитью, перекинутой через блок, момент инерции которого $50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и радиусом 20 см. Момент сил трения вращающегося блока 98,1 Н·м. Найти разность сил натяжения нити по обе стороны блока, если известно, что блок вращается с угловым ускорением $2,36 \text{ рад/с}^2$.

1.22. Маховое колесо начинает вращаться с угловым ускорением $0,5 \text{ рад/с}^2$ и через время 15 с после начала движения приобретает момент импульса $73,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$. Найти кинетическую энергию колеса через время 20 с после начала движения.

1.23. Определить момент инерции тонкой плоской пластины со сторонами $a = 12 \text{ см}$, $b = 25 \text{ см}$ относительно оси, проходящей через центр тяжести пластины параллельно большей стороне. Масса пластины равномерно распределена по ее площади с поверхностной плотностью $\sigma = 0,125 \text{ кг/м}^2$.

1.24. Определить момент инерции проволочного равностороннего треугольника со стороной 15 см относительно оси, совпадающей с одной из сторон. Масса треугольника 12 г равномерно распределена по длине проволоки.

1.25. Горизонтальная платформа массой 100 кг вращается

вокруг вертикальной оси, проходящий через центр платформы, с частотой 10 об/мин. Человек массой 60 кг стоит при этом на краю платформы. С какой частотой начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу однородным диском, а человека – точечной массой.

1.26. Горизонтальная платформа массой 80 кг и радиусом 1 м вращается с частотой 20 об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. С какой частотой будет вращаться платформа, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от 2,94 до 0,98 кг·м²? Считать платформу однородным диском.

1.27. Колесо, вращаясь равнозамедленно, уменьшило за одну минуту частоту вращения от 300 об/мин до 180 об/мин. Момент инерции колеса 2 кг·м². Найти угловое ускорение колеса, момент сил торможения, работу сил торможения и число оборотов, сделанных колесом за время 1 мин.

1.28. Однородный стержень длиной 1 м подвешен на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. На какой угол надо отклонить стержень, чтобы нижний конец стержня при прохождении положения равновесия имел скорость 5 м/с?

1.29. Человек массой 60 кг находится на неподвижной платформе массой 100 кг. С какой частотой будет вращаться платформа, если человек будет двигаться по окружности радиусом 5 м вокруг оси вращения? Скорость движения человека относительно платформы 4 км/ч. Радиус платформы 10 м. Считать платформу однородным диском, а человека – точечной массой.

1.30. Горизонтальная платформа массой 100 кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящий через центр платформы, с частотой 10 об/мин. Человек массой 60 кг стоит при этом на краю платформы. С какой частотой начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу однородным диском, а человека – точечной массой.

Работа и энергия. Законы сохранения

1.31. Обруч и диск одинаковой массы катятся без скольжения с одной и той же скоростью. Кинетическая энергия обруча

39,2 Дж. Найти кинетическую энергию диска.

1.32. Медный шар радиусом 10 см вращается с частотой 2 об/с вокруг оси, проходящей через его центр. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить угловую скорость вращения шара вдвое?

1.33. Найти линейные скорости движения центров шара, диска и обруча, скатывающихся без скольжения с наклонной плоскости. Высота наклонной плоскости 0,5 м, длина наклонной плоскости 0,125 м, начальная скорость всех тел равна нулю. Сравнить найденные скорости со скоростью тела, соскальзывающего с наклонной плоскостью при отсутствии трения.

1.34. Тело массой $m_1 = 0,5$ кг ударяется о неподвижное тело массой $m_2 = 5$ кг, которое после удара начинает двигаться с кинетической энергией $W_{к2} = 5$ Дж. Считая удар центральным и упругим, найти кинетическую энергию первого тела до и после удара.

1.35. Шар массой 10 кг сталкивается с шаром массой 4 кг. Скорость первого шара 4 м/с, второго шара 12 м/с. Найти общую скорость шаров после удара и кинетическую энергию их, если малый шар догоняет большой, двигающийся в том же направлении. Удар считать прямым, центральным, неупругим.

1.36. Пластичный шар массой 1,25 кг лежит на подставке с отверстием. Снизу через отверстие в подставке в шар попадает вертикально летящая пуля массой 15 г и пробивает его насквозь. При этом шар поднимается на высоту 15 см. На какую высоту поднимется пуля над подставкой, если ее скорость перед ударом была равна 350 м/с?

1.37. Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на легком жестком стержне, и застревает в нем. Масса пули в тысячу раз меньше массы шара. Расстояние от точки подвеса стержня до центра шара равно 1 м. Найти скорость пули, если стержень с шаром отклонился от удара на угол $\varphi = 10^\circ$.

1.38. Человек массой $m_1 = 60$ кг, бегущий со скоростью $v_1 = 2,5$ м/с, догоняет тележку массой $m_2 = 80$ кг, движущуюся со скоростью $v_2 = 0,8$ м/с, и вскакивает на нее. Найти кинетическую энергию тележки с человеком и время движения до полной остановки, если коэффициент трения при движении тележки $\mu = 0,06$.

1.39. Шар массой $m_1 = 10$ кг сталкивается с шаром массой

$m_2 = 4$ кг. Скорость первого шара $v_1 = 4$ м/с, второго – $v_2 = 12$ м/с. Найти скорость шаров после удара и их кинетическую энергию, если малый шар движется навстречу большому. Удар считать прямым, центральным, неупругим.

1.40. Два шара подвешены на параллельных нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Масса первого шара 0,25 кг, масса второго шара 100 г. Первый шар отклоняют так, что центр его поднимается на высоту 5 см, и отпускают. На какую высоту поднимутся шары после неупругого соударения?

Силы в механике

1.41. Определить силу F гравитационного взаимодействия двух соприкасающихся железных шаров диаметром 10 см каждый. Плотность железа принять равной $7,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

1.42. Радиус R планеты Марс равен $3,4 \cdot 10^6$ м, а ее масса $M = 6,4 \cdot 10^{23}$ кг. Определить ускорение g свободного падения на высоте, равной радиусу Марса.

1.43. На какую высоту h над поверхностью Земли поднимется ракета, пущенная вертикально вверх, если начальная скорость v ракеты равна первой космической скорости?

1.44. Какой наибольший груз может выдержать стальная проволока диаметром $d = 1$ мм, если предел упругости $\sigma_{\text{упр}} = 294$ МПа? Какую долю первоначальной длины составляет удлинение проволоки при этом грузе?

1.45. К стальному стержню длиной $\ell = 3$ м и диаметром $d = 2$ см подвешен груз массой $m = 2,5 \cdot 10^3$ кг. Определить напряжение σ в стержне, относительное ε и абсолютное $\Delta \ell$ удлинение стержня. Модуль Юнга для стали $E = 200$ ГПа.

