

Министерство образования Российской Федерации  
Уральский государственный научно-образовательный центр  
Российской академии образования  
Уральский государственный профессионально-педагогический  
университет

**СБОРНИК ЗАДАЧ**  
**ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

**Учебно-методическое пособие**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
высших и средних профессиональных учебных заведений  
по профессионально-педагогическому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений*

Екатеринбург  
2000

ББК 22.3  
УДК 530.1  
С 23

Сборник задач по курсу общей физики: Учеб.-метод. пособие / Л.В. Гулин, В.И. Житенев, П.П. Зольников, М.С. Маруня. - 2-е изд., перераб. и доп. - Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. - 69с.

В учебно-методическом пособии приведены контрольные задания по курсу общей физики, даны методические указания к выполнению контрольных работ, примеры решения типовых задач.

Предназначено студентам инженерно-педагогических и профессионально-педагогических специальностей.

Отв. редактор доктор физ.-мат. наук, профессор А.С. Борухович

Рецензенты: заведующий кафедрой общей физики Уральского государственного педагогического университета доктор физ.-мат. наук, профессор П.С. Попель; заведующий кафедрой микропроцессорной техники Уральского государственного профессионально-педагогического университета канд. техн. наук, доцент А.А. Карпов

ISBN 5-8050-0038-5

© Гулин Л.В., Житенев В.И.,  
Зольников П.П., Маруня М.С., 2000

© Уральский государственный профес-  
сионально-педагогический универ-  
ситет, 2000

## 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### 1.1. Самостоятельная работа студента

Учебная работа студента по курсу физики складывается из работы на установочных лекциях и практических занятиях во время лабораторно-экзаменационной сессии и решения задач контрольной работы в ходе самостоятельного изучения курса в межсессионный период.

Самостоятельное изучение курса физики следует проводить по учебным пособиям и учебникам [1-8]. Справочные материалы, необходимые при решении задач, приведены в приложениях.

### 1.2. Выполнение контрольной работы

При изучении курса физики студенты в зависимости от специализации выполняют от двух до четырех контрольных работ. В каждой из них необходимо решить восемь задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой шифра зачетной книжки студента. Номера задач вариантов приведены в таблицах, расположенных в данном учебном пособии перед содержанием задач.

Перед выполнением контрольной работы следует изучить примеры решения задач. Решение задач проводится в той же последовательности, что и в примерах, т.е. записываются основные законы и формулы, используемые в задаче, с разъяснением буквенных обозначений. В тех задачах, в которых используются векторные величины или приведены схемы механических устройств, электрических цепей, необходимо сделать поясняющий рисунок. Задача решается в общем виде. Для этого выводится рабочая формула, в которой через буквенные обозначения величин, заданных в условии задачи, определяется искомая физическая величина. После получения рабочей формулы в нее подставляются числовые значения величин в системе единиц СИ. Для упрощения расчетов числовые значения величин следует представлять в виде десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой и соответствующей степенью десяти. Например, вместо 4320 и 0,00523 надо записать  $4,32 \cdot 10^3$  и  $5,23 \cdot 10^{-3}$ .

Решения задач контрольной работы записываются в тетрадь с обязательным полным изложением условия каждой задачи. Контрольная работа высылается студентами-заочниками в деканат не позже чем за 20 дней до начала экзаменационной сессии. Если студент не успел выслать контрольную работу в срок, он привозит ее с собой на сессию, регистрирует в деканате и сдает на кафедру физики. В этом случае время проверки контрольной работы может превышать 7 дней.

Проверенную контрольную работу студент получает в деканате во время сессии, исправляет ошибки, если они есть, и защищает перед преподавателем результаты решения задач. Успешно защищенная контрольная работа зачитывается с отметкой в экзаменационной ведомости.

### **1.3. Выполнение лабораторных работ**

Целью лабораторных работ является закрепление знания основных законов физики, получение навыков работы с измерительными приборами, изучение методов обработки результатов измерений, формирование умений правильно представлять результаты эксперимента и делать из него выводы.

На лабораторную работу выделяется четыре часа. В течение первой половины времени изучаются теоретические вопросы, методика выполнения работы и проводятся измерения. В остальное время осуществляется обработка результатов измерений, оформляется отчет, который защищается перед преподавателем, ведущим лабораторную работу. Лабораторная работа считается выполненной, если студент провел измерения, составил отчет и успешно защитил его.

Методика выполнения лабораторной работы, теория изучаемого в ней физического явления, порядок оформления отчета и контрольные вопросы изложены в методических указаниях к лабораторной работе, которые выдаются студенту в лаборатории или в читальном зале библиотеки университета.

Перед выполнением лабораторной работы студенту нужно пройти инструктаж по технике безопасности. Разрешение на выполнение измерений дает преподаватель или лаборант.

### **1.4. Сдача экзамена и зачета**

Изучение физики в каждом семестре заканчивается сдачей экзамена или зачета. Вид отчетности определяется учебным планом и зависит от специализации, формы и сроков обучения.

Необходимое условием допуска студента к сдаче экзамена или зачета – выполнение всех контрольных мероприятий и лабораторных работ. Для студентов-заочников обязательным является собеседование с преподавателем, проверяющим контрольную работу. Только при положительном результате собеседования контрольная работа зачитывается и студент допускается к сдаче экзамена или зачета.

Экзамены и зачеты проводятся по расписанию во время лабораторно-экзаменационной сессии. По нормам высшей школы на экзамен выделяется целый день, на зачет – половина рабочего дня.

Экзамены принимаются по билетам, утвержденным заведующим кафедрой. В билете, как правило, имеется два теоретических вопроса и задача. Перечень теоретических вопросов комплекта билетов сообщается или выдается студентам на установочной сессии. Студенты, показавшие отличные и хорошие знания при защите контрольных работ, освобождаются от решения задачи на экзамене. Студенты, отлично выполнившие контрольные работы, по представлению преподавателя могут быть освобождены заведующим кафедрой от экзамена с проставлением в экзаменационную ведомость оценки "отлично". Список таких студентов сообщается учебной группе перед началом экзамена или зачета.

Зачет может приниматься по усмотрению преподавателя по билетам или по результатам выполнения контрольной работы.

## 2. МЕХАНИКА

### 2.1. Примеры решения задач

**Пример 1.** Эскалатор поднимает идущего по нему вверх человека за  $t_1=1$  мин. Если человек будет идти вдвое быстрее, то он поднимется за  $t_2=45$  с. Сколько времени будет подниматься человек, стоящий на эскалаторе?

**Р е ш е н и е.** Пусть искомое время равно  $t$ ; расстояние, которое человек проезжает на эскалаторе, равно  $s$ , а скорость движения эскалатора равна  $v$ . При равномерном движении эти величины связаны соотношением

$$t = \frac{s}{v} . \quad (1)$$

Аналогичные соотношения могут быть записаны для  $t_1$  и  $t_2$ :

$$t_1 = \frac{s}{v_1} , \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{s}{v_2} . \quad (3)$$

Скорости  $v_1$  и  $v_2$  можно найти следующим образом:

$$v_1 = v + v_0 , \quad (4)$$

$$v_2 = v + 2v_0 , \quad (5)$$

где  $v_0$  - скорость движения человека относительно эскалатора в случае, когда время подъема равно  $t_1$ .

Подставляя соотношения (4) и (5) в формулы (2) и (3), получим

$$t_1 = \frac{s}{v+v_0} , \quad (6)$$

$$t_2 = \frac{s}{v+2v_0} . \quad (7)$$

Перепишем соотношения (6) и (7) в виде

$$\frac{1}{t_1} = \frac{v}{s} + \frac{v_0}{s} ,$$

$$\frac{1}{t_2} = \frac{v}{s} + \frac{2v_0}{s} .$$

Введем обозначение  $x = v_0/s$ . Тогда с учетом соотношения (1) получим систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{t_1} &= \frac{1}{t} + x, \\ \frac{1}{t_2} &= \frac{1}{t} + 2x. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{t_1} &= \frac{1}{t} + x, \\ \frac{1}{t_2} &= \frac{1}{t} + 2x. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Почленное вычитание уравнения (8) из уравнения (9) дает

$$\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} = x.$$

Подставляя  $x$  в уравнение (8), получим

$$\frac{1}{t_1} = \frac{1}{t} + \frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1}.$$

После преобразований получим выражение

$$t = \frac{t_1 t_2}{2t_2 - t_1}.$$

Выразив  $t_1$  в секундах, находим

$$t = \frac{60 \cdot 45}{2 \cdot 45 - 60} = 90 \text{ с.}$$

**Пример 2.** Скорость тела, движущегося прямолинейно, меняется по закону  $v = At + Bt^3$ , где  $A = 1 \text{ м/с}^2$ ;  $B = 3 \text{ м/с}^4$ . Чему будет равно ускорение тела к моменту времени, когда оно пройдет расстояние  $s = 14 \text{ м}$ ?

**Решение.** Ускорение есть производная от скорости по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = A + 3Bt^2. \quad (1)$$

Время  $t$  находим, используя соотношение

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t (At + Bt^3) dt = \frac{At^2}{2} + \frac{Bt^4}{4}. \quad (2)$$

Введем обозначение  $z = t^2$  и, используя исходные данные, запишем соотношение (2) в виде

$$14 = \frac{z}{2} + \frac{3z^2}{4}.$$

После преобразований получим уравнение

$$3z^2 + 2z - 56 = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) дает

$$z_1 = \frac{-2 + \sqrt{4 + 4 \cdot 3 \cdot 56}}{6} = 4 \text{ с}^2,$$

$$z_2 = \frac{-2 - \sqrt{4 + 4 \cdot 3 \cdot 56}}{6} = -4,7 \text{ с}^2.$$

Значение  $z_2$  должно быть отброшено, так как в соответствии с введенным обозначением  $z > 0$ . Подставляя  $z = 4 \text{ с}^2$  в уравнение (1), находим

$$a = 1 + 3 \cdot 3 \cdot 4 = 37 \text{ м/с}^2.$$

**Пример 3.** Траектория движения материальной точки задается уравнениями:  $x = At^2$ ;  $y = Bt$ , где  $A = 4 \text{ м/с}^2$ ;  $B = 2 \text{ м/с}$ . Радиус кривизны траектории через промежуток времени  $t = 1 \text{ с}$  после начала движения равен  $R = 17 \text{ м}$ . Определить полное ускорение точки в этот момент времени. Построить траекторию движения за первые две секунды.

**Решение.** Уравнение траектории задано в параметрическом виде:

$$x = At^2, \quad (1)$$

$$y = Bt. \quad (2)$$

Чтобы получить уравнение траектории в явном виде, исключим время из уравнений (1) и (2):

$$y = \frac{B}{\sqrt{A}} \sqrt{x}.$$

Полученное выражение представляет собой уравнение верхней ветви параболы, ось которой направлена вдоль оси  $x$ . Для построения траектории найдем по уравнениям (1) и (2) значения  $x$  и  $y$  в моменты времени, взятые с интервалом  $0,5 \text{ с}$ :

$t, \text{ с}$	$x, \text{ м}$	$y, \text{ м}$
0,0	0	0
0,5	1	1
1,0	4	2
1,5	9	3
2,0	16	4

Траектория движения точки представлена на рис. 1.

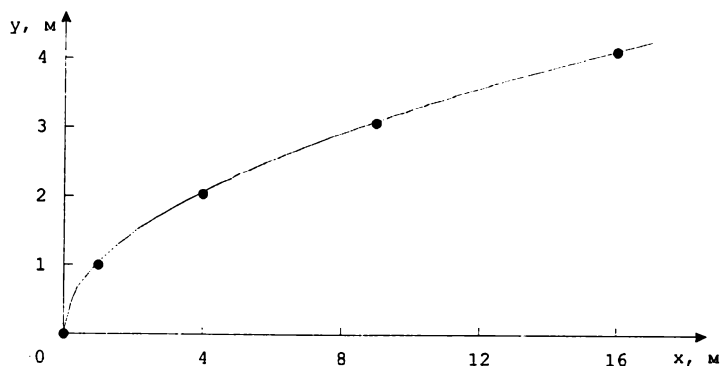


Рис. 1

Полное ускорение определяется по формуле

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2} , \quad (3)$$

где  $a_{\tau}$  и  $a_n$  - тангенциальное и нормальное ускорения соответственно. Эти ускорения находим по формулам

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} , \quad (4)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} , \quad (5)$$

где  $v$  - модуль вектора скорости точки, определяемый по формуле

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} . \quad (6)$$

В свою очередь,  $v_x$  и  $v_y$  - проекции вектора скорости на оси  $x$  и  $y$  - вычисляются по формулам

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2At , \quad (7)$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = B . \quad (8)$$

Подставляя уравнения (7) и (8) в (6), получим

$$v = \sqrt{4A^2t^2 + B^2} , \quad (9)$$

а затем в соответствии с формулой (4) находим

$$a_{\tau} = \frac{4A^2t}{\sqrt{4A^2t^2 + B^2}} = \frac{4 \cdot 4^2 \cdot 1}{\sqrt{4 \cdot 4^2 \cdot 1 + 4}} = 7,76 \text{ м/с}^2 . \quad (10)$$



Вычисления по формуле (9) дают значение модуля скорости, равное  $v = 8,25 \text{ м/с}$ , что после подстановки в уравнение (5) позволяет определить нормальное ускорение:

$$a_n = \frac{68}{17} = 4 \text{ м/с}^2. \quad (11)$$

Подставляя результаты вычислений по формулам (10) и (11) в выражение (4), находим полное ускорение:

$$a = \sqrt{7,76^2 + 4^2} = 8,73 \text{ м/с}^2.$$

**Пример 4.** Шайба лежит на платформе, вращающейся вокруг вертикальной оси. Расстояние от шайбы до оси вращения равно  $R = 2 \text{ м}$ . При частоте вращения  $n = 9 \text{ об/мин}$  шайба начинает скользить по платформе. Определить коэффициент трения шайбы о платформу.

**Решение.** На шайбу действуют три силы (рис. 2): сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила нормальной реакции опоры  $\vec{N}$  и сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$ .

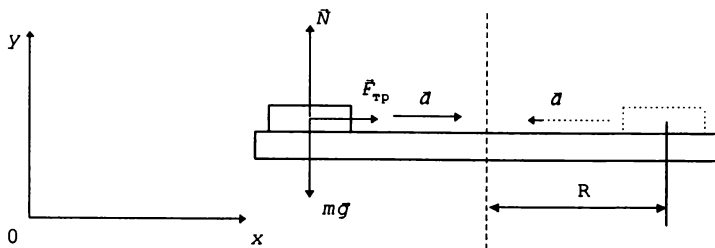


Рис. 2

Запишем уравнение движения шайбы (второй закон Ньютона) сначала в векторной форме:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a},$$

затем в проекциях на оси  $Ox$ :

$$F_{\text{тр}} = ma \quad (1)$$

и  $Oy$ :

$$N = mg. \quad (2)$$

Оставаясь неподвижной относительно платформы, шайба вместе с тем движется с ускорением, которое является центростремительным и определяется по формуле

$$a = \frac{v^2}{R}, \quad (3)$$

где  $v$  – линейная скорость шайбы.

Модуль силы трения вычисляется по формуле

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения.

Перепишем формулу (4) с учетом уравнения (2):

$$F_{\text{тр}} = \mu mg, \quad (5)$$

а уравнение (1) - с учетом формул (3) и (5):

$$\mu g = \frac{v^2}{R}. \quad (6)$$

Линейная скорость связана с частотой вращения соотношением

$$v = 2\pi Rn. \quad (7)$$

Подставляя уравнение (7) в формулу (6), имеем

$$\mu g = 4\pi^2 Rn^2.$$

После преобразований и подстановки исходных данных в системе СИ получим

$$\mu = \frac{4\pi^2 Rn^2}{g} = \frac{4\pi^2 \cdot 2 \cdot 9^2}{9,8 \cdot 60^2} = 0,18.$$

**Пример 5.** Конькобежец массой  $m_1$ , стоя на льду, толкает в горизонтальном направлении камень массой  $m_2 = 5$  кг и откатывается назад со скоростью  $u_1 = 0,3$  м/с относительно земли. Коэффициент трения камня о лед равен  $\mu = 0,06$ ; расстояние, на которое переместился камень, равно  $s = 15$  м. Определить массу конькобежца.

