

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технологический сервис и информационные
технологии»

Учебно-методическое пособие по дисциплине

«Физика: контрольные за- дания»

Авторы
Сидоркина Н.М.,
Кодин В.В.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Методические указания написаны с учетом требований Государственных образовательных стандартов. Главное внимание уделено методическим рекомендациям и пояснениям к решению задач.

Предназначено для студентов технических специальностей высших учебных заведений, изучающих физику.

Авторы

доцент, к.т.н.

региональные проблемы экологии и охраны окружающей среды

Сидоркина Н.М.

Доцент, к.физ-мат.н.

Рентгеноструктурные исследования сложных полупроводниковых соединений

Кодин В.В.



Оглавление

| | |
|---|-----------|
| Введение | 4 |
| Правила оформления контрольных работ | 4 |
| КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1 | 6 |
| МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА, ТЕРМОДИНАМИКА, ЭЛЕКТРОСТАТИКА, ПОСТОЯННЫЙ ТОК | 6 |
| ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ | 7 |
| МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА | 11 |
| ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК | 17 |
| Задачи для самостоятельного решения | 24 |
| КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2 | 45 |
| ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ | 45 |
| ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ | 46 |
| ОПТИКА | 51 |
| ОСНОВЫ АТОМНОЙ И КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ | 57 |
| КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ | 60 |
| Задачи для самостоятельного решения | 61 |
| Список литературы | 91 |
| Приложение 1 | 96 |
| Приложение 2 | 97 |

ВВЕДЕНИЕ

Основной формой обучения студентов заочного отделения является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы организуется чтение лекций, практические занятия и лабораторные работы. Процесс изучения физики состоит из следующих этапов:

- проработка установочных и обзорных лекций;
- самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
- выполнение контрольной работы;
- выполнение лабораторного практикума;
- решение задач на практических занятиях;
- сдача зачета или экзамена.

Контрольные работы позволяют закрепить теоретический материал курса физики. В процессе изучения физики студент должен выполнить две контрольные работы. Решение задач контрольных работ является проверкой степени усвоения студентом теоретического курса. Перед выполнением контрольной работы необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной теме, уравнениями и формулами, а также со справочными материалами в учебных пособиях, список которых приведен в конце издания. Прежде чем приступить к решению той или иной задачи, необходимо правильно понять ее содержание и поставленные вопросы.

Контрольные работы распределены по темам следующим образом:

1-физические основы механики, молекулярная физика и термодинамика, электростатика и постоянный ток.

2-электромагнетизм, оптика, атомная и ядерная физика.

Вариант задания контрольной работы определяется в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки (студенческого билета) по таблице для контрольных работ, в приложении 1 и приложении 2.

Номера задач вариантов в контрольных работах могут изменяться преподавателем и сообщаться дополнительно.

Правила оформления контрольных работ

1. Указывать на титульном листе номер контрольной ра-

боты, наименование дисциплины, вариант, фамилию и инициалы студента, шифр специальности, форму обучения и домашний адрес. Вариант контрольной работы соответствует последней цифре студенческого билета (зачетной книжки).

2. Контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний рецензента.

3. Задачи своего варианта переписывать полностью, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые величины должны быть переведены в одну систему единиц.

4. Решение задачи и используемые формулы должны сопровождаться пояснениями.

5. Для пояснения решения задачи там, где это нужно, аккуратно сделать чертеж.

6. В пояснениях к задаче необходимо указывать те основные законы и формулы, на которых базируется решение данной задачи.

7. При получении расчетной формулы для решения конкретной задачи приводить ее вывод.

8. Задачу рекомендуется сначала решить в общем виде, т.е. только в буквенных обозначениях, поясняя применяемые при написании формул буквенные обозначения.

9. Вычисления следует проводить с помощью подстановки заданных числовых величин в расчетную формулу. Все необходимые числовые значения величин должны быть выражены в СИ.

10. Проверить единицы полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность.

11. Константы физических величин и другие справочные данные выбирать из таблиц справочников и приложений используемой литературы.

12. При вычислениях использовать микрокалькулятор для более точного расчета.

13. В контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач.

14. При предоставлении работы на повторное рецензирование обязательно представлять работу с первой рецензией.

15. Исправленные задачи при повторном предоставлении студентом контрольной работы записываются полностью по вышеприведенным правилам.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА, ТЕРМОДИНАМИКА, ЭЛЕКТРОСТАТИКА, ПОСТОЯННЫЙ ТОК

В контрольную работу № 1 включены задачи, дающие возможность проверить знания студентов по ключевым вопросам классической механики, молекулярной физике, термодинамике, электростатике и постоянному току.

Решая задачи по кинематике, в которых необходимо использовать математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, Вы должны научиться определять мгновенные скорость и ускорение. Задачи на динамику материальной точки и поступательного движения твердого тела охватывают такие вопросы, как закон движения центра масс механической системы, закон сохранения количества движения, работа силы и ее выражение через криволинейный интеграл, связь кинетической энергии механической системы с работой сил, приложенных к этой системе, закон сохранения механической энергии.

В задачах на кинематику и динамику вращательного движения твердого тела внимание уделяется линейным и угловым характеристикам, моменту сил, моменту инерции тела, закону сохранения количества движения, момента количества движения и механической энергии.

В задачах на тему «Основы МКТ и термодинамика» внимание уделено таким вопросам программы, как уравнение Клапейрона – Менделеева, уравнение молекулярно-кинетической теории, средние кинетические энергии поступательного и вращательного движения молекул, средняя длина свободного пробега и среднее число столкновений молекул.

Задачи также охватывают такие важные понятия и соотношения, как первое начало термодинамики, внутренняя энергия, работа при различных изопроцессах. Включены вопросы второго начала термодинамики, энтропии идеального газа, вопросы о свойствах жидкости и капиллярных явлениях.

Она включает в себя задачи на определение напряженности и разности потенциалов электрического поля, расчет простейших электрических полей с помощью принципа суперпозиции, определение емкости и энергии поля конденсаторов, применение законов Джоуля-Ленца.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Радиус-вектор \vec{r} определяет положение материальной точки в пространстве. Он связан с координатами x , y , z соотношением

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k},$$

где \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} —единичные векторы координатных осей.

Кинематические уравнения поступательного движения материальной точки (центра масс твердого тела) в координатной форме имеют вид

$$x = f_1(t), \quad y = f_2(t), \quad z = f_3(t),$$

где $f_i(t)$ —некоторые функции времени.

Средняя скорость равна

$$\langle \bar{V} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t},$$

где $\Delta \vec{r}$ – вектор перемещения за интервал времени Δt .

Средняя путевая скорость равна

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

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

Мгновенная скорость определяется по формуле

$$\bar{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Среднее ускорение равно

$$\langle \bar{a} \rangle = \frac{\Delta \bar{V}}{\Delta t}.$$

Мгновенное ускорение равно

$$\bar{a} = \frac{d\bar{V}}{dt}.$$

При криволинейном движении ускорение можно представить, как сумму нормальной и тангенциальной составляющих:

$$\bar{a} = \bar{a}_n + \bar{a}_\tau.$$

Модули этих ускорений равны

$$a_n = \frac{V^2}{R}; a_\tau = \frac{dV}{dt}; a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}.$$

Кинематическое уравнение прямолинейного равноускоренного движения вдоль координатной оси x имеет вид

$$x = x_0 + V_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Кинематическое уравнение вращательного движения материальной точки:

$$\varphi = f(t),$$

где φ – угол поворота.

Модуль мгновенной угловой скорости равен

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

Модуль мгновенного углового ускорения равен

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

Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности, выражается уравнениями

$$V = \omega R; a_\tau = \varepsilon R; a_n = \omega^2 R,$$

где V – линейная скорость; a_τ и a_n – тангенциальное и нормальное ускорения; ω – угловая скорость; ε – угловое ускорение; R – радиус окружности.

Угол между полным ускорением \bar{a} и нормальным \bar{a}_n равен

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

Кинематическое уравнение равнопеременного вращения имеет вид

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}.$$

Импульс материальной точки массой m , движущейся поступательно со скоростью \bar{V} , равен

$$\bar{p} = m\bar{V}.$$

Второй закон Ньютона имеет вид

$$\frac{d\bar{p}}{dt} = \bar{F} \text{ или } m\bar{a} = \bar{F},$$

где \bar{F} – равнодействующая сил, действующих на точку.

Сила упругости равна

$$F_{уп} = -kx,$$

где k – коэффициент упругости; x – абсолютная деформация.

Сила гравитационного взаимодействия определяется формулой

$$F_{зп} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где γ – гравитационная постоянная; m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел; r – расстояние между телами (тела рассматриваются как материальные точки).

В случае гравитационного взаимодействия силу можно выразить также через напряженность \bar{G} гравитационного поля:

$$\bar{F} = m\bar{G}.$$

Сила тяжести равна

$$F_{тяж} = mg.$$

Сила трения (скольжения) равна

$$F = \mu N,$$

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

Закон сохранения импульса выражается формулой

$$\sum_{i=1}^N \bar{p}_i = const$$

или для двух тел ($i=2$):

$$m_1 \bar{V}_1 + m_2 \bar{V}_2 = m_1 \bar{U}_1 + m_2 \bar{U}_2,$$

где V_1 и V_2 – скорости тел в начальный момент времени;

U_1 и U_2 – скорости тел в конечный момент времени.

Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно, равна

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

Потенциальная энергия упругодеформированной пружины равна

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

где k – жесткость пружины; x – абсолютная деформация.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия равна

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

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

Потенциальная энергия тела, находящегося в однородном поле силы тяжести, равна

$$\Pi = mgh,$$

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

Закон сохранения механической энергии имеет вид

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

где E – полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы.

Механическая работа, совершаемая постоянной силой \vec{F} , равна

$$A = \vec{F} \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \alpha,$$

где $\Delta \vec{r}$ – вектор перемещения; α – угол между векторами силы и перемещения.

Работа переменной силы определяется формулой

$$A = \int_L \vec{F} d\vec{r}.$$

Работа A , совершаемая внешними силами, определяется как мера изменения полной механической энергии системы:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1.$$

Основное уравнение динамики вращательного движения имеет вид

$$\vec{M} = J \vec{\varepsilon},$$

где \vec{M} – результирующий момент внешних сил, действующих на тело; $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение; J – момент инерции тела.

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

а) стержня длины l относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец:

$$J = \frac{1}{12} ml^2,$$

Физика

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

$$J = mR^2,$$

где R – радиус обруча (цилиндра);

в) диска радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр:

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

г) однородного шара массой m и радиусом R :

$$J = \frac{2}{5} mR^2.$$

Момент импульса материальной точки относительно неподвижной точки O определяется формулой

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}],$$

где \vec{p} – вектор импульса материальной точки; \vec{r} – радиус-вектор, проведённый из точки O .

Момент импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси z , равен

$$L_z = J_z \omega,$$

где ω – угловая скорость тела.

Закон сохранения момента импульса системы тел, вращающихся вокруг неподвижной оси, имеет вид

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2,$$

где J_1 и ω_1 – момент инерции системы тел и угловая скорость вращения в начальный момент времени, а J_2 и ω_2 – момент инерции и угловая скорость в конечный момент времени.

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси, равна

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

Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения, равна

$$T = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2},$$

где V – скорость центра инерции тела.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

Количество вещества системы (в молях) равно

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

где N – число частиц системы; N_A – число Авогадро; m – масса; μ – молярная масса.

Если система представляет смесь нескольких газов, то количество вещества системы равно

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

где ν_i , N_i , m_i , μ_i – соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса i -й компоненты смеси.

Молярная масса вещества равна

$$\mu = \frac{m}{\nu}.$$

Молярная масса смеси газов вычисляется по формуле

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

где m_i – масса i -го компонента смеси; $\nu_i = m_i / \mu_i$ – количество вещества i -го компонента смеси; n – число компонентов смеси.

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

$$\omega_i = m_i / m,$$

где m – масса смеси.

Концентрация молекул (число частиц в единице объема) равна

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

где N – число частиц, содержащихся в данной системе; ρ – плотность вещества; N_A – постоянная Авогадро. Формула справедлива для любого агрегатного состояния вещества.

Уравнение Клапейрона–Менделеева (уравнение состояния идеального газа) имеет вид

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

где m – масса газа; μ – молярная масса газа; R – универсальная газовая постоянная; $\nu = m/\mu$ – количество вещества; T – термодинамическая температура.

Опытные законы идеального газа, являющиеся частными случаями уравнения Клапейрона—Менделеева для изопроцессов, имеют вид:

а) закон Бойля—Мариотта (изотермический процесс при $T = \text{const}$; $m = \text{const}$; $\mu = \text{const}$)

$$pV = \text{const}$$

или для двух состояний газа

$$p_1V_1 = p_2V_2,$$

где p_1 и V_1 — давление и объем газа в начальном состоянии; p_2 и V_2 — те же величины в конечном состоянии;

б) закон Гей-Люссака (изобарический процесс при $p = \text{const}$; $m = \text{const}$; $\mu = \text{const}$)

$$V/T = \text{const}$$

или для двух состояний

$$V_1/T_1 = V_2/T_2,$$

где V_1 и T_1 — объем и температура газа в начальном состоянии; V_2 и T_2 — те же величины в конечном состоянии;

в) закон Шарля (изохорический процесс при $V = \text{const}$; $m = \text{const}$; $\mu = \text{const}$)

$$p/T = \text{const}$$

или для двух состояний

$$p_1/T_1 = p_2/T_2,$$

где p_1 и T_1 — давление и температура газа в начальном состоянии; p_2 и T_2 — те же величины в конечном состоянии;

г) объединенный газовый закон (при $m = \text{const}$; $\mu = \text{const}$)

$$pV/T = \text{const}$$

или для двух состояний

$$p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2,$$

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

Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов, имеет вид

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

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

Основное уравнение кинетической теории газов имеет вид

Физика

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

где $\langle \omega_n \rangle$ — средняя кинетическая энергия поступательно-го движения молекулы идеального газа.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы равна

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

где k — постоянная Больцмана.

Средняя полная кинетическая энергия молекулы равна

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

где i — число степеней свободы молекулы.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры имеет вид

$$p = nkT.$$

Распределение Больцмана (распределение молекул газа, находящегося во внешнем силовом поле) имеет вид

$$n = n_0 e^{-U/kT},$$

где n — концентрация молекул газа; U — потенциальная энергия молекулы; n_0 — концентрация молекул в точках поля, где $U=0$; k — постоянная Больцмана; T — термодинамическая температура; e — основание натурального логарифма.

Распределение Максвелла молекул газа по скоростям теплового движения выражается соотношением

$$dN(V) = Nf(V)dV = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-mV^2/(2kT)} V^2 dV,$$

где $f(V)$ — функция Максвелла; N — общее число молекул; $dN(V)$ — число молекул, скорости которых лежат в интервале от V до $V+dV$; m — масса молекулы.

Скорости молекул определяются формулами:

$$а) \text{ средняя квадратичная } \langle V_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}};$$

б) средняя арифметическая $\langle V \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$;

в) наиболее вероятная $\langle V \rangle_s = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$,

где m_0 — масса одной молекулы.

Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме c_V и при постоянном давлении c_p равны:

$$c_V = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu}, \quad c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu}.$$

Связь между удельной c и молярной C теплоемкостями имеет вид

$$c = \frac{C}{\mu}.$$

Уравнение Майера имеет вид

$$C_p - C_V = R.$$

Внутренняя энергия идеального газа равна

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{\mu} C_V T.$$

Первое начало термодинамики в общем случае записывается в виде

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

где Q — количество теплоты, сообщенное системе; ΔU — изменение внутренней энергии системы; A — работа, совершенная системой против внешних сил.

Работа расширения газа равна

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV .$$

При изобарическом процессе работа газа равна

$$A = p(V_2 - V_1).$$

При изотермическом процессе работа газа определяется формулой

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

При адиабатическом процессе работа газа равна

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

где $\gamma = c_p / c_v$ — показатель адиабаты.

Уравнения Пуассона, связывающие начальные и конечные параметры идеального газа при адиабатическом процессе, имеют следующий вид:

$$pV^\gamma = \text{const}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1}; \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}.$$

Термический коэффициент полезного действия цикла определяется формулой

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

где Q_1 — теплота, полученная рабочим телом от нагревателя; Q_2 — теплота, переданная рабочим телом охладителю.

Термический коэффициент полезного действия цикла Карно равен

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

где T_1 и T_2 — термодинамические температуры нагревателя и охладителя соответственно.

Энтропия термодинамической системы может быть вычислена по формуле Больцмана:

$$S = k \cdot \ln W,$$

где S — энтропия; W — термодинамическая вероятность состояния системы; k — постоянная Больцмана.

Изменение энтропии равно:

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{dT},$$

где A и B — пределы интегрирования, соответствующие начальному и конечному состояниям системы.

Уравнение состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса) имеет вид

$$\left(p + \frac{v^2 a}{V^2} \right) (V - vb) = vRT,$$

где a и b – постоянные Ван-дер-Ваальса.

Коэффициент поверхностного натяжения жидкости равен

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

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

Формула Лапласа, выражающая давление p , создаваемое сферической поверхностью жидкости, имеет вид

$$p = 2\alpha / R,$$

где R – радиус сферической поверхности.

Высота подъема жидкости в капиллярной трубке определяется формулой

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

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

Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг другу плоскостями равна

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

где d – расстояние между плоскостями.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Закон Кулона имеет вид

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

где F – модуль силы взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2 ; r – расстояние между зарядами; ϵ – диэлектрическая прони-

цаемость вещества; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля определяется выражением

$$\vec{E} = \vec{F} / Q,$$

где \vec{F} – сила, действующая на точечный заряд Q , помещенный в данную точку поля.

Потенциал электростатического поля равен

$$\varphi = \Pi / Q,$$

где Π – потенциальная энергия точечного заряда Q , находящегося в данной точке поля.

Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда определяются из соотношений:

$$\vec{F} = Q\vec{E}, \quad \Pi = Q\varphi.$$

Принцип суперпозиции электрических полей: напряженность или потенциал поля, созданного системой точечных зарядов, равны сумме напряженностей или потенциалов полей каждого из зарядов, т.е.

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i, \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r},$$

где \vec{E}_i, φ_i – напряженность и потенциал в данной точке поля, созданного i -м зарядом.

Напряженность и потенциал поля, созданного точечным зарядом, определяются из соотношений:

$$E = \frac{|Q|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r},$$

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

Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиуса R , заряд которой Q , на расстоянии r от центра сферы, равны:

а) если $r < R$, то $E = 0$, $\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$;

б) если $r = R$, то $E = \frac{|Q|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2}$, $\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$;

Физика

в) если $r > R$, то $E = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$, $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$.

Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля имеет вид

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0\epsilon} \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где $\oint_S E_n dS$ – поток вектора напряженности электростатического поля сквозь замкнутую поверхность S ;

$\sum_{i=1}^n Q_i$ – сумма зарядов, охваченных данной поверхностью.

Линейная плотность заряда, равномерно распределённого вдоль прямой, равна

$$\sum_{i=1}^n Q_i / l,$$

где Q – заряд, находящийся на стержне длины l .

Поверхностная плотность заряда, равномерно распределённого по поверхности, равна

$$\sigma = \frac{Q}{S},$$

где Q – заряд, находящийся на поверхности площадью S .

Объёмная плотность заряда, равномерно распределённого по объёму, равна

$$\rho = \frac{Q}{V},$$

где Q – заряд, находящийся внутри объёма V .

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

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

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

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью, равна

Физика

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} .$$

Связь потенциала с напряженностью выражается уравнениями:

а) в общем случае $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$ или

$$\vec{E} = -\left(\vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z}\right);$$

б) в случае однородного поля $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$;

в) в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией,

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

Электрический момент диполя определяется формулой

$$\vec{p} = |Q|\vec{l} ,$$

где Q – заряд диполя, \vec{l} – плечо диполя, то есть вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному и численно равный расстоянию между зарядами .

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

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

Электрическая ёмкость определяется по формуле

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

где φ – потенциал уединённого проводника; U – разность потенциалов между пластинами конденсатора ; Q – заряд проводника или конденсатора.

Емкость уединенной проводящей сферы радиуса R равна

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

Емкость плоского конденсатора равна

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

где S – площадь пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами.

Емкость батареи конденсаторов определяется по формулам:

а) при последовательном соединении

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

б) при параллельном соединении

$$C = \sum_{i=1}^N C_i,$$

где N – число конденсаторов в батарее.

Энергия электрического поля заряженного конденсатора равна

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

Сила тока равна

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

где dq – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время dt .

Для постоянного тока: $I = \frac{Q}{t}$.

Плотность тока равна

$$j = \frac{dI}{dS},$$

где dI – сила тока через малый элемент поперечного сечения проводника, площадь которого равна dS .

Связь плотности тока со средней скоростью $\langle V \rangle$ упорядоченного движения заряженных частиц имеет вид

$$j = en\langle V \rangle,$$

где e – заряд частицы; n – концентрация заряженных частиц.

Сопротивление R и **проводимость** G проводника определяются по формулам:

Физика

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad G = \frac{1}{R} = \gamma \frac{S}{l},$$

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

Сопротивление системы проводников определяется по формулам:

а) при последовательном соединении $R = \sum_{i=1}^N R_i$;

б) при параллельном соединении $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$;

где R_i — сопротивление i -го проводника; N — число проводников.

Закон Ома имеет вид:

а) для однородного участка цепи, не содержащего ЭДС,

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ — разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи; R — сопротивление участка;

б) для неоднородного участка цепи, содержащего ЭДС,

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon}{R},$$

где ε — ЭДС источника тока; R — полное сопротивление участка, равное сумме внешних и внутренних сопротивлений;

в) для замкнутой (полной) цепи

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

где R — внешнее сопротивление цепи; r — внутреннее сопротивление источника.

Законы Кирхгофа состоят в следующем:

1) алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю, т. е. $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$;

2) в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжения на отдельных участках цепи равна алгебраической сумме ЭДС, встречающихся в контуре, т. е.

$$\sum I_i R_i = \sum \mathcal{E}_k .$$

На основании этих законов можно составить уравнения, необходимые для определения искомых величин (сил токов, сопротивлений и ЭДС). Применяя законы Кирхгофа, следует соблюдать следующие правила.

1. Перед составлением уравнений необходимо произвольно выбрать: а) направления токов (если они не заданы по условию задачи) и указать их стрелками на чертеже; б) направления обхода контуров.

2. При составлении уравнений по первому закону Кирхгофа считать токи, входящие в узел, положительными, а токи, выходящие из узла, отрицательными. Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов, содержащихся в цепи.

3. При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа надо считать, что:

а) падение напряжения на участке цепи входит в уравнение со знаком плюс, если направление тока на данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура, в противном случае падение напряжения входит в уравнение со знаком минус;

б) ЭДС входит в уравнение со знаком плюс, если она повышает потенциал в направлении обхода контура, т.е. если при обходе приходится идти от минуса к плюсу внутри источника тока, в противном случае ЭДС входит в уравнение со знаком минус.

Число независимых уравнений, которые могут быть составлены по второму закону Кирхгофа, должно быть меньше числа замкнутых контуров, имеющих в цепи. Для составления уравнений первый контур можно выбирать произвольно. Все последующие контуры следует выбирать таким образом, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна ветвь цепи, не участвовавшая ни в одном из ранее использованных контуров. Если при решении уравнений, составленных указанным выше способом, получены отрицательные значения силы тока или сопротивления, то это означает, что ток через данное сопротивление в действительности течет в направлении, противоположном произвольно выбранному.

Работа тока dA за малое время dt на однородном участке цепи равна

$$dA = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt = IU dt ,$$

Мощность тока равна

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

Закон Джоуля—Ленца имеет вид

$$dQ = I^2 R dt .$$

Закон Ома в дифференциальной форме записывается в виде

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

где γ – удельная проводимость; \vec{E} – напряженность электрического поля; \vec{j} – плотность тока.

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

$$\gamma = Qn(b^+ + b^-) ,$$

где Q – заряд иона; n – концентрация ионов; b^+ и b^- – подвижности положительных и отрицательных ионов.

Задачи для самостоятельного решения

1.1. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью $V_0 = 4$ м/с. Когда оно достигло верхней точки полета, из того же начального пункта с той же начальной скоростью V_0 вертикально вверх брошено второе тело. На каком расстоянии h от начального пункта встретятся тела? Сопротивление воздуха не учитывать.

1.2. Материальная точка движется прямолинейно с ускорением $a = 5$ м/с². Определить, на сколько путь, пройденный точкой в n -ю секунду, будет больше пути, пройденного в предыдущую секунду. Принять $V_0 = 0$.

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

1.4. Материальная точка движется по окружности с постоянной угловой скоростью $\omega = \pi/6$ рад/с. Во сколько раз путь ΔS , пройденный точкой за время $t = 4$ с, будет больше модуля ее перемещения Δr ? Принять, что в момент начала отсчета времени радиус-вектор r , задающий положение точки на окружности, относительно исходного положения был повернут на угол $\varphi_0 = \pi/3$ рад.

1.5. Материальная точка движется в плоскости xOy согласно уравнениям $x = A_1 + B_1t + C_1t^2$ и $y = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где $B_1 = 7$ м/с, $C_1 = -2$ м/с², $B_2 = -1$ м/с, $C_2 = 0,2$ м/с². Найти модули скорости и ускорения точки в момент времени $t = 5$ с.

1.6. Точка движется по окружности радиусом $R = 30$ см с постоянным угловым ускорением ε . Определить тангенциальное ускорение a_τ точки, если известно, что за время $t = 4$ с она совершила три оборота и в конце третьего оборота ее нормальное ускорение $a_n = 2,7$ м/с².

1.7. При горизонтальном полете со скоростью $V = 250$ м/с снаряд массой $m = 8$ кг разорвался на две части. Большая часть массой $m_1 = 6$ кг получила скорость $u_1 = 400$ м/с в направлении полета снаряда. Определить модуль и направление скорости u_2 меньшей части снаряда.

1.8. С тележки, свободно движущейся по горизонтальному пути со скоростью $V_1=2$ м/с в сторону, противоположную движению тележки, прыгает человек, после чего скорость тележки изменилась и стала равной $U_1= 4$ м/с. Определить горизонтальную составляющую скорости U_{2x} человека при прыжке относительно тележки. Масса тележки $m_1 = 210$ кг, масса человека $m_2 = 70$ кг.

1.9. Орудие, жестко закрепленное на железнодорожной платформе, производит выстрел вдоль полотна железной дороги под углом $\alpha = 30^\circ$ к линии горизонта. Определить скорость U_2 отката платформы, если снаряд вылетает со скоростью $U_1 = 480$ м/с. Масса платформы с орудием и снарядами $m_2 = 18t$, масса снаряда $m_1=60$ кг.

1.10. Конькобежец, стоя на коньках на льду, бросает камень массой

$m_1 = 2, 5$ кг под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью $V = 10$ м/с. Какова будет начальная скорость V_0 движения конькобежца, если его масса $m_2 = 60$ кг? Перемещением конькобежца во время броска пренебречь.

1.11. Снаряд, летевший со скоростью $V = 400$ м/с, в

верхней точке траектории разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 40 % от массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью $U_1 = 150$ м/с. Определить скорость U_2 большего осколка.

1.12. На сколько переместится относительно берега лодка длиной $L = 3,5$ м и массой $m_1 = 200$ кг, если стоящий на корме человек массой $m_2 = 80$ кг переместится на нос лодки? Считать лодку расположенной перпендикулярно берегу.

1.13. В деревянный шар массой $m_1 = 8$ кг, подвешенный на нити длиной $L = 1,8$ м, попадает горизонтально летящая пуля массой $m_2 = 4$ г. С какой скоростью летела пуля, если нить с шаром и застрявшей в нем пулей отклонилась от вертикали на угол $\alpha = 3^\circ$? Размером шара пренебречь. Удар пули считать прямым, центральным.

1.14. По небольшому куску мягкого железа, лежащему на наковальне массой $m_1 = 300$ кг, ударяет молот массой $m_2 = 8$ кг. Определить КПД η удара, если удар неупругий. Полезной считать энергию, затраченную на деформацию куска железа.

1.15. Шар массой $m_1 = 1$ кг движется со скоростью $V_1 = 4$ м/с и сталкивается с шаром массой $m_2 = 2$ кг, движущимся навстречу ему со скоростью $V_2 = 3$ м/с. Каковы скорости U_1 и U_2 шаров после удара? Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным

1.16. Шар массой $m_1 = 3$ кг движется со скоростью $V_1 = 2$ м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой $m_2 = 5$ кг. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

1.17. Определить КПД η неупругого удара бойка массой $m_1 = 0,5$ т, падающего на сваю массой $m_2 = 120$ кг. Полезной считать энергию, затраченную на вбивание сваи.

1.18. Из ствола автоматического пистолета вылетела пуля массой $m_1 = 10$ г со скоростью $V = 300$ м/с. Затвор пистолета массой $m_2 = 200$ г прижимается к стволу пружиной, жесткость которой $k = 25$ кН/м. На какое расстояние отойдет затвор после выстрела? Считать, что пистолет жестко закреплен.

1.19. Шар массой $m_1 = 2$ кг сталкивается с покоящимся шаром большей массы и при этом теряет 40 % кинетической энергии. Определить массу m_2 большего шара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

1.20. Определить работу растяжения двух соединенных последовательно пружин жесткостями $k_1 = 400$ Н/м и $k_2 = 250$ Н/м,

если первая пружина при этом растянулась на $\Delta l = 2$ см.

1.21. Из шахты глубиной $h = 600$ м поднимают клеть массой $m_1 = 3$ т на канате, каждый метр которого имеет массу $m = 1,5$ кг. Какая работа A совершается при поднятии клетки на поверхность Земли? Каков коэффициент полезного действия η подъемного устройства?

1.22. Две пружины жесткостью $k_1 = 0,5$ кН/м и $k_2 = 1$ кН/м скреплены параллельно. Определить потенциальную энергию P данной системы при абсолютной деформации $\Delta l = 4$ см.

1.23. Какую нужно совершить работу A , чтобы пружину жесткостью $k = 800$ Н/м, сжатую на $x = 6$ см, дополнительно сжать на $\Delta x = 8$ см?

1.24. Если на верхний конец вертикально расположенной спиральной пружины положить груз, то пружина сожмется на $\Delta l = 3$ мм. На сколько сожмет пружину тот же груз, упавший на конец пружины с высоты $h = 8$ см?

1.25. Из пружинного пистолета с пружиной жесткостью $k = 150$ Н/м был произведен выстрел пулей массой $m = 8$ г. Определить скорость V пули при вылете ее из пистолета, если пружина была сжата на $\Delta x = 4$ см.

1.26. Налетев на пружинный буфер, вагон массой $m = 16$ т, двигавшийся со скоростью $V = 0,6$ м/с, остановился, сжав пружину на $\Delta l = 8$ см. Найти общую жесткость k пружин буфера.

1.27. Шарик массой $m = 60$ г, привязанный к концу нити длиной $L_1 = 1,2$ м, вращается с частотой $n_1 = 2$ с⁻¹, опираясь на горизонтальную плоскость. Нить укорачивается, приближая шарик к оси до расстояния $L_2 = 0,6$ м. С какой частотой n_2 будет при этом вращаться шарик? Какую работу A совершает внешняя сила, укорачивая нить? Трением шарика о плоскость пренебречь.

1.28. По касательной к шкиву маховика в виде диска диаметром $D = 75$ см и массой $m = 40$ кг приложена сила $F = 1$ кН. Определить угловое ускорение ε и частоту вращения n маховика через время $t = 10$ с после начала действия силы, если радиус R шкива равен 12 см. Силой трения пренебречь.

1.29. На обод маховика диаметром $D = 60$ см намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 2$ кг. Определить момент инерции J маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время $t = 3$ с приобрел угловую скорость $\omega = 9$ рад/с.

1.30. Нить с привязанными к ее концам грузами массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 60$ г перекинута через блок диаметром $D = 4$ см.

Определить момент инерции J блока, если под действием силы тяжести грузов он получил угловое ускорение $\varepsilon = 1,5 \text{ рад/с}^2$. Трением и проскальзыванием нити по блоку пренебречь.

1.31. Определить момент силы M , который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой $n = 12 \text{ с}^{-1}$, чтобы он остановился в течение времени $\Delta t = 8 \text{ с}$. Диаметр блока $D = 30 \text{ см}$. Массу блока $m = 6 \text{ кг}$ считать равномерно распределенной по ободу.

1.32. Блок, имеющий форму диска массой $m = 0,4 \text{ кг}$, вращается под действием силы натяжения нити, к концам которой подвешены грузы массами $m_1 = 0,3 \text{ кг}$ и $m_2 = 0,7 \text{ кг}$. Определить силы натяжения T_1 и T_2 нити по обе стороны блока.

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

1.34. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руках стержень вертикально по оси скамьи. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 4 \text{ рад/с}$. С какой угловой скоростью ω_2 будет вращаться скамья с человеком, если повернуть стержень так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамьи $J = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Длина стержня $L = 1,8 \text{ м}$, масса $m = 6 \text{ кг}$. Считать, что центр масс стержня с человеком находится на оси платформы.

1.35. Платформа в виде диска диаметром $D = 3 \text{ м}$ и массой $m_1 = 180 \text{ кг}$ может вращаться вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью ω_1 будет вращаться эта платформа, если по ее краю пойдет человек массой $m_2 = 70 \text{ кг}$ со скоростью $V = 1,8 \text{ м/с}$ относительно платформы?

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

1.37. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руке за ось велосипедное колесо, вращающееся вокруг своей оси с угловой скоростью $\omega_1 = 25 \text{ рад/с}$. Ось колеса расположена верти-

кально и совпадает с осью скамьи Жуковского. С какой скоростью ω_2 станет вращаться скамья, если повернуть колесо вокруг горизонтальной оси на угол $\alpha = 90^\circ$? Момент инерции человека и скамьи J равен $2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, момент инерции колеса $J_0 = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

1.38. На краю платформы в виде диска, вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $n_1 = 8 \text{ мин}^{-1}$, стоит человек массой $m_1 = 70 \text{ кг}$. Когда человек перешел в центр платформы, она стала вращаться с частотой $n_2 = 10 \text{ мин}^{-1}$. Определить массу m_2 платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

1.39. Однородный стержень длиной $L = 1 \text{ м}$ может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. В другой конец абсолютно неупруго ударяет пуля массой $m = 7 \text{ г}$, летящая перпендикулярно стержню и его оси. Определить массу стержня, если в результате попадания пули он отклонился на угол 60° . Принять скорость пули $V = 360 \text{ м/с}$.

1.40. На краю неподвижной скамьи Жуковского диаметром $D = 0,8 \text{ м}$ и массой $m_1 = 6 \text{ кг}$ стоит человек массой $m_2 = 60 \text{ кг}$. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамья, если человек поймает летящий на него мяч массой $m = 0,5 \text{ кг}$? Траектория мяча горизонтальна и проходит на расстоянии $R = 0,4 \text{ м}$ от оси скамьи. Скорость мяча $V = 5 \text{ м/с}$.

1.41. Горизонтальная платформа массой $m_1 = 150 \text{ кг}$ вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, с частотой $n = 8 \text{ мин}^{-1}$. Человек массой $m_2 = 70 \text{ кг}$ стоит при этом на краю платформы. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу круглым, однородным диском, а человека - материальной точкой.