1.46. К вертикальной проволоке длиной $\ell = 5$ м и площадью поперечного сечения $S = 2$ мм² подвешен груз массой 5,1 кг. В результате проволока удлинилась на 0,6 мм. Найти модуль Юнга материала проволоки.

1.47. Нижнее основание железного цилиндра диаметром $d = 20$ см и высотой $h = 20$ см закреплено неподвижно. На верхнее основание цилиндра действует горизонтальная сила $F = 20$ кН. Найти тангенциальное напряжение τ в материале, угол ϕ сдвига и смещение Δx верхнего основания цилиндра относи-

тельно нижнего. Модуль сдвига для железа $G = 76$ ГПа.

1.48. Радиус малой планеты $R = 250$ км, средняя плотность $\rho = 3$ г/см³. Определить ускорение свободного падения g на поверхности планеты.

1.49. Тело массой $m = 1$ кг находится на поверхности Земли. Определить изменение силы тяжести для двух случаев: 1) при подъеме тела на высоту $H = 5$ км; 2) при опускании тела в шахту на глубину $h = 5$ км. Землю считать однородным шаром радиусом $R = 6,37$ Мм и плотностью $\rho = 5,5$ г/см³.

1.50. С высоты $h = 1000$ км на поверхность Земли падает метеорит $m = 30$ кг. Определить работу A сил гравитационного поля Земли, если известны ускорение свободного падения у поверхности Земли $g = 9,8$ м/с² и радиус Земли $R_3 = 6,37 \cdot 10^6$ м.

1.51. На какую высоту над поверхностью Земли поднимется ракета, пущенная вертикально вверх со скоростью 6 км/с.

Специальная теория относительности

1.52. С какой скоростью движется электрон, если его кинетическая энергия 1,02 МэВ? Определить импульс электрона.

1.53. Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Какова скорость этой частицы?

1.54. Масса движущегося протона $2,5 \cdot 10^{-27}$ кг. Найти скорость и кинетическую энергию протона.

1.55. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов в 200 МВ. Во сколько раз его релятивистская масса больше массы покоя? Чему равна скорость протона?

1.56. Определить скорость электрона, если релятивистская масса в три раза больше массы покоя. Вычислить кинетическую и полную энергию электрона.

1.57. Масса движущегося электрона $3,2 \cdot 10^{-31}$ кг. Найти скорость и кинетическую энергию электрона.

1.58. Найти импульс, полную и кинетическую энергию электрона, движущегося со скоростью, равной $0,7c$, где c – скорость света в вакууме.

1.59. Протон и α -частица проходят одинаковую ускоряющую разность потенциалов, после чего масса протона составила половину массы покоя α -частицы. Определить разность

потенциалов.

1.60. Найти импульс, полную и кинетическую энергию нейтрона, движущегося со скоростью $0,6c$, где c – скорость света в вакууме.

1.61. Во сколько раз масса движущегося дейтрона больше массы движущегося электрона, если их скорости соответственно равны $0,6c$ и $0,9c$. Чему равны их кинетические энергии?

Молекулярная физика

1.61. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях $D = 0,91 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить коэффициент теплопроводности к водорода.

1.62. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа равна 450 м/с . Давление газа равно 50 кПа . Найти плотность газа при этих условиях.

1.63. Колба емкостью $V = 4 \text{ л}$ содержит некоторый газ массой $m = 0,6 \text{ г}$ под давлением $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить среднюю квадратичную скорость $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ молекул газа.

1.64. Количество вещества гелия $1,5 \text{ моль}$ находится при температуре 120 К . Определить суммарную кинетическую энергию $E_{\text{п}}$ поступательного движения всех молекул этого газа.

1.65. Найти среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$ вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре $T = 350 \text{ К}$, а также суммарную кинетическую энергию $E_{\text{вр}}$ всех молекул, содержащихся в $m = 4 \text{ г}$ кислорода.

1.66. Коэффициент диффузии кислорода $D = 0,19 \text{ см}^2/\text{с}$ при температуре $t = 0 \text{ }^\circ\text{С}$. Определить среднюю длину $\langle \ell \rangle$ свободного пробега молекул газа.

1.67. При нормальных условиях динамическая вязкость азота $\eta = 17 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$. Найти среднюю длину $\langle \ell \rangle$ свободного пробега молекул газа.

1.68. Определить среднее число соударений $\langle Z \rangle$ в секунду молекул водорода при температуре $T = 300 \text{ К}$ и давлении $p = 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$

1.69. При каком давлении p средняя длина свободного пробега $\langle \ell \rangle$ молекулы азота равна 1 м , если температура T газа равна 300 К ?

1.70. Баллон емкостью $V = 10$ л содержит азот массой $m = 1$ г. Определить среднюю длину свободного пробега молекул газа.

Термодинамика

1.71. Определить количество теплоты, которое надо сообщить кислороду объемом 50 л при его изохорном нагревании, чтобы давление газа повысилось на 0,5 МПа.

1.72. При изотермическом расширении 0,2 кг азота при температуре 280 К его объем увеличился в 2 раза. Определить: 1) совершенную при расширении газа работу; 2) изменение внутренней энергии; 3) количество теплоты, полученное газом.

1.73. При адиабатном сжатии давление воздуха было увеличено от 50 кПа до 0,5 МПа. Затем при неизменном объеме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление газа в конце процесса.

1.74. Кислород массой 200 г занимает объем 100 л и находится под давлением 200 кПа. При нагревании газ расширился до объема 300 л, а затем его давление возросло до 500 кПа при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную газом работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.

1.75. Объем водорода при изотермическом расширении при температуре 300 К увеличился в 3 раза. Определить работу, совершенную газом, и теплоту, полученную при этом. Масса водорода 200 г.

1.76. Азот массой 100 г был изобарно нагрет от 200 К до 400 К. Определить работу, совершенную газом, полученную им теплоту и изменение внутренней энергии азота.

1.77. Во сколько раз увеличится объем водорода, содержащий количество вещества 0,4 моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество теплоты 800 Дж? Температура водорода 300 К.

1.78. Какая работа совершается при изотермическом расширении водорода массой 5 г, взятого при температуре 290 К, если объем газа увеличивается в 3 раза?

1.79. Какая доля количества теплоты, подводимого к идеальному газу при изобарном процессе, расходуется на изменение

внутренней энергии газа, и какая доля на работу расширения? Рассмотреть 3 случая, если газ: 1) одноатомный; 2) двухатомный; 3) трехатомный.