**Решение.** Конькобежец и камень (рис. 3) составляют замкнутую систему, для которой выполняется закон сохранения импульса

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2. \quad (1)$$

Левая часть уравнения (1) представляет собой импульс системы "конькобежец - камень" до толчка, когда камень и конькобежец покоились; правая - после толчка.

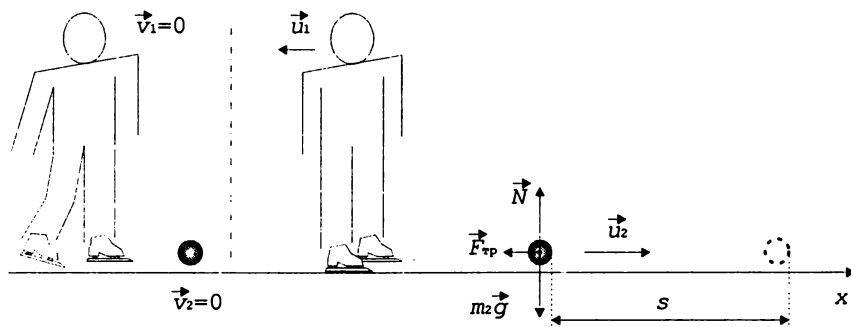


Рис. 3

Запишем уравнение (1) в проекциях на горизонтальную ось:

$$0 = -m_1 u_1 + m_2 u_2$$

и получим выражение для модуля скорости камня после броска

$$u_2 = \frac{m_1}{m_2} u_1. \quad (2)$$

При движении камня по льду на него действуют три силы: сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила нормальной реакции опоры  $\vec{N}$  и сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$ . Первые две силы перпендикулярны к направлению движения и работы не совершают, поэтому работа всех сил будет равна работе силы трения:

$$A = -\mu m_2 g s.$$

Изменение кинетической энергии камня в процессе торможения после броска составит

$$\Delta E_k = -\frac{m_2 u_2^2}{2}.$$

Используя теорему о кинетической энергии, получим

$$\frac{m_2 u_2^2}{2} = \mu m_2 g s. \quad (3)$$

Перепишав формулу (3) с учетом выражения (2):

$$\frac{m_1^2 u_1^2}{2m_2^2} = \mu g s,$$

получим выражение для расчета искомой величины

$$m_1 = \frac{m_2 \sqrt{2\mu g s}}{u_1}.$$

После подстановки исходных данных имеем

$$m_1 = \frac{5 \sqrt{2 \cdot 0,06 \cdot 9,8 \cdot 15}}{0,3} = 70 \text{ кг.}$$

**Пример 6.** Нерастяжимая тонкая гибкая нить одним концом закреплена, как показано на рис.4, затем перекинута через невесомый подвижный блок и через неподвижный блок в виде сплошного диска массой  $m = 6$  кг. К подвижному блоку подвешен груз массой  $m_1 = 5$  кг, ко второму концу нити подвешен груз массой  $m_2 = 10$  кг.

Определить: 1) скорости поступательного движения грузов  $v_1$  и  $v_2$ , когда они, будучи предоставленными самим себе, придут в движение и правый груз опустится на высоту  $h = 3,5$  м; 2) ускорения  $a_1$  и  $a_2$ , с которыми будут двигаться грузы; 3) силы натяжения нити. Трением, массой нити и подвижного блока можно пренебречь.

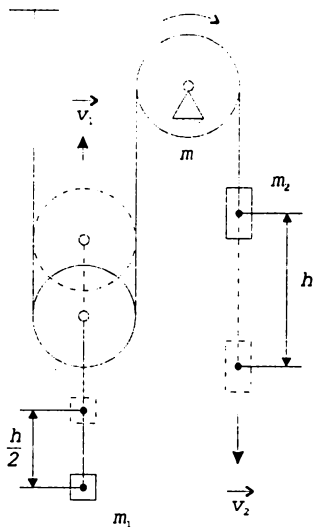


Рис. 4

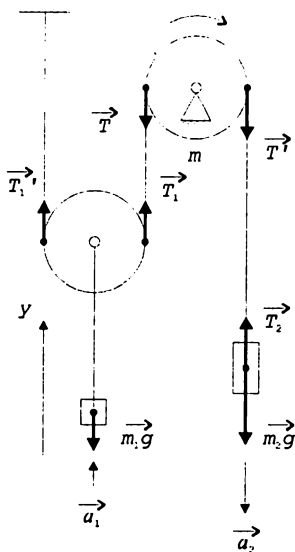


Рис. 5

**Решение.** На тела системы действуют консервативные силы тяжести и упругости, поэтому выполняется закон сохранения механической энергии:

$$\frac{J\omega^2}{2} + \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = m_2 g h - m_1 g \frac{h}{2}, \quad (1)$$

где  $\omega$  - угловая скорость неподвижного блока;

$J$  - момент инерции неподвижного блока.

Очевидно, что

$$v_1 = \frac{v_2}{2}. \quad (2)$$

Скорость поступательного движения правого груза совпадает с линейной скоростью точек, лежащих на ободе неподвижного блока, поэтому

$$v_2 = \omega R, \quad (3)$$

где  $R$  - радиус неподвижного блока.

Момент инерции блока в виде сплошного диска определяется по формуле

$$J = \frac{mR^2}{2}. \quad (4)$$

Перепишем уравнение (1) с учетом формул (2)–(4):

$$\frac{mR^2v_2^2}{4R^2} + \frac{m_1v_1^2}{8} + \frac{m_2v_2^2}{2} = (m_2 - \frac{m_1}{2})gh.$$

После преобразований получим

$$v_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2m_2 - m_1)gh}{2m + m_1 + 4m_2}}. \quad (5)$$

Подставляя исходные данные в формулу (5), найдем  $v_2$ :

$$v_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2 \cdot 10 - 5) \cdot 9,8 \cdot 3,5}{2 \cdot 6 + 5 + 4 \cdot 10}} = 6 \text{ м/с},$$

а затем по формуле (2) вычислим  $v_1$ :

$$v_1 = \frac{6}{2} = 3 \text{ м/с}.$$

Ускорение второго груза найдем по формуле

$$a_2 = \frac{v_2^2}{2h} = \frac{6^2}{2 \cdot 3,5} = 5,14 \text{ м/с}^2. \quad (6)$$

Очевидно, что ускорение первого груза будет вдвое меньше:

$$a_1 = \frac{5,14}{2} = 2,57 \text{ м/с}^2. \quad (7)$$

Рассмотрим силы, действующие на тела системы (рис. 5). На первый груз действуют силы натяжения нити  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_1'$ , а также сила тяжести  $m_1\vec{g}$ . На второй груз действует сила тяжести  $m_2\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}_2$ .

Направим ось  $y$  вертикально вверх и напомним для каждого груза уравнение движения (второй закон Ньютона) в проекциях на эту ось.

Для первого груза

$$T_1 + T_1' - m_1g = m_1a_1, \quad (8)$$

для второго груза

$$-T_2 + m_2g = m_2a_2. \quad (9)$$

Момент сил  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_1'$  относительно оси подвижного блока равен нулю, так как блок невесомый. Из этого следует, что  $T_1 = T_1'$  и уравнение (8) может быть переписано в виде

$$T_1 = \frac{m_1}{2}(g + a_1).$$

Найдем  $T_1$  с учетом формулы (7):

$$T_1 = \frac{5}{2} (9,8 + 2,57) = 30,9 \text{ Н.} \quad (10)$$

Выразим  $T_2$  из уравнения (9) и найдем с учетом (6):

$$T_2 = m_2(g - a_2) = 10 \cdot (9,8 - 5,14) = 46,6 \text{ Н.} \quad (11)$$

Под действием сил  $\vec{T}$  и  $\vec{T}'$  неподвижный блок будет вращаться по часовой стрелке с угловым ускорением  $\varepsilon$ . Согласно основному закону динамики вращательного движения

$$T'R - TR = J\varepsilon. \quad (12)$$

Угловое ускорение  $\varepsilon$  связано с ускорением второго груза  $a_2$  и радиусом неподвижного блока  $R$  соотношением

$$\varepsilon = \frac{a_2}{R}. \quad (13)$$

Подстановка формул (4) и (13) в выражение (12) приводит после сокращения на  $R$  к уравнению

$$T' - T = \frac{ma_2}{2}.$$

Это уравнение нужно лишь для проверки правильности ранее найденных значений  $T_1$  и  $T_2$ , так как согласно третьему закону Ньютона с учетом невесомости нити имеем

$$\begin{aligned} T' &= T_2 = 46,6 \text{ Н,} \\ T &= T_1 = 30,9 \text{ Н.} \end{aligned}$$

**Пример 7.** Горизонтальная платформа в виде сплошного диска массой  $m_1 = 200$  кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр, с частотой  $n = 8,5$  об/мин. Человек массой  $m_2$  стоит при этом в центре платформы. Когда человек перешел на край платформы, она стала вращаться с частотой  $n' = 5$  об/мин. Найти массу человека, считая его материальной точкой.

**Решение.** Человек и платформа представляют собой замкнутую систему тел, вращающихся вокруг одной и той же неподвижной оси. Для такой системы справедлив закон сохранения момента импульса

$$(J_1 + J_2)\omega = (J_1' + J_2')\omega', \quad (1)$$

где  $J_1$  и  $J_1'$  — моменты инерции платформы до и после перехода человека соответственно;

$J_2$  и  $J_2'$  — моменты инерции человека до и после перехода соответственно;

$\omega$  — угловая скорость платформы и человека до перехода;

$\omega'$  — угловая скорость платформы и человека после перехода.

Угловые скорости связаны с частотой вращения соотношениями

$$\omega = 2\pi n, \quad (2)$$

$$\omega' = 2\pi n'. \quad (3)$$

Момент инерции платформы (сплошного диска) определяется по формуле

$$J_1 = \frac{m_1 R^2}{2}, \quad (4)$$

где  $R$  - радиус платформы.

Очевидно, что  $J_1 = J_1'$ . Момент инерции человека (материальной точки), находящегося на краю платформы, определяется по формуле

$$J_2' = m_2 R^2. \quad (5)$$

Момент инерции человека, стоящего в центре платформы, равен  $J_2 = 0$ . С учетом этого, а также принимая во внимание формулы (2)-(5), перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{m_1 R^2}{2} 2\pi n = \left( \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2 \right) 2\pi n'.$$

После сокращений на общие множители и перегруппировки членов получим

$$m_2 = \frac{m_1 (n - n')}{2n'}. \quad (6)$$

Подстановка исходных данных в формулу (6) дает

$$m_2 = \frac{200 \cdot (8,5 - 5)}{2 \cdot 5} = 70 \text{ кг}.$$

## 2.2. Контрольная работа № 1

Номера задач для вариантов контрольной работы № 1 указаны в табл. 1.

Таблица 1

Вариант	Номер задачи							
0	110	120	130	140	150	160	170	161
1	101	111	121	131	141	151	161	162
2	102	112	122	132	142	152	162	163
3	103	113	123	133	143	153	163	164
4	104	114	124	134	144	154	164	165
5	105	115	125	135	145	155	165	166
6	106	116	126	136	146	156	166	167
7	107	117	127	137	147	157	167	168
8	108	118	128	138	148	158	168	169
9	109	119	129	139	149	159	169	170

101. Легковой автомобиль длиной  $l_1=4,5$  м, движущийся со скоростью  $v_1=90$  км/ч, обгоняет автопоезд длиной  $l_2=15$  м, движущийся со скоростью  $v_2=60$  км/ч. Определить длину участка обгона  $L$ , т.е. расстояние между точкой, в которой передний бампер автомобиля поравняется с задним бампером автопоезда, и точкой, в которой задний бампер автомобиля поравняется с передним бампером автопоезда. Как изменится  $L$ , если скорость автомобиля уменьшится до  $v'_1 = 75$  км/ч?

102. С помощью рентгеновского лазера, расположенного на круговой орбите  $H=150$  км, требуется уничтожить крылатую ракету длиной  $l=5$  м, движущуюся горизонтально со скоростью  $v=300$  м/с на высоте  $h=15$  м. Какое расстояние пролетит ракета за промежуток времени между "выстрелом" и ее поражением? Следует ли вводить упреждение в направление лазерного луча?

103. Скорость тела, движущегося прямолинейно, меняется по закону  $v=A+Bt+Ct^2$ , где  $A=1$  м/с;  $B=3$  м/с<sup>2</sup>;  $C=6$  м/с<sup>3</sup>. Какое расстояние пройдет тело к моменту времени, когда его ускорение станет равным  $a=27$  м/с<sup>2</sup>?

104. Тело движется вдоль оси  $x$  согласно уравнению  $x=A+Bt+Ct^2+Dt^3$ , где  $B=2$  м/с;  $C=1$  м/с<sup>2</sup>;  $D=0,5$  м/с<sup>3</sup>. Какой путь  $S$  оно пройдет за промежуток времени, в течение которого его ускорение возрастет с  $a_1=5$  м/с<sup>2</sup> до  $a_2=11$  м/с<sup>2</sup>?

105. Скорости двух тел, движущихся вдоль оси  $x$ , изменяются согласно уравнениям  $v_1=A_1+B_1t+C_1t^2$  и  $v_2=A_2+B_2t+C_2t^2$ , где  $A_1=2$  м/с;  $B_1=5$  м/с<sup>2</sup>;  $A_2=10$  м/с;  $B_2=1$  м/с<sup>2</sup>;  $C_1=C_2=0,3$  м/с<sup>3</sup>. Первое тело стартует из точки  $x_1=0$ , а второе - из точки  $x_2=10$  м. Определить ускорения тел в момент, когда первое тело догонит второе.

106. Тело движется вдоль оси  $x$  согласно уравнению  $x=A+Bt+Ct^2$ , где  $A=1$  м;  $B=2$  м/с;  $C=3$  м/с<sup>2</sup>. Время движения - 3 с. Определить средние скорости: а) за первую половину пути; б) за третью секунду движения.

107. Две точки движутся вдоль оси  $x$  согласно уравнениям  $x_1=A_1+B_1t+C_1t^2+D_1t^3$  и  $x_2=A_2+B_2t+C_2t^2+D_2t^3$ , где  $B_1=1$  м/с;  $C_1=2$  м/с<sup>2</sup>;  $D_1=0,1$  м/с<sup>3</sup>;  $B_2=2$  м/с;  $C_2=0,8$  м/с<sup>2</sup>;  $D_2=0,2$  м/с<sup>3</sup>. Каковы будут скорости точек, когда их ускорения окажутся одинаковыми?

108. Точки движутся вдоль оси  $x$  согласно уравнениям  $x_1=B_1t+C_1t^{-1}$  и  $x_2=B_2t+C_2t^2$ , где  $B_1=1$  м/с;  $C_1=4$  м-с;  $C_2=2$  м/с<sup>2</sup>. Определить ускорения точек в момент времени, когда скорость первой из них равна нулю.

109. Две точки движутся вдоль оси  $x$  так, что скорость первой из них меняется согласно уравнению  $v_1=Bt+Ct^2$ , где  $B=8$  м/с;  $C=-1$  м/с<sup>3</sup>, а скорость второй постоянна и равна  $v_2=12$  м/с. Определить расстояние между точками, когда их ускорения окажутся одинаковыми, если при  $t_n=0$  координаты точек были таковы:  $x_1=0$  м;  $x_2=10$  м. Каким будет это расстояние через  $t=8$  с после начала движения?

110. Две точки движутся вдоль оси  $x$  согласно уравнениям  $x_1=B_1t^2+C_1t^{-1}$  и  $x_2=B_2t$ , где  $B_1=1$  м/с<sup>2</sup>;  $C=-8$  м-с;  $B_2=2$  м/с. Определить скорости точек в момент, когда их ускорения одинаковы.