1.42. Однородный стержень длиной $L = 1 \text{ м}$ и массой $M = 0,7 \text{ кг}$ подвешен на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. В точку, отстоящую от оси на $2/3 L$, абсолютно упруго ударяет пуля массой $m = 5 \text{ г}$, летящая перпендикулярно стержню и его оси. После удара стержень отклонился на угол $\alpha = 60^\circ$. Определить скорость пули.

1.43. Определить напряженность G гравитационного поля на высоте $h = 1000 \text{ км}$ над поверхностью Земли. Считать известными ускорение g свободного падения у поверхности Земли и ее радиус R .

1.44. Какая работа A будет совершена силами гравитационного поля при падении на Землю тела массой $m = 2 \text{ кг}$: 1)

с высоты $h = 1000$ км;

2) из бесконечности?

1.45. Из бесконечности на поверхность Земли падает метеорит массой $m=30$ кг. Определить работу A , которая при этом будет совершена силами гравитационного поля Земли. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R считать известными.

1.46. По круговой орбите вокруг Земли обращается спутник с периодом $T=90$ мин. Определить высоту спутника. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R считать известными.

1.47. На каком расстоянии от центра Земли находится точка, в которой напряженность суммарного гравитационного поля Земли и Луны равна нулю? Принять, что масса Земли в 81 раз больше массы Луны и что расстояние от центра Земли до центра Луны равно 60 радиусам Земли.

1.48. Спутник обращается вокруг Земли по круговой орбите на высоте $h = 520$ км. Определить период обращения спутника. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R считать известными.

1.49. Определить линейную и угловую скорости спутника Земли, обращающегося по круговой орбите на высоте $h=1000$ км. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R считать известными .

1.50. Во сколько раз средняя плотность земного вещества отличается от средней плотности лунного? Принять, что радиус R_3 Земли в 3,7 раз больше радиуса R_1 Луны и вес тела на Луне в 6 раз меньше веса тела на Земле.

1.51. Баллон объемом $V=20$ л заполнен азотом. Температура T азота равна 400 К. Когда часть азота израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p = 200$ кПа. Определить массу m израсходованного азота. Процесс считать изотермическим.

1.52. В баллоне объемом $V=15$ л находится аргон под давлением $p_1=600$ кПа и температуре $T_1 = 300$ К. Когда из баллона было взято некоторое количество аргона, давление в баллоне понизилось до $p_2=400$ кПа, а температура установилась $T_2=260$ К. Определить массу m аргона, взятого из баллона.

1.53. Два сосуда одинакового объема содержат кислород. В одном сосуде давление $p_1=2$ МПа и температура $T_1 = 800$ К, в другом $p_2=2,5$ МПа, $T_2=200$ К. Сосуды соединили трубкой и

охладили находящийся в них кислород до температуры $T=200$ К. Определить установившееся в сосудах давление p .

1.54. Вычислить плотность ρ азота, находящегося в баллоне под давлением $p=2$ МПа при температуре $T=400$ К.

1.55. Определить относительную молекулярную массу M_r газа, если при температуре $T=154$ К и давлении $p=2,8$ МПа он имеет плотность $\rho=6,1$ кг/м³.

1.56. В сосуде объемом $V=40$ л находится кислород. Температура кислорода $T=300$ К. Когда часть кислорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p=100$ кПа. Определить массу m израсходованного кислорода, если температура газа в баллоне осталась прежней.

1.57. Количество вещества ν водорода равно 0,5 моль. Определить внутреннюю энергию U водорода, а также среднюю кинетическую энергию $\langle W \rangle$ молекулы этого газа при температуре $T=300$ К.

1.58. Один баллон объемом $V_1=10$ л содержит кислород под давлением $p_1=1,5$ МПа, другой баллон – $V_2=22$ л содержит азот под давлением $p_2=0,6$ МПа. Оба баллона были соединены между собой и оба газа смешались, образовав однородную смесь (без изменения температуры). Найти парциальные давления p_1 и p_2 обоих газов в смеси и полное давление p смеси.

1.59. Смесь водорода и азота общей массой $m=290$ г при температуре $T=600$ К и давлении $p=2,46$ МПа занимает объем $V=30$ л. Определить массу m_1 водорода и массу m_2 азота.

1.60. В баллоне объемом $V=22,4$ л находится водород при нормальных условиях. После того как в баллон было дополнительно введено некоторое количество гелия, давление в баллоне возросло до $p=0,25$ МПа, а температура не изменилась. Определить массу m гелия, введенного в баллон.

1.61. Смесь состоит из водорода с массовой долей $\omega_1=1/9$ и кислорода с массовой долей $\omega_2=8/9$. Найти плотность ρ такой смеси газов при температуре $T=300$ К и давлении $p=0,2$ МПа.

1.62. Смесь кислорода и азота находится в сосуде под давлением $p=1,2$ МПа. Определить парциальные давления p_1 и p_2 газов, если массовая доля ω кислорода в смеси равна 20 %.

1.63. В сосуде объемом $V=10$ л при температуре $T=450$ К

находится смесь азота массой $m_1=5$ г и водорода массой $m_2=2$ г. Определить давление p смеси.

1.64. Смесь азота с массовой долей $\omega_1=87,5\%$ и водорода с массовой долей $\omega_2=12,5\%$ находится в сосуде объемом $V=20$ л при температуре $T=560$ К. Определить давление p смеси, если масса m смеси равна 8 г.

1.65. Определить суммарную кинетическую энергию E_k поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом $V=3$ л под давлением $p=540$ кПа.

1.66. Количество вещества гелия $\nu=1,5$ моль, температура $T=120$ К. Определить суммарную кинетическую энергию E_k поступательного движения всех молекул этого газа.

1.67. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle W \rangle$ одной молекулы водяного пара при температуре $T=500$ К.

1.68. Определить среднюю квадратичную скорость $V_{кв}$ молекулы газа, заключенного в сосуде объемом $V=2$ л под давлением $p=200$ кПа. Масса газа $m=0,3$ г.

1.69. Водород находится при температуре $T=300$ К. Найти среднюю кинетическую энергию $\langle W_{вр} \rangle$ вращательного движения одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию E_k всех молекул этого газа, если количество вещества водорода $\nu=0,5$ моль.

1.70. При какой температуре средняя кинетическая энергия $\langle W_{ном} \rangle$ поступательного движения молекулы газа равна $4,14 \cdot 10^{-21}$ Дж?

1.71. В азоте взвешены мельчайшие пылинки, которые движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Масса m каждой пылинки равна $6 \cdot 10^{-10}$ г. Газ находится при температуре $T=400$ К. Определить средние квадратичные скорости $V_{кв}$, а также средние кинетические энергии поступательного движения $\langle W_{ном} \rangle$ молекулы азота и пылинки.

1.72. Определить показатель адиабаты γ идеального газа, который при температуре $T=350$ К и давлении $p=0,4$ МПа занимает объем $V=300$ л и имеет теплоемкость $C_v=857$ Дж/К.

1.73. Определить относительную молекулярную массу M_r и молярную массу μ газа, если разность его удельных теплоемко-

стей $c_p - c_v = 2,08$ кДж/(кг·К).

1.74. В сосуде объемом $V=6$ л находится при нормальных условиях двухатомный газ. Определить теплоемкость C_V этого газа при постоянном объеме.

1.75. Определить молярные теплоемкости газа, если его удельные теплоемкости $c_v=10,4$ кДж/(кг·К) и $c_p=14,6$ кДж/(кг·К).

1.76. Найти удельные c_v и c_p и молярные C_V и C_p теплоемкости азота и гелия.

1.77. Вычислить удельные теплоемкости газа, зная, что его молярная масса $\mu=4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль и отношение теплоемкостей $C_p/C_V=1,67$.

1.78. Трехатомный газ под давлением $p=240$ кПа и температуре $t=20$ °С занимает объем $V=10$ л. Определить теплоемкость C_p этого газа при постоянном давлении.

1.79. Одноатомный газ при нормальных условиях занимает объем $V=5$ л. Вычислить теплоемкость C_V этого газа при постоянном объеме.

1.80. Определить удельные теплоемкости c_v и c_p водорода, в котором половина молекул распалась на атомы.

1.81. В сосуде находится смесь двух газов – кислорода массой $m_1=6$ г и азота массой $m_2=3$ г. Определить удельные теплоемкости c_v и c_p такой смеси.

1.82. Смесь двух газов состоит из гелия массой $m_1=5$ г и водорода массой $m_2=2$ г. Найти отношение теплоемкостей C_V этой смеси.

1.83. Найти молярные теплоемкости C_V и C_p смеси кислорода массой $m_1=2,5$ г и азота массой $m_2=1$ г.

1.84. Относительная молекулярная масса газа $M_r=30$, показатель адиабаты $\gamma=1,40$. Вычислить удельные теплоемкости c_v и c_p этого газа.

1.85. Какая часть молекул двухатомного газа распалась на атомы, если показатель адиабаты γ образовавшейся смеси равен

1,5?

1.86. Найти среднее число столкновений $\langle Z \rangle$ в единицу времени и длину свободного пробега $\langle L \rangle$ молекулы гелия, если газ находится под давлением $p=2$ кПа при температуре $T=200$ К.

1.87. Водород находится под давлением $p=20$ кПа и имеет температуру $T=300$ К. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle L \rangle$ молекулы такого газа.

1.88. При нормальных условиях длина свободного пробега $\langle L \rangle$ молекулы водорода равна $0,112$ нм. Определить эффективный диаметр d молекулы водорода.

1.89. Какова средняя арифметическая скорость $\langle V \rangle$ молекул кислорода при нормальных условиях, если известно, что средняя длина свободного пробега $\langle L \rangle$ молекулы при этих условиях равна 100 нм.

1.90. Кислород находится под давлением $p=133$ кПа при температуре $T=200$ К. Вычислить среднее число столкновений $\langle Z \rangle$ в единицу времени молекулы кислорода при этих условиях.

1.91. Кислород массой $m=200$ г занимает объем $V_1=100$ л и находится под давлением $p_1=200$ кПа. При нагревании газ расширился при постоянном давлении до объема $V_2=300$ л, а затем его давление возросло до $p_3=500$ кПа при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии ΔU газа, совершенную им работу A и теплоту Q , переданную газу. Построить график процесса.

1.92. Объем водорода при изотермическом расширении увеличился в $n=3$ раза. Определить работу A , совершенную газом, и теплоту Q , полученную им при этом. Масса m водорода равна 200 г.

1.93. Водород массой $m=40$ г, имевший температуру $T=300$ К, адиабатически расширился, увеличив объем в $n_1=3$ раза. Затем при изотермическом сжатии объем газа уменьшился в $n_2=2$ раза. Определить полную работу A , совершенную газом, и конечную температуру T газа.

1.94. Азот массой $m=0,1$ кг был изобарически нагрет от температуры $T_1=200$ К до температуры $T_2=400$ К. Определить работу A , совершенную газом, полученную им теплоту Q и изменение ΔU внутренней энергии азота.

1.95. Кислород массой $m=250$ г, имевший температуру T_1

$=200$ К, был адиабатически сжат. При этом была совершена работа $A=25$ кДж. Определить конечную температуру T газа.

1.96. Во сколько раз увеличится объем водорода, содержащий количество вещества $\nu=0,4$ моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит теплоту $Q=800$ Дж? Температура водорода $T=300$ К.

1.97. В баллоне при температуре $T_1=145$ К и давлении $P_1=2$ МПа находится кислород. Определить температуру T_2 и давление p_2 кислорода после того, как из баллона будет очень быстро выпущена половина газа.

1.98. Определить работу A_2 изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого $\eta=0,4$, если работа изотермического расширения равна $A_1=8$ Дж.

1.99. Газ, совершающий цикл Карно, отдал охладителю теплоту $Q_2=14$ кДж. Определить температуру T_1 нагревателя, если при температуре охладителя $T_2=280$ К работа цикла $A=6$ кДж.

1.100. Газ, являясь рабочим веществом в цикле Карно, получил от нагревателя теплоту $Q_1=4,38$ кДж и совершил работу $A=2,4$ кДж. Определить температуру нагревателя, если температура охладителя $T_2=273$ К.

1.101. Газ, совершающий цикл Карно, отдал охладителю 67 % теплоты, полученной от нагревателя. Определить температуру T_2 охладителя, если температура нагревателя $T_1=430$ К.

1.102. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия η цикла Карно при повышении температуры нагревателя от $T_1=380$ К до $T_1=560$ К? Температура охладителя $T_2=280$ К.

1.103. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Температура нагревателя T_1 равна 500 К, температура охладителя $T_2=250$ К. Определить термический КПД η цикла, а также работу A_1 , совершенную рабочим веществом при изотермическом расширении, если при изотермическом сжатии совершена работа $A_2=70$ Дж.

1.104. Газ, совершающий цикл Карно, получает теплоту $Q_1=84$ кДж. Какую работу A совершает газ, если температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 охладителя?

1.105. Совершая цикл Карно, газ получил от нагревателя теплоту $Q_1=500$ Дж и совершил работу $A=100$ Дж. Температура нагревателя $T_1=400$ К. Определить температуру T_2 охладителя.

1.106. Какую работу A надо совершить при выдувании мыльного пузыря, чтобы увеличить его объем от $V_1=8$ см³ до $V_2=16$ см³? Считать процесс изотермическим.

1.107. Какая энергия E выделится при слиянии двух капель ртути диаметром $d_1=0,8$ мм и $d_2=1,2$ мм в одну каплю?

1.108. Пространство между двумя стеклянными параллельными пластинками с площадью поверхности $S=100$ см² каждая, расположенными на расстоянии $L=20$ мкм друг от друга, заполнено водой. Определить силу F , прижимающую пластинки друг к другу. Считать мениск вогнутым с диаметром d , равным расстоянию между пластинками.

1.109. Глицерин поднялся в капиллярной трубке диаметром канала $d=1$ мм на высоту $h=20$ мм. Определить коэффициент поверхностного натяжения σ глицерина. Считать смачивание полным.

1.110. \cup -образный сосуд состоит из сообщающихся широкой и узкой трубок. При наливание в сосуд воды между ее уровнями в узкой и широкой трубках устанавливается разность $h=8,0$ см. Внутренний радиус широкой трубки $r_1=5,00$ мм. Считая смачивание полным, найти радиус узкой трубки r_2 .

1.111. Точечные заряды $Q_1=20$ мкКл и $Q_2=-10$ мкКл находятся на расстоянии $d=5$ см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на $r_1=3$ см от первого и $r_2=4$ см от второго заряда. Определить также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $Q=1$ мкКл.

1.112. Три одинаковых точечных заряда $Q_1=Q_2=Q_3=2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a=10$ см. Определить по величине и направлению силу F , действующую на один из зарядов со стороны двух других.

1.113. Два положительных точечных заряда Q и $9Q$ закреплены на расстоянии $d=100$ см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить

третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещение заряда возможно только вдоль прямой, проходящей через закрепленные заряды.

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

1.115. Четыре одинаковых заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 40$ нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найти силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

1.116. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 8 \cdot 10^{-10}$ Кл. Какой отрицательный заряд Q нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

1.117. На расстоянии $d = 20$ см находятся два точечных заряда $Q_1 = -50$ нКл и $Q_2 = 100$ нКл. Определить силу F , действующую на заряд $Q_3 = -10$ нКл, удаленный от обоих зарядов на одинаковое расстояние, равное d .

1.118. Расстояние l между двумя точечными зарядами $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = 4$ нКл равно 60 см. Определить точку, в которую нужно поместить третий заряд Q_3 так, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Определить величину и знак заряда. Устойчивое или неустойчивое будет равновесие?

1.119. На тонком кольце равномерно распределен заряд с линейной плотностью заряда $\tau = 0,2$ нКл/см. Радиус кольца $R = 15$ см. На перпендикуляре к плоскости кольца, восставленном из его середины, находится точечный заряд $Q = 10$ нКл. Определить силу F , действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на: 1) $a_1 = 20$ см; 2) $a_2 = 10$ м.

1.120. По тонкой нити, изогнутой по дуге окружности радиуса $R = 10$ см, равномерно распределен заряд $Q = 20$ нКл. Определить напряженность E поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кривизны дуги, если длина нити равна четверти длины окружности.

1.121. Определить напряженность E поля, создаваемого зарядом, равномерно распределенным по тонкому прямому стержню с линейной плотностью заряда $\tau = 200$ нКл/м, в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от ближайшего конца. Длина стержня $l = 40$ см.

1.122. На продолжении оси тонкого прямого стержня, равномерно заряженного с линейной плотностью заряда $\tau = 15$ нКл/см, на расстоянии $a = 40$ см от конца стержня находится точечный заряд $Q = 10$ мкКл. Второй конец стержня уходит в бесконечность. Определить силу, действующую на заряд Q .

1.123. По тонкому кольцу радиусом $R = 10$ см равномерно распределен заряд $Q_1 = 20$ нКл. Какова напряженность E поля в точке, находящейся на оси кольца на расстоянии $a = 20$ см от центра кольца?

1.124. Два длинных тонких равномерно заряженных с линейной плотностью заряда $\tau = 1$ мкКл/м стержня расположены перпендикулярно друг другу так, что точка пересечения их осей находится на расстоянии $a = 10$ см и $b = 15$ см от ближайших концов стержней. Найти силу F , действующую на заряд $Q = 10$ нКл, помещенный в точку пересечения осей стержней.

1.125. Тонкое полукольцо радиусом $R = 20$ см несет равномерно распределенный заряд $Q_1 = 2$ мкКл. Определить силу F , действующую на точечный заряд $Q_2 = 40$ нКл, расположенный в центре кривизны полукольца.

1.126. Определить напряженность E поля, создаваемого тонким длинным стержнем, равномерно заряженным с линейной плотностью $\tau = 20$ мкКл/м в точке, находящейся на расстоянии $a = 2$ см от стержня, вблизи его середины.