1.80. Определить работу, которую совершит азот, если ему при постоянном давлении сообщить количество теплоты 21 кДж. Найти также изменение внутренней энергии газа.

Электростатика

1.81. Два шарика одинаковых радиуса и массы подвешены на нитях одинаковой длины так, что их поверхности соприкасаются. Какой заряд нужно сообщить шарикам, чтобы сила натяжения нитей стала равной 98 мН? Расстояние от центра шарика до точки подвеса 10 см; масса каждого шарика 5 г.

1.82. В вершинах правильного шестиугольника расположены три положительных и три отрицательных заряда. Найти напряженность электрического поля в центре шестиугольника. Каждый заряд 1,5 нКл; сторона шестиугольника 3 см.

1.83. Электрон влетел в пространство между пластинами плоского конденсатора со скоростью 10^7 м/с, направленной параллельно пластинам. На сколько приблизится электрон к положительно заряженной пластине за время движения внутри конденсатора (поле считать однородным), если расстояние между пластинами равно 16 мм, разность потенциалов 30 В и длина пластин 6 см?

1.84. Расстояние между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу. Равно 16 см. Проволоки равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью 150 мкКл/м. Какова напряженность поля в точке, удаленной на 10 см как от первой, так и от второй проволоки?

1.85. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами 40 нКл и «-10 нКл», находящимися на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на 12 см и от второго на 6 см.

1.86. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды 0,3 нКл каждый. Какой отрицательный заряд нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрица-

тельного заряда?

1.87. По тонкому кольцу радиусом 10 см равномерно распределен заряд с линейной плотностью 10 нКл/м. Определить напряженность и потенциал в точке, лежащей на оси кольца, на расстоянии 5 см от центра.

1.88. Тонкий стержень согнут в полукольцо. Стержень заряжен с линейной плотностью 133 нКл/м. Какую работу надо совершить, чтобы перенести заряд 6,7 нКл из центра полукольца в бесконечность?

1.89. Конденсатор электроемкостью 0,6 мкФ был заряжен до разности потенциалов 300 В и соединен со вторым конденсатором электроемкостью 0,4 мкФ, заряженным до разности потенциалов 150 В. Найти заряд, перетекший с пластин первого конденсатора на второй.

1.90. Пластины из эбонита толщиной 2 мм и площадью 300 см^2 поместили в однородное электрическое поле напряженностью 1 кВ/м, расположив так, что силовые линии перпендикулярны ее плоской поверхности. Найти плотность связанных зарядов на поверхности пластин; энергию электрического поля, сосредоточенную в пластине.

Законы постоянного тока

1.91. Ток в проводнике меняется со временем по закону $I = 4 + 2t$. Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за время от 2 с до 6 с? При каком постоянном токе через поперечное сечение проводника за то же время проходит такое же количество электричества?

1.92. Источник тока, амперметр и некоторое сопротивление соединены последовательно. Если взять сопротивление из медной проволоки длиной 100 м и поперечным сечением 2 мм^2 , то амперметр показывает 1,43 А. Если же взять сопротивление из алюминиевой проволоки длиной 57,3 м и поперечным сечением 1 мм^2 , то амперметр показывает ток 1 А. Сопротивление амперметра 0,05 Ом. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление.

1.93. Амперметр с сопротивлением 0,16 Ом зашунтирован сопротивлением 0,04 Ом. Амперметр показывает ток 8 А. Найти ток в цепи.

1.94. Имеется предназначенный для измерения токов до 15 мА амперметр с сопротивлением 5 Ом. Какое сопротивление надо взять и как его включить, чтобы этим прибором можно было измерять ток до 150 мА; разность потенциалов до 150 В?

1.95. От батареи с ЭДС 500 В требуется передать энергию на расстояние 2,5 км. Потребляемая мощность 10 кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов 1,5 см.

1.96. Амперметр и вольтметр подключили последовательно к батарее с ЭДС 6,0 В. Если параллельно вольтметру подключить некоторое сопротивление, то показание вольтметра уменьшается в два раза, а показание амперметра во столько же раз увеличивается. Найти показание вольтметра после подключения сопротивления.

1.97. Амперметр и вольтметр подключили последовательно к батарее с ЭДС 12 В. Если параллельно вольтметру, подключить некоторое сопротивление, то показание вольтметра уменьшается в три раза, а показание амперметра во столько же раз увеличивается. Найти показание вольтметра после подключения сопротивления.

1.98. Длинный равномерно заряженный по поверхности цилиндр радиусом сечения $a = 1,0$ см движется с постоянной скоростью $v = 10$ м/с вдоль своей оси. Напряженность электрического поля непосредственно у поверхности цилиндра $E = 0,9$ кВ/см. Чему равен соответствующий конвекционный ток, т.е. ток, обусловленный механическим переносом заряда?

1.99. Сколько тепла выделится в спирали сопротивлением 2 Ом при прохождении через нее количества электричества 3 Кл, если ток в спирали: а) равномерно убывал до нуля в течение 5 с; б) монотонно убывал до нуля так, что за каждые Δt секунд он уменьшался вдвое?

1.100. Электромотор постоянного тока подключили к напряжению U . Сопротивление обмотки якоря равно R . При каком значении тока через обмотку полезная мощность мотора будет максимальной? Каков при этом КПД мотора?

ЧАСТЬ II

2.1. Основные формулы

1. Сила Лоренца $d\vec{F} = I[d\vec{\ell}, \vec{B}]$,

где I – сила тока в проводнике, $d\vec{\ell}$ – элемент длины проводника.

2. Магнитный момент контура с током $\vec{p}_m = I S \vec{n}$.

3. Закон Био – Савара – Лапласа $d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I [d\vec{\ell}, \vec{r}]}{4\pi r^3}$.

4. Магнитная индукция поля

в центре кругового тока $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$;

бесконечно длинного прямого тока $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$;

созданного отрезком проводника $B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$;

поля бесконечно длинного соленоида $B = \mu_0 \mu n I$,

где R – радиус кругового тока; r – кратчайшее расстояние до оси проводника; n – число витков на единицу длины соленоида; α_1 и α_2 – углы между отрезком проводника и линией, соединяющей концы отрезка с точкой поля.

5. Сила взаимодействия двух прямолинейных токов на единицу их длины $F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi r}$.

6. Работа по перемещению контура с током в магнитном поле $A = I \Delta \Phi$.

7. Магнитный поток $\Phi = BS \cos \alpha$.

8. Закон электромагнитной индукции $\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}$.

9. Потокосцепление контура с током $\Psi = LI$,

где L – индуктивность контура.

10. Электродвижущая сила самоиндукции $\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$.

11. Индуктивность соленоида $L = \mu_0 \mu n^2 V$,

где V – объем соленоида; n – число витков на единицу длины соленоида.