111. Зависимость пути  $s$ , пройденного телом, от времени  $t$  определяется уравнением  $s=At+Bt^2$ , где  $A=-1$  м/с;  $B=0,5$  м/с<sup>2</sup>. В какой момент времени тангенциальное ускорение  $a_t$  будет равно нормальному ускорению  $a_n$ , если радиус кривизны траектории равен  $R=1$  м? Определить также полное ускорение  $a$  в этот момент времени.

112. Точка движется согласно уравнению  $s=At+Bt^3$ , где  $A=1$  м/с;  $B=1$  м/с<sup>3</sup>. Определить радиус кривизны траектории в момент, когда полное ускорение равно  $a=10$  м/с<sup>2</sup>, а нормальное -  $a_n=8$  м/с<sup>2</sup>.



113.) Траектория движения точки задается уравнениями  $x=At$  и  $y=Bt^2$ , где  $A=3$  м/с;  $B=1$  м/с<sup>2</sup>. Определить угол между полным и нормальным ускорениями в момент времени  $t=2$  с, когда радиус кривизны траектории равен  $R=21$  м. Начертить траекторию за первые две секунды движения.

114. Траектория движения точки задается уравнениями  $x=At$  и  $y=Bt^2$ , где  $A=6$  м/с;  $B=40$  м/с<sup>2</sup>. Определить нормальное  $a_n$ , тангенциальное  $a_t$  и полное  $a$  ускорения в момент, когда точка отстоит от начала координат на  $L=2$  м, а радиус кривизны траектории равен  $R=10,4$  м. Начертить траекторию движения.

115. Траектория движения точки задается уравнениями  $x = A \cos \omega t$  и  $y = B \sin \omega t$ , где  $A=B=1$  м;  $\omega=2\pi$  с<sup>-1</sup>. Начертить траекторию движения и найти ускорение, с которым движется точка.

116. Траектория движения точки задается уравнениями  $x = A \cos \varepsilon t^2$  и  $y = B \sin \varepsilon t^2$ , где  $A=B=1$  м;  $\varepsilon=2$  с<sup>-1</sup>. Начертить траекторию движения. Найти нормальное  $a_n$ , тангенциальное  $a_t$  и полное  $a$  ускорения в момент, когда угол между векторами  $\vec{a}_n$  и  $\vec{a}$  равен  $\varphi = 45^\circ$ .

117. Траектория движения точки задается уравнениями  $x = A \cos \gamma t^3$  и  $y = B \sin \gamma t^3$ , где  $A=B=1$  м;  $\gamma=0,5$  с<sup>-1</sup>. Начертить траекторию движения. Найти нормальное  $a_n$  и полное  $a$  ускорения в момент времени, когда тангенциальное ускорение равно  $a_t=3$  м/с.

118. Траектория движения точки задается уравнениями  $x = A \sin \omega t$  и  $y = B \cos \omega t$ , где  $A=2$  м;  $B=1$  м;  $\omega=\pi$  с<sup>-1</sup>. Начертить траекторию движения и определить модуль и направление вектора полного ускорения  $\vec{a}$  в момент времени  $t=1$  с, если радиус кривизны траектории в этот момент равен  $R=4$  м.

119. Траектория движения точки задается уравнениями  $x=At^{-1}$  и  $y=Bt$ , где  $A=4$  м·с;  $B=1$  м/с. Начертить траекторию движения. Найти нормальное  $a_n$ , тангенциальное  $a_t$  и полное  $a$  ускорения в момент времени, когда точка находится на минимальном удалении от начала координат, если радиус кривизны траектории при этом равен  $R=2,8$  м.

120. Траектория движения точки задается уравнениями  $x = At$  и  $y = B \sin \omega t$ , где  $A=2$  м/с;  $B=1$  м;  $\omega=\pi$  с<sup>-1</sup>. Начертить траекторию за первые две секунды движения. Найти нормальное  $a_n$ , тангенциальное  $a_t$  и полное  $a$  ускорения в момент времени, когда скорость точки оказывается минимальной, если радиус кривизны траектории при этом равен  $R=40,5$  см.

121. В "рельсотроне", или электромагнитной пушке, снаряд разгоняется магнитным полем. Какова должна быть длина разгонного участка "рельсотрона", чтобы снаряд за  $t=0,01$  с разогнался до скорости  $v=8$  км/с? Считая силу магнитного воздействия на снаряд постоянной, определить, во сколько раз она превышает вес снаряда на поверхности Земли.

122. Скорость шарика, падающего вниз в глицерине, меняется со временем по закону  $v=v_0(1-e^{\alpha t})$ , где  $v_0=6,1$  см/с;  $\alpha=140$  с<sup>-1</sup>. Определить плотность шарика  $\rho_{ш}$ , если известно: 1) через  $t=0,01$  с после начала движения сила вязкого трения по модулю в 3 раза больше равнодействующей всех сил, приложенных к шарiku; 2) плотность глицерина равна  $\rho_r=1,25 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

**123.** Сила сопротивления, действующая на пузырек пара, поднимающийся в жидкости, определяется по формуле Стокса  $F_c = 4\pi R\eta v$ , где  $R$  - радиус пузырька;  $\eta$  - коэффициент вязкости жидкости;  $v$  - скорость движения пузырька. Определить вязкость жидкости, если  $R=3$  мм, а скорость движения пузырька постоянна и равна  $v=0,02$  м/с. Плотность пара считать пренебрежимо малой по сравнению с плотностью жидкости  $\rho_{\text{ж}}=1$  г/см<sup>3</sup>.

**124.** Груз массой  $m=1000$  кг опускают на стальном тросе с постоянной скоростью  $v=20$  м/с. Определить минимальное время торможения, при котором трос не порвется, если: 1) длина троса  $l=500$  м; 2) линейная плотность троса (масса одного погонного метра)  $\tau=0,39$  кг/м; 3) прочность троса на разрыв  $F_n=170$  кН.

**125.** Проволока выдерживает груз массой  $m_1=110$  кг при вертикальном подъеме его с некоторым ускорением и груз массой  $m_2=690$  кг при опускании его с таким же по модулю ускорением. Какова максимальная масса груза, который сможет выдержать эта проволока, если поднимать его с постоянной скоростью?

**126.** Атлет раскручивает молот (шар массой  $m=7$  кг, привязанный к тросу) так, что шар движется по окружности радиусом  $R=1$  м, а путь, пройденный шаром во время раскрутки, растет в соответствии с уравнением  $s=Bt+Ct^2$ , где  $B=4$  м/с;  $C=2$  м/с<sup>2</sup>. Трос выдерживает нагрузку  $F_n=14$  кН. Какой запас прочности имеет трос в момент броска молота, если продолжительность раскрутки  $t=4$  с?

**127.** На краю круглой платформы радиусом  $R=2,35$  м лежит шайба. Платформа вращается так, что путь, проходимый шайбой, растет в соответствии с уравнением  $s=Ct^2$ , где  $C=0,5$  м/с<sup>2</sup>. В какой момент времени шайба соскользнет с платформы, если коэффициент трения равен  $\mu=0,2$ ?

**128.** Машина Атвуда, представляющая собой систему из двух тел массами  $m_1$  и  $m_2$ , соединенных невесомой нитью, перекинутой через невесомый блок, может быть использована для взвешивания тел. Определить массу тела  $m_1$ , если тело массой  $m_2=2$  кг движется вниз с ускорением  $a=1,4$  м/с<sup>2</sup>.

**129.** На краю горизонтальной плоскости установлен невесомый блок, через который перекинута нерастяжимая невесомая нить, соединяющая два груза, один из которых движется вертикально и имеет массу  $m_1=2$  кг, а другой движется горизонтально и имеет массу  $m_2=1,5$  кг. Определить ускорение, с которым движутся грузы, если коэффициент трения для плоскости  $\mu=0,2$ .

**130.** Молот массой  $m=1$  т падает на наковальню с высоты  $H=127$  см. Длительность удара  $\Delta t=0,01$  с. Определить среднее значение силы удара.

**131.** Одним из движителей космических кораблей может быть "световой парус" - зеркальная пленка, получающая импульс при падении на нее света. Начальная скорость корабля равна  $v_1=7,9$  км/с (первая космическая), конечная скорость равна  $v_2=11,2$  км/с (вторая космическая). Сколько фотонов (частиц света) должно отразиться от "светового паруса", если: 1) свет падает на "парус" по нормали; 2) масса корабля с "парусом"  $m=500$  т; 3) масса фотона  $m_0=0,5 \cdot 10^{-35}$  кг?

**132.** Определить давление газа на стенки сосуда, если: 1) масса одной молекулы  $m=3,3 \cdot 10^{-27}$  кг; 2) скорость молекулы  $v=2$  км/с; 3) число молекул, движущихся по нормали к стенке сосуда, составляет  $n=10^{19}$  на 1 см<sup>3</sup> объема сосуда.

**133.** Какой импульс получит покоящийся электрон при попадании в него  $\gamma$ -кванта, если: 1) масса падающего  $\gamma$ -кванта  $m_1=3,3 \cdot 10^{-30}$  кг; 2) масса рассеянного  $\gamma$ -кванта  $m_2=0,71 \cdot 10^{-30}$  кг; 3) угол между направлениями движения падающего и рассеянного  $\gamma$ -квантов равен  $\vartheta = 90^\circ$ ?

**134.** Фотон падает по нормали на металлическую пластинку и в результате фотоэффекта выбивает из нее электрон, движущийся по нормали в направлении, противоположном направлению движения фотона. Какой импульс получит пластина при попадании в нее одного фотона, если масса фотона  $m_\phi=5 \cdot 10^{-34}$  кг, а кинетическая энергия электрона равна  $T_e=4,1 \cdot 10^{-19}$  Дж?

**135.** При анализе дорожно-транспортного происшествия установлено, что автомобиль А совершил наезд на неподвижный автомобиль В. После наезда автомобиль В продвинулся вперед на расстояние  $s_B=8$  м, а автомобиль А откатился назад на расстояние  $s_A=0,5$  м. Во сколько раз масса автомобиля А меньше массы автомобиля В, если допустить, что в момент наезда имел место упругий удар?

**136.** Для сбора космического "мусора" на околоземной орбите может быть использована сеть-ловушка. С какой скоростью станет двигаться космический "мусорщик" массой  $m_1=50$  т, оборудованный такой сетью и имеющий скорость  $v_1=8,050$  км/с, после захвата вышедшего из строя спутника массой  $m_2=1$  т, двигавшегося в момент захвата в том же направлении, что и "мусорщик", со скоростью  $v_2=8,000$  км/с?

**137.** Во время испытания двух одинаковых автомобилей, проведенного перед экоралли, установлено, что первый автомобиль, двигавшийся со скоростью  $v_1=40$  км/ч, прошел накатом после выключения двигателя расстояние  $s_1=300$  м, а второй, двигавшийся со скоростью  $v_2=50$  км/ч, прошел при тех же условиях расстояние  $s_2=375$  м. Одинаковы ли для обоих автомобилей шансы на победу в экоралли?

**138.** Тело массой  $m=1$  кг, теплоемкость которого  $C=453$  Дж/К, соскальзывает без начальной скорости с наклонной плоскости высотой  $h=1$  м. Определить скорость тела в конце плоскости, если, соскочив, оно нагрелось на  $\Delta T=0,015$  К.

**139.** При забивании сваи массой  $m_1=0,5$  т копер массой  $m_2=1$  т падает с высоты  $h=1,5$  м. Считая удар копра о сваю неупругим, определить, на какую глубину погрузится она в грунт, если средняя сила сопротивления грунта  $\langle F_c \rangle = 200$  кН.

**140.** При взвешивании космонавта на орбитальной станции между ним и эталонной массой  $m_0=5$  кг устанавливается сжатая пружина, при разжатии которой космонавт и эталонная масса начинают двигаться в противоположных направлениях. Определить массу космонавта  $m_k$ , если известно: 1) жесткость пружины  $k=10,7$  Н/м; 2) начальное сжатие пружины  $x=10$  см; 3) кинетическая энергия эталонной массы после разжатия пружины  $T_0=0,05$  Дж; 4) масса пружины много меньше как  $m_k$ , так и  $m_0$ .

**141.** Подвешены два одинаковых шарика: первый на нити длиной  $l_1=0,5$  м, второй - на нити длиной  $l_2=1$  м. Когда нити вертикальны, шарики касаются друг друга, а линия, соединяющая их центры, горизонтальна. Если отклонить первый шарик на угол  $\alpha_1=15^\circ$ , то второй после столкновения отклоняется на угол  $\alpha_2=8^\circ$ , причем в момент столкновения первая нить обрывается. Каков характер столкновения (абсолютно упругий, абсолютно неупругий, частично упругий)?

142. Автомобиль массой  $m=1$  т движется по горизонтальному участку дороги. Путь, проходимый им, меняется по закону  $s=At+Bt^2$ , где  $A=1$  м/с;  $B=1$  м/с<sup>2</sup>. В какой момент времени  $t$  мощность двигателя будет равна  $N=70$  кВт, если сила сопротивления при этом равна  $F_c=12$  кН?

143. Потенциальная энергия двух  $\alpha$ -частиц, находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга, вычисляется по формуле  $U=U_0/r$ , где  $U_0=9,56 \cdot 10^{-28}$  Н·м. До какого минимального расстояния смогут сблизиться  $\alpha$ -частицы, начинающие двигаться из бесконечности навстречу друг другу с относительной скоростью сближения  $v=3 \cdot 10^6$  м/с, если масса  $\alpha$ -частицы  $m=6,64 \cdot 10^{-27}$  кг?

144. Долбежный станок за  $t=5$  мин прорезает паз глубиной  $h=8$  мм и длиной  $l=100$  мм. Определить КПД привода станка (отношение работы резания к энергии, потребляемой станком), если: 1) увеличение длины паза за один вертикальный проход резца составляет  $\Delta l=0,5$  мм; 2) усилие резания составляет  $F_p=10$  кН; 3) мощность двигателя равна  $N=0,5$  кВт.

145. Товар взвешивается на пружинных весах. Жесткость пружины равна  $k=10$  Н/см. Взвешивание производится тремя способами: 1) товар кладется на чашку весов в момент, когда пружина сжата на  $y_1=1$  см и когда сила упругости равна весу товара; 2) товар кладется на чашку весов, когда пружина не деформирована; 3) товар падает на чашку весов с высоты  $h=4$  см. Оценить относительную погрешность при взвешивании, если отсчет во всех случаях производится в момент максимального сжатия пружины.

146. Сила упругости, возникающая при сжатии пружины, равна  $F=30$  Н. Жесткость пружины  $k=750$  Н/м. Какая энергия затрачена на деформацию пружины?

147. Пружина сжата на  $x_1=10$  см. Какая работа будет совершена при дополнительном сжатии пружины до  $x_2=15$  см, если сила упругости в конце сжатия равна  $F_2=150$  Н?

148. Определить мощность гидропривода, если при давлении  $p=500$  кПа поршень, площадь которого  $S=100$  см<sup>2</sup>, равномерно перемещается на расстояние  $l=100$  мм за  $t=2$  с.

149. Шар массой  $m=40$  г, падая на пол с высоты  $h_1=1$  м, уменьшил свой импульс в момент удара на  $\Delta p=0,31$  кг·м/с. На какую высоту  $h_2$  поднимется шар после удара?

150. Тело массой  $m=0,5$  кг движется прямолинейно так, что его скорость меняется согласно уравнению  $v=A(1-e^{-Dt})$ , где  $A=1$  м/с;  $D=1$  с<sup>-1</sup>. Определить работу сил, действующих на тело, за первые две секунды движения.

151. Какую мощность развивает двигатель токарного станка, если при обработке детали диаметром  $d=20$  мм резец преодолевает силу сопротивления  $F=1$  кН при частоте вращения детали  $n=150$  об/мин?