1.127. Параллельно бесконечной плоскости, заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4$ мкКл/м², расположена бесконечно длинная прямая нить, заряженная с линейной плотностью $\tau = 100$ нКл/м. Определить силу F , действующую со стороны плоскости на отрезок нити длиной $l = 1$ м.

1.128. Две круглые одинаковые пластины площадью $S = 400$ см² каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины $Q_1 = 400$ нКл, другой $Q_2 = -200$ нКл. Определить силу F взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними: а) $r_1 = 3$ мм; б) $r_2 = 10$ м.

1.129. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d = 20$ см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 4$ мкКл/м². Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на $a = 15$ см.

1.130. С какой силой на единицу площади взаимодействуют две бесконечные параллельные плоскости, заряженные с одинаковой поверхностной плотностью $\sigma = 5 \text{ мкКл/м}^2$?

1.131. Две длинные прямые параллельные нити находятся на расстоянии $d = 5 \text{ см}$ друг от друга. На нитях равномерно распределены заряды с линейными плотностями $\tau_1 = -5 \text{ нКл/см}$ и $\tau_2 = 10 \text{ нКл/см}$. Определить напряженность E электрического поля в точке, удаленной от первой нити на расстояние $r_1 = 3 \text{ см}$ и от второй – на расстояние $r_2 = 4 \text{ см}$.

1.132. К бесконечной равномерно заряженной вертикальной плоскости подвешен на нити одноименно заряженный шарик массой $m = 50 \text{ мг}$ и зарядом $Q = 0,6 \text{ нКл}$. Натяжение нити, на которой висит шарик, равно $F = 0,7 \text{ мН}$. Найти поверхностную плотность σ заряда на плоскости.

1.133. С какой силой (на единицу длины) взаимодействуют две заряженные бесконечно длинные параллельные нити с одинаковой линейной плотностью заряда $\tau = 20 \text{ мкКл/м}$, находящиеся на расстоянии $r = 10 \text{ см}$ друг от друга?

1.134. Поверхностная плотность заряда σ бесконечно протяженной вертикальной плоскости равна 400 мкКл/м^2 . К плоскости на нити подвешен заряженный шарик массой $m = 10 \text{ г}$. Определить заряд Q шарика, если нить образует с плоскостью угол $\alpha = 30^\circ$.

1.135. Определить потенциальную энергию W_n системы двух точечных зарядов $Q_1 = 400 \text{ нКл}$ и $Q_2 = 20 \text{ нКл}$, находящихся на расстоянии $r = 5 \text{ см}$ друг от друга.

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

1.137. Поле образовано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 40 \text{ нКл/м}^2$. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от плоскости на $r_1 = 15 \text{ см}$ и $r_2 = 20 \text{ см}$.

1.138. Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала $\varphi = 10 \text{ В}$, сливаются в одну. Каков потенциал φ_1 образовавшейся капли?

1.139. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R = 10 \text{ см}$. Он равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 800 \text{ нКл/м}$. Определить потенциал φ в точке, расположенной на оси

кольца на расстоянии $h = 10$ см от его центра.

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

1.141. Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\tau = 200$ пКл/м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1 = 8$ см и $r_2 = 12$ см.

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

1.143. Пылинка массой $m = 20$ мкг, несущая на себе заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U = 200$ В пылинка имела скорость $V = 10$ м/с. Определить скорость V_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

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

1.145. Найти отношение скоростей ионов Cu^{++} и K^+ , прошедших одинаковую разность потенциалов. Начальная скорость равна нулю.

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

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

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

1.149. Ион атома лития Li^+ прошел разность потенциалов $U_1 = 400$ В, ион атома натрия Na^+ - разность потенциалов $U_2 = 300$ В. Найти отношение скоростей этих ионов.

1.150. При бомбардировке неподвижного ядра калия

α -частицей сила отталкивания между ними достигла $F=100$ Н. На какое наименьшее расстояние приблизилась α -частица к ядру атома калия? Какую скорость V имела α -частица вдали от ядра? Влиянием электронной оболочки атома калия пренебречь.

1.151. Расстояние между пластинами плоского конденсатора $d=2$ мм, разность потенциалов $U=600$ В. Заряд каждой пластины $Q=40$ нКл. Определить энергию W поля конденсатора и силу F взаимного притяжения пластин.

1.152. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора, емкостью $C=100$ пФ каждый, соединены в батарею последовательно. Определить, на сколько изменится емкость батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином.

1.153. Два конденсатора емкостью $C_1=5$ мкФ и $C_2=8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $\mathcal{E}=80$ В. Определить заряды Q_1 и Q_2 каждого из конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

1.154. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом $R=10$ см каждая. Расстояние между пластинами $d=2$ мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения $U=60$ В. Определить заряд Q и напряженность E поля конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик – воздух; б) диэлектрик – стекло.

1.155. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно в батарею, которая подключена к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}=12$ В. Определить, на сколько изменится напряжение на одном из конденсаторов, если другой погрузить в трансформаторное масло.

1.156. Два металлических шарика радиусами $R_1=5$ см и $R_2=10$ см имеют: первый – заряд $Q_1=40$ нКл, второй – заряд $Q_2=-20$ нКл. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

1.157. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков: стекла толщиной $d_1=0,2$ см и слоем парафина толщиной $d_2=0,3$ см. Разность потенциалов между обкладками $U=300$ В. Определить напряженность поля и падение потенциала в каждом из слоев.

1.58. Плоский конденсатор с площадью пластин $S=200$ см² каждая заряжен до разности потенциалов $U=2$ кВ. Расстояние между пластинами $d=2$ см. Диэлектрик – стекло. Определить энергию W поля конденсатора и объемную плотность w энергии поля.

1.159. Катушка и амперметр соединены последовательно и

присоединены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4$ кОм. Амперметр показывает силу тока $I = 0,3$ А, вольтметр – напряжение $U = 120$ В. Определить сопротивление катушки. Сколько процентов составит ошибка, если при определении сопротивления катушки не будет учтено сопротивление вольтметра?

1.160. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 80$ В, внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определить силу тока I в цепи, напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление R .

1.161. От батареи, ЭДС которой $\mathcal{E} = 600$ В, требуется передать энергию на расстояние $l = 1$ км. Потребляемая мощность $P = 5$ кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводных проводов $d = 0,5$ см.

1.162. Определить число электронов, проходящих в секунду через единицу площади поперечного сечения железной проволоки длиной $l = 20$ м при напряжении на ее концах $U = 16$ В.

1.163. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{\max} = 10$ А. Определить максимальную мощность P_{\max} , которая может выделяться во внешней цепи.

1.164. При внешнем сопротивлении $r_1 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,8$ А, при сопротивлении $r_2 = 15$ Ом сила тока $I_2 = 0,5$ А. Определить силу тока $I_{\text{кз}}$ короткого замыкания источника ЭДС.

1.1665. В сеть с напряжением $U = 100$ В включили катушку с сопротивлением $r = 2$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определить сопротивление другой катушки.

1.166. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 12$ В. При силе тока $I = 4$ А КПД батареи $\eta = 0,6$. Определить внутреннее сопротивление r батареи.

1.167. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение времени $t = 20$ с. За это время в проводнике выделилась теплота $Q = 4$ кДж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его $r = 5$ Ом.

1.168. Сила тока в проводнике меняется со временем по закону $I = I_0 e^{-\alpha t}$, Начальная сила тока $I_0 = 20$ А, $\alpha = 10^2 \text{ с}^{-1}$. Определить теплоту, выделившуюся в проводнике за время $t = 10^{-2} \text{ с}$, если его сопротивление равно $R = 1000$ Ом.

1.169. Ток в проводнике сопротивлением $r = 10$ Ом за время

$t=50$ с равномерно нарастает от $I_1=5$ А до $I_2=10$ А. Определить теплоту Q , выделившуюся за это время в проводнике.

1.170. В проводнике за время $t=10$ с при равномерном возрастании тока от $I_1=1$ А до $I_2=2$ А выделилась теплота $Q=5$ кДж. Найти сопротивление r проводника.

1.171. Сила тока в проводнике меняется со временем по закону $I = I_0 \sin \omega t$. Найти заряд Q , протекающий через поперечное сечение проводника за половину периода T , если начальная сила тока $I_0=10$ А, циклическая частота $\omega = 50\pi$ с⁻¹.

1.172. Ток в проводнике сопротивлением $r=25$ Ом за время $t=10$ с равномерно возрастает от нуля до некоторого максимума. За это время в проводнике выделилась теплота $Q=40$ кДж. Определить среднее значение силы тока $\langle I \rangle$ в проводнике за этот промежуток времени.

1.173. По проводнику сопротивлением $r=8$ Ом течет равномерно возрастающий ток. За время $t=8$ с в проводнике выделилась теплота $Q=500$ Дж. Определить заряд q , протекающий за это время по проводнику. В момент времени, принятый за начальный, ток в проводнике был равен нулю.

1.174. Сила тока в проводнике сопротивлением $r=10$ Ом равномерно убывает от значения $I_1=10$ А до $I_2=0$ в течение времени $t=10$ с. Определить теплоту Q , выделившуюся в этом проводнике за указанный промежуток времени.

1.175. Прибор с сопротивлением $r=6$ Ом подключен к двум параллельно соединенным источникам тока с ЭДС $\mathcal{E}_1=2,2$ В и $\mathcal{E}_2=2,4$ В и внутренним сопротивлением $r_1=0,8$ Ом и $r_2=0,2$ Ом. Определить силу тока в этом приборе и напряжение на зажимах второго источника тока.

1.176. Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E}=12$ В заряжается от сети постоянного тока с напряжением $U=15$ В. Определить напряжение на клеммах аккумулятора, если его внутреннее сопротивление $R_i=10$ Ом.

1.177. От источника с напряжением $U=800$ В необходимо передать потребителю мощность $P=10$ кВт на некоторое расстояние. Какое наибольшее сопротивление может иметь линия передачи, чтобы потери энергии в ней не превышали 10 % от передаваемой мощности?

1.178. При включении электромотора в сеть с напряжением $U=220$ В он потребляет ток $I=5$ А. Определить мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление R обмотки мотора равно 6 Ом.

1.179. Конденсатор емкости $C = 300$ пФ подключается через сопротивление $R = 500$ Ом к источнику постоянного напряжения U_0 . Определить время t , по истечении которого напряжение на конденсаторе будет равно $U = 0,990 U_0$.

1.180. Имеется $N = 24$ одинаковых источников тока с ЭДС $\mathcal{E} = 1$ В и внутренним сопротивлением $R_0 = 0,2$ Ом. Эти источники соединены так, что образуют батарею из n последовательных секций, каждая из которых состоит из N/n соединенных параллельно источников. К батарее подключен прибор, обладающий сопротивлением $R = 0,3$ Ом. При каком n мощность P , отбираемая прибором, будет максимальной? Чему равно максимальное значение P ?

1.181. Бумажный конденсатор (т.е. конденсатор, в котором диэлектриком служит пропитанная вазелином бумага; $\varepsilon = 2,10$) теряет за время $\tau = 5$ мин половину сообщенного ему заряда. Предполагая, что утечка заряда происходит только через диэлектрическую прокладку, вычислить ее удельное сопротивление ρ .

1.182. Зазор между обкладками плоского конденсатора заполнен веществом с проницаемостью $\varepsilon = 7$ и удельным сопротивлением $\rho = 100$ ГОм·м. Емкость конденсатора $C = 3000$ пФ. Найти силу I тока утечки через конденсатор при подаче на него напряжения $U = 2000$ В.

1.183. Объем газа, заключенного между электродами ионизационной камеры, $V = 0,8$ л. Газ ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока насыщения $I_{\text{нас}} = 6$ нА. Сколько пар ионов образуется за время $t = 1$ с в объеме $V_1 = 1$ см³ газа? Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

1.184. На расстоянии $d = 1$ см друг от друга расположены две пластины площадью $S = 400$ см² каждая. Водород между пластинами ионизируют рентгеновскими лучами. При напряжении $U = 100$ В между пластинами идет далекий от насыщения ток силой $I = 2$ мкА. Определить концентрацию n ионов одного знака между пластинами. Заряд каждого иона считать равным элементарному заряду.

1.185. Посередине между электродами ионизационной камеры пролетела α -частица, двигаясь параллельно электродам, и образовала на своем пути цепочку ионов. Спустя какое время Δt после пролета α -частицы ионы дойдут до электродов, если расстояние между электродами $d = 2$ см, разность потенциалов $U = 6$ кВ и подвижность ионов b обоих знаков в среднем равна $1,5$ см²/

(В·с)?

1.186. Найти сопротивление трубки длиной $l=0,5$ м и площадью поперечного сечения $S=5$ мм², если она наполнена азотом, ионизованным так, что в объеме $V=1$ см³ его находится при равновесии $n=10^8$ пар ионов. Ионы однозарядны.

1.187. К электродам разрядной трубки, содержащей водород, приложена разность потенциалов $U=10$ В. Расстояние между электродами равно 25 см. Ионизатор создает в объеме $V=1$ см³ водорода $n=10^7$ пар ионов в секунду. Найти плотность тока j в трубке. Определить также, какая часть силы тока создается движением положительных ионов.

1.188. Воздух ионизируется рентгеновскими лучами. Определить удельную проводимость σ воздуха, если в объеме $V=1$ см³ газа находится в условиях равновесия $n=10^8$ пар ионов.

1.189. Азот между плоскими электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока, текущего через камеру, $I=1,5$ мкА. Площадь каждого электрода – $S=200$ см², расстояние между ними – $d=1,5$ см, разность потенциалов – $U=150$ В. Определить концентрацию n ионов между пластинами, если ток далек от насыщения. Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

1.190. Газ, заключенный в ионизационной камере между плоскими пластинами, облучается рентгеновскими лучами. Определить плотность тока насыщения $j_{нас}$, если ионизатор образует в объеме $V=1$ см³ газа $n=5 \cdot 10^8$ пар ионов в секунду. Принять, что каждый ион несет на себе элементарный заряд. Расстояние между пластинами камеры $d=2$ см.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Контрольная работа представлена набором таких задач, которые помогут студенту проверить свои знания по разделам «Электромагнетизм», «Оптика», «Элементы атомной и ядерной физики».

Включены задачи на применение закона Био-Савара-Лапласа для расчета магнитной индукции (или напряженности) магнитного поля, создаваемого проводниками с током различной конфигурации, применение принципа суперпозиции при

определении индукции или напряженности простейших полей, определение траектории движения заряженной частицы, ее удельного заряда и силы, действующей на движущуюся частицу в магнитной поле, вычисление работы, совершаемой силами как при движении прямолинейного проводника с током, так и при вращении контура с током различной конфигурации в магнитном поле, нахождение намагниченности, энергии и объемной плотности энергии магнитного поля соленоида и тороида.

Задачи по теме «Интерференция света» включают расчет интерференционной картины от двух когерентных источников, интерференцию в тонких пленках, полосы равной толщины и равного наклона.

Тема «Дифракция света» представлена задачами: зоны Френеля, дифракция в параллельных лучах на одной щели, на плоской и пространственной дифракционных решетках, разрешающая способность дифракционной решетки.

Задачи по теме «Поляризация света» охватывают такие вопросы, как применение законов Брюстера, Малюса, определение степени поляризации в растворах и кристаллах.

Тема «Распространение света в веществе» включает законы теплового излучения, фотоэффект, эффект Комптона, давление света. Задачи по теме «Элементы атомной и ядерной физики» представлены следующими вопросами: определение длины волны де Бройля движущихся частиц, соотношения неопределенностей Гейзенберга, применение уравнения Шредингера для частицы, находящейся в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, рентгеновское излучение и закон Мозли, закон радиоактивного распада, определение дефекта массы, энергии связи и удельной энергии связи ядра, энергии ядерных реакций.

Задачи на гармонические колебания охватывают такие вопросы, как определение амплитуды скорости, ускорения, энергии периода механических колебаний, нахождение уравнения траектории и ее построения на чертеже.

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Закон Био — Савара — Лапласа имеет вид

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \left[\frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \right] I,$$

где $d\vec{B}$ — магнитная индукция поля, создаваемого элемен-

том проводника длиной dl с током I ; \vec{r} – радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой вычисляется магнитная индукция; $d\vec{l}$ – вектор, равный по модулю длине проводника и совпадающий по направлению с током; μ – магнитная проницаемость вещества; μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

Модуль вектора dB определяется по формуле

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

где α – угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

Связь магнитной индукции \vec{B} с напряженностью \vec{H} магнитного поля имеет вид

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} .$$

Магнитная индукция в центре кругового тока равна

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

где R – радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока равна

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

где h – расстояние от центра витка до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током, равна

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

где r – расстояние от оси проводника до точки, в которой вычисляется магнитная индукция; I – сила тока в проводнике.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током, равна

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

где r – расстояние от оси проводника до точки, в которой вычисляется магнитная индукция; α_1 и α_2 – углы между проводником и отрезками, проведенными из его концов в точку наблю-

дения.

Магнитная индукция поля, создаваемого соленоидом в средней его части, равна

$$B = \mu_0 \mu n I ,$$

где n – число витков, приходящееся на единицу длины соленоида; I – сила тока в соленоиде.

Закон Ампера, определяющий силу, действующую на проводник с током в магнитном поле, имеет вид

$$\vec{F} = I [\vec{l} \vec{B}] ,$$

где I – сила тока в проводнике; \vec{l} – вектор, равный по модулю длине проводника и совпадающий по направлению с током; \vec{B} – индукция магнитного поля.

Модуль силы Ампера равен

$$F = IB \sin \alpha ,$$

где α – угол между направлением тока в проводе и вектором магнитной индукции.

Если поле неоднородно и провод не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому его элементу $d\vec{l}$ в отдельности:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \vec{B}] .$$

Сила Лоренца, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле, равна

$$\vec{F} = Q [\vec{v} \vec{B}] .$$

Модуль силы Лоренца равен

$$F = |Q| v B \sin \alpha ,$$

где Q – величина заряда; v – его скорость; B – индукция магнитного поля; α – угол между вектором скорости и вектором магнитной индукции.