12. Энергия магнитного поля $W_M = \frac{LI^2}{2}$.

13. Объемная плотность энергии магнитного поля

$$W_M = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2}.$$

14. Уравнение гармонического колебания $s = A \sin(\omega t + \varphi_0)$,
где A – амплитуда колебания; ω – циклическая частота;
 φ_0 – начальная фаза.

15. Период колебаний маятников:

пружинного $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}};$

физического $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}},$

где m – масса маятника; k – жесткость пружины; I – момент инерции маятника; g – ускорение свободного падения; l – расстояние от центра до центра масс.

16. Период колебаний в электрическом колебательном контуре

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

где L – индуктивность контура; C – емкость конденсатора.

17. Уравнение плоской волны, распространяющейся в направлении оси Ox

$$s = A \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right],$$

где v – скорость распространения волны.

18. Длина волны $\lambda = vT,$

где T – период волны.

19. Скорость распространения электромагнитной волны

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}},$$

где c – скорость света в вакууме; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; μ – магнитная проницаемость.

20. Вектор Пойнтинга $\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}],$

где \vec{E}, \vec{H} – напряженности электрического и магнитного полей электромагнитной волны.

21. Оптическая длина пути в однородной среде

$$L = n\ell,$$

где ℓ – геометрическая длина пути световой волны; n – показатель преломления среды.

22. Оптическая разность хода

$$\Delta = L_2 - L_1,$$

где L_1, L_2 – оптические пути двух световых волн.

23. Условие интерференционного

максимума $\Delta = \pm m\lambda_0, m = 0, 1, 2, \dots;$

минимума $\Delta = (2m + 1)\frac{\lambda_0}{2}, m = 0, 1, 2, \dots,$

где λ_0 – длина световой волны в вакууме.

24. Ширина интерференционных полос в опыте Юнга

$$\Delta x = \frac{\lambda l}{d},$$

где d – расстояние между когерентными источниками света; l – расстояние от источников до экрана.

25. Оптическая разность хода в тонких пленках:

в проходящем свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i};$

в отраженном $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda_0}{2},$

где d – толщина пленки; n – показатель преломления пленки; i – угол падения света.

26. Радиусы колец Ньютона

светлых в проходящем свете $r_m = \sqrt{m\lambda R}, m = 0, 1, 2, \dots;$

(или темных в отраженном)

и темных колец в проходящем свете $r_m = \sqrt{2(m-1)\frac{\lambda R}{2}},$

$m = 0, 1, 2, \dots; \text{ (или светлых в отраженном)}$

где R – радиус кривизны; λ – длина световой волны в среде.

27. Радиусы зон Френеля

для сферической волновой поверхности $r_m = \sqrt{m \frac{\lambda ab}{a+b}}$,

$m = 0, 1, 2, \dots$

для плоской волновой поверхности $r_m = \sqrt{m\lambda b}$, $m = 0, 1, 2, \dots$,

где a – радиус волновой поверхности; b – кратчайшее расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения.

28. Дифракция от одной щели.

Условие максимумов $a \sin \varphi_m = \pm(2m+1) \frac{\lambda}{2}$, $m = 1, 2, 3, \dots$;

Условие минимумов $a \sin \varphi_m = \pm m\lambda$, $m = 1, 2, 3, \dots$,

где a – ширина щели.

29. Условие максимумов дифракционной решетки

$$d \sin \varphi_m = \pm m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

где d – постоянная дифракционной решетки.

30. Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m\lambda,$$

где $\Delta\lambda$ – минимальная разность длин волн двух спектральных линий, разрешаемых решеткой; m – порядок спектра.

31. Формула Вульфа – Брэгга

$$2d \sin \theta_m = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ_m – угол скольжения рентгеновских лучей.

32. Степень поляризации $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$,

где I_{\max} и I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивность света.

33. Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где i_0 – угол Брюстера; n_1 и n_2 – показатели преломлений первой и второй сред.

34. Закон Малюса $I = I_0 \cos^2 \alpha$,

где I_0 и I – интенсивность плоско-поляризованного света, падающего и прошедшего через поляризатор; α – угол между плоскостью поляризации падающего света и главной плоскостью поляризатора.

35. Угол поворота плоскости поляризации света
в кристаллах и чистых жидкостях $\varphi = \varphi_0 l$;
в растворах $\varphi = [\varphi_0] c l$,

где φ_0 – постоянная вращения; c – концентрация оптически активного вещества в растворе; l – расстояние, пройденное светом в оптически активном веществе

36. Фазовая скорость света $v = \frac{c}{n}$,

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

37. Закон Стефана – Больцмана $R = \sigma T^4$,
где R – энергетическая светимость черного тела; T – термодинамическая температура тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана.

38. Закон смещения Вина $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$,

где λ_{\max} – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения черного тела; b – постоянная Вина.

39. Давление света при нормальном падении на поверхность

$$p = \frac{I}{c}(1 + \rho) = \omega(1 + \rho),$$

где I – интенсивность света; ρ – коэффициент отражения; ω – объемная плотность энергии излучения.

40. Энергия фотона $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$,

где h – постоянная Планка; ν – частота света.

41. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта
 $\varepsilon = A + T_{\max}$,

где A – работа выхода электронов из металла; T_{\max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

42. Комптоновская длина волны частицы

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = \frac{hc}{E_0},$$

где m_0 – масса покоя частицы; E_0 – энергия покоя частицы.

43. Эффект Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_C(1 - \cos \theta) = 2\lambda_C \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

где λ и λ' – длина волны падающего и рассеянного излучения; θ – угол рассеяния.

44. Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

где h – постоянная Планка; p – импульс частицы.

45. Соотношение неопределенностей Гейзенберга:

для координаты и импульса

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi};$$

для энергии и времени

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$$

где Δx – неопределенность координаты частицы; Δp_x – неопределенность проекции импульса частицы на соответствующую координатную ось; ΔE – неопределенность энергии частицы в некотором состоянии; Δt – время нахождения частицы в этом состоянии.

46. Плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства

$$w = |\psi|^2,$$

где ψ – волновая функция частицы.

47. Волновая функция, описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме

$$\psi_n = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \sin \frac{n\pi x}{\ell},$$

где ℓ – ширина ямы; x – координата частицы в яме ($0 < x < \ell$); n – квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$).

48. Энергия частицы в бесконечно глубокой одномерной

потенциальной яме

$$E_n = \frac{k^2}{8m\ell^2} n^2,$$

где m – масса частицы.