152. Гироаккумулятор, представляющий собой однородный цилиндр массой  $m_1=100$  кг и диаметром  $d=0,5$  м, вращающийся вокруг своей оси, используется для перемещения вагонетки массой  $m_2=0,5$  т. Определить коэффициент сопротивления при движении вагонетки (отношение силы сопротивления к суммарному весу вагонетки и гироаккумулятора), если при частоте вращения гироаккумулятора  $n=70$  об/с вагонетка проходит по горизонтали расстояние  $s=0,5$  км.

153. Определить максимальную мощность привода манипулятора, равноускоренно перемещающего груз массой  $m=5$  кг по дуге радиусом  $R=1,5$  м за  $t=2$  с, если известно: 1) момент инерции манипулятора  $J=15$  кг·м<sup>2</sup>; 2) угол поворота  $\Delta\varphi=90^\circ$ ; 3) груз можно считать точечной массой.

154. Определить линейную скорость вершины спиленного дерева в конце падения. Дерево считать однородным стержнем длиной  $l=20$  м.

155. Дверь захлопывается автоматически за счет опускания груза массой  $m_1=4$  кг, соединенного с ней через невесомые блоки. Ширина двери равна  $l=1,5$  м; масса двери равна  $m_2=40$  кг. Пренебрегая трением, определить, на какую высоту был поднят груз при открывании двери, если в момент захлопывания скорость вращения двери составила  $n=15$  об/мин?

156. При отказе двигателя вертолета и остановке винта, произошедшей на высоте  $h_1=600$  м, пилот перешел в режим авторотации и винт стал раскручиваться потоком воздуха, набегающим при падении вертолета. Определить высоту  $h_2$ , на которой возможно возникновение подъемной силы винта, если известно: 1) подъемная сила возникает при скорости вращения винта  $n=900$  об/мин; 2) винт имеет четыре лопасти, каждую из которых можно считать однородным стержнем длиной  $l=4$  м и массой  $m_n=50$  кг; 3) масса вертолета (без винта)  $m_v=1$  т; 4) скорость падения вертолета на высоте  $h_2$  равна  $v=20$  м/с.

157. Однородный шар движется вниз по наклонной плоскости, либо соскальзывая без вращения, либо скатываясь с нее. В каком случае скорость поступательного движения шара у основания плоскости будет больше и во сколько раз?

158. Определить момент сил  $M$ , действующих на пулю калибра  $d=7,62$  мм и массой  $m=10$  г в стволе винтовки длиной  $l=0,6$  м, если известно: 1) пуля представляет собой однородный цилиндр; 2) при вылете из ствола пуля успевает сделать  $N=4$  полных оборота и имеет скорость  $v=600$  м/с; 4) пуля в стволе движется равноускоренно.

159. Ведомый диск сцепления автомобиля представляет собой плоское кольцо, наружный диаметр которого равен  $d_1=210$  мм, а внутренний диаметр равен  $d_2=190$  мм. Коэффициент трения покоя ведомого диска о ведущий  $\mu=0,5$ . С какой силой  $F$  надо прижимать диски друг к другу, чтобы при мощности двигателя  $N=50$  кВт скорость вращения дисков была равной  $n=4800$  об/мин? Чему равен при этом крутящий момент  $M$ ?

160. Ствол орудия имеет внутри винтовую нарезку с шагом  $h=15$  см. Снаряд представляет собой однородный цилиндр диаметром  $d=5,6$  мм. Во сколько раз кинетическая энергия вращения снаряда меньше кинетической энергии поступательного движения?

161. К невесомой нити, намотанной на однородный цилиндрический барабан массой  $m_1=3$  кг, привязан груз массой  $m_2=1$  кг. Ось вращения барабана горизонтальна и неподвижна. С какой скоростью будет двигаться груз через  $t=2$  с после того, как его отпустить?

162. Два груза, массы которых равны  $m_1=1,5$  кг и  $m_2=0,5$  кг, соединены невесомой нитью, перекинутой через блок, который представляет собой однородный диск массой  $m_3=1$  кг. Определить ускорение  $a$ , с которым движутся грузы.

163. На краю горизонтальной плоскости установлен блок, представляющий собой однородный диск диаметром  $d=6,6$  см. Масса блока равна  $m=3$  кг. Через блок перекинута нерастяжимая невесомая нить, соединяющая два груза, один из которых движется вертикально и имеет массу  $m_1=2$  кг, а другой движется горизонтально и имеет массу  $m_2=1,5$  кг. Коэффициент трения для плоскости равен  $\mu=0,2$ . Сколько оборотов  $N$  сделает блок за промежуток времени  $\Delta t=0,5$  с после начала движения?

164. Центробежный сепаратор представляет собой цилиндрическую емкость с внутренним диаметром  $D=10$  см, свободно вращающуюся вокруг оси цилиндра, расположенной вертикально (рис. 6). Момент инерции сепаратора равен  $J=950$  г·см<sup>2</sup>. Через отверстие в верхней части сепаратора заливается порция водно-керосиновой эмульсии, полностью заполняющая объем сепаратора и содержащая  $m_w=20$  г воды и  $m_k=20$  г керосина. Скорость вращения сепаратора составляет при этом  $n=15$  об/с. С какой скоростью  $n'$  будет вращаться сепаратор после разделения жидкостей, если плотности воды и керосина равны соответственно  $\rho_w=1$  г/см<sup>3</sup> и  $\rho_k=0,8$  г/см<sup>3</sup>?

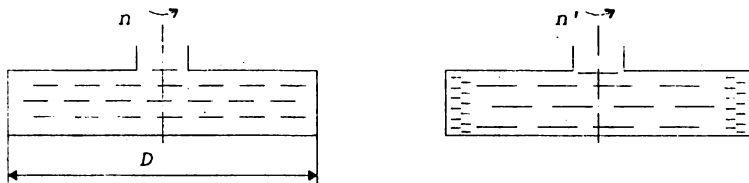


Рис. 6

165. Орбитальная станция представляет собой цилиндр, внешний диаметр которого  $D=10$  м, внутренний диаметр  $d=9$  м, а момент инерции  $J=4 \cdot 10^5$  кг·м<sup>2</sup>. Для создания искусственной силы тяжести, составляющей  $\eta=30\%$  от силы тяжести на поверхности Земли, станцию раскручивает реактивный двигатель, расположенный на ее внешней поверхности. Какое минимальное количество топлива и окислителя потребуется для этого, если скорость истечения продуктов сгорания из сопла двигателя равна  $v=800$  м/с? Как при этом должна быть направлена сила тяги двигателя?

166. Тело вращается так, что зависимость числа оборотов  $N$  от времени  $t$  задается уравнением  $N=Bt+Ct^2$ , где  $B=0,5$  с<sup>-1</sup>;  $C=2$  с<sup>-2</sup>. Определить угловую скорость  $\omega$ , угловое ускорение  $\varepsilon$ , касательное ускорение  $a_t$  и нормальное ускорение  $a_n$  для точки, отстоящей от оси вращения на расстояние  $r=0,5$  см в момент времени  $t=2$  с.

167. На однородный барабан массой  $m=3$  кг действует тормозящий момент  $M=15$  Н·м так, что угловая скорость  $\omega$  барабана меняется со временем согласно уравнению  $\omega = B+Ct$ , где  $B=16$  с<sup>-1</sup>;  $C=-1$  с<sup>-2</sup>. Определить: 1) диаметр барабана; 2) число оборотов, которое он сделает до полной остановки.

168. Неподвижный маховик под действием момента сил  $M=0,8$  Н·м начинает вращаться и через  $t=2$  с делает  $N=8$  оборотов. Определить момент инерции  $J$  маховика и его угловую скорость  $\omega$  через  $t_1=1$  с после начала движения.

169. Линейная скорость  $v$  точек, расположенных на боковой поверхности вращающегося однородного цилиндра, меняется со временем согласно уравнению  $v=A+Dt$ , где  $A=0,5$  м/с;  $D=1$  м/с<sup>2</sup>. Определить момент сил  $M$ , действующих на цилиндр, если его масса равна  $m=3$  кг, а диаметр равен  $d=10$  см. Сколько оборотов сделает цилиндр за время  $t=3$  с?

170. На маховик, насаженный на коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания, намотана веревка, дернув за которую можно раскрутить маховик и запустить двигатель. Какова должна быть длина веревки  $l$ , если известно: 1) сила натяжения веревки равна  $F=160$  Н; 2) суммарный момент инерции маховика и коленчатого вала равен  $J=0,27$  кг·м<sup>2</sup>; 3) двигатель запускается при частоте вращения маховика  $n=280$  об/мин?

### 3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

#### 3.1. Примеры решения задач

**Пример 1.** Определить число молекул в  $1 \text{ мм}^3$  воды и массу одной молекулы воды.

**Решение.** Число  $N$  молекул, содержащихся в массе  $m$  вещества, имеющего молярную массу  $\mu$ , равно числу Авогадро  $N_A$ , умноженному на число молей  $\nu = m/\mu$ :

$$N = \frac{m}{\mu} N_A.$$

Масса вещества определяется как  $m = \rho V$ , следовательно,

$$N = \frac{\rho V}{\mu} N_A, \quad (1)$$

где  $\rho$  - плотность воды.

После подстановки числовых значений в формулу (1) имеем

$$N = \frac{10^3 \cdot 10^{-9}}{18 \cdot 10^{-3}} 6,02 \cdot 10^{23} = 3,34 \cdot 10^{19} \text{ молекул.}$$

Массу  $m_0$  одной молекулы воды можно определить, разделив массу одного моля на число Авогадро:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

**Пример 2.** Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle$  вращательного движения молекулы водорода при температуре  $t^\circ = 27^\circ \text{C}$  и кинетическую энергию  $E_{\text{вр}}$  вращательного движения всех молекул водорода массой  $m = 2 \text{ г}$ .

**Решение.** В соответствии с теоремой о равномерном распределении энергии по степеням свободы на каждую степень свободы молекулы приходится энергия  $\langle \epsilon_1 \rangle = \frac{kT}{2}$ . Вращательному движению двухатомной молекулы соответствуют две степени свободы. Следовательно, средняя энергия вращательного движения молекулы водорода равна

$$\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle = 2 \frac{kT}{2} = kT. \quad (1)$$

Произведем вычисления:

$$\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 4,14 \cdot 10^{-23} \text{ Дж.} \quad (2)$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа вычисляется по формуле

$$E_{\text{вр}} = \langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle N, \quad (3)$$

где  $N$  - число всех молекул газа, равное  $N = N_A \nu$ ;

$N_A$  - число Авогадро;

$\nu$  - количество вещества.

Учтем, что количество вещества  $\nu = m/\mu$ , где  $m$  - масса газа;  $\mu$  - молярная масса газа. Тогда выражение  $N = N_A \nu$  примет вид

$$N = N_A \frac{m}{\mu}. \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в формулу (3):

$$E_{\text{вр}} = \left\langle \varepsilon_{\text{вр}} \right\rangle N_A \frac{m}{\mu}.$$

Произведем вычисления, учитывая, что молярная масса водорода  $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль:

$$E_{\text{вр}} = 4,14 \cdot 10^{-21} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 24,9 \cdot 10^2 \text{ Дж} = 2,49 \text{ кДж}.$$

**Пример 3.** Газообразный кислород массой  $m = 10$  г находится под давлением  $P_1 = 3 \cdot 10^5$  Па при температуре  $t_1^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$ . После расширения вследствие нагревания при постоянном давлении газ занял объем  $V = 10$  л. Найти объем и плотность газа до расширения, температуру и плотность газа после расширения.

**Р е ш е н и е.** Для нахождения объема кислорода до расширения воспользуемся уравнением Менделеева - Клапейрона и учтем, что молярная масса кислорода  $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль:

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1.$$

Тогда

$$V_1 = \frac{m R T_1}{\mu P_1} = \frac{0,01 \cdot 8,31 \cdot 283}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^5} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Плотность кислорода до расширения равна

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} = \frac{0,01}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 4,14 \text{ кг/м}^3.$$

Температуру кислорода после расширения можно найти, применив закон Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует:

$$T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1} = \frac{10^{-2} \cdot 283}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 1180 \text{ К}.$$

Плотность кислорода после расширения равна

$$\rho_2 = \frac{m}{V_2} = \frac{0,01}{10^{-2}} = 1 \text{ кг/м}^3.$$

**Пример 4.** Кислород массой  $m = 2$  кг занимает объем  $V_1 = 1 \text{ м}^3$  и находится под давлением  $P_1 = 0,2$  МПа. После нагревания при постоянном давлении он занял объем  $V_2 = 3 \text{ м}^3$ , а затем его давление в ходе изохорического процесса стало равным  $P_3 = 0,5$  МПа. Найти изменение внутренней энергии газа  $\Delta U$ , совершенную им работу  $A$  и количество теплоты  $Q$ , переданной газу. Построить график процесса.



Р е ш е н и е. График процесса приведен на рис. 7.

Работа расширения газа  $A_{12}$  при изобарическом переходе из состояния 1 в состояние 2 выражается формулой

$$A_{12} = P_1 \Delta V = P_1 (V_2 - V_1).$$

Работа газа  $A_{23}$  при изохорическом переходе из состояния 2 в состояние 3 равна нулю. Таким образом, полная работа  $A$ , совершаемая газом при переходе из состояния 1 в состояние 3 равна

$$A = A_{12} = P_1 (V_2 - V_1).$$

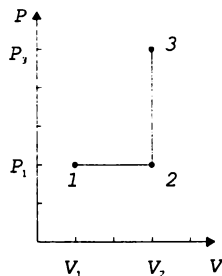


Рис. 7

Изменение внутренней энергии газа при переходе 1→2→3 определяется соотношением

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R (T_3 - T_1), \quad (1)$$

где  $i$  - число степеней свободы газа;

$T_1$  и  $T_3$  - температура газа соответственно в начальном и конечном состояниях.

Уравнения Менделеева - Клапейрона для состояний 1 и 3 запишутся в виде

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1, \quad (2)$$

$$P_3 V_2 = \frac{m}{\mu} R T_3. \quad (3)$$

После совместного решения уравнений (1)-(3) получим выражение для изменения внутренней энергии газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} (P_3 V_2 - P_1 V_1).$$

Согласно первому началу термодинамики, теплота  $Q$ , переданная газу, расходуется на совершение газом работы и на изменение его внутренней энергии:

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

Произведем вычисления, учитывая, что для двухатомных молекул кислорода  $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, а число степеней свободы  $i=5$ :

$$A = A_{12} = 0,2 \cdot 10^6 \cdot (3 - 1) = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 0,4 \text{ МДж},$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot (0,5 \cdot 10^6 \cdot 3 - 0,2 \cdot 10^6 \cdot 1) = 3,25 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,25 \text{ МДж},$$

$$Q = (3,25 + 0,4) = 3,65 \text{ МДж}.$$

**Пример 5.** Холодильник, работающий по циклу Карно, поглощает тепло из морозильной камеры при температуре  $0^\circ\text{C}$  и передает его окружающему воздуху при температуре  $t^\circ = 27^\circ\text{C}$ . При этом мотор холодильника совершает работу, равную 1 Дж. Насколько изменится энтропия морозильной камеры? Насколько изменится энтропия системы "воздух - морозильная камера"?

**Решение.** Коэффициент преобразования холодильника равен

$$\frac{Q_2}{A} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}, \quad (1)$$

где  $Q_2$  - тепло, передаваемое рабочему телу холодильника морозильной камерой;

$A$  - работа;

$T_2$  - температура морозильной камеры;

$T_1$  - температура воздуха.

Отсюда

$$Q_2 = \frac{AT_2}{T_1 - T_2} = \frac{1 \cdot 273}{300 - 273} = 10,1 \text{ Дж.}$$

Изменение энтропии морозильной камеры равно

$$\Delta S_2 = -\frac{Q_2}{T_2} = -\frac{10,1}{273} = -3,7 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/К.}$$

Заметим, что энтропия морозильной камеры убывает, так как она отдает тепло.

Для вычисления изменения энтропии  $\Delta S$  системы "воздух - морозильная камера" воспользуемся соотношением, полученным Карно:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}, \quad (2)$$

где  $Q_1$  - тепло, передаваемое рабочим телом холодильника воздуху.