Сила взаимодействия двух прямых, бесконечно длинных параллельных проводников с токами I_1 и I_2 , находящихся на расстоянии d друг от друга, рассчитанная на отрезок проводника длиной l , выражается формулой

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l .$$

Магнитный момент плоского контура с током равен

$$\vec{p}_m = I \vec{S} ,$$

где I – сила тока в контуре; \vec{S} – вектор, равный по модулю площади, охватываемой контуром, и совпадающий по направлению с нормалью к его плоскости, причем направление нормали определяется правилом буравчика.

Механический момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле, равен

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}].$$

Модуль механического момента равен

$$M = p_m B \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} .

Магнитный поток Φ через плоский контур площадью S равен:

а) в случае однородного поля $\Phi = BS \cos \alpha$;

б) в случае неоднородного поля $\Phi = \int_S B_n dS$.

Потокоцепление, т.е. полный магнитный поток, сцепленный со всеми витками контура, равен

$$\psi = N\Phi,$$

где N – число витков контура; Φ – магнитный поток сквозь один виток.

Работа по перемещению замкнутого контура с током в постоянном магнитном поле равна

$$A = I\Delta\Phi,$$

где I – сила тока в контуре; $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограничивающую контур.

Основной закон электромагнитной индукции имеет вид

$$\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt}.$$

Частные случаи применения основного закона электромагнитной индукции:

а) разность потенциалов U на концах проводника длиной l , движущегося со скоростью V в однородном магнитном поле, равна

$$U = BlV \sin \alpha,$$

где α – угол между направлениями векторов скорости и индукции магнитного поля;

б) электродвижущая сила индукции, возникающая в рамке,

равномерно вращающейся в однородном магнитном поле, равна

$$\varepsilon_i = NBS\omega \sin \omega t,$$

где N – число витков в рамке; B – индукция поля; S – площадь одного витка; ω – угловая скорость вращения рамки; t – время.

Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении потокосцепления $\Delta\psi$, равен

$$Q = \frac{\Delta\psi}{R},$$

где R – сопротивление контура.

Индуктивность контура равна

$$L = \frac{\psi}{I},$$

где I – сила тока в контуре; ψ – потокосцепление самоиндукции.

ЭДС самоиндукции определяется по формуле

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

Индуктивность соленоида равна

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

где n – число витков соленоида на единице его длины; V – объём соленоида; μ – магнитная проницаемость среды внутри соленоида, которую можно определить из соотношения

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}.$$

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

а) после замыкания цепи $I = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-(R/L)t})$, где ε – ЭДС

источника;

б) после размыкания цепи $I = I_0 e^{-(R/L)t}$, где I_0 – начальное значение силы тока в цепи.

Энергия магнитного поля, создаваемого током в замкнутом контуре с индуктивностью L , определяется по формуле

Физика

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

Объёмная плотность энергии магнитного поля равна

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

ОПТИКА

Законы геометрической оптики:

- 1) **закон отражения света:** угол падения α равен углу отражения β , причем падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения, т.е.

$$\alpha = \beta;$$

- 2) **закон преломления света:**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

где α – угол падения; γ – угол преломления; n_{21} – относительный показатель преломления среды.

- 3) **закон полного отражения:**

$$\sin \alpha_{np} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_2 < n_1);$$

- 4) **формула тонкой линзы:**

$$\pm \frac{1}{f} \pm \frac{1}{d} = \pm \frac{1}{F},$$

где f – расстояние от предмета до линзы; d – расстояние от линзы до изображения; F – фокусное расстояние.

Скорость света в среде равна

$$V = c/n,$$

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

Оптическая длина пути световой волны определяется по формуле

$$L = nl,$$

где l – геометрическая длина пути луча в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух лучей равна

$$\Delta = L_1 - L_2 .$$

Связь разности фаз с оптической разностью хода имеет вид

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

где λ — длина световой волны.

Условие максимума при интерференции имеет вид

$$\Delta = \pm k\lambda , \text{ где } k=0,1,2,\dots$$

Условие минимума при интерференции света имеет вид

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} , \text{ где } k=0,1,2,\dots$$

Оптическая разность хода лучей, возникающая при отражении монохроматического света от верхней и нижней поверхностей тонкой пленки, находящейся в воздухе, равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2}$$

или

$$\Delta = 2dn \cos i_2 + \frac{\lambda}{2} ,$$

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

$\frac{\lambda}{2}$ учитывает изменение оптической длины пути при отражении от оптически более плотной среды.

Радиус **светлых колец Ньютона** в отраженном свете равен

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}} ,$$

где k — номер кольца ($k=1, 2, 3,\dots$); R — радиус кривизны линзы.

Радиус **темных колец Ньютона** в отраженном свете равен

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

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

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

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

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

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda,$$

где $k=0,1,2,3,\dots$; d — период дифракционной решетки.

Разрешающая способность дифракционной решетки равна

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

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

Формула Вульфа — Брэггов имеет вид

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

где θ — угол скольжения, т.е. угол между направлением пучка параллельных рентгеновских лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла; d — расстояние между атомными плоскостями кристалла.

Формула Вульфа — Брэггов определяет направление лучей, при которых возникает дифракционный максимум.

Закон Брюстера имеет вид

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

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

Закон Малюса имеет вид

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

где I_0 — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I — интенсивность этого света после прохождения анализатора; α — угол между направлением колебаний света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора (если колебания падающего света совпадают с этой плоскостью, то анализатор пропускает длинный свет без ослабле-

ния).

Степень поляризации света равна

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где I_{\max} и I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

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

а) в твердых телах

$$\varphi = \alpha d,$$

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

б) в растворах

$$\varphi = [\alpha] C d,$$

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

в) в чистых жидкостях

$$\varphi = [\alpha] \rho d,$$

где ρ — плотность жидкости.

Релятивистская масса равна

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

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

Взаимосвязь массы и энергии релятивистской частицы имеет вид

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

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

Полная энергия свободной частицы равна

$$E = E_0 + T,$$

где T — кинетическая энергия релятивистской частицы.

Кинетическая энергия релятивистской частицы определяется по формуле

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

Импульс релятивистской частицы равен

$$p = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \text{ или } p = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы имеет вид

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

Закон Стефана — Больцмана записывается в виде

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

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

Закон смещения Вина имеет вид

$$\lambda_0 = b/T,$$

где λ_0 — длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b — постоянная Вина ($b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ мК).

Энергия фотона равна

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

где h — постоянная Планка; η — постоянная Планка, деленная на 2π ;

ν — частота фотона; ω — циклическая частота.

Масса фотона определяется по формуле

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda},$$

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

Импульс фотона равен

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

Формула Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид

$$h\nu = A_{\text{вых}} + T_{\text{max}} = A_{\text{вых}} + \frac{mV_{\text{max}}^2}{2},$$

где $h\nu$ — энергия фотона, падающего на поверхность металла; $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электрона с поверхности металла; T_{max} — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Красная граница фотоэффекта определяется по формуле

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

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

Формула Комптона имеет вид

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta)$$

или

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

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

Комптовская длина волны определяется по формуле

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0c}.$$

При рассеянии фотона на электроне $\lambda_c = 2,436$ пм.

Давление света при нормальном падении на поверхность определяется по формуле

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

где E_e — облученность поверхности; ω — объемная плотность энергии излучения; ρ — коэффициент отражения света поверхностью.

ОСНОВЫ АТОМНОЙ И КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

Момент импульса электрона на стационарных орбитах определяется условием (первый постулат Бора):

$$L_n = n\eta \text{ или } mV_n r_n = n\eta,$$

где m — масса электрона; V_n — скорость электрона на n -й орбите; r_n — радиус n -й орбиты; η — постоянная Планка ($\eta = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); n — главное квантовое число ($n = 0, 1, 2, \dots$).

Радиус боровской орбиты равен

$$r_n = a_0 n^2,$$

где $a_0 = 52,9$ пм — радиус первой боровской орбиты.

Энергия электрона в атоме водорода определяется по формуле

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

где $E_i = 13,6$ эВ — энергия ионизации атома водорода.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода (второй постулат Бора), равна

$$\varepsilon = \eta\omega = E_{n_2} - E_{n_1}$$

или

$$\varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

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

Сериальная формула имеет вид

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где ν, λ — частота и длина волны излучения или поглощения атомом; $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ — постоянная Ридберга.

Длина волны де Бройля определяется по формуле

Физика

$$\lambda = \frac{2\pi\eta}{p},$$

где p – импульс частицы; λ – длина волны де Бройля; η – постоянная Планка.

Связь длины волны де Бройля λ с кинетической энергией частицы T имеет вид:

а) в классическом приближении
$$\lambda = \frac{2\pi\eta}{\sqrt{2m_0T}};$$

б) в релятивистском случае
$$\lambda = \frac{2\pi\eta c}{\sqrt{T(T + 2E_0)}},$$

где E_0 – энергия покоя частицы ($E_0 = m_0c^2$).

Соотношение неопределённостей имеет вид:

а) для координаты и импульса частицы

$$\Delta p_x \Delta x \geq \eta,$$

где Δp_x – неопределённость проекции импульса частицы на координатную ось x ; Δx – неопределённость её координаты;

б) для энергии и времени

$$\Delta E \Delta t \geq \eta,$$

где ΔE – неопределённость энергии данного квантового состояния; Δt – время пребывания системы в этом состоянии.

Одномерное **уравнение Шредингера** для стационарных состояний имеет вид

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

где $\psi(x)$ – волновая функция, описывающая состояние частицы; m – масса частицы; \hbar – постоянная Планка; E – полная энергия частицы; $U(x)$ – потенциальная энергия.

Вероятность dW обнаружения частицы в интервале координат от x до $x + dx$ в одномерном случае выражается формулой:

$$dW = |\psi(x)|^2 dx,$$

где $|\psi(x)|^2$ – плотность вероятности.

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2 равна

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

Решение уравнения Шредингера для частицы, находящейся в одномерном бесконечно глубоком прямоугольном потенциальном ящике, имеет вид:

а) собственная нормированная волновая функция

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x,$$

где l – ширина потенциального ящика; $n=1,2,3,\dots$;

б) собственное значение энергии частицы, находящейся на n -м энергетическом уровне

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ml^2}.$$

Коэффициент прозрачности D прямоугольного потенциального барьера конечной ширины равен

$$D \approx \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)d} \right],$$

где U – высота потенциального барьера; E – энергия частицы; d – ширина барьера.

Массовое число атомного ядра (число нуклонов в ядре) равно

$$A = Z + N,$$

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

Основной закон радиоактивного распада имеет вид

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

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

Период полураспада равен

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Среднее время жизни радиоактивного ядра, то есть время, за которое число нераспавшихся ядер уменьшается в e

раз, равно

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Активность радиоактивного изотопа определяется по формуле

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

Удельная активность изотопа равна

$$a = \frac{A}{m},$$

где m – масса радиоактивного источника.

Дефект массы атомного ядра равен

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

где Z – зарядовое число; A – массовое число; $(A - Z)$ – число нейтронов в ядре; m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона;

$m_{\text{я}}$ – масса связанного ядра.

Энергия связи ядра равна

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2,$$

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

Удельная энергия связи равна

$$E_{\text{уд}} = E_{\text{св}} / A.$$

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки записывается в виде

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

где x – смещение; A – амплитуда колебаний; ω – круговая или циклическая частота; φ – начальная фаза.

Мгновенная скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, равна

$$V = -A\omega \sin(\omega t + \varphi).$$

Мгновенное ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания, определяется формулой

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

При сложении гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты амплитуда результирующего колебания равна

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

где A_1 и A_2 – амплитуды складываемых колебаний; φ_1 и φ_2 – начальные фазы складываемых колебаний.

Начальная фаза результирующего колебания равна

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

Траектория точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях ($x=A_1\cos(\omega t)$, $y=A_2\cos(\omega t+\varphi)$), определяется уравнениями:

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

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

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

Уравнение плоской бегущей волны, распространяющейся вдоль координатной оси x , имеет вид

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

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

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

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

где λ – длина волны.

Задачи для самостоятельного решения

2.1. Бесконечно длинный провод с током $I=100$ А изогнут

так, как это показано на рис.1. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.

2.2. Магнитный момент тонкого проводящего кольца равен $p_m = 5$ А·м². Определить магнитную индукцию B в точке A , находящейся на оси кольца и удаленной от точек кольца на расстоянии $r = 20$ см (рис. 2).

2.3. По двум скрещенным под прямым углом бесконечно длинным проводам текут токи I и $2I$ ($I = 100$ А). Определить магнитную индукцию B в точке A (рис. 3). Расстояние $d = 10$ см.

2.4. По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рис. 4, течет ток $I = 200$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.

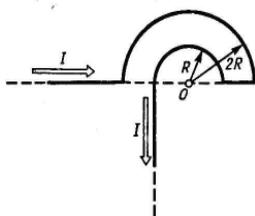


Рис. 1

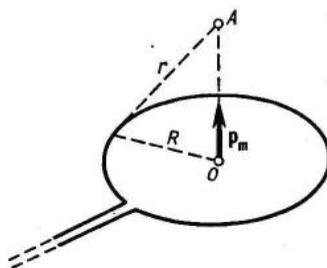


Рис. 2

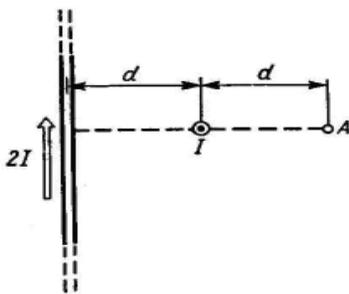


Рис. 3

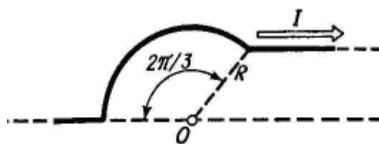


Рис. 4

2.5. По тонкому кольцу радиусом $R = 20$ см течет ток $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B на оси кольца в точке A (рис. 5). Угол $\beta = \pi/2$.

2.6. По двум бесконечно длинным проводам, скрещенным под прямым углом, текут токи I_1 и $I_2 = 2I_1$ ($I_1 = 100$ А). Определить магнитную индукцию B в точке A , равноудаленной от проводов на расстояние $d=10$ см (рис. 6).

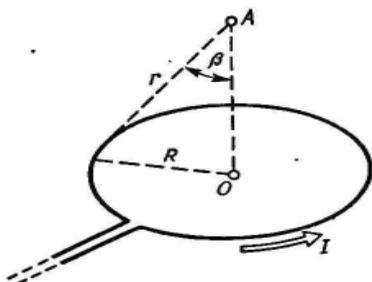


Рис. 5

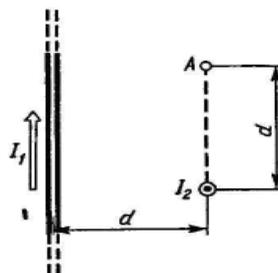


Рис. 6

2.7. По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рис. 7, течет ток $I=200$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R= 10$ см.

2.8. По тонкому кольцу течет ток $I = 80$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A , равноудаленной от точек кольца на расстояние $r = 10$ см (рис. 8). Угол $\alpha = \pi/6$.

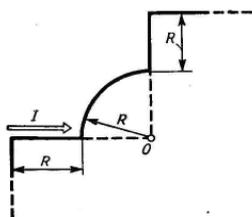


Рис.7

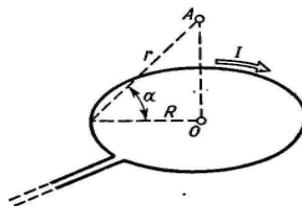


Рис.8

2.9. По двум бесконечно длинным, прямым параллельным проводам текут одинаковые токи $I=60$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A (рис. 9), равноудаленной от проводов на расстояние $d=10$ см. Угол $\beta = \pi/2$.

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

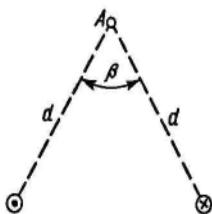


Рис.9

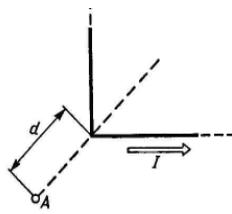


Рис.10

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

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

2.13. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи $I = 200$ А. Определить силу F , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном ее длине.

2.14. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S = 250$ см², содержащая $N = 500$ витков провода, по которому течет ток $I = 5$ А, помещена в однородное магнитное поле напряженностью $H = 1000$ А/м. Найти: 1) магнитный момент p_m катушки; 2) вращающий момент M , действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с линиями поля.

2.15. Тонкий провод длиной $L = 20$ см изогнут в виде полукольца и помещен в магнитное поле ($B = 10$ мТл) так, что площадь полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. По проводу пропустили ток $I = 50$ А. Определить силу F , действующую на провод. Подводящие провода направлены вдоль линий магнитной индукции.

2.16. Шины генератора длиной $L = 4$ м находятся на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Найти силу взаимного отталкивания шин при коротком замыкании, если ток $I_{кз}$ короткого замыкания равен 5 кА.

2.17. Квадратный контур со стороной $a = 10$ см, по которому

течет ток $I=50$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B=10$ мТл). Определить изменение $\Delta\Pi$ потенциальной энергии контура при повороте вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\vartheta = 180^\circ$.

2.18. Тонкое проводящее кольцо с током $I=40$ А помещено в однородное магнитное поле ($B = 80$ мТл). Плоскость кольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. Радиус R кольца равен 20 см. Найти силу F , растягивающую кольцо.

2.19. Квадратная рамка из тонкого провода может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из сторон. Масса m рамки равна 20 г. Рамку поместили в однородное магнитное поле ($B=0,1$ Тл), направленное вертикально вверх. Определить угол α , на который отклонилась рамка от вертикали, когда по ней пропустили ток $I= 10$ А.