49. Серийные формулы спектра водородоподобных атомов

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где λ – длина волны спектральной линии; R – постоянная Ридберга; Z – порядковый номер элемента; $n = 1, 2, 3, \dots$, $k = n+1, n+2$.

50. Дефект массы ядра $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}$

где m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – масса ядра атома; Z и A – зарядовое и массовое числа.

51. Энергия связи ядра

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m,$$

где c – скорость света в вакууме.

52. Удельная энергия связи $\varepsilon_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$.

53. Закон радиоактивного распада $N = N_0 \exp(-\lambda t)$,

где N_0 – начальное число радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$; N – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t ; λ – постоянная радиоактивного распада.

54. Активность радиоактивного вещества

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N.$$

55. Закон поглощения гамма-излучения веществом

$$I = I_0 \exp(-\mu x),$$

где I_0 – интенсивность гамма-излучения на входе в поглощающий слой вещества; I – интенсивность гамма-излучения после прохождения поглощающего слоя вещества толщиной x ; μ – линейный коэффициент поглощения.

56. Энергия ядерной реакции

$$Q = c^2 (m_1 + m_2 - \sum m_i),$$

где m_1 и m_2 – массы покоя частиц, вступающих в реакцию; $\sum m_i$ – сумма масс покоя частиц, образовавшихся в результате реакции.

2.2. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПО ЧАСТИ II

Магнитное поле

2.1. Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами 4 и 6 А расположены перпендикулярно друг другу. Определить индукцию и напряженность магнитного поля на середине кратчайшего расстояния между проводниками, равного 20 см.

2.2. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам текут токи 5 и 10 А в одном направлении. Геометрическое место точек, в котором индукция равна нулю, находится на расстоянии 10 см от проводника с меньшим током. Определить расстояние между проводниками.

2.3. По кольцевому проводнику радиусом 10 см течет ток 4 А. Параллельно плоскости кольцевого проводника на расстоянии 2 см над его центром проходит бесконечно длинный прямолинейный проводник, по которому течет ток 2 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в центре кольца. Рассмотреть все возможные случаи.

2.4. По квадратной рамке течет ток 4 А. Напряженность магнитного поля в центре рамки 4,5 А/м. Определить периметр рамки.

2.5. Незакрепленный проводник массой 0,1 г и длиной 7,6 см находится в равновесии в горизонтальном магнитном поле напряженностью 10 А/м. Определить силу тока в проводнике, если он перпендикулярен линиям индукции поля.

2.6. Какое ускорение приобретает проводник массой 0,1 г и длиной 8 см в однородном магнитном поле напряженностью 10 кА/м, если сила тока в нем 1 А, а направления тока и магнитной индукции взаимно перпендикулярны?

2.7. Электрон с энергией 300 эВ движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля напряженностью 465 А/м. Определить силу Лоренца, скорость и радиус траектории электрона.

2.8. Момент импульса протона в однородном магнитном поле напряженностью 20 кА/м равен $6,6 \cdot 10^{-23}$ кг·м²/с. Найти ки-

нетическую энергию протона, если он движется перпендикулярно линиям магнитной индукции поля.

2.9. На расстоянии 5 мм параллельно прямолинейному длинному проводнику движется электрон с кинетической энергией 1 кэВ. Какая сила будет действовать на электрон, если по проводнику пустить ток 1 А?

2.10. Протон движется в магнитном поле напряженностью 10 А/м по окружности радиусом 2 см. Найти кинетическую энергию протона.

Электромагнитная индукция

2.11. Рамка площадью 50 см^2 , содержащая 100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле индукцией 40 мТл. Определить максимальную ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой 960 об/мин.

2.12. Кольцо из проволоки сопротивлением 1 мОм находится в однородном магнитном поле индукцией 0,4 Тл. Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол 90° . Определить заряд, который протечет по кольцу, если его выдернуть из поля. Площадь кольца 10 см^2 .

2.13. В плоскости перпендикулярной магнитному полю напряженностью $2 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ вращается стержень длиной 0,4 м относительно оси, проходящей через его середину. В стержне индуцируется ЭДС, равная 0,2 В. Определить угловую скорость стержня.

2.14. Катушка из 100 витков площадью 15 см^2 вращается с частотой 5 Гц в однородном магнитном поле индукцией 0,2 Тл. Ось вращения перпендикулярна оси катушки и линиям индукции поля. Определить максимальную ЭДС индукции в катушке.

2.15. Цепь состоит из соленоида и источника тока. Соленоид без сердечника длиной 15 см и диаметром 4 см имеет плотную намотку из двух слоев медного провода диаметром 0,2 мм. По соленоиду течет ток 1 А. Определить ЭДС самоиндукции в соленоиде в тот момент времени после отключения его от источника тока, когда сила тока уменьшилась в два раза. Сопротивлением источника тока и подводящих проводов пренебречь.

2.16. Сила тока в соленоиде равномерно возрастает от 1 А до 10 А за 1 мин, при этом соленоид накапливает энергию 20 Дж. Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

2.17. Однослойный соленоид без сердечника длиной 20 см и диаметром 4 см имеет плотную намотку медным проводом диаметром 0,1 мм. За 0,1 с сила тока в нем равномерно убывает с 5 А до 1 А. Определить ЭДС индукции в соленоиде.

2.18. Квадратная рамка со стороной 1 см содержит 100 витков и помещена в однородное магнитное поле напряженностью 100 А/м. Направление поля составляет угол 30° с нормалью к рамке. Какая работа совершается при повороте рамки на 30° в одну и другую сторону, если по ней течет ток 1 А?

2.19. Под действием однородного магнитного поля перпендикулярно линиям индукции начинает перемещаться прямолинейный проводник массой 2 г, по которому течет ток 10 А. Какой магнитный поток пересечет этот проводник к моменту времени, когда скорость его станет равна 31,6 м/с.

2.20. Проводник с током 1 А длиной 0,3 м равномерно вращается вокруг оси, проходящей через его конец, в плоскости, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля напряженностью 1 кА/м. За 1 мин вращения совершается работа 0,1 Дж. Определить угловую скорость вращения проводника.

Колебания и волны

2.21. Материальная точка совершает колебания по закону $x = 0,02 \sin\left(2\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$. Найти амплитуду и период колебаний; изобразить график $x(t)$.

2.22. Частица совершает гармонические колебания вдоль оси x около положения равновесия $x = 0$. Частота колебаний $\omega = 4,20$ рад/с. В некоторый момент координата частицы $x_0 = 25,0$ см и ее скорость $v_{x0} = 100$ см/с. Написать уравнение колебаний, найти координату x и скорость v_x частицы через $t = 2,40$ с после этого момента.