Левая часть этого равенства представляет собой изменение энтропии воздуха ( $\Delta S_1$ ), правая - изменение энтропии морозильной камеры, взятое со знаком "минус" ( $-\Delta S_2$ ).

Энтропия системы равна сумме энтропий подсистем, входящих в нее:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2.$$

Отсюда с учетом (2) следует, что изменение энтропии системы "воздух - морозильная камера" будет равно нулю:

$$\Delta S = 0.$$

**Пример 6.** Два точечных электрических заряда  $q_1 = 1 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -2 \text{ нКл}$  находятся в воздухе на расстоянии  $d = 10 \text{ см}$  друг от друга. Определить напряженность  $\vec{E}$  и потенциал  $\phi$  поля, создаваемого этими зарядами в точке А, удаленной от заряда  $q_1$  на расстояние  $r_1 = 9 \text{ см}$  и от заряда  $q_2$  - на расстояние  $r_2 = 7 \text{ см}$ .

Р е ш е н и е. Согласно принципу суперпозиции электрических полей каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность электрического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряженностей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности:  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ . Напряженности электрического поля, создаваемого в воздухе ( $\epsilon = 1$ ) зарядами  $q_1$  и  $q_2$ , равны

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}, \quad E_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2^2}. \quad (1)$$

Вектор  $\vec{E}_1$  (рис. 8) направлен по силовой линии от заряда  $q_1$ , так как этот заряд положителен; вектор  $\vec{E}_2$  направлен также по силовой линии, но к заряду  $q_2$ , поскольку этот заряд отрицателен.

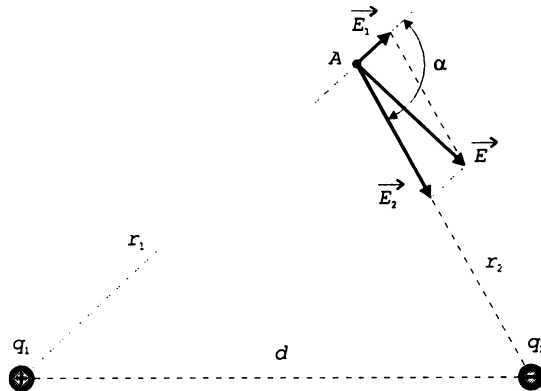


Рис. 8

Модуль вектора  $\vec{E}$  найдем по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + 2E_1E_2\cos\alpha + E_2^2}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ , который может быть найден из треугольника со сторонами  $r_1$ ,  $r_2$  и  $d$ :

$$\cos\alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}.$$

Во избежание громоздких записей значение  $\cos\alpha$  удобнее вычислить отдельно:

$$\cos\alpha = \frac{0,1^2 - 0,09^2 - 0,07^2}{2 \cdot 0,09 \cdot 0,07} = -0,238.$$

Подставляя выражения  $E_1$  и  $E_2$  из уравнений (1) в формулу (2) и вынося общий множитель за знак корня, получаем

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} - 2 \cdot 0,238 \cdot \frac{q_1q_2}{r_1^2r_2^2} + \frac{q_2^2}{r_2^4}}.$$

В соответствии с принципом суперпозиции для потенциала потенциала поля, создаваемого двумя зарядами  $q_1$  и  $q_2$ , равен алгебраической сумме потенциалов, т.е.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 . \quad (3)$$

Потенциал электрического поля, создаваемого в воздухе ( $\epsilon=1$ ) точечным зарядом  $q$  на расстоянии  $r$  от него, вычисляется по формуле .

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} . \quad (4)$$

Согласно формулам (3) и (4),

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) .$$

Учтем, что

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} ,$$

и произведем вычисления:

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{(10^{-9})^2}{0,09^4} - 2 \cdot 0,238 \cdot \frac{10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{0,09^2 \cdot 0,07^2} + \frac{(2 \cdot 10^{-9})^2}{0,07^4}} = 3,58 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 3,58 \text{ кВ/м} .$$

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \left( \frac{10^{-9}}{0,09} - \frac{2 \cdot 10^{-9}}{0,07} \right) = -157 \text{ В} .$$

При вычислении  $E$  знак заряда  $q_2$  опущен, так как он определяет направление вектора напряженности, которое было учтено при графическом изображении вектора  $\vec{E}$  (см. рис. 8).

**Пример 7.** Конденсатор емкостью  $C_1 = 3$  мкФ был заряжен до разности потенциалов  $U_1 = 40$  В. После отключения от источника тока его соединили параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью  $C_2 = 5$  мкФ. Какая энергия  $W$  израсходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

**Решение.** Энергия, израсходованная на образование искры, равна

$$W = W_1 - W_2 , \quad (1)$$

где  $W_1$  - энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора;

$W_2$  - энергия, которую имеет батарея, составленная из двух конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

$$W = \frac{CU^2}{2} , \quad (2)$$

где  $C$  - емкость конденсатора;

$U$  - разность потенциалов между его обкладками.

Выразив в уравнении (1) энергии  $W_1$  и  $W_2$  по формуле (2) и приняв во внимание, что общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, получим

$$W = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2) U_2^2}{2}, \quad (3)$$

где  $U_2$  - разность потенциалов на зажимах батареи конденсаторов.

Учитывая, что общий заряд  $q$  после подключения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов  $U_2$  следующим образом:

$$U_2 = \frac{q}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 U_1}{C_1 + C_2}. \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в формулу (3), найдем

$$W = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2) C_1^2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)^2} = \frac{C_1 C_2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Произведем вычисления:

$$W = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 40^2}{2 \cdot (3 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6})} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

**Пример 8.** Потенциометр с сопротивлением  $R_n = 100$  Ом подключен к батарее, ЭДС которой  $\mathcal{E} = 150$  В, внутреннее сопротивление  $r = 50$  Ом. Определить: 1) показание вольтметра с сопротивлением  $R_v = 500$  Ом, соединенного с одной из клемм потенциометра и подвижным контактом, установленным посередине потенциометра; 2) разность потенциалов между теми же точками потенциометра при отключении вольтметра.

**Р е ш е н и е.** Показание вольтметра, подключенного к точкам А и В (рис. 9), или разность потенциалов  $U_1$  между точками А и В, определяем по формуле

$$U_1 = I_1 R_1, \quad (1)$$

где  $R_1$  - сопротивление параллельно соединенных вольтметра и половины потенциометра;

$I_1$  - суммарная сила тока в ветвях этого соединения (она равна силе тока в неразветвленной части цепи).

Силу тока  $I_1$  найдем по закону Ома для полной цепи:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (2)$$

где  $R$  - сопротивление внешней цепи. Оно является суммой двух сопротивлений:

$$R = \frac{R_n}{2} + R_1. \quad (3)$$

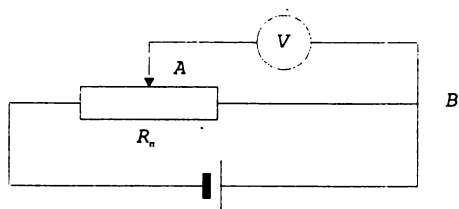


Рис. 9

Перепишем формулу (2) с учетом выражения (3):

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{\frac{R_n}{2} + R_1 + r}. \quad (4)$$

Сопротивление  $R_1$  найдем по формуле параллельного соединения проводников

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_v} + \frac{2}{R_n},$$

откуда

$$R_1 = \frac{R_n R_v}{R_n + 2R_v}. \quad (5)$$

Произведем промежуточные вычисления по формулам (5), (4) и (1):

$$R_1 = \frac{100 \cdot 500}{100 + 2 \cdot 500} = 45,5 \text{ Ом},$$

$$I_1 = \frac{150}{\frac{100}{2} + 45,5 + 50} = 1,03 \text{ А},$$

$$U_1 = 1,03 \cdot 45,5 = 46,9 \text{ В}.$$

Разность потенциалов между точками А и В при отключенном вольтметре равна произведению силы тока  $I_2$  на половину сопротивления потенциометра:

$$U_2 = I_2 \frac{R_n}{2}. \quad (6)$$

Силу тока в цепи при отключенном вольтметре определяем по формуле

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_n + r}. \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в формулу (6), найдем  $U_2$ :

$$U_2 = \frac{\varepsilon R_n}{2(R_n + r)}.$$

После вычислений получим

$$U_2 = \frac{150 \cdot 100}{2(100 + 50)} = 50 \text{ В}.$$

**Пример 9.** Найти мощность, выделяемую электрическим током в нагрузке  $R = 25 \text{ Ом}$ , если последняя подключена к источнику постоянного тока с внутренним сопротивлением  $r = 0,1 \text{ Ом}$  и током короткого замыкания  $I_{к.з} = 150 \text{ А}$ .

**Р е ш е н и е.** Записываем выражение для определения мощности, выделяемой на нагрузке  $R$ :

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

Согласно закону Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (2)$$

Запишем соотношение, связывающее ток короткого замыкания  $I_{к.з.}$ , ЭДС источника  $\mathcal{E}$  и его внутреннее сопротивление  $r$

$$I_{к.з.} = \frac{\mathcal{E}}{r}. \quad (3)$$

Отсюда

$$\mathcal{E} = I_{к.з.} r. \quad (4)$$

Подстановка (4) в (2) дает

$$I = \frac{I_{к.з.} r}{R + r}. \quad (5)$$

Переписав (1) с учетом (5), получим окончательную формулу

$$P = \frac{I_{к.з.}^2 r^2}{(R + r)^2} R, \quad (6)$$

а затем, подставив числовые значения, найдем

$$P = \frac{150^2 \cdot 0,1^2}{(25 + 0,1)^2} \cdot 25 = 9 \text{ Вт}.$$

### 3.2. Контрольная работа № 2

Номера задач для вариантов контрольной работы № 2 указаны в табл. 2.

Таблица 2

Вариант	Номер задачи							
0	210	220	230	240	250	260	270	280
1	201	211	221	231	241	251	261	271
2	202	212	222	232	242	252	262	272
3	203	213	223	233	243	253	263	273
4	204	214	224	234	244	254	264	274
5	205	215	225	235	245	255	265	275
6	206	216	226	236	246	256	266	276
7	207	217	227	237	247	257	267	277
8	208	218	228	238	248	258	268	278
9	209	219	229	239	249	259	269	279

201. Определить количество вещества  $\nu$  и число молекул азота массой 0,4 кг.

202. Сколько атомов содержится в свинце: 1) взятом в количестве 0,1 моль; 2) массой 5 г?

203. Определить расстояние между ближайшими атомами кубической кристаллической решетки железа, если на одну элементарную кубическую ячейку приходится один атом железа.

204. Вода при температуре  $t^{\circ}=4^{\circ}\text{C}$  занимает объем  $V=1\text{ см}^3$ . Определить количество вещества  $\nu$  и число молекул воды  $N$ .

205. Определить молярную массу  $\mu$  и массу  $m_0$  одной молекулы метана ( $\text{CH}_4$ ).

206. Определить количество вещества  $\nu$  неона, заполняющего сосуд объемом  $V=4\text{ л}$ , если концентрация молекул газа в сосуде  $n=2\cdot 10^{18}\text{ м}^{-3}$ .

207. Определить концентрацию  $n$  молекул водорода, находящегося в сосуде объемом 4 л и взятом в количестве 0,2 моль.

208. Сколько молекул содержится в 1 г глюкозы ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )?

209. Вакуумный насос может откачать из 10-литрового сосуда газ до давления  $10^{-12}\text{ атм}$ . Сколько при этом в сосуде останется молекул, если температура равна  $t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$ ?

210. Литр неизвестного газа при  $0^{\circ}\text{C}$  и давлении 1 атм имеет массу  $m=0,0894\text{ г}$ . Какой это газ и сколько атомов он содержит при данных условиях?

211. Количество вещества  $\nu$  кислорода равно 0,5 моль. Определить внутреннюю энергию, а также среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_k \rangle$  молекул этого газа при температуре  $T=300\text{ К}$ .

212. Определить суммарную кинетическую энергию  $E_k$  поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом  $V=3\text{ л}$  под давлением  $P=540\text{ кПа}$ .

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

214. Молярная внутренняя энергия ( $U$ ) некоторого двухатомного газа равна 5,02 Дж/моль. Определить среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы этого газа. Газ считать идеальным.

215. Определить среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_k \rangle$  одной молекулы углекислого газа при температуре  $T=500\text{ К}$ .

216. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекул газа, заключенного в сосуд объемом  $V=2\text{ л}$  под давлением  $P=200\text{ кПа}$ . Масса газа  $m=0,3\text{ г}$ .

217. Азот находится при температуре  $T=300\text{ К}$ . Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию  $E_k$  всех молекул газа. Количество азота равно  $\nu=0,1\text{ моль}$ .

218. При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения  $\langle \varepsilon_{\text{пост}} \rangle$  молекул газа равна  $4,14\cdot 10^{-27}\text{ Дж}$ ? Определить суммарную кинетическую энергию  $E_k$  всех молекул, если число молей этого газа равно  $\nu=2\text{ моль}$ , а молекулы состоят из трех атомов.



219. Определить наиболее вероятную скорость  $v$ , молекулы хлора, заключенного в сосуд объемом 3 л в количестве двух молей под давлением  $P=100$  кПа.

220. Найти полную кинетическую энергию, а также кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы аммиака  $NH_3$  при температуре  $t^\circ=27^\circ\text{C}$ .

221. Баллон объемом  $V=20$  л заполнен азотом при температуре  $t^\circ=27^\circ\text{C}$ . Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне снизилось на  $\Delta P=50$  кПа. Определить массу израсходованного азота при изотермическом процессе.

222. В баллоне объемом  $V=25$  л находится аргон под давлением  $P_1=500$  кПа при температуре  $T_1=350$  К. Когда из баллона было взято некоторое количество газа, давление в нем понизилось до  $P_2=400$  кПа, а температура установилась  $T_2=280$  К. Определить массу аргона, взятого из баллона.

223. В комнате объемом  $V=60$  м<sup>3</sup> температура понизилась с  $t_1^\circ=17^\circ\text{C}$  до  $t_2^\circ=7^\circ\text{C}$ , а давление изменилось от  $P_1=1,05\cdot 10^5$  Па до  $P_2=1,03\cdot 10^5$  Па. На какую величину изменилась масса воздуха в комнате? Молярную массу воздуха принять равной  $\mu=29\cdot 10^{-3}$  кг/моль.

224. В баллон емкостью  $V=12$  л поместили азот массой  $m=1,5$  кг при температуре  $T_1=600$  К. Какое давление  $P_2$  станет создавать азот в баллоне при температуре  $T_2=320$  К, если 35% азота будет выпущено? Каково было начальное давление  $P_1$ ?

225. Вычислить плотность водорода, находящегося в баллоне под давлением  $P=4$  МПа и имеющего температуру  $T=300$  К.

226. Определить плотность  $\rho$  водяного пара, находящегося под давлением  $P=4,5$  кПа и имеющего температуру  $T=350$  К.

227. Два баллона соединили трубкой с краном. В первом баллоне газ находится под давлением  $P_1=1,2\cdot 10^5$  Па, во втором – под давлением  $P_2=2\cdot 10^5$  Па. Емкость первого баллона  $V_1=5$  л, второго –  $V_2=2$  л. Температура в обоих баллонах одинакова. Какое давление установится в баллонах, если открыть кран?

228. Определить относительную молекулярную массу газа, если при температуре  $T=200$  К и давлении  $P=2,5$  МПа он имеет плотность  $\rho=7$  кг/м<sup>3</sup>.

229. В сосуде объемом  $V=30$  л содержится идеальный газ при температуре  $0^\circ\text{C}$ . После того как часть газа была выпущена наружу, давление в сосуде понизилось на  $\Delta P=0,78$  атм без изменения температуры. Найти массу выпущенного газа. Плотность данного газа при нормальных условиях считать равной  $1,3\cdot 10^{-3}$  кг/л.

230. Два сосуда одинакового объема содержат хлор. В одном сосуда давление  $P_1=1,5$  МПа и температура  $T_1=600$  К, а в другом –  $P_2=2$  МПа и  $T_2=250$  К. Сосуды соединили трубкой и охладили в них хлор до температуры  $T=200$  К. Определить установившееся в сосудах давление.