2.20. По круговому витку радиусом $R = 5$ см течет ток $I = 20$ А. Виток расположен в однородном магнитном поле ($B = 40$ мТл) так, что нормаль к плоскости контура составляет угол $\vartheta = \pi / 6$ с вектором B . Определить изменение $\Delta\Pi$ потенциальной энергии контура при его повороте на угол $\varphi = \pi / 2$ в направлении увеличения угла ϑ .

2.21. По тонкому кольцу радиусом $R=10$ см равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 50$ нКл/м. Кольцо вращается относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр, с частотой $n=10$ с⁻¹. Определить магнитный момент m_m , обусловленный вращением кольца.

2.22. Диск радиусом $R = 8$ см несет равномерно распределенный по поверхности заряд ($\sigma = 100$ нКл/м²). Определить магнитный момент m_m , обусловленный вращением диска, относительно оси, проходящей через его центр и перпендикулярной плоскости диска. Угловая скорость вращения диска $\omega = 60$ рад/с.

2.23. Стержень длиной $L = 20$ см заряжен равномерно распределенным зарядом с линейной плотностью $\tau = 0,2$ мкКл/м. Стержень вращается с частотой $n = 10$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. Определить магнитный момент m_m , обусловленный вращением стержня.

2.24. Протон движется по окружности радиусом $R = 0,5$ см с линейной скоростью $V=10^6$ м/с. Определить магнитный момент m_m , создаваемый эквивалентным круговым током.

2.25. Тонкое кольцо радиусом $R=10$ см несет равномерно распределенный заряд $Q = 80$ нКл. Кольцо вращается с угловой

скоростью $\omega = 50$ рад/с относительно оси, совпадающей с одним из диаметров кольца. Найти магнитный момент p_m , обусловленный вращением кольца.

2.26. Заряд $Q = 0,1$ мкКл равномерно распределен по стержню длиной $L = 50$ см. Стержень вращается с угловой скоростью $\omega = 20$ рад/с относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину. Найти магнитный момент p_m , обусловленный вращением стержня.

2.27. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра (протона) по окружности радиусом $R = 53$ пм. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

2.28. Сплошной цилиндр радиусом $R = 4$ см и высотой $H = 15$ см несет равномерно распределенный по объему заряд ($\rho = 0,1$ мкКл/м³). Цилиндр вращается с частотой $n = 10$ с⁻¹ относительно оси, совпадающей с его геометрической осью. Найти магнитный момент p_m цилиндра, обусловленный его вращением.

2.29. По поверхности диска радиусом $R = 15$ см равномерно распределен заряд $Q = 0,2$ мкКл. Диск вращается с угловой скоростью $\omega = 30$ рад/с относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением диска.

2.30. По тонкому стержню длиной $L = 40$ см равномерно распределен заряд $Q = 60$ нКл. Стержень вращается с частотой $n = 12$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через стержень на расстоянии $a = L/3$ от одного из его концов. Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением стержня.

2.31. Два иона разных масс с одинаковыми зарядами, влетев в однородное магнитное поле, стали двигаться по окружностям радиусами $R_1 = 3$ см и $R_2 = 1,73$ см. Определить отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

2.32. Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ и влетел перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное поле ($B = 0,5$ Тл). Определить относительную атомную массу A иона, если он описал окружность радиусом $R = 4,37$ см.

2.33. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 800$ В и, влетев в однородное магнитное поле $B = 47$ мТл, стал двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6$ см. Определить радиус R винтовой линии.

2.34. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потен-

циалов $U = 300$ В и, попав в однородное магнитное поле, стала двигаться по винтовой линии радиусом $R = 1$ см и шагом $h = 4$ см. Определить магнитную индукцию B поля.

2.35. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 100$ В и, влетев в однородное магнитное поле ($B = 0,1$ Тл), стала двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6,5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определить отношение заряда частицы к ее массе.

2.36. Электрон влетел в однородное магнитное поле ($B = 200$ мТл) перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить силу эквивалентного кругового тока $I_{\text{экв}}$, создаваемого движением электрона в магнитном поле.

2.37. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и влетел в однородное магнитное поле ($B = 20$ мТл) под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции. Определить шаг h и радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон в магнитном поле.

2.38. Альфа-частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов U , стала двигаться в однородном магнитном поле ($B = 50$ мТл) по винтовой линии с шагом $h = 5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определить ускоряющую разность потенциалов, которую прошла альфа-частица.

2.39. Ион с кинетической энергией $T = 1$ кэВ попал в однородное магнитное поле ($B = 21$ мТл) и стал двигаться по окружности. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

2.40. Ион, попав в магнитное поле ($B = 0,01$ Тл), стал двигаться по окружности. Определить кинетическую энергию T (в эВ) иона, если магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока равен $1,6 \cdot 10^{-14}$ А·м².

2.41. Протон влетел в скрещенные под углом $\alpha = 120^\circ$ магнитное ($B = 50$ мТл) и электрическое ($E = 20$ кВ/м) поля. Определить ускорение a протона в момент вхождения в область пространства, где локализованы однородные магнитное и электрическое поля, если его скорость $V = 4 \cdot 10^5$ м/с перпендикулярна векторам E и B .

2.42. Ион, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 645$ В, влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($B = 1,5$ мТл) и электрическое ($E = 200$ В/м) поля. Определить отношение заряда иона к его массе, если ион в этих полях движется прямолинейно.

2.43. Альфа-частица влетела в скрещенные под прямым уг-

лом магнитное ($B = 5$ мТл) и электрическое ($E = 30$ кВ/м) поля. Определить ускорение a альфа-частицы в момент вхождения в область пространства, где локализованы однородные магнитное и электрическое поля, если ее скорость $V = 2 \cdot 10^6$ м/с перпендикулярна векторам B и E , причем силы, действующие со стороны этих полей, противоположны.

2.44. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 1,2$ кВ, попал в скрещенные под прямым углом однородные магнитное и электрическое поля. Определить напряженность E электрического поля, если магнитная индукция B поля равна 6 мТл.

2.45. Однородные магнитное ($B = 2,5$ мТл) и электрическое ($E = 10$ кВ/м) поля скрещены под прямым углом. Электрон, скорость V которого равна $4 \cdot 10^6$ м/с, влетает в эти поля так, что силы, действующие на него со стороны магнитного и электрического полей, сонаправлены. Определить ускорение a электрона в момент вхождения в область пространства, где локализованы однородные магнитное и электрическое поля.

2.46. Однозарядный ион лития массой $m = 7$ а. е. м. прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное и электрическое поля. Определить магнитную индукцию B поля, если траектория иона в скрещенных полях прямолинейна. Напряженность E электрического поля равна 2 кВ/м.

2.47. Альфа-частица, имеющая скорость $V = 2$ Мм/с, влетает под углом $\alpha = 30^\circ$ к сонаправленным магнитному ($B = 1$ мТл) и электрическому ($E = 1$ кВ/м) полям. Определить ускорение a альфа-частицы в момент вхождения в область пространства, где локализованы однородные магнитное и электрическое поля.

2.48. Протон прошел некоторую ускоряющую разность потенциалов U и влетел в скрещенные под прямым углом однородные поля: магнитное ($B = 5$ мТл) и электрическое ($E = 20$ кВ/м). Определить разность потенциалов U , если протон в скрещенных полях движется прямолинейно.

2.49. Магнитное ($B = 2$ мТл) и электрическое ($E = 1,6$ кВ/м) поля сонаправлены. Перпендикулярно векторам B и E влетает электрон со скоростью $V = 0,8$ Мм/с. Определить ускорение a электрона в момент вхождения в область пространства, где локализованы однородные магнитное и электрическое поля.

2.50. В скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($H = 1$ МА/м) и электрическое ($E = 50$ кВ/м) поля влетел ион. При какой скорости V иона (по модулю и направлению) он будет

двигаться в скрещенных полях прямолинейно?

2.51. Плоский контур площадью $S = 20 \text{ см}^2$ находится в однородном магнитном поле ($B = 0,03 \text{ Тл}$). Определить магнитный поток Φ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\varphi = 60^\circ$ с направлением линий индукции.

2.52. Магнитный поток Φ сквозь сечение соленоида равен 50 мкВб . Длина соленоида $L=50 \text{ см}$. Найти магнитный момент m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

2.53. В средней части соленоида, содержащего $n = 8$ витков/см, помещен круговой виток диаметром $d = 4 \text{ см}$. Плоскость витка расположена под углом $\varphi = 60^\circ$ к оси соленоида. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток $I=1 \text{ А}$.

2.54. На длинный картонный каркас диаметром $d = 5 \text{ см}$ уложена однослойная обмотка (виток к витку) из проволоки диаметром $D = 0,2 \text{ мм}$. Определить магнитный поток Φ , создаваемый таким соленоидом при силе тока $I=0,5 \text{ А}$.

2.55. Квадратный контур со стороной $a = 10 \text{ см}$, в котором течет ток $I = 6 \text{ А}$, находится в магнитном поле ($B = 0,8 \text{ Тл}$) под углом $\alpha = 50^\circ$ к линиям индукции. Какую работу A нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

2.56. Плоский контур с током $I=5 \text{ А}$ свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 0,4 \text{ Тл}$). Площадь контура $S = 200 \text{ см}^2$. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha = 40^\circ$. Определить совершенную при этом работу A .

2.57. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока $I=60 \text{ А}$, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 20 \text{ мТл}$). Диаметр витка $d=10 \text{ см}$. Какую работу A нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол $\alpha = \pi / 3$?

2.58. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S=100 \text{ см}^2$. Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50 \text{ А}$, его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить магнитную индукцию B поля, если при перемещении контура была совершена работа $A=0,4 \text{ Дж}$.

2.59. Плоский контур с током $I = 50 \text{ А}$ расположен в однородном магнитном поле ($B = 0,6 \text{ Тл}$) так, что нормаль к контуру перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить работу, совершаемую силами поля при медленном повороте кон-

тура около оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha = 30^\circ$. Площадь, ограниченная контуром, равна $S = 10 \text{ см}^2$.

2.60. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий соленоид, если его длина $L = 50 \text{ см}$ и магнитный момент $p_m = 0,4 \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

2.61. В однородном магнитном поле ($B = 0,1 \text{ Тл}$) равномерно с частотой $n = 5 \text{ с}^{-1}$ вращается стержень длиной $L = 50 \text{ см}$ так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U .

2.62. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5 \text{ Тл}$ вращается с частотой $n = 10 \text{ с}^{-1}$ стержень длиной $L = 20 \text{ см}$. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов U на концах стержня.

2.63. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $Q = 50 \text{ мкКл}$. Определить изменение магнитного потока $\Delta \Phi$ через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра $R = 10 \text{ Ом}$.

2.64. Тонкий медный провод массой $m = 5 \text{ г}$ согнут в виде квадрата, и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B = 0,2 \text{ Тл}$) так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции поля. Определить заряд Q , который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

2.65. Рамка из провода сопротивлением $R = 0,04 \text{ Ом}$ равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0,6 \text{ Тл}$). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200 \text{ см}^2$. Определить заряд, который протечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0 до 45° ; 2) от 45 до 90° .

2.66. Проволочный виток диаметром $D = 5 \text{ см}$ и сопротивлением $R = 0,02 \text{ Ом}$ находится в однородном магнитном поле ($B = 0,3 \text{ Тл}$). Плоскость витка составляет угол $\varphi = 40^\circ$ с линиями индукции. Какой заряд Q протечет по витку при выключении магнитного поля?

2.67. Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S = 50 \text{ см}^2$. Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0,05 \text{ Тл}$).

Определить максимальную ЭДС \mathcal{E}_{\max} , которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой $n = 40 \text{ с}^{-1}$.

2.68. Прямой проводящий стержень длиной $L=40 \text{ см}$ находится в однородном магнитном поле ($B = 0,1 \text{ Тл}$). Концы стержня замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи $R = 0,5 \text{ Ом}$. Какая мощность P потребуется для равномерного перемещения стержня перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $V=10 \text{ м/с}$?

2.69. Проволочный контур площадью $S = 500 \text{ см}^2$ и сопротивлением $R=0,1 \text{ Ом}$ равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0,5 \text{ Тл}$). Ось вращения лежит в плоскости контура и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную мощность P_{\max} , необходимую для вращения контура с угловой скоростью $\omega = 50 \text{ рад/с}$.

2.70. Кольцо из медного провода массой $m=10 \text{ г}$ помещено в однородное магнитное поле ($B = 0,5 \text{ Тл}$) так, что плоскость кольца составляет угол $\beta = 60^\circ$ с линиями магнитной индукции. Определить заряд Q , который пройдет по кольцу, если снять магнитное поле.

2.71. Соленоид сечением $S=10 \text{ см}^2$ содержит $N=10^3$ витков. При силе тока $I = 5 \text{ А}$ магнитная индукция B поля внутри соленоида равна $0,05 \text{ Тл}$. Определить индуктивность L соленоида.

2.72. На картонный каркас длиной $L=0,8 \text{ м}$ и диаметром $D = 4 \text{ см}$ намотан в один слой провод диаметром $d= 0,25 \text{ мм}$ так, что витки плотно прилегают друг к другу. Вычислить индуктивность L получившегося соленоида.

2.73. Катушка, намотанная на магнитный цилиндрический каркас, имеет $N= 250$ витков и индуктивность $L_1 = 36 \text{ мГн}$. Чтобы увеличить индуктивность катушки до $L_2=100 \text{ мГн}$, обмотку катушки сняли и заменили обмоткой из более тонкой проволоки с таким расчетом, чтобы длина катушки осталась прежней. Сколько витков оказалось в катушке после перемотки?

2.74. Индуктивность L соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна $0,5 \text{ мГн}$. Длина / соленоида равна $0,6 \text{ м}$, диаметр $D = 2 \text{ см}$. Определить отношение n числа витков соленоида к его длине.

2.75. Соленоид содержит $N=800$ витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала) $S = 10 \text{ см}^2$. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B = 8 \text{ мТл}$. Определить среднее значение ЭДС $\langle \mathcal{E} \rangle$ самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается практически до

нуля за время $\Delta t = 0,8$ мс.

2.76. По катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн течет ток $I = 6$ А. Определить среднее значение ЭДС $\langle \varepsilon \rangle$ самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменится практически до нуля за время $\Delta t = 5$ мс.

2.77. В электрической цепи, содержащей резистор сопротивлением $R = 20$ Ом и катушку индуктивностью $L = 0,06$ Гн, течет ток $I = 20$ А. Определить силу тока I в цепи через $\Delta t = 0,2$ мс после ее размыкания.

2.78. Цепь состоит из катушки индуктивностью $L = 0,1$ Гн и источника тока. Источник тока отключили, не разрывая цепи. Время, через которое сила тока уменьшится до 0,001 первоначального значения, равно $t = 0,07$ с. Определить сопротивление катушки.

2.79. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 10$ Ом и индуктивностью $L = 0,2$ Гн. Через какое время сила тока в цепи достигнет 50 % максимального значения?

2.80. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 20$ Ом. Через время $t = 0,1$ с сила тока I в катушке достигла 0,95 предельного значения. Определить индуктивность L катушки.

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

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

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

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

$r_4 = 2$ мм.

2.85. На пленку толщины $b = 367$ нм падает под углом ϑ параллельный пучок белого света. Показатель преломления пленки $n = 1,4$ (изменения n в зависимости от λ заключены в пределах $0,01$). В какой цвет будет окрашен свет, отраженный пленкой в случае, если ϑ равен: а) 30° ; б) 60° ?

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

2.87. На стеклянную пластинку нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления $n = 1,3$. Пластинка освещается пучком параллельных лучей с длиной волны $\lambda = 640$ нм, падающих на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d_{\min} должен иметь слой, чтобы отраженные лучи имели наименьшую яркость?

2.88. На тонкий стеклянный клин падает нормально пучок лучей с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете $b = 0,5$ мм. Определить угол α между поверхностями клина. Показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин, $n = 1,6$.

2.89. Плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием $F = 1$ м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_5 = 1,1$ мм. Определить длину световой волны λ .

2.90. Между двумя плоскопараллельными пластинами на расстоянии $L = 10$ см от границы их соприкосновения находится проволока диаметром $d = 0,01$ мм, образуя воздушный клин. Пластины освещаются нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить ширину b интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном свете.

2.91. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 590$ нм). Радиус кривизны R линзы равен 5 см. Определить толщину d_3 воздушного промежутка в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

2.92. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4$ раза больше длины световой волны монохроматического света,

нормально падающего на ее поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

2.93. Расстояние между штрихами дифракционной решетки $d = 4$ мкм. На решетку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0,58$ мкм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

2.94. Свет, падающий на дифракционную решетку нормально, состоит из двух резких спектральных линий с длинами волн $\lambda_1 = 490$ нм (голубой свет) и $\lambda_2 = 600$ нм (оранжевый свет). Первый дифракционный максимум для линии с длиной волны λ_1 располагается под углом $\varphi_1 = 10,0^\circ$. Найти угловое расстояние $\Delta\varphi$ между линиями в спектре 2-го порядка.

2.95. Будут ли разрешены дифракционной решеткой с $N = 100$ штрихов спектральные линии с $\lambda_1 = 598$ нм и $\lambda_2 = 602$ нм в спектре: а) 1-го; б) 2-го порядка?

2.96. Какое число N штрихов должна иметь дифракционная решетка для того, чтобы разрешить в спектре 1-го порядка линии желтого дублета (двойной желтой спектральной линии) натрия, длины волн которого равны 589,0 и 589,6 нм?

2.97. Какое наименьшее число N_{\min} штрихов должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две желтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм? Какова длина L такой решетки, если постоянная решетки $d = 5$ мкм?