2.23. Тело массой 5 г совершает гармонические колебания вдоль некоторой прямой с периодом $T = 0,60$ с и амплитудой $A = 10,0$ см. Найти силу, действующую на тело, энергию колеба-

ний и импульс.

2.24. Колебательный контур состоит из конденсатора емкости $C = 4,0$ мкФ и катушки с индуктивностью $L = 2,0$ мГн и активным сопротивлением $R = 10$ Ом. Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в момент максимума тока.

2.25. Соленоид с индуктивностью $L = 7$ мГн и активным сопротивлением $R = 44$ Ом подключили сначала к источнику постоянного напряжения U_0 , а затем к генератору синусоидального напряжения с действующим значением $U = U_0$. При какой частоте генератора мощность, потребляемая соленоидом, будет в пять раз меньше, чем в первом случае?

2.26. Участок цепи состоит из параллельно включенных конденсатора емкости C и катушки с активным сопротивлением R и индуктивностью L . Найти полное сопротивление этого участка для переменного напряжения с частотой ω .

2.27. Катушка с индуктивностью $L = 0,75$ Гн и активным сопротивлением $r = 20$ Ом соединена последовательно с безындукционным сопротивлением R , и между концами этой цепи приложено переменное напряжение с действующим значением $U_d = 220$ В и частотой $\omega = 314$ рад/с. При каком значении сопротивления R в цепи будет выделяться максимальная тепловая мощность? Чему она равна?

2.28. Неподвижный источник испускает монохроматический звук. К нему приближается стенка со скоростью $u = 33$ см/с. Скорость распространения звука в среде $v = 330$ м/с. Как и на сколько процентов изменяется длина волны звука при отражении от стенки?

2.29. В однородной среде с плотностью ρ установилась продольная стоячая волна вида $\xi = A \cos kx \cdot \cos \omega t$. Найти выражения для объемной плотности: а) потенциальной энергии $W_{\text{п}}(x, t)$; б) кинетической энергии $W_{\text{к}}(x, t)$.

2.30. Изобразить графики распределения объемной плотности полной энергии w в пределах между двумя соседними узлами смещения в моменты $t = 0$ и $t = T/4$, где T – период колебаний.

Интерференция, дифракция, поляризация

2.31. Для устранения отражения света на поверхность стеклянной линзы наносится пленка вещества с показателем преломления 1,2, меньшим, чем у стекла. При какой наименьшей толщине этой пленки отражение света с длиной волны 0,6 мкм не будет наблюдаться, если свет падает нормально?

2.32. На дифракционную решетку, содержащую 100 штрихов на 1 мм, нормально падает монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол 16° . Определить длину волны света, падающего на решетку.

2.33. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет. Наименьшая толщина клина, с которой видны интерференционные полосы в отраженном свете, равна 0,1 мкм. Расстояние между полосами 2 мм. Найти угол между поверхностями клина.

2.34. В опыте Юнга одна из щелей перекрывалась прозрачной пластинкой толщиной 10 мкм, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое восьмой светлой полосой. Найти показатель преломления пластинки, если длина волны света 0,6 мкм.

2.35. На тонкий стеклянный клин падает нормально свет с длиной волны 0,6 мкм. Расстояние между соседними интерференционными полосами в отраженном свете равно 0,5 мм. Показатель преломления стекла 1,5. Определить угол между поверхностями клина.

2.36. Постоянная дифракционной решетки равна 2,5 мкм. Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре третьего порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,59 мкм.

2.37. Постоянная дифракционной решетки в 4 раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

2.38. Угол α между плоскостями пропускания поляроидов

равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в 8 раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

2.39. Естественный свет падает под углом Брюстера на поверхность стекла. Определить с помощью формул Френеля: а) коэффициент отражения; б) степень поляризации преломленного света.

2.40. Пучок естественного света падает на систему из $N = 6$ николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол $\varphi = 30^\circ$ относительно плоскости пропускания предыдущего николя. Какая часть светового потока проходит через эту систему?

Квантовая оптика. Тепловое излучение

2.41. Имеется два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них $T_1 = 2500$ К. Найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной способности, на $\Delta\lambda = 0,50$ мкм больше длины волны, соответствующей максимуму испускательной способности первого источника.

2.42. Энергетическая светимость абсолютно черного тела $W_\lambda = 3,0$ Вт/см². Определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности этого тела.

2.43. Излучение Солнца по своему спектральному составу близко к излучению абсолютно черного тела, для которого максимум испускательной способности приходится на длину волны 0,48 мкм. Найти массу, теряемую Солнцем каждую секунду за счет излучения.

2.44. Найти температуру T печи, если известно, что излучение из отверстия в ней площадью $S = 6,1$ см² имеет мощность $N = 34,6$ Вт. Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

2.45. Какую мощность излучения N имеет Солнце? Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела. Температура поверхности Солнца $T = 5800$ К.

2.46. Какое количество энергии излучает 1 см² затвердевшего свинца в 1 с? Отношение энергетических светимостей по-

верхности свинца и абсолютно черного тела для этой температуры считать равным 0,6.

2.47. Мощность излучения раскаленной металлической поверхности $N' = 0,67$ кВт. Температура поверхности $T = 2500$ К, ее площадь $S = 10$ см². Какую мощность излучения N имела бы эта поверхность, если бы она была абсолютно черной? Найти отношение k энергетических светимостей этой поверхности и абсолютно черного тела при данной температуре.

2.48. Считая, что атмосфера поглощает 10% лучистой энергии, посылаемой Солнцем, найти мощность излучения N , получаемую от Солнца горизонтальным участком Земли площадью $S = 0,5$ га. Высота Солнца над горизонтом $\alpha = 30^\circ$. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

2.49. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке $d = 0,3$ мм, длина спирали $l = 5$ см. При включении лампочки в сеть напряжением 127 В через лампочку течет ток 0,31 А. Найти температуру T спирали. Считать, что по установлении равновесия все выделяющееся в нити тепло теряется в результате излучения. Отношение энергетических светимостей вольфрама и абсолютно черного тела для данной температуры $k = 0,31$.

2.50. Температура T абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 до 3000 К. Во сколько раз увеличилась при этом его энергетическая светимость R_ϵ ? Насколько изменилась длина волны λ , на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости? Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости $R_{\epsilon,\lambda}$?

Давление света. Фотозффект

2.51. Плоская световая волна интенсивности $I = 0,70$ Вт/см² освещает шар с абсолютно зеркальной поверхностью. Радиус шара $R = 5,0$ см. Найти с помощью корпускулярных представлений силу светового давления, испытываемую шаром.