231. Плотность некоторого газа при нормальных условиях  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ . Отношение удельных теплоемкостей  $c_p/c_v = 1,4$ . Определить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  этого газа.

232. Количество теплоты, необходимое для нагревания газа на  $25 \text{ К}$  при постоянном давлении, равно  $500 \text{ Дж}$ , а количество теплоты, выделяемое при охлаждении этого же газа на  $\Delta T = 75 \text{ К}$  при постоянном объеме равно  $1070 \text{ Дж}$ . Определить показатель адиабаты для этого газа.

233. Закрытый баллон вместимостью  $0,8 \text{ м}^3$  заполнен азотом под давлением  $2,3 \text{ МПа}$  при температуре  $20^\circ \text{C}$ . Количество теплоты, переданное газу, равно  $4,5 \text{ МДж}$ . Определить температуру и давление газа в конце процесса.

234. Двухатомный газ находится в закрытом баллоне емкостью  $5 \text{ дм}^3$  под давлением  $0,5 \text{ МПа}$ . После нагревания давление в баллоне увеличилось в 4 раза. Определить количество теплоты, переданное газу.

235. Расширяясь, трехатомный газ совершает работу, равную  $245 \text{ Дж}$ . Какое количество теплоты было передано газу, если он расширялся изобарно?

236. Во время изобарного сжатия при начальной температуре  $100^\circ \text{C}$  объем кислорода массой  $10 \text{ кг}$  уменьшился в 1,5 раза. Определить работу, совершаемую газом, количество отведенного тепла и изменение внутренней энергии.

237. Аргон массой  $10 \text{ г}$  нагрет на  $100 \text{ К}$  при постоянном давлении. Определить количество теплоты, переданное газу, приращение внутренней энергии и работу, совершенную газом.

238. Одноатомный газ, находящийся под давлением  $0,3 \text{ МПа}$ , изобарно расширяется от 2 до  $7 \text{ дм}^3$ . Определить работу, совершенную газом, приращение внутренней энергии и количество подведенного тепла.

239. Углекислый газ массой  $4,4 \text{ г}$  под давлением  $0,01 \text{ МПа}$  при температуре  $87^\circ \text{C}$  адиабатно сжимают до  $1/20$  его начального объема. Определить конечную температуру и давление газа, приращение внутренней энергии и работу, совершенную газом.

240. В результате адиабатного расширения кислорода массой  $3,2 \text{ г}$ , находящегося при температуре  $20^\circ \text{C}$ , его давление уменьшилось от 1 до  $0,38 \text{ МПа}$ . Определить: 1) во сколько раз увеличился объем газа; 2) температуру в конце процесса; 3) работу, совершенную газом, и изменение его внутренней энергии; 4) какое количество теплоты необходимо сообщить газу при постоянном объеме, чтобы его температура снова повысилась до  $20^\circ \text{C}$ ?

241. Одноцилиндровый двигатель мотоцикла объемом  $200 \text{ см}^3$  имеет степень сжатия (отношение максимального объема к минимальному объему), равную  $\alpha = 6$ . Какую мощность он развивает при частоте  $3000 \text{ об/мин}$ ? Считать, что в цилиндре происходит адиабатическое расширение идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma = 1,4$  при начальном давлении  $P_1 = 20 \text{ атм}$ .

242. Степень сжатия бензинового двигателя равна  $\alpha = 8$ . Найти отношение температуры выхлопа к температуре горения. Расширение считать адиабатическим, а рабочую смесь состоящей в основном из воздуха.

243. Домашний холодильник потребляет ток средней мощностью 40 Вт. Какое количество теплоты выделяется в комнате за сутки, если холодильный коэффициент  $\varepsilon = 9$ ?

244. Холодильник мощностью 600 Вт за 4 ч превратил в лед 2 л воды, которая первоначально имела температуру  $t^\circ = 15^\circ \text{C}$ . Какое количество теплоты выделилось в комнате за это время?

245. Газ, совершающий цикл Карно, КПД которого  $\eta = 25\%$ , при изотермическом расширении производит работу 240 Дж. Какова работа, совершаемая газом при изотермическом сжатии?

246. Тепловую машину, работающую по циклу Карно, КПД которого  $\eta = 20\%$ , используют при тех же условиях, что и холодильную машину. Найти ее холодильный коэффициент.

247. Для приготовления кубиков льда домашний холодильник должен извлечь из морозильной камеры, температура которой 260 К, 250 кДж тепла. Температура воздуха в комнате 300 К. Чему равна минимальная механическая энергия, необходимая для получения льда? При решении задачи считать холодильник идеальным.

248. Определить приращение энтропии углекислого газа массой 1 кг в процессе сжатия от давления 0,2 МПа при температуре  $40^\circ \text{C}$  до давления 4,5 МПа при температуре  $253^\circ \text{C}$ .

249. В результате изотермического сжатия воздуха объемом  $V_1 = 887 \text{ дм}^3$ , находящегося при температуре  $30^\circ \text{C}$  и начальном давлении 0,1 МПа, его энтропия уменьшилась на 573 Дж/К. Определить объем  $V_2$  воздуха в конце процесса.

250. Как будет выглядеть цикл Карно на диаграмме " $S \leftrightarrow T$ ", если состояние системы выразить через энтропию  $S$  и абсолютную температуру  $T$ , а не через давление и объем?

251. Найти силу притяжения между ядром атома водорода и электроном. Радиус атома водорода  $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ , заряд ядра численно равен и противоположен по знаку заряду электрона.

252. Два точечных заряда, находясь в воздухе ( $\varepsilon = 1$ ) на расстоянии 20 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле, чтобы сила взаимодействия не изменилась?

253. Найти напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами  $q_1 = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$  и  $q_2 = -5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ , находящимися в воздухе ( $\varepsilon = 1$ ) на расстоянии  $r = 10 \text{ см}$ .

254. В центре квадрата, в вершинах которого находится по заряду, равному  $7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ , помещен отрицательный заряд. Найти этот заряд, если результирующая сила, действующая на каждый заряд, равна нулю.

255. Расстояние между двумя точечными зарядами  $q_1 = 22 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -44 \text{ нКл}$  равно 5 см. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного заряда и 4 см от отрицательного заряда.

256. Медный шар диаметром 1 см помещен в масло. Плотность масла  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ . Чему равен заряд шара, если в однородном электрическом поле шар оказался взвешенным в масле? Электрическое поле направлено вертикально вверх, а его напряженность  $E = 35 \text{ кВ/см}$ .

257. Шарик массой 40 мг, имеющий положительный заряд, равный  $q_1 = 1 \text{ нКл}$ , движется со скоростью  $v = 10 \text{ см/с}$ . На какое расстояние может приблизиться шарик к положительному точечному заряду  $q_2$ , равному  $q_2 = 1,4 \text{ нКл}$ ?

258. На какое расстояние могут сблизиться два электрона, если они движутся навстречу друг другу с относительной скоростью  $v = 10^8 \text{ см/с}$ ?

259. Два шарика с зарядами  $q_1 = 7 \text{ нКл}$  и  $q_2 = 15 \text{ нКл}$  находятся на расстоянии  $r_1 = 40 \text{ см}$ . Какую работу нужно совершить, чтобы сблизить их до расстояния  $r_2 = 25 \text{ см}$ ?

260. Шарик массой 1 г и зарядом  $10^{-8} \text{ Кл}$  перемещается в электростатическом поле из точки А с потенциалом 600 В в точку В, потенциал которой равен нулю. Какова была его скорость в точке А, если в точке В она стала равной 20 см/с?

261. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора равна 90 В. Площадь каждой пластины  $60 \text{ см}^2$ , заряд  $10^{-9} \text{ Кл}$ . На каком расстоянии друг от друга находятся пластины?

262. В плоском горизонтально расположенном конденсаторе, расстояние между пластинами которого  $d = 1 \text{ см}$ , находится заряженная капелька массой  $m = 5 \cdot 10^{-11} \text{ г}$ . При отсутствии электрического поля капелька вследствие сопротивления воздуха падает с некоторой постоянной скоростью. Если к пластинам конденсатора приложена разность потенциалов  $U = 600 \text{ В}$ , то капелька падает вдвое медленнее. Найти заряд капельки.

263. Между двумя вертикальными пластинами на одинаковом расстоянии от них падает пылинка. Вследствие сопротивления воздуха скорость пылинки постоянна и равна  $v = 2 \text{ см/с}$ . Через какое время после подачи на пластины разности потенциалов  $U = 3000 \text{ В}$  пылинка достигнет одной из пластин? Какое расстояние  $l$  по вертикали пролетит пылинка до попадания на пластину? Расстояние между пластинами  $d = 2 \text{ см}$ , масса пылинки  $m = 2 \cdot 10^{-9} \text{ г}$ , ее заряд  $q = 6,5 \cdot 10^{-17} \text{ Кл}$ .

264. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно 4 см. Электрон начинает двигаться от отрицательной пластины в тот момент, когда от положительной пластины начинает двигаться протон. На каком расстоянии от положительной пластины они встретятся?

265. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость  $10^8 \text{ м/с}$ . Расстояние между пластинами 5,3 мм. Найти: 1) разность потенциалов между пластинами; 2) напряженность электрического поля внутри конденсатора.

266. Электрон летит от одной пластины плоского конденсатора до другой. Разность потенциалов между пластинами 3 кВ, расстояние между пластинами 5 мм. Найти: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение электрона; 3) скорость, с которой он достигает второй пластины.

267. Найти емкость земного шара. Радиус Земли принять равным 6400 км. Насколько изменится потенциал земного шара, если ему сообщить количество электричества, равное 1 Кл?

## 4. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 4.1. Примеры решения задач

**Пример 1.** Два параллельных бесконечно длинных провода  $D$  и  $C$ , по которым текут в одном направлении электрические токи силой  $I=60$  А, расположены на расстоянии  $d=10$  см друг от друга. Определить индукцию  $\vec{B}$  магнитного поля, создаваемого проводниками с током в точке  $A$  (рис.10), отстоящей от оси одного проводника на расстоянии  $r_1=5$  см, а от другого - на расстоянии  $r_2=12$  см.

**Решение.** Для нахождения магнитной индукции  $\vec{B}$  в точке  $A$  воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого выделим направление магнитных индукций  $\vec{B}_1$  и  $\vec{B}_2$  полей, создаваемых каждым проводником в отдельности и сложим их геометрически:  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$  (см. рис. 10).

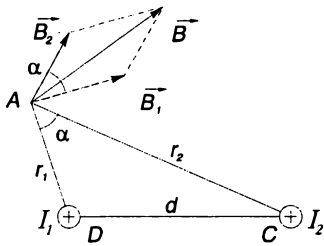


Рис. 10

Модуль вектора  $\vec{B}$  может быть найден по теореме косинусов

$$B = \sqrt{B_1^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha + B_2^2}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{B}_1$  и  $\vec{B}_2$ . Магнитные индукции  $B_1$  и  $B_2$  выражаются соответственно через силу тока  $I$  и расстояния  $r_1$  и  $r_2$  от проводов до точки  $A$ :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Подставляя выражения  $B_1$  и  $B_2$  в формулу (1) и вынося выражение  $\frac{\mu_0 I}{2\pi}$  за знак корня, получаем

$$B = \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{2 \cos \alpha}{r_1 r_2} + \frac{1}{r_2^2}}. \quad (2)$$

Вычислим  $\cos \alpha$  по теореме косинусов, учитывая, что  $\angle \alpha = \angle DAC$  (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами):

$$d = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha,$$

где  $d$  - расстояние между проводами. Отсюда

$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2} = \frac{25 + 144 - 100}{2 \cdot 5 \cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

Подставим в формулу (2) числовые значения физических величин и произведем вычисления:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{0,5^2} + \frac{1}{0,5 \cdot 0,12} \cdot \frac{23}{40} + \frac{1}{0,12^2}} = 309 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 309 \text{ мкТл}.$$

**Пример 2.** Плоский квадратный контур со стороной  $a=10$  см, по которому течет ток силой  $I=100$  А, свободно установился в однородном магнитном поле ( $B=1$  Тл). Определить работу  $A$ , совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол  $\varphi=90^\circ$ .

**Решение.** Работа внешних сил по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока через контур (рис. 11):

$$A = -I\Delta\Phi = I(\Phi_1 - \Phi_2),$$

где  $\Phi_1$  - магнитный поток, пронизывающий контур до перемещения;

$\Phi_2$  - магнитный поток, пронизывающий контур после перемещения.

Если  $\varphi=90^\circ$ , то  $\Phi_1=B \cdot S$ , а  $\Phi_2=0$ . Следовательно,

$$A = I \cdot B \cdot S = I \cdot B \cdot a^2 = 100 \cdot 1 \cdot (0,1)^2 = 1 \text{ Дж.}$$

**Примечание.** Задача может быть решена другим способом, с использованием определения работы при вращательном движении:  $A = M\Delta\varphi$ . Предлагаем эти вычисления проделать самостоятельно и убедиться, что описанный выше способ решения задачи с использованием понятия магнитного потока более рационален.

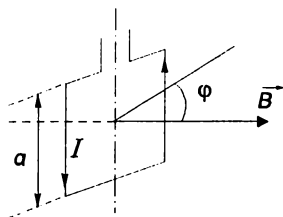


Рис. 11

**Пример 3.** В колебательном контуре, состоящем из индуктивности и емкости, максимальный ток в катушке равен  $I_m=1$  А, а максимальное напряжение на конденсаторе -  $U_m=1$  кВ. С момента, когда напряжение равно нулю, до момента, когда энергия в катушке становится равной энергии в конденсаторе, проходит  $t=1,56$  мкс. Считая омическое сопротивление пренебрежимо малым, вычислить период колебаний контура и его энергию.

**Решение.** По условию задачи энергия магнитного поля в данный момент времени равна энергии электрического поля в конденсаторе. Сумма этих энергий определяет полную энергию поля контура:

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2}; \quad \frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2}, \quad (1)$$

где  $L$  - индуктивность контура;

$I$  - ток в контуре;

$C$  - емкость контура;

$U$  - напряжение на пластинах.

Полная энергия контура, выраженная через максимальное напряжение, равна

$$W = \frac{CU_m^2}{2}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) определяем, что

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

268. Шарик радиусом 2 см заряжен отрицательно до потенциала 2000 В. Найти массу всех электронов, составляющих заряд, сообщенный шару при зарядке.

269. Конденсатор емкостью 20 мкФ заряжен до потенциала, равного 100 В. Найти энергию конденсатора.

270. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора равна  $100 \text{ см}^2$ , а расстояние между ними 5 мм. Какая разность потенциалов была приложена к пластинам конденсатора, если известно, что при разрядке конденсатора выделилось количество энергии, равное  $4,19 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$ ?

271. Сила тока  $I$  в проводнике изменяется со временем согласно уравнению  $I = B + Ct$ , где  $B = 4 \text{ А}$ ,  $C = 2 \text{ А/с}$ . Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за время от  $t_1 = 2 \text{ с}$  до  $t_2 = 6 \text{ с}$ ? При какой силе постоянного тока через поперечное сечение проводника проходит такое же количество электричества?

272. Сколько витков нихромовой проволоки диаметром 1 мм надо намотать на фарфоровый цилиндр радиусом 2,5 см, чтобы получить печь сопротивлением 40 Ом?

273. Катушка из медной проволоки имеет сопротивление  $R = 10,8 \text{ Ом}$ . Масса проволоки  $m = 3,41 \text{ кг}$ . Сколько метров проволоки и какого диаметра намотано на катушке?

274. Два цилиндрических проводника равной длины, один из меди, а другой из алюминия, имеют одинаковые сопротивления. Во сколько раз медный провод тяжелее алюминиевого?

275. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при  $20^\circ\text{C}$  равно 35,8 Ом. Какова будет температура нити в лампочке, если при включении в сеть напряжением 120 В по нити идет ток  $I = 0,33 \text{ А}$ ? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама равен  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .

276. Найти падение потенциала на медном проводе длиной 500 м и диаметром 2 мм, если сила тока в нем 2 А.

277. Элемент с ЭДС 1,1 В и внутренним сопротивлением 1 Ом замкнут на внешнее сопротивление 9 Ом. Найти: 1) силу тока в цепи; 2) падение потенциала во внешней цепи; 3) падение потенциала внутри элемента; 4) КПД источника.

278. Чему равен КПД элемента с ЭДС 1,6 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом при силе тока 2,4 А?

279. Элемент питания, реостат и амперметр включены последовательно. Элемент имеет ЭДС, равную 2 В и внутреннее сопротивление 0,4 Ом. Амперметр показывает силу тока 1 А. С каким КПД работает элемент?

280. Имеются два одинаковых элемента с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 0,3 Ом. Как надо соединить эти элементы (последовательно или параллельно), чтобы получить большую силу тока, если: 1) внешнее сопротивление 0,2 Ом; 2) внешнее сопротивление 16 Ом? Вычислить силу тока в каждом из этих случаев.

Используя уравнение гармонического колебания, в котором отсчет времени ведется от момента, когда напряжение равно нулю, имеем

$$U = U_m \sin \frac{2\pi}{T} t ,$$

где  $U_m$  - амплитуда напряжения (максимальное напряжение);

$T$  - период колебаний;

$t$  - время колебаний.

С учетом выражения (3) получаем

$$\frac{U_m}{\sqrt{2}} = U_m \sin \frac{2\pi}{T} t ; \quad \frac{\sqrt{2}}{2} = \sin \frac{2\pi}{T} t .$$

Подставив числовые значения, находим  $T$ :

$$\frac{2\pi t}{T} = \frac{\pi}{4} ,$$

откуда

$$T = 8t .$$

Таким образом, период колебаний контура равен

$$T = 8 \cdot 1,57 \cdot 10^{-6} = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Вычислим теперь полную (максимальную) энергию контура. Она равна максимальной электрической энергии конденсатора (энергия магнитного поля при этом равна нулю) или максимальной энергии магнитного поля (при нулевой энергии электрического поля):

$$W = \frac{CU_m^2}{2} ; \quad W = \frac{LI_m^2}{2} , \quad (4)$$

где  $I_m$  - максимальный ток в катушке.

Используя формулу Томсона  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , получаем

$$\sqrt{LC} = \frac{T}{2\pi} . \quad (5)$$

Произведение правых частей равенств (4) равно  $W^2$ . Извлечение корня с учетом формулы (5) дает

$$W = \frac{I_m U_m \sqrt{LC}}{2} = \frac{I_m U_m T}{4\pi} .$$

Вычисляем полную энергию контура:

$$W = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 12,6 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3,14} = 0,001 \text{ Дж.}$$

**Пример 4.** По двум параллельным проводникам, расположенным на расстоянии 20 см друг от друга, текут токи одного направления величиной в 100 А. Длина проводников равна 3 м. Вычислить силу взаимодействия между проводниками, если они находятся в вакууме.



**Р е ш е н и е.** На проводники с током в магнитном поле действует сила Ампера, которая может быть найдена по формуле

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

где  $d$  - расстояние между проводниками;

$l$  - их длина;

$I_1$  и  $I_2$  - токи в проводниках;

$\mu$  - магнитная проницаемость среды (для вакуума  $\mu=1$ );

$\mu_0$  - магнитная постоянная.

Подставив в формулу известные нам значения, получаем

$$F = \frac{1 \cdot 4 \pi \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 3}{2 \cdot \pi \cdot 0,2} = 0,03 \text{ Н.}$$

**Пример 5.** Внутри длинного соленоида находится стальной сердечник. Определить магнитную проницаемость сердечника для напряженности магнитного поля, равной  $H=2$  кА/м.

**Р е ш е н и е.** Магнитная проницаемость сердечника может быть найдена из формулы, связывающей магнитную индукцию  $B$  и напряженность  $H$ :

$$B = \mu\mu_0 H.$$

Отсюда

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

Используя значение  $H=2$  кА/м, по графику, изображенному на с.66 (см.приложение), для стали находим  $B=1,25$  Тл. Тогда

$$\mu = \frac{1,25}{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 495.$$

**Пример 6.** Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов, равную  $U=400$  В, попал в однородное магнитное поле напряженностью  $H=1$  кА/м. Определить радиус кривизны траектории и частоту обращения электрона в магнитном поле, если вектор скорости перпендикулярен линиям поля.

**Р е ш е н и е.** На движущийся в магнитном поле электрон действует сила Лоренца, которая сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона  $\vec{F}_L = m\vec{a}_n$ , где  $\vec{a}_n$  - нормальное ускорение. Тогда в проекции на направление ускорения с учетом выражений для силы Лоренца и нормального ускорения имеем

$$F_L = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = \frac{mv^2}{R},$$

где  $e$  - заряд электрона;

$v$  - скорость электрона;

$B$  - магнитная индукция;

$m$  - масса электрона;

$R$  - радиус кривизны траектории;

$\alpha$  - угол между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{v}$  (в нашем случае он равен  $90^\circ$ , следовательно,  $\sin \alpha = 1$ ).

Отсюда найдем  $R$ :

$$R = \frac{mv}{eB}. \quad (1)$$

Входящий в равенство (1) импульс электрона  $mv$  может быть выражен через его кинетическую энергию  $T$ :  $mv = \sqrt{2mT}$ . Поскольку кинетическую энергию электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$ , можно определить равенством  $T=eU$ , получаем

$$mv = \sqrt{2meU}. \quad (2)$$

Магнитная индукция может быть выражена через напряженность  $H$  магнитного поля в вакууме как  $B=\mu_0 H$ . Подставив полученные выражения в формулу (1), находим

$$R = \frac{\sqrt{2meU}}{\mu_0 e H}. \quad (3)$$

Производим вычисления:

$$R = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 400}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3} = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Частота обращения электрона в магнитном поле связана с его скоростью и радиусом соотношением  $n=v/(2\pi R)$ . Подставив в это соотношение выражение (3) с учетом (2), получаем

$$n = \frac{\mu_0 e H}{2 \pi m}.$$

Произведем вычисления:

$$n = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}} = 3,52 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}.$$

**Пример 7.** В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл равномерно с частотой  $n=10$  об/с вращается рамка, содержащая  $N=1000$  витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки равна  $S=150 \text{ см}^2$ . Определить мгновенное значение ЭДС индукции в момент времени, когда угол поворота рамки равен  $\phi=30^\circ$ .

**Решение.** Мгновенное значение ЭДС индукции определяется уравнением Фарадея-Максвелла

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Psi}{dt}, \quad (1)$$

где  $\Psi$  - потокосцепление, связанное с магнитным потоком  $\Phi$  и числом витков  $N$  соотношением

$$\Psi = N\Phi. \quad (2)$$

Подставляя выражение (2) в формулу (1), получаем

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt}.$$

При вращении рамки магнитный поток, пронизывающий ее в момент времени  $t$ , определяется соотношением

$$\Phi = BS \cos \omega t, \quad (3)$$

где  $B$  - магнитная индукция;

$S$  - площадь рамки;

$\omega$  - циклическая частота.

Подставив в формулу (2) выражение (3) и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции :

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

Учитывая, что  $\omega = 2\pi n$ , а  $\omega t = \varphi$ , получаем

$$\varepsilon_i = 2\pi n NBS\omega \sin \varphi.$$

Произведем вычисления :

$$\varepsilon_i = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 = 47,1 \text{ В.}$$

**Пример 8.** Имеется катушка, индуктивность которой равна  $L=0,2$  Гн, сопротивление  $R=1,64$  Ом. Найти, во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через  $t=0,05$  с после того, как ЭДС выключена и катушка замкнута накоротко.

**Решение.** При выключении тока в цепи, содержащей  $R$  и  $L$  (рис. 12), и "закорачивании" катушки спад тока в ней осуществляется по закону

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L} t\right),$$

где  $I_0$  - значение тока до "закорачивания" катушки.

Через промежуток времени  $t_1$  сила тока в катушке будет равна  $I_1 = I_0 \exp(-Rt_1/L)$ . Тогда отношение токов будет следующим:

$$\frac{I_0}{I} = \exp\left(\frac{Rt_1}{L}\right) = k.$$

Произведем вычисления:

$$k = \exp\left(\frac{1,64 \cdot 0,05}{0,2}\right) = e^{0,41} = 1,5 \text{ раза.}$$

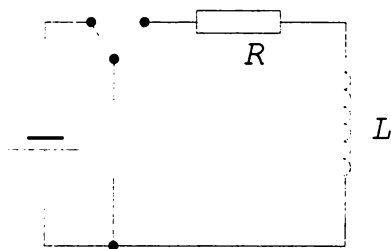


Рис. 12

## 4.2. Контрольная работа № 3

Номера задач для вариантов контрольной работы № 3 указаны в табл. 3.

Таблица 3

Вариант	Номер задачи							
0	310	320	330	340	350	360	370	380
1	301	311	321	331	341	351	361	371
2	302	312	322	332	342	352	362	372
3	303	313	323	333	343	353	363	373
4	304	314	324	334	344	354	364	374
5	305	315	325	335	345	355	365	375
6	306	316	326	336	346	356	366	376
7	307	317	327	337	347	357	367	377
8	308	318	328	338	348	358	368	378
9	309	319	329	339	349	359	369	379

301. По двум бесконечно длинным прямым проводникам текут, как показано на рис. 13, одинаковые токи силой  $I_1 = I_2 = 60$  А. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке  $A$ , равноудаленной от проводников на расстояние  $d = 10$  см. Угол  $\alpha = 60^\circ$ .

302. По изогнутому под углом  $120^\circ$  длинному проводу течет ток силой  $I = 20$  А. Определить напряженность поля на биссектрисе угла в точке  $A$ , отстоящей от вершины угла  $O$  на 15 см (рис. 14).

303. Радиусы кольцевых токов силой  $I_1 = 10$  А и  $I_2 = 5$  А равны  $r_1 = 16$  см и  $r_2 = 12$  см. Они имеют общий центр, и их плоскости расположены под углом  $\alpha = 60^\circ$ . Найти напряженность магнитного поля в точке  $A$ , являющейся общим центром витков. Рассмотреть два случая направления токов в витках (рис. 15).

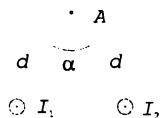


Рис. 13

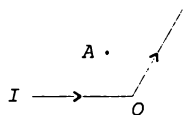


Рис. 14

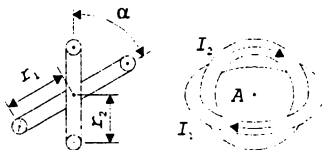


Рис. 15

304. Бесконечно длинный провод изогнут под прямым углом (рис. 16). Определить индукцию магнитного поля  $B$  в точке  $A$ , лежащей на биссектрисе угла на расстоянии 10 см от его вершины  $O$ , если по проводу течет ток силой  $I = 20$  А.

305. По двум скрещенным под прямым углом и почти касающимся друг друга бесконечно длинным проводам текут токи силой  $I_1=100$  А и  $I_2=200$  А. Определить индукцию поля в точке А, отстоящей от проводов на расстоянии  $d=10$  см. Рассмотреть все возможные направления токов (рис. 17).

306. По кольцу радиусом  $R=20$  см течет ток силой  $I=100$  А. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке А, лежащей на оси кольца (рис. 18). Угол  $\alpha=45^\circ$ .

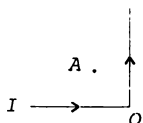


Рис. 16

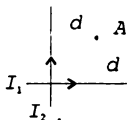


Рис. 17

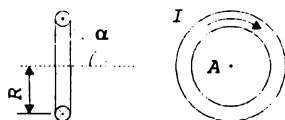


Рис. 18

307. Расстояние между параллельными длинными проводами с токами силой 50 и 100 А равно 16 см. Токи текут в противоположных направлениях. Как расположена линия, на которой индукция поля равна нулю? На каком расстоянии она находится от провода с током силой 50 А?

308. По контуру в виде равностороннего треугольника течет ток силой 50 А. Сторона треугольника равна 20 см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке пересечения высот.

309. По изолированному кольцевому проводнику радиусом 20 см течет ток силой 10 А. Перпендикулярно плоскости кольца проходят два длинных провода с токами силой 10 и 20 А так, что они касаются кольца в точках, лежащих на противоположных концах диаметра. Определить индукцию в центре кольца, когда токи текут в одинаковых или в противоположных направлениях.

310. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами 8 и 12 см, течет ток силой 50 А. Определить напряженность  $H$  и индукцию  $B$  магнитного поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

311. По двум параллельным проводам длиной 5 м каждый текут одинаковые токи силой  $I=500$  А. Расстояние между проводами  $d=10$  см. Определить силу взаимодействия проводников.

312. По трем параллельным проводам, находящимся на расстоянии  $d=20$  см друг от друга, текут одинаковые токи силой 400 А. В двух проводах направление токов совпадает. Вычислить силу, действующую на единицу длины каждого проводника.

313. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с прямым длинным проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой  $I=200$  А. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине  $a=4$  см.

314. Два параллельных проводника длиной  $l=1$  м находятся в однородном магнитном поле на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут равные токи силой 10 А. Внешнее магнитное поле перпендикулярно плоскости проводников, и его индукция равна 0,2 Тл. Чему равны силы, действующие на проводники, когда токи в них текут в одинаковых или противоположных направлениях?

315. В однородном магнитном поле напряженностью  $500 \text{ А/м}$  находятся два параллельных проводника длиной  $l=1 \text{ м}$  каждый, по которым в одном направлении текут токи силой  $50 \text{ А}$ . Взаимное расположение проводников остается неизменным, но плоскость проводников может располагаться под различными углами по отношению к направлению однородного поля. Чему равны максимальное и минимальное значения сил, действующих на проводники? Расстояние между проводниками равно  $d=10 \text{ см}$ .

316. Какая растягивающая сила действует на круглую рамку  $R=10 \text{ см}$  с током силой  $I=40 \text{ А}$ , помещенную в однородное магнитное поле с индукцией  $B=8 \text{ мТл}$ ?

317. По двум параллельным проводам длиной  $l=3 \text{ м}$  каждый текут одинаковые токи силой  $I=500 \text{ А}$ . Расстояние между проводами  $d=10 \text{ см}$ . Определить силу взаимодействия проводников.

318. По трем параллельным проводникам, находящимся на расстоянии  $d=10 \text{ см}$  друг от друга, текут одинаковые токи силой  $I=100 \text{ А}$ . Во всех проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

319. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого  $B=0,1 \text{ Тл}$ . По проводу длиной  $l=70 \text{ см}$ , помещенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток силой  $I=70 \text{ А}$ . Найти силу, действующую на провод.

320. В однородном магнитном поле напряженностью  $H=30 \text{ кА/м}$  находится проводник с током  $I=100 \text{ А}$  длиной  $l=2 \text{ м}$ , расположенный под углом  $45^\circ$  к направлению вектора  $\vec{B}$ . Найти силу, действующую на проводник со стороны поля.

321. Число витков в соленоиде  $N=800$ , его длина  $l=20 \text{ см}$ , а поперечное сечение равно  $S=4 \text{ см}^2$ . При какой скорости изменения силы тока в соленоиде индуцируется ЭДС самоиндукции, равная  $0,4 \text{ В}$ ?

322. Круглая рамка, имеющая  $N=200$  витков и площадь  $S=100 \text{ см}^2$ , равномерно вращается в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной полю и проходящей через диаметр рамки. Вычислить частоту вращения при индукции поля  $B=0,03 \text{ Тл}$ , если максимальный ток, индуцируемый в рамке при ее сопротивлении  $R=20 \text{ Ом}$ , составляет  $I_m=0,02 \text{ А}$ .