2.98. На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4,6$ раза больше длины световой волны. Найти общее число N дифракционных максимумов, которые теоретически возможно наблюдать в данном случае.

2.99. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок лучей белого света. Спектры третьего и четвертого порядков частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается граница ($\lambda = 780$ нм) спектра третьего порядка?

2.100. На дифракционную решетку, содержащую $n = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр

проектируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину / спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 12$ м. Границы видимого спектра:

$$\lambda_{кр} = 780 \text{ нм}; \quad \lambda_{ф} = 400 \text{ нм}.$$

2.101. На дифракционную решетку, содержащую $n = 100$ штрихов на 1 мм, нормально падает монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы вывести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 16^\circ$. Определить длину волны λ света, падающего на решетку.

2.102. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 410$ нм). Угол $\Delta\varphi$ между направлениями на максимумы первого и второго порядков равен $2^\circ 21'$. Определить число n штрихов на 1 мм дифракционной решетки.

2.103. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновских лучей. Расстояние между атомными плоскостями кристалла $d = 280$ пм. Под углом $\vartheta = 65^\circ$ к плоскости грани наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину волны λ рентгеновских лучей.

2.104. На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 600$ нм). Угол отклонения лучей, соответствующий второму дифракционному максимуму, равен $\varphi = 20^\circ$. Определить ширину a щели.

2.105. Луч света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\varphi = 40^\circ$. Принимая, что коэффициент поглощения k каждого николя равен 0,15, найти, во сколько раз луч, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с лучом, падающим на первый николю.

2.106. Имеются два одинаковых несовершенных поляризатора, каждый из которых в отдельности обуславливает степень поляризации $P_1 = 0,800$. Какова будет степень поляризации света, прошедшего последовательно через оба поляризатора, если плоскости поляризаторов: а) параллельны; б) перпендикулярны друг другу?

2.107. Естественный свет проходит через систему из двух одинаковых несовершенных поляризаторов. Каждый из них пропускает в своей плоскости $\alpha_1 = 0,95$ часть интенсивности соот-

ветствующего колебания и обуславливает степень поляризации $P = 0,90$. Какую долю первоначальной интенсивности света составляет интенсивность света, прошедшего через эту систему, если плоскости поляризаторов взаимно перпендикулярны (поляризаторы скрещены)?

2.108. Угол падения i_1 луча на поверхность стекла равен 60° . При этом отраженный луч оказался максимально поляризованным. Определить угол i_2 преломления луча.

2.109. Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется $n = 4$ раза. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

2.110. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле i_1 падения отраженный луч максимально поляризован?

2.111. Пластинку кварца толщиной $d = 2$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 53^\circ$. Какой наименьшей толщины d_{\min} следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно темным?

2.112. Луч света переходит из глицерина в стекло так, что луч, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным лучами.

2.113. Кварцевую пластинку поместили между скрещенными николями. При какой наименьшей толщине d_{\min} кварцевой пластины поле зрения между николями будет максимально просветлено? Постоянная вращения α кварца равна 27 град/мм.

2.114. Пучок света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\varphi = 45^\circ$. Принимая, что коэффициент поглощения k каждого николя равен $0,2$, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый николь.

2.115. При прохождении света через трубку длиной $l_1 = 20$ см, содержащую раствор сахара с концентрацией $C_1 = 10\%$, плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 13,3^\circ$. В дру-

гом растворе сахара, налитом в трубку длиной $l_2 = 15$ см, плоскость поляризации повернулась на угол $\varphi_2 = 5,2^\circ$. Определить концентрацию C второго раствора.

2.116. Частица движется со скоростью $V = 1/3 c$ (где c – скорость света в вакууме). Какую долю энергии покоя составляет кинетическая энергия частицы?

2.117. Протон с кинетической энергией $T = 3$ ГэВ при торможении потерял треть этой энергии. Определить, во сколько раз изменился релятивистский импульс протона.

2.118. При какой скорости β (в долях скорости света) релятивистская масса любой частицы вещества в $n = 3$ раза больше массы покоя?

2.119. Определить отношение релятивистского импульса p электрона с кинетической энергией $T = 1,53$ МэВ к комптоновскому импульсу $m_0 c$ электрона.

2.120. Скорость электрона $V = 0,8 c$ (где c — скорость света в вакууме). Зная энергию покоя электрона в мегаэлектронвольтах, определить в тех же единицах кинетическую энергию T электрона.

2.121. Протон имеет импульс $p = 469$ МэВ/с. Какую кинетическую энергию необходимо дополнительно сообщить протону, чтобы его релятивистский импульс возрос вдвое?

2.122. Во сколько раз релятивистская масса m электрона, обладающего кинетической энергией $T = 1,53$ МэВ, больше массы покоя m_0 ?

2.123. Какую скорость β (в долях скорости света) нужно сообщить частице, чтобы ее кинетическая энергия была равна удвоенному значению энергии покоя?

2.124. Вычислить истинную температуру T вольфрамовой раскаленной ленты, если радиационный пирометр показывает температуру $T_{\text{рад}} = 2,5$ кК. Принять, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна $a_T = 0,33$.

2.125. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

2.126. Температура абсолютно черного тела $T = 2$ кК. Опре-

делить длину волны λ_0 , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) r_{λ_0} для этой длины волны.

2.127. Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_0 = 600$ нм.

2.128. Из смотрового окошечка печи излучается поток $\Phi_e = 4$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см².

2.129. Поток излучения абсолютно черного тела $\Phi_e = 10$ кВт, максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_0 = 0,8$ мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.

2.130. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{01} = 780$ нм) на фиолетовую ($\lambda_{02} = 390$ нм)?

2.131. Определить поглощательную способность a_T серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{рад} = 1,4$ кК, тогда как истинная температура T тела равна 3,2 кК.

2.132. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{max} фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падают лучи с длиной волны $\lambda = 206$ нм.

2.133. На поверхность калия падают лучи с длиной волны $\lambda = 150$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{max} фотоэлектронов.

2.134. Фотон с энергией $\varepsilon = 10$ эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс p , полученный пластиной, если направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.

2.135. На фотоэлемент с катодом из лития падают лучи с

длиной волны $\lambda = 200$ нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{\min} , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

2.136. Какова должна быть длина волны γ -лучей, падающих на платиновую пластинку, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была $V_{\max} = 3$ Мм/с?

2.137. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетовых лучей ($\lambda = 0,25$ мкм). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов $U_{\min} = 0,96$ В. Определить работу выхода A электронов из металла.

2.138. На поверхность металла падают монохроматические лучи с длиной волны $\lambda = 0,1$ мкм. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0,3$ мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

2.139. На металл падают рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda = 1$ нм. Пренебрегая работой выхода, определить максимальную скорость V_{\max} фотоэлектронов.

2.140. Фотон при эффекте Комптона был рассеян на свободном электроне на угол $\vartheta = \pi/2$. Определить импульс p , в МэВ/с, приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была $\varepsilon_1 = 1,02$ МэВ.

2.141. Рентгеновские лучи ($\lambda = 1$ нм) рассеиваются электронами, которые можно считать практически свободными. Определить максимальную длину волны λ_{\max} рентгеновских лучей в рассеянном пучке.

2.142. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\vartheta = \pi/2$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ.

2.143. Определить максимальное изменение длины волны $(\Delta\lambda)_{\max}$ при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.

2.144. Фотон с длиной волны $\lambda_1 = 15$ пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda_2 = 16$ пм.

Определить угол ϑ рассеяния.

2.145. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\vartheta = 180^\circ$. Определить кинетическую энергию T электрона отдачи.

2.146. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1,02$ МэВ был рассеян на свободных электронах на угол $\vartheta = 150^\circ$. Определить энергию ε_2 рассеянного фотона.

2.147. Определить угол ϑ , на который был рассеян γ -квант с энергией $\varepsilon_1 = 1,53$ МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи $T = 0,51$ МэВ.

2.148. Определить энергетическую освещенность (облученность) E_e зеркальной поверхности, если давление, производимое излучением, равно 40 мкПа. Лучи падают нормально к поверхности.

2.149. Давление p света с длиной волны $\lambda = 400$ нм, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм² этой поверхности.

2.150. Определить коэффициент ρ отражения поверхности, если при энергетической освещенности $E_e = 120$ Вт/м² давление p света на нее оказалось равным 0,5 мкПа.

2.151. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p = 4$ мПа. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, $\lambda = 0,5$ мкм.

2.152. На расстоянии $r = 5$ м от точечного монохроматического ($\lambda = 0,5$ мкм) изотропного источника расположена площадка ($S = 8$ мм²) перпендикулярно падающим пучкам. Определить число N фотонов, ежесекундно падающих на площадку. Мощность излучения $P = 100$ Вт.

2.153. Свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление $p = 4$ мкПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм² этой поверхности.

2.154. На зеркальную поверхность площадью $S = 6$ см² па-

дают нормально поток излучения $\Phi_e = 0,8$ Вт. Определить давление p и силу давления F света на эту поверхность.

2.155. Точечный источник монохроматического ($\lambda = 1$ нм) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиусом $R = 10$ см. Определить световое давление p , производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника $P = 1$ кВт.

2.156. В земных условиях длина волны, испускаемой атомарным водородом спектральной линии H_α , равна $\lambda = 656$ нм. При измерении длины волны этой линии в излучении, приходящем от диаметрально противоположных краев солнечного диска, было обнаружено различие, составляющее $\Delta\lambda = 0,0088$ нм. Воспользовавшись этими данными, найти период T обращения Солнца вокруг своей оси.

2.157. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ при рассеянии на свободном электроны потерял половину своей энергии. Определить угол рассеяния ϑ .

2.158. Определить импульс p_e электрона отдачи, если фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1,53$ МэВ в результате рассеяния на свободном электроны потерял $1/3$ своей энергии.

2.159. На зеркальную поверхность под углом $\alpha = 60^\circ$ к нормали падает пучок монохроматического света ($\lambda = 590$ нм). Плотность потока энергии светового пучка $\Phi = 1$ кВт/м². Определить давление p , производимое светом на зеркальную поверхность.

2.160. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $r = 10$ см от точечного изотропного излучателя. При какой мощности P излучателя давление p на зеркальную поверхность будет равным 1 мПа?

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

2.162. Вычислить по теории Бора радиус r_2 второй стационарной орбиты и скорость V_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

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

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

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

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

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

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

2.169. Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую T , потенциальную $П$ и полную E энергию электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.

2.170. Фотон выбивает из атома водорода, находящегося в основном состоянии, электрон с кинетической энергией $T=10$ эВ. Определить энергию \mathcal{E} фотона.

2.171. Вычислить наиболее вероятную дебройлевскую длину волны λ молекул азота, содержащихся в воздухе при комнатной температуре.

2.172. Определить энергию ΔT , которую необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от $\lambda_1 = 0,2$ мм до $\lambda_2 = 0,1$ нм.

2.173. На сколько по отношению к комнатной должна измениться температура идеального газа, чтобы дебройлевская длина волны λ его молекул уменьшилась на 20%?

2.174. Параллельный пучок моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму в виде узкой прямоугольной щели, ширина которой $a=0,06$ мм. Определить скорость этих электронов, если известно, что на экране, отстоящем от щели на расстоянии $L=40$ мм, ширина центрального дифракционного максимума $b=10$ мкм.

2.175. При каких значениях кинетической энергии T элек-

трона ошибка в определении дебройлевской длины волны λ по нерелятивистской формуле не превышает 10%?

2.176. Из катодной трубки на диафрагму с узкой прямоугольной щелью нормально к плоскости диафрагмы направлен поток моноэнергетических электронов. Определить анодное напряжение трубки, если известно, что на экране, отстоящем от щели на расстоянии $L=0,5\text{ м}$, ширина центрального дифракционного максимума $\Delta x = 10,0\text{ мкм}$. Ширину b щели принять равной $0,10\text{ мм}$.

2.177. Протон обладает кинетической энергией $T=1\text{ кэВ}$. Определить дополнительную энергию ΔT , которую необходимо ему сообщить для того, чтобы длина волны λ де Бройля уменьшилась в три раза.

2.178. Определить длины волн де Бройля α -частицы и протона, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов $U = 1\text{ кВ}$.

2.179. Электрон обладает кинетической энергией $T = 1,02\text{ МэВ}$. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия T электрона уменьшится вдвое?

2.180. Кинетическая энергия T электрона равна удвоенному значению его энергии покоя ($2m_0c^2$). Вычислить длину волны λ де Бройля для такого электрона.

2.181. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию электрона, движущегося внутри сферы радиусом $R = 0,05\text{ нм}$.

2.182. Используя соотношение неопределенностей, оценить наименьшие ошибки ΔV в определении скорости электрона и протона, если координаты центра масс этих частиц могут быть установлены с неопределенностью 1 мкм .

2.183. Какова должна быть кинетическая энергия T протона в моноэнергетическом пучке, используемом для исследования структуры с линейными размерами $\approx 10^{-13}\text{ см}$?

2.184. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину l одномерного потенциального ящика, в котором минимальная энергия электрона $E_{\min}=10\text{ эВ}$.

2.185. Альфа-частица находится в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину l ящика, если известно, что минимальная энергия α -частицы $E_{\min}=8\text{ МэВ}$.

2.186. Среднее время жизни атома в возбужденном

состоянии составляет $\Delta t \approx 10^{-8}$ с. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны $\langle \lambda \rangle$ которого равна 600 нм. Оценить ширину $\Delta \lambda$ излучаемой спектральной линии, если не происходит ее уширения за счет других процессов.

2.187. Для приближенной оценки минимальной энергии электрона в атоме водорода можно предположить, что неопределенность Δr радиуса r электронной орбиты и неопределенность Δp импульса p электрона на такой орбите соответственно связаны следующим образом: $\Delta r \approx r$ и $\Delta p \approx p$. Используя эти связи, а также соотношение неопределенностей, найти значение радиуса электронной орбиты, соответствующего минимальной энергии электрона в атоме водорода.

2.188. Моноэнергетический пучок электронов высвечивает в центре экрана электронно-лучевой трубки пятно радиусом $r \approx 10^{-3}$ см. Пользуясь соотношением неопределенностей, найти, во сколько раз неопределенность Δx координаты электрона на экране в направлении, перпендикулярном оси трубки, меньше размера r пятна. Длину L электронно-лучевой трубки принять равной 0,50 м, а ускоряющее электрон напряжение U – равным 20 кВ.

2.189. Среднее время жизни Δt атома в возбужденном состоянии составляет около 10^{-8} с. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны $\langle \lambda \rangle$ которого равна 400 нм. Оценить относительную ширину $\Delta \lambda / \lambda$ излучаемой спектральной линии, если не происходит уширения линии за счет других процессов.

2.190. Для приближенной оценки минимальной энергии электрона в атоме водорода можно предположить, что неопределенность Δr радиуса r электронной орбиты и неопределенность Δp импульса p электрона на такой орбите соответственно связаны следующим образом: $\Delta r \approx r$ и $\Delta p \approx p$. Используя эти связи, а также соотношение неопределенностей, определить минимальное значение энергии T_{\min} электрона в атоме водорода.

2.191. Частица находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике. Найти отношение

разности $\Delta E_{n,n+1}$ соседних энергетических уровней к энергии E_n частицы в трех случаях: 1) $n = 2$; 2) $n = 5$; 3) $n \rightarrow \infty$.

2.192. Электрон находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной $l=0,1$ нм. Определить в электрон-вольтах наименьшую разность энергетических уровней электрона.

2.193. Частица в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной l находится в возбужденном состоянии ($n = 3$). Определить, в каких точках интервала $0 < x < l$ плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значения.

2.194. В прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < l$) находится частица в основном состоянии. Найти вероятность ω местонахождения этой частицы в области $l/4l < x < 3/4l$.

2.195. Частица в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность ω обнаружения частицы в крайней четверти ящика?

2.196. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-r/a_0}$, где A — некоторая постоянная; a_0 — первый боровский радиус. Найти для основного состояния атома водорода наиболее вероятное расстояние электрона от ядра.

2.197. Частица находится в основном состоянии в прямоугольной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками. Во сколько раз отличаются вероятности местонахождения частицы: ω_1 — в крайней трети и ω_2 — в крайней четверти ящика?

2.198. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-r/a_0}$, где A — некоторая постоянная; a_0 — первый боровский радиус. Найти для основного состояния атома водорода среднее значение $\langle F \rangle$ кулоновской силы.

2.199. Электрон находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной l . В каких точках в интервале $0 < x < l$ плотности вероятности нахождения электрона на втором и третьем энергетических уровнях одинаковы? Вычислить плотность вероятности для этих точек. Решение пояснить графиком.

Физика

2.200. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-r/a_0}$, где A – некоторая постоянная; a_0 – первый боровский радиус. Найти для основного состояния атома водорода среднее значение $\langle P \rangle$ потенциальной энергии.

2.201. Найти период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного изотопа, если его активность за время $t = 10$ сут. уменьшилась на 24% по сравнению с первоначальной.

2.202. Определить, какая доля радиоактивного изотопа ${}_{89}^{225}\text{Ac}$ распадается в течение времени $t=6$ сут.

2.203. Активность A некоторого изотопа за время $t=10$ сут. уменьшилась на 20%. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

2.204. Определить массу m изотопа ${}_{53}^{131}\text{I}$, имеющего активность $A = 37$ ГБк.

2.205. Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта ${}_{27}^{60}\text{Co}$.

2.206. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал $N_1 = 1400$ частиц в минуту, а через время $t = 4$ ч — только $N_2 = 400$. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

2.207. Во сколько раз уменьшится активность изотопа ${}_{15}^{32}\text{P}$ через время $t = 20$ сут?

2.208. На сколько процентов уменьшится активность изотопа иридия ${}_{77}^{192}\text{Ir}$ за время $t = 15$ сут?