2.52. Короткий импульс света с энергией $E = 7,5$ Дж в виде узкого почти параллельного пучка падает на зеркальную пластинку с коэффициентом отражения $\rho = 0,60$. Угол падения $\alpha = 30^\circ$. Определить с помощью корпускулярных представлений импульс, переданный пластинке.

2.53. Лазер излучил в импульсе длительностью $\tau = 0,13$ мс пучок света с энергией $E = 10$ Дж. Найти среднее давление такого светового импульса, если его сфокусировать в пятнышко диаметром $d = 10$ мкм на поверхность, перпендикулярную к пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,50$.

2.54. Плоская световая волна интенсивности $I = 0,20$ Вт/см² падает на плоскую зеркальную поверхность с коэффициентом отражения $\rho = 0,8$. Угол падения $\alpha = 45^\circ$. Определить с помощью корпускулярных представлений значение нормального давления, которое оказывает свет на эту поверхность.

2.55. Определить красную границу фотоэффекта для цинка и максимальную скорость фотоэлектронов, вырывааемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны 250 нм.

2.56. При увеличении напряжения на рентгеновской трубке в $\eta = 1,5$ раза длина волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра изменилась на $\Delta\lambda = 26$ пм. Найти первоначальное напряжение на трубке.

2.57. При поочередном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн $\lambda_1 = 0,35$ мкм и $\lambda_2 = 0,54$ мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в $\eta = 2,0$ раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.

2.58. На поверхность никеля падает монохроматический свет, длина волны которого равна 200 нм. Красная граница фотоэффекта для никеля 248 нм. Определить энергию падающих фотонов, работу выхода электронов из вещества, кинетическую энергию электронов и их скорость.

2.59. До какого максимального потенциала зарядится удаленный от других тел медный шарик при облучении его электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 140$ нм?

2.60. Имеется вакуумный фотоэлемент, один из электродов которого цезиевый, другой — медный. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, подлетающих к медному электроду, при освещении цезиевого электрода электромагнитным излучением с длиной волны 0,22 мкм, если электроды замкнуть снаружи накоротко.

Атомная физика

2.61. Найти квантовое число n , соответствующее возбужденному состоянию иона He^+ , если при переходе в основное состояние этот ион испустил последовательно два фотона с длинами волн 108,5 и 30,4 нм.

2.62. Какой серии принадлежит спектральная линия атомарного водорода, волновое число которой равно разности волновых чисел следующих двух линий серии Бальмера: 486,1 и 410,2 нм? Какова длина волны этой линии?

2.63. Вычислить постоянную Ридберга R , если известно, что для ионов He^+ разность длин волн между головными линиями серий Бальмера и Лаймана $\Delta\lambda = 133,7$ нм.

2.64. Найти энергию связи электрона в основном состоянии водородоподобных ионов, в спектре которых длина волны третьей линии серии Бальмера равна 108,5 нм.

2.65. Какому элементу принадлежит водородоподобный спектр, длины волн линий которого в четыре раза короче, чем у атомарного водорода?

2.66. Энергия связи электрона в основном состоянии атома He равна $E_0 = 24,0$ эВ. Найти энергию, необходимую для удаления обоих электронов из этого атома.

2.67. Найти скорость фотоэлектронов, вырываемых электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 18,0$ нм из ионов He^+ , которые находятся в основном состоянии и покоятся.

2.68. Покоившийся атом водорода испустил фотон, соответствующий головной линии серии Лаймана. Какую скорость приобрел атом?

2.69. Найти для атомов легкого и тяжелого водорода (H и D) разность энергий связи их электронов в основном состоянии.

2.70. Вычислить расстояние между частицами системы в основном состоянии, соответствующую энергию связи и длину волны головной линии серии Лаймана, если системой является мезоатом водорода, ядром которого служит протон (в мезоатоме вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую).

Волновые свойства частиц

2.71. Вычислить дебройлевские длины волн электрона, протона и атома урана, имеющих одинаковую кинетическую энергию 100 эВ.

2.72. Какую энергию необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от 100 до 50 пм?

2.73. Получить выражение для дебройлевской длины волны λ релятивистской частицы, движущейся с кинетической энергией T . При каких значениях T , ошибка в определении λ по нерелятивистской формуле не превышает 1 % для электрона и протона?

2.74. Показать, что для частицы, неопределенность местоположения которой $\Delta x = \lambda/2\pi$, где λ – ее дебройлевская длина волны, неопределенность скорости равна по порядку величины самой скорости частицы.

2.75. Найти дебройлевскую длину волны молекул водорода, соответствующую их наиболее вероятной скорости при комнатной температуре ($T = 20^\circ\text{C}$).

2.76. С какой скоростью движется электрон, если длина волны λ де Бройля электрона равна его комптоновской длине волны λ_C ?

2.77. Электрон с кинетической энергией $T \approx 4$ эВ локализован в области размером $l = 1$ мкм. Оценить с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости.

2.78. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области размером $l = 0,20$ нм.

2.79. Частица массы m движется в одномерном потенциальном поле $U = kx^2/2$ (гармонический осциллятор). Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию частицы в таком поле.

2.80. Волновая функция электрона в основном состоянии атома водорода имеет вид $\Psi(r) = Ae^{-r/r_1}$, где A — некоторая постоянная; r_1 — первый боровский радиус. Найти наиболее вероятное расстояние между электроном и ядром.

Радиоактивность

2.81. Какая доля радиоактивных ядер кобальта, период полураспада которых 71,3 дня, распадется за месяц?

2.82. Сколько β -частиц испускает в течение одного часа 1,0 мкг изотопа Na_{24} , период полураспада которого равен 15 ч?

2.83. При изучении β -распада радиоизотопа Mg_{23} в момент $t = 0$ был включен счетчик. К моменту $t_1 = 2,0$ с он зарегистрировал N_1 β -частиц, а к моменту $t_2 = 3t_1$ – в 2,66 раза больше. Найти среднее время жизни данных ядер.

2.84. Активность некоторого препарата уменьшается в 2,5 раза за 7,0 суток. Найти его период полураспада.

2.85. Определить возраст древних деревянных предметов, если известно, что удельная активность изотопа C_{14} у них составляет $3/5$ удельной активности этого изотопа в только что срубленных деревьях. Период полураспада ядер C_{14} равен 5570 лет.

2.86. Найти постоянную распада и среднее время жизни радиоактивного изотопа Co_{55} , если известно, что его активность уменьшается на 4,0% за час? Продукт распада нерадиоактивен.

2.87. Препарат U_{238} массы 1,0 г излучает $1,24 \cdot 10^4$ α -частиц в секунду. Найти период полураспада этого изотопа и активность препарата.

2.88. В урановой руде отношение числа ядер U_{238} к числу ядер Pb_{206} $\eta = 2,8$. Оценить возраст руды, считая, что весь свинец Pb_{206} является конечным продуктом распада уранового ряда. Период полураспада ядер U_{238} равен $4,5 \cdot 10^9$ лет.

2.89. В кровь человека ввели небольшое количество раствора, содержащего радиоизотоп Na_{24} активностью $A = 2,0 \cdot 10^3$ расп./с. Активность 1 см³ крови, взятой через $t = 5,0$ ч, оказалась $A' = 16$ расп./(мин·см³). Период полураспада данного радиоизотопа $T = 15$ ч. Найти объем крови человека.

2.90. Радиоизотоп A_1 с постоянной распада λ_1 превращается в радиоизотоп A_2 с постоянной распада λ_2 . Считая, что в начальный момент препарат содержал только ядра изотопа A_1 , найти: а) закон накопления радиоизотопа A_2 со временем; б) промежуток времени, через который активность радиоизотопа A_2 достигнет максимума.

Ядерные реакции

2.91. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи альфа-частицы.

2.92. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $^{44}_{20}\text{Ca}$.

2.93. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $^{206}_{82}\text{Pb}$.

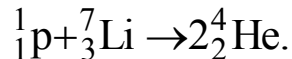
2.94. Найти с помощью табличных значений масс атомов:

а) среднюю энергию связи на один нуклон в ядре O_{16} ;

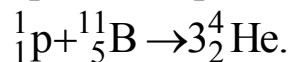
б) энергию связи нейтрона и α -частицы в ядре B_{11} ;

в) энергию, необходимую для разделения ядра O_{16} на четыре одинаковые частицы.

2.95. Вычислить энергию ядерной реакции



2.96. Вычислить энергию ядерной реакции



2.97. Вычислить энергию, необходимую для разделения ядра Ne_{20} на две α -частицы и ядро C_{12} , если известно, что энергии связи на один нуклон в ядрах Ne_{20} , He_4 и C_{12} равны соответственно 8,03, 7,07 и 7,68 МэВ.

2.98. Считая, что в одном акте деления ядра U_{235} освобождается энергия 200 МэВ, определить энергию, выделяющуюся при сгорании одного килограмма изотопа U_{235} , и массу каменного угля с теплотворной способностью 30 кДж/г, эквивалентную в тепловом отношении одному килограмму U_{235} .

2.99. Считая, что в одном акте деления ядра U_{235} освобождается энергия 200 МэВ, определить массу изотопа U_{235} , подвергшегося делению при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 30 килотонн, если тепловой эквивалент тротила равен 4,1 кДж/г.

2.100. Найти число нейтронов, возникающих в единицу времени в урановом реакторе, тепловая мощность которого $P = 100$ МВт, если среднее число нейтронов на каждый акт деления $\nu = 2,5$. Считать, что при каждом делении освобождается энергия $E = 200$ МэВ.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Основные фундаментальные физические постоянные

Название	Обозначение	Численное значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	6,67·10 ⁻¹¹ м ³ /(кг·с ²)
Газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Авогадро	N_A	6,02·10 ²³ моль ⁻¹
Постоянная Больцмана	k	1,38·10 ⁻²³ Дж/К
Элементарный заряд	e	1,6·10 ⁻¹⁹ Кл
Масса покоя электрона	m_e	9,11·10 ⁻³¹ кг
Масса покоя нейтрона	m_n	1,68·10 ⁻²⁷ кг
Масса покоя α -частицы	m_α	6,64·10 ⁻²⁷ кг
Масса покоя протона	m_p	1,67·10 ⁻²⁷ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	8,85·10 ⁻¹² Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	12,56·10 ⁻⁷ Гн/м
Постоянная Планка	h	6,63·10 ⁻³⁴ Дж·с
Постоянная Планка (с чертой)	$\hbar = h / 2\pi$	1,05·10 ⁻³⁴ Дж·с
Постоянная Стефана – Больцмана	σ	5,67·10 ⁻⁸ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	b	2,90·10 ⁻³ м·К
Постоянная Вина	C	1,30·10 ⁻⁵ Вт/(м ² ·К ⁵)
Постоянная Ридберга	R	3,29·10 ¹⁵ с ⁻¹
Радиус первой боровской орбиты	a	5,29·10 ⁻¹¹ м
Энергия ионизации атома водорода	W_i	2,16·10 ⁻¹⁸ Дж
Комптоновская длина волны электрона	λ_C	2,43·10 ⁻¹² м
Атомная единица массы	а.е.м.	1,66·10 ⁻²⁷ кг
Электрон-вольт	эВ	1,6·10 ⁻¹⁹ Дж

2. Эффективный диаметр молекулы газов

Газ	Диаметр, $d \cdot 10^{10}$, м
Азот	3,8
Водород	2,8
Кислород	3,6

3. Тепловые константы.

Вещество	Удельная теплоемкость, C_m , Дж/(К·кг)	Удельная теплота плавления, λ , кДж/кг	Удельная теплота парообразования, L , МДж/кг
Вода	4200	—	2,3
Лед	2100	330	—
Свинец	130	25	—

4. Период полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ изотопа	Тип распада	Период полураспада
Магний	$^{27}_{12}\text{Mg}$	β^-	10 мин
Фосфор	$^{32}_{15}\text{P}$	β^-	14,3 сут
Кобальт	$^{60}_{27}\text{Co}$	β^-, γ	5,3 года
Иод	$^{131}_{53}\text{I}$	β^-, γ	8 сут
Иридий	$^{192}_{77}\text{Ir}$	β^-, γ	75 сут

5. Масса и энергия покоя частиц

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	^1_0n	1,00867	Протон	^1_1p	1,00728
Водород	^1_1H	1,00783	Бериллий	^7_4Be	7,01693
	^2_1H	2,01410		^9_4Be	9,01219
	^3_1H	3,01625	Бор	$^{10}_5\text{B}$	10,01294
Гелий	^3_2He	3,01603		$^{11}_5\text{B}$	11,00930
	^4_2He	4,00260	Углерод	$^{12}_6\text{C}$	12,00000
Литий	^6_3Li	6,01513		$^{13}_6\text{C}$	13,00335
	^7_3Li	7,01601		$^{14}_6\text{C}$	14,00324

Составители

Иван Сергеевич Елкин
Татьяна Ивановна Янина
Анатолий Александрович Мальшин

ФИЗИКА

Индивидуальные задания к самостоятельной работе
обучающихся направлений подготовки: 15.03.01 Машиностроение;
15.03.04 Автоматизация технологических процессов
и производств; 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 26.04.2021. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 2,7.

Тираж 24 экз. Заказ _____

Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр Кузбасского государственного технического
университета имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.