2.209. Определить число N ядер в радиоактивном изотопе фосфора ${}_{15}^{32}\text{P}$ массой $m = 1$ мг, распадающихся в течение времени: 1) $t_1 = 1$ мин; 2) $t_2 = 5$ сут.

2.210. Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 200 атомов. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

2.211. Определить количество теплоты Q , выделяющейся при распаде радона активностью $A = 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк за время $t = 20$ мин. Кинетическая энергия T вылетающей из радона α -частицы равна 5,5 МэВ.

2.212. Масса $m = 1$ г урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ в равновесии с продуктами

его распада выделяет мощность $P=1,07 \cdot 10^{-7}$ Вт. Найти молярную теплоту Q_m , выделяемую ураном за среднее время жизни t атомов урана.

2.213. Определить энергию, необходимую для разделения ядра ^{20}Ne на две α -частицы и ядро ^{12}C . Энергии связи на один нуклон в ядрах ^{20}Ne , ^4He и ^{12}C равны соответственно 8,03; 7,07 и 7,68 МэВ.

2.214. В одном акте деления ядра урана ^{235}U освобождается энергия 200 МэВ. Определить: 1) энергию, выделяющуюся при распаде всех ядер этого изотопа урана массой $m = 1$ кг; 2) массу каменного угля с удельной теплотой сгорания $q=29,3$ МДж/кг, эквивалентную в тепловом отношении 1 кг урана U.

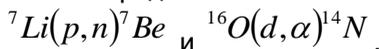
2.215. Мощность P двигателя атомного судна составляет 15 МВт, его КПД равен 30 %. Определить месячный расход ядерного горючего при работе этого двигателя.

2.216. Считая, что в одном акте деления ядра урана ^{235}U освобождается энергия 200 МэВ, определить массу m этого изотопа, подвергшегося делению при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом $30 \cdot 10^6$ кг, если тепловой эквивалент тротила q равен 4,19 МДж/кг.

2.217. При делении ядра урана ^{235}U под действием замедленного нейтрона образовались осколки с массовыми числами $M_1 = 90$ и $M_2 = 143$. Определить число нейтронов, вылетевших из ядра в данном акте деления. Определить энергию и скорость каждого из осколков, если они разлетаются в противоположные стороны и их суммарная кинетическая энергия T равна 160 МэВ.

2.218. Ядерная реакция $^{14}\text{N} (\alpha, p) ^{17}\text{O}$ вызвана α -частицей, обладавшей кинетической энергией $T_\alpha = 4,2$ МэВ. Определить тепловой эффект этой реакции, если протон, вылетевший под углом $\vartheta = 60^\circ$ к направлению движения α -частицы, получил кинетическую энергию $T = 2$ МэВ.

2.219. Определить тепловые эффекты следующих реакций:



2.220. Определить скорости продуктов реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, протекающей в результате взаимодействия тепловых нейтронов с покоящимися ядрами бора.

2.221. Определить теплоту Q , необходимую для нагревания

кристалла калия массой $m = 200$ г от температуры $T_1 = 4$ К до температуры $T_2 = 5$ К. Принять характеристическую температуру Дебая для калия $\theta_D = 100$ К и считать условие $T \ll \theta_D$ выполненным.

2.222. Вычислить характеристическую температуру θ_D Дебая для железа, если при температуре $T = 20$ К молярная теплоемкость железа $C^\mu = 0,226$ Дж/(К·моль). Условие $T \ll \theta_D$ считать выполненным.

2.223. Система, состоящая из $N = 10^{20}$ трехмерных квантовых осцилляторов, находится при температуре $T = \theta^E$ ($\theta^E = 250$ К). Определить энергию E системы.

2.224. Медный образец массой $m = 100$ г находится при температуре $T_1 = 10$ К. Определить теплоту Q , необходимую для нагревания образца до температуры $T_2 = 20$ К. Можно принять характеристическую температуру θ^D для меди равной 300 К, а условие $T \ll \theta^D$ считать выполненным.

2.225. Используя квантовую теорию теплоемкости Эйнштейна, определить коэффициент упругости β связи атомов в кристалле алюминия. Принять для алюминия $\theta^E = 300$ К.

2.226. Найти отношение средней энергии $\langle \varepsilon^{k\sigma} \rangle$ линейного одномерного осциллятора, вычисленной по квантовой теории, к энергии $\langle \varepsilon^{k\sigma} \rangle$ такого же осциллятора, вычисленной по классической теории. Вычисление произвести для двух температур: 1) $T = 0,1 \theta^E$; 2) $T = \theta^E$, где θ^E – характеристическая температура Эйнштейна.

2.227. Зная, что для алмаза $\theta_D = 2000$ К, вычислить его удельную теплоемкость при температуре $T = 30$ К.

2.228. Молярная теплоемкость C^μ серебра при температуре $T = 20$ К оказалась равной $1,65$ Дж/(моль·К). Вычислить по значению теплоемкости характеристическую температуру θ_D . Условие $T \ll \theta_D$ считать выполненным.

2.229. Вычислить (по Дебаю) удельную теплоемкость хлористого натрия при температуре $T = \theta_D / 20$. Условие $T \ll \theta_D$

считать выполненным.

2.230. Вычислить по теории Дебая теплоемкость цинка массой $m=100$ г при температуре $T=10$ К. Принять для цинка характеристическую температуру Дебая $\theta_D = 300$ К и считать условие $T \ll \theta_D$ выполненным.

2.231. Определить долю свободных электронов в металле при температуре $T = 0$ К, энергии ε которых заключены в интервале значений от $1/2 \varepsilon_{\max}$ до ε_{\max} .

2.232. Германиевый кристалл, ширина ΔE запрещенной зоны в котором равна $0,72$ эВ, нагревают от температуры $t_1=0$ °С до температуры $t_2=15$ °С. Во сколько раз возрастет его удельная проводимость?

2.233. При нагревании кремниевого кристалла от температуры $t_1 = 0$ °С до температуры $t_2 = 10$ °С его удельная проводимость возрастает в $2,28$ раза. По приведенным данным определить ширину ΔE запрещенной зоны кристалла кремния.

2.234. p-n-переход находится под обратным напряжением $U = 0,1$ В. Его сопротивление $R_1 = 692$ Ом. Каково сопротивление R_2 перехода при прямом напряжении?

2.235. Металлы литий и цинк приводят в соприкосновение друг с другом при температуре $T = 0$ К. На сколько изменится концентрация электронов проводимости в цинке? Какой из этих металлов будет иметь более высокий потенциал?

2.236. Сопротивление R_1 p-n-перехода, находящегося под прямым напряжением $U=1$ В, равно 10 Ом. Определить сопротивление R_2 перехода при обратном напряжении.

2.237. Найти минимальную энергию W_{\min} , необходимую для образования пары электрон—дырка в кристалле GaAs, если его удельная проводимость γ изменяется в 10 раз при изменении температуры от 20 °С до 3 °С.

2.238. Сопротивление R_1 кристалла PbS при температуре $t_1=20$ °С равно 10^4 Ом. Определить его сопротивление R_2 при температуре $t_2=80$ °С.

2.239. Каково значение энергии Ферми ε_F у электронов проводимости двухвалентной меди? Выразить энергию Ферми в джоулях и электрон-вольтах.

2.240. Прямое напряжение U , приложенное к p-n-переходу, равно 2 В. Во сколько раз возрастет сила тока через переход, если изменить температуру от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 273$ К?

2.241. Шарик массы $m = 50,0$ г подвешен на пружине жесткости $k = 49,3$ Н/м. Шарик поднимают до такого положения, при котором пружина не напряжена, и отпускают без толчка. Пренебрегая трением и массой пружины:

- а) найти период T и амплитуду A возникших колебаний;
- б) направив ось x вниз и совместив точку $x=0$ с начальным положением шарика, написать уравнение движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неделько, В. И. Физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Виталий Ильич Неделько, Андрей Георгиевич Хунджа. - М. : Академия, 2011. - 464 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование : Естественные науки). - Библиогр.: с. 461. - Доп. НМС по физике М-ва образования и науки РФ.
2. Струков, Б. А. Физика [Текст] : учебник / Борис Анатольевич Струков, Любовь Георгиевна Антошина, Сергей Васильевич Павлов ; под ред. Б. А. Струкова. - М. : Академия, 2011. - 400 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование: Бакалавриат). - Библиогр.: с. 392.
3. Трофимова, Т. И. Курс физики: задачи и решения [Текст] : учеб. пособие / Таисия Ивановна Трофимова, Александр Викторович Фирсов. - 4-е изд., испр. - М. : Академия, 2011. - 592 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование: Бакалавриат). - Доп. М-вом образования и науки РФ.
4. Трофимова, Т. И. Физика [Текст] : учебник для вузов / Таисия Ивановна Трофимова. - М. : Академия, 2012. - 320 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование: Бакалавриат). - Предм. указ.: с. 302 - 310.

Дополнительная литература

1. Айзензон, А. Е. Курс физики: учеб. пособ. для вузов / А. Е. Айзензон. - М.: Высш. шк., 1996. - 462 с.
2. Бондарев, Б. В. Курс общей физики [Текст] : учеб. пособие в 3-х кн. Кн. 1. Механика / Борис Владимирович Бондарев, Николай Павлович Калашников, Геннадий Георгиевич Спирин. - М. : Высш. шк., 2003. - 352 с. : ил. - Рек. М-вом образования РФ.
3. Бондарев, Б. В. Курс общей физики [Текст] : учеб. пособие в 3-х кн. Кн. 2. Электромагнетизм. Волновая оптика.

Квантовая физика / Борис Владимирович Бондарев, Николай Павлович Калашников, Геннадий Георгиевич Спирин. - М. : Высш. шк., 2003. - 438 с. : ил. - Рек. М-вом образования РФ.

4. Бондарев, Б. В. Курс общей физики [Текст] : учеб. пособие в 3-х кн. Кн. 3. Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества / Борис Владимирович Бондарев, Николай Павлович Калашников, Геннадий Георгиевич Спирин. - М. : Высш. шк., 2003. - 366 с. : ил. - Рек. М-вом образования РФ.

5. Гладской, В. М. Физика: сборник задач с решениями [Текст] : учеб. пособие / Владимир Матвеевич Гладской, Петр Иванович Самойленко. - М. : Дрофа, 2002. - 288 с. : ил. - (Высшее образование). - Доп. М-вом образования РФ.

6. Детлаф, А. А. Курс физики [Текст] : учеб. пособие для втузов / Андрей Антонович Детлаф, Борис Михайлович Яворский. - 3-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2001. - 718 с. : ил. - Предм. указ.: с. 688 - 710. - Рек. М-вом образования РФ.

7. Дмитриева Е.И. Физика для инженерных специальностей [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дмитриева Е.И. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2012. — 142 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/729>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.

8. Дмитриева, В. Ф. Физика: учеб. пособ. / под ред. В. Л. Прокофьева. - 3-е изд., стереотип. - М.: Высш. шк., 2000. - 415 с.

9. Кошкин, Н. И. Элементарная физика [Текст] : справочник / Николай Иванович Кошкин, Елена Николаевна Васильчикова. - М. : Высш. шк., 2003. - 261 с. : ил. - Предм. указ.: 257 - 261.

10. Курс физики в 2 т. Т. 1: рек. М-вом образования РФ в кач-ве учебника для студентов вузов, обуч. по по технич. спец. и направлениям / В. В. Арсентьев, В. Я. Кирпиченков, С. Ю. Князев [и др.]; под ред. В. Н. Лозовского. - СПб.: Лань, 2000. - 576 с.- (Учебники для вузов: Специальная литература).

11. Курс физики в 2 т. Т. 2: рек. М-вом образования РФ в кач-ве учебника для студентов вузов, обуч. по технич. спец. и направлениям / В.В. Арсентьев, В.Я. Кирпиченков, С.Ю. Князев [и др.]; под ред. В.Н. Лозовского. - СПб.: Лань, 2000. - 592 с. - (Учебники для вузов: Специальная литература).

12. Оселедчик, Ю. С. Физика: модульный курс для технических вузов [Текст] : учеб. пособие для вузов / Юрий Семенович Оселедчик, Петр Иванович Самойленко, Татьяна Николаевна Точилина. - М. : Юрайт, 2010. - 526 с. : ил. - (Основы наук). - Библиогр.: с. 525 - 526. - Доп. УМО по университетскому политехническому образованию.

13. Ремизов, А. Н. Курс физики [Текст] : учебник для вузов / Александр Николаевич Ремизов, Александр Яковлевич Потапенко. - М. : Дрофа, 2002. - 720 с. : ил. - Библиогр.: с. 692 - 694. - Доп. М-вом образования РФ.

14. Соболева В.В. Общий курс физики [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие к решению задач и выполнению контрольных работ по физике/ Соболева В.В., Евсина Е.М.— Электрон. текстовые данные.— Астрахань: Астраханский инженерно-строительный институт, ЭБС АСВ, 2013.— 250 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17058>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.

15. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособ. для вузов / Т.И. Трофимова. - 7-е изд., стереотип. - М.: Высш. шк., 2003. - 541 с.

Физика

16. Трофимова, Т. И. Сборник задач по курсу физики с решениями: рек. М-вом образования РФ в кач-ве учеб. пособ. для студентов вузов / Т. И. Трофимова, З. Г. Павлова. - 5-е изд., стереотип. - М.: Высш. шк., 2004. - 591 с.
17. Физика [Текст] / автор-сост. В. В. Барсуков. - Мн. : Интерпрессервис, 2002. - 160 с. - (Конспект первокурсника).
18. Физические величины [Текст] : справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с. : табл. - Библиогр. в конце гл.
19. Чертов, А. Г. Задачник по физике [Текст] / Александр Георгиевич Чертов, Анатолий Александрович Воробьев. - 8-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2007. - 640 с.

Электронные ресурсы

1. [Курбачев, Ю.Ф. Физика : учебное пособие / Ю.Ф. Курбачев. - М. : Евразийский открытый институт, 2011. - 216 с. - ISBN 978-5-374-00523-3 ; То же \[Электронный ресурс\]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=90773> \(27.09.2016\).](#)
2. [Любая, С.И. Физика : курс лекций / С.И. Любая ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2015. - 141 с. : табл., граф., схем., ил. - Библиогр. в кн. ; То же \[Электронный ресурс\]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720> \(27.09.2016\).](#)
3. [Третьякова, О.Н. Физика в задачах : учебное пособие / О.Н. Третьякова, Л.А. Лаушкина, В.М. Анисимов ; под ред. О.Н. Третьякова. - 4-е изд. - М. : Вузовская книга, 2012. -](#)

212 с. - ISBN 978-5-9502-0604-7 ; То же [Электронный ре-
сурс]. -

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=129687> (27
.09.2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица вариантов контрольной работы №1 для бакалавров

| Вариант | Номера задач | | | | | | | | |
|---------|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 1.1 | 1.25 | 1.49 | 1.73 | 1.97 | 1.121 | 1.145 | 1.169 | 1.190 |
| 1 | 1.2 | 1.24 | 1.48 | 1.72 | 1.96 | 1.120 | 1.144 | 1.168 | 1.189 |
| 2 | 1.3 | 1.23 | 1.47 | 1.71 | 1.95 | 1.119 | 1.143 | 1.167 | 1.188 |
| 3 | 1.4 | 1.22 | 1.46 | 1.70 | 1.94 | 1.118 | 1.142 | 1.166 | 1.187 |
| 4 | 1.5 | 1.21 | 1.45 | 1.69 | 1.93 | 1.117 | 1.141 | 1.165 | 1.186 |
| 5 | 1.6 | 1.20 | 1.44 | 1.68 | 1.92 | 1.116 | 1.140 | 1.164 | 1.185 |
| 6 | 1.7 | 1.19 | 1.43 | 1.67 | 1.91 | 1.115 | 1.139 | 1.163 | 1.184 |
| 7 | 1.8 | 1.18 | 1.42 | 1.66 | 1.90 | 1.114 | 1.138 | 1.162 | 1.183 |
| 8 | 1.9 | 1.17 | 1.41 | 1.65 | 1.89 | 1.113 | 1.137 | 1.161 | 1.182 |
| 9 | 1.10 | 1.16 | 1.40 | 1.64 | 1.88 | 1.112 | 1.136 | 1.160 | 1.181 |

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица вариантов контрольной работы №2 для бакалавров

| Вариант | Номера задач | | | | | | | | |
|---------|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 2.1 | 2.31 | 2.61 | 2.91 | 2.121 | 2.151 | 2.181 | 2.211 | 2.241 |
| 1 | 2.2 | 2.30 | 2.60 | 2.90 | 2.120 | 2.150 | 2.180 | 2.210 | 2.240 |
| 2 | 2.3 | 2.29 | 2.59 | 2.89 | 2.119 | 2.149 | 1.179 | 2.209 | 2.239 |
| 3 | 2.4 | 2.28 | 2.58 | 2.87 | 2.118 | 2.148 | 2.178 | 2.208 | 2.238 |
| 4 | 2.5 | 2.27 | 2.57 | 2.86 | 2.117 | 2.147 | 2.177 | 2.207 | 2.237 |
| 5 | 2.6 | 2.26 | 2.56 | 2.85 | 2.116 | 2.146 | 2.176 | 2.206 | 2.236 |
| 6 | 2.7 | 2.25 | 2.55 | 2.84 | 2.115 | 2.145 | 2.175 | 2.205 | 2.235 |
| 7 | 2.8 | 2.24 | 2.54 | 2.83 | 2.114 | 2.144 | 2.174 | 2.204 | 2.234 |
| 8 | 2.9 | 2.23 | 2.53 | 2.82 | 2.113 | 2.143 | 2.173 | 2.203 | 2.233 |
| 9 | 2.10 | 2.22 | 2.52 | 2.81 | 2.112 | 2.142 | 2.172 | 2.202 | 2.232 |