323. В однородном магнитном поле напряженностью  $H=1 \text{ кА/м}$  равномерно вращается круглая рамка, имеющая  $N=100$  витков, радиус которой  $r=5 \text{ см}$ . Ось вращения проходит через диаметр рамки и перпендикулярна магнитному полю. Сопротивление рамки  $R=1 \text{ Ом}$ , угловая скорость ее вращения  $\omega=10 \text{ с}^{-1}$ . Построить график зависимости индуцируемого тока от угла поворота и найти максимальный ток в рамке.

324. В соленоиде без сердечника ток равномерно возрастает со скоростью  $0,3 \text{ А/с}$ . Числовая плотность витков равна  $n=1,1 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ , площадь поперечного сечения соленоида  $S=100 \text{ см}^2$ . На соленоид надето изолированное кольцо того же диаметра. Вычислить ЭДС индукции в кольце.

325. Рамка площадью  $S=100 \text{ см}^2$  равномерно вращается с частотой  $n=5 \text{ об/с}$  относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ( $B=0,5 \text{ Тл}$ ). Определить среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения.

326. Рамка площадью  $S=100 \text{ см}^2$ , содержащая  $N=1000$  витков, равномерно вращается с частотой  $n=10 \text{ об/с}$  в магнитном поле напряженностью  $H=10 \text{ кА/м}$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряженности. Определить максимальную ЭДС индукции, возникающую в рамке.

327. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл равномерно с частотой  $n=5$  об/с вращается стержень длиной  $l=50$  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.

328. В соленоиде ток равномерно возрастает от 0 до 50 А в течение 0,5 с, при этом соленоид накапливает энергию 50 Дж. Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

329. Соленоид содержит  $N=800$  витков. Площадь поперечного сечения сердечника из немагнитного материала равна  $S=10$  см<sup>2</sup>. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B=8$  мТл. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается до нуля за время 0,8 мс.

330. По катушке индуктивностью  $L=8$  мГн течет ток силой 6 А. При выключении тока его сила уменьшается практически до нуля за время 5 мс. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре.

331. Проводник длиной  $l=50$  см, по которому течет ток силой  $I=1$  А, движется перпендикулярно магнитному полю напряженностью  $H=20$  А/м ( $\mu=1$ ) со скоростью  $v=50$  км/ч. Определить работу при перемещении проводника в течение  $t=1$  ч.

332. Проводник длиной  $l=0,6$  м сопротивлением  $R=0,05$  Ом движется в плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю с индукцией  $B=0,5$  Тл. По проводнику течет ток силой  $I=4$  А. Скорость движения проводника  $v=0,8$  м/с. Во сколько раз мощность, затраченная на перемещение проводника в магнитном поле, отличается от мощности, затраченной на его нагревание?

333. В горизонтальной плоскости вращается прямолинейный проводник длиной  $l=0,5$  м вокруг оси, проходящей через его конец. При этом он нормально пересекает вертикальное однородное магнитное поле напряженностью  $H=50$  А/м ( $\mu=1$ ). По проводнику течет ток силой  $I=4$  А, а скорость его вращения равна  $n=20$  об/с. Вычислить работу вращения проводника за  $t=2$  мин.

334. В плоскости, перпендикулярной магнитному полю напряженностью  $H=100$  А/м, вращается с частотой  $n=50$  об/с прямолинейный проводник длиной  $l=1$  м, по которому течет ток силой  $I=10$  А. Ось вращения проходит через один из концов проводника. Определить работу, совершаемую полем за  $t=10$  мин.

335. Виток радиусом  $r=20$  см, по которому течет ток силой  $I=50$  А, свободно установился в поле напряженностью  $H=1$  кА/м. Затем виток повернули относительно диаметра на угол  $30^\circ$ . Определить совершаемую при этом работу.

336. Плоский контур площадью  $S=20$  см<sup>2</sup> находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,03$  Тл. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол  $60^\circ$  с направлением линий индукции.

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

338. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока, равная  $I=60$  А, свободно установился в магнитном поле с индукцией  $B=20$  мТл. Диаметр витка равен  $d=10$  см. Какую работу нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол  $60^\circ$ ?

339. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд  $q=50$  мкКл. Определить изменение магнитного потока через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра  $R=10$  Ом.

340. Круговой контур радиусом  $r=2$  см помещен в однородное магнитное поле напряженностью  $H=2$  кА/м перпендикулярно силовым линиям. По контуру течет ток силой  $I=2$  А. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть контур на угол  $90^\circ$  вокруг оси, совпадающей с диаметром контура?

341. Частица, несущая элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,2$  Тл под углом  $30^\circ$  к направлению линий индукции. Определить силу Лоренца  $F_L$ , если скорость частицы равна  $v=10,5$  м/с.

342. Частица, несущая элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,01$  Тл. Определить момент импульса  $L$ , которым обладала частица при движении в магнитном поле, если радиус кривизны траектории частицы равен  $R=0,5$  мм.

343. Электрон движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить силу  $F$ , действующую на электрон со стороны поля, если его индукция  $B=0,2$  Тл, а радиус кривизны траектории  $R=0,2$  см.

344. Заряженная частица с кинетической энергией  $T=2$  кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом  $R=4$  мм. Определить силу Лоренца  $F_L$ , действующую на частицу со стороны поля.

345. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с напряженностью  $H=5$  кА/м. Определить частоту вращения электрона.

346. Электрон движется в магнитном поле с индукцией  $B=4$  мТл по окружности радиусом  $R=0,8$  см. Определить кинетическую энергию электрона.

347. Протон и альфа-частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории альфа-частицы?

348. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=10$  мТл по круговой линии радиусом  $R=1,5$  см. Определить период обращения электрона и его скорость.

349. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=2$  Тл движется альфа-частица, траектория движения которой представляет собой круговую линию радиусом  $R=1$  см. Определить кинетическую энергию частицы.

350. Перпендикулярно магнитному полю с  $H=1$  кА/м возбуждено электрическое поле напряженностью  $E=200$  В/см. Перпендикулярно обоим полям движется по прямолинейной траектории заряженная частица. Определить скорость ее движения.

351. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Период собственных колебаний контура равен  $T_1=20$  мкс. Как изменится период, если конденсаторы включить последовательно?

352. Рамка площадью  $S=400$  см<sup>2</sup> имеет  $N=100$  витков провода и вращается с периодом  $T=20$  мс в однородном магнитном поле с индукцией  $B=10$  мТл вокруг оси, перпендикулярной магнитному полю. Концы провода через скользящие контакты замкнуты на сопротивление  $R=50$  Ом. Определить силу тока, протекающего через сопротивление. Какова частота протекающего тока?



353. Конденсатор емкостью  $C=50$  пФ подключили к источнику тока с ЭДС, равной  $\mathcal{E}=3$  В, а затем к катушке с индуктивностью  $L=1$  мкГн. Определить максимальное значение силы тока и частоту колебаний, возникающих в контуре.

354. Цепь переменного тока образована последовательным соединением активного сопротивления  $R=800$  Ом, индуктивности  $L=1,27$  Гн и емкости  $C=1,59$  мкФ. На зажимы подано напряжение  $U=127$  В с частотой  $\nu=50$  Гц. Найти действующее значение силы тока  $I_{\text{эф}}$ , сдвиг фаз между током и напряжением, а также мощность, выделяющуюся в цепи.

355. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью  $L=40$  мГн и конденсатора емкостью  $C=0,25$  мкФ. Сопротивление контура  $R=4$  Ом. Определить, во сколько раз уменьшится амплитуда колебаний за промежутки времени, равный периоду колебаний.

356. В колебательный контур входит катушка с индуктивностью  $L=5$  мГн и плоский конденсатор с диэлектриком из стекла. Расстояние между обкладками конденсатора равно  $d=6$  мм, площадь обкладок  $S=90$  см<sup>2</sup>. Насколько изменится частота и период колебаний контура, если стеклянную прослойку конденсатора заменить воздушной?

357. Цепь состоит из катушки с индуктивностью  $L=0,1$  Гн и источника тока, после отключения которого без разрыва цепи сила тока уменьшилась до 0,1 % от первоначального значения за время, равное  $t=0,07$  с. Определить сопротивление катушки.

358. Источник тока замкнули на катушку, сопротивление которой равно  $R=20$  Ом. По истечении времени  $t=0,1$  с сила тока замыкания достигла 95 % от предельного значения. Определить индуктивность катушки.

359. В электрической цепи, состоящей из сопротивления  $R=20$  Ом и индуктивности  $L=0,06$  Гн, течет ток силой  $I_0=20$  А. Определить силу тока в цепи через  $t=0,3$  мс после ее размыкания.

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

361. В катушке с индуктивностью  $L=0,6$  Гн сила тока имеет величину  $I_1=20$  А. Какова энергия магнитного поля катушки? Как она изменится, если сила тока уменьшится вдвое?

362. Какой должна быть сила тока в обмотке дросселя с индуктивностью  $L=0,5$  Гн, чтобы энергия поля была равна 1 Дж?

363. Найти энергию магнитного поля соленоида, в котором при силе тока в 10 А возникает магнитный поток 0,5 Вб.

364. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Вычислить энергию контура, если максимальный ток в катушке равен  $I_m=1,2$  А, а максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора составляет  $U_m=1,2$  кВ. Частота колебаний контура  $\nu=10$  кГц (потерями можно пренебречь).

365. Максимальная энергия магнитного поля колебательного контура равна  $W_m^{\text{маг}}=1$  мДж при токе  $i=0,8$  А. Чему равна частота колебаний контура, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора составляет  $U_m=1,2$  кВ?

366. Период колебаний контура, состоящего из катушки индуктивности и конденсатора, составляет  $T=10$  мкс. Чему равен максимальный ток в катушке, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора  $U_m=900$  В? Максимальная энергия электрического поля равна  $W_m^{\text{эл}}=9$  мДж.

367. Ток в катушке колебательного контура изменяется в соответствии с уравнением  $i = I_0 \cos 2\pi \nu t$ . Частота колебаний  $\nu = 100$  кГц. В какой ближайший момент времени энергия магнитного поля катушки станет равной энергии электрического поля конденсатора?

368. В колебательном контуре с периодом колебаний  $T = 100$  мс напряжение на конденсаторе через промежуток времени  $t = 25$  мкс, прошедший с момента, когда напряжение было равно нулю, составляет  $U = 500$  В. Найти емкость конденсатора при общей энергии контура, равной  $W = 1$  мДж.

369. В соленоиде, содержащем  $N = 1000$  витков, магнитный поток, пронизывающий один виток, равен  $\Phi = 0,2$  мВб. Определить энергию магнитного поля соленоида, если сила тока, протекающего по виткам соленоида, равна  $I = 1$  А. Сердечник отсутствует. Магнитное поле во всем объеме соленоида считать однородным.

370. Диаметр тороида, содержащего  $N = 2000$  витков по средней линии, равен  $D = 50$  см. Площадь сечения тороида  $S = 20$  см<sup>2</sup>. Вычислить энергию магнитного поля тороида при силе тока  $I = 5$  А.

371. По графику, представленному на с.66, определить магнитную проницаемость стали, если индукция намагничивающего поля равна  $B_1 = 0,4$  мТл и  $B_2 = 1,2$  мТл.

372. Во сколько раз изменится магнитный поток, если чугунный сердечник в соленоиде заменить стальным того же размера? Индукция намагничивающего поля  $B = 2,2$  мТл (см. рисунок на с.66).

373. Внутри соленоида без сердечника индукция поля равна  $B = 2$  мТл. Используя рисунок на с.66, определить, каким станет магнитный поток, если в соленоид ввести чугунный сердечник сечением  $S = 100$  см<sup>2</sup>.

374. Соленоид содержит  $N = 500$  витков. При силе тока  $I = 10$  А магнитный поток равен  $\Phi = 80$  мкВб. Определить индуктивность соленоида.

375. Соленоид имеет стальной полностью размагниченный сердечник объемом  $V = 500$  см<sup>3</sup>. Напряженность магнитного поля соленоида при силе тока  $I = 0,5$  А равна  $H = 1$  кА/м. Используя рисунок на с.66, определить индуктивность соленоида.

376. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит  $N = 600$  витков. Длина сердечника  $l = 40$  см. Используя рисунок на с.66, определить, во сколько раз изменится индуктивность соленоида, если сила тока, протекающего по обмотке, возрастет от 0,2 до 1 А.

377. На железный полностью размагниченный сердечник диаметром  $d = 5$  см и длиной  $l = 80$  см намотано  $N = 240$  витков провода. Используя рисунок на с.66, определить индуктивность получившегося соленоида при силе тока  $I = 0,6$  А.

378. Тороид выполнен из мягкой стали. Индукция поля одинакова во всех точках внутри тороида и равна  $B = 1,2$  Тл. Диаметр проволоки, из которой сделана однослойная обмотка, равен  $d = 1$  мм, объем тороида  $V = 1000$  см<sup>3</sup>. Определить индуктивность тороида и ток, текущий по его обмотке.

379. Используя рисунок на с.66, составьте таблицу изменения магнитной проницаемости в зависимости от напряженности магнитного поля для стали с шагом 500 А/м. Постройте график.

380. Используя рисунок на с.66, определить, как изменится магнитный поток, если железный сердечник в соленоиде заменить стальным, диаметр которого в 1,5 раза больше, чем у железного, при той же длине. Индукция намагничивающего поля равна 2 мТл.

## 5. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

### 5.1. Примеры решения задач

**Пример 1.** В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda=600$  нм. Расстояние между отверстиями  $d=1$  мм, расстояние от отверстий до экрана  $l=3$  м. Найти положение на экране четырех первых светлых полос.

**Решение.** В опыте Юнга наблюдается явление интерференции света, которое выражается в его ослаблении и усилении. Так как по условию задачи выполняется одно из условий интерференции:  $l \gg d$ , то можно воспользоваться формулой для нахождения координат максимумов интенсивности света

$$x = \pm k \frac{l}{d} \lambda,$$

где  $k=0, 1, 2, 3, \dots$

Все параметры формулы заданы условием задачи. Проведем расчеты при различных значениях  $k$ :

$k=0$ ,  $x=0$  (светлая, самая яркая полоса напротив отверстия);

$$k=1, \quad x_1 = \pm \frac{l\lambda}{d} = \pm \frac{3 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{10^{-3}} = \pm 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = \pm 1,8 \text{ мм};$$

$$k=2, \quad x_2 = \pm \frac{2l\lambda}{d} = \pm \frac{2 \cdot 3 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{10^{-3}} = \pm 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м} = \pm 3,6 \text{ мм};$$

$$k=3, \quad x_3 = \pm 3 \cdot x_1 = \pm 5,4 \text{ мм}.$$

Светлые полосы располагаются симметрично относительно центральной полосы ( $k=0$ ).

**Пример 2.** На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки  $d$ , чтобы в направлении  $\varphi = 41^\circ$  совпадали максимумы двух линий:  $\lambda_1=656,3$  нм и  $\lambda_2=410,2$  нм?

**Решение.** При прохождении света через дифракционную решетку максимум будет наблюдаться при условии

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

где  $k$  - порядок дифракционного максимума.

Знаки "+" указывают, что максимумы симметричны относительно нулевого ( $k=0$ ,  $\varphi=0$ ).

Из условий задачи следует, что  $\sin \varphi = k_1 \lambda_1 / d = k_2 \lambda_2 / d$ , или  $k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2$ . Отсюда  $k_2/k_1 = \lambda_1/\lambda_2 = 656,3/410,2 = 1,6$ .

Так как числа  $k_1$  и  $k_2$  должны быть обязательно целыми, то полученному отношению удовлетворяют значения  $k_1=5$  и  $k_2=8$ . Тогда

$$d = \frac{k_1 \lambda_1}{\sin \varphi} = \frac{5 \cdot 656,3 \cdot 10^{-9}}{\sin 40^\circ} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

**Пример 5.** Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов  $U$ . Найти длину волны де Бройля  $\lambda$ , если: 1)  $U_1=51$  В; 2)  $U_2=510$  кВ.

**Решение.** Длина волны де Бройля частицы зависит от ее импульса  $p$  и определяется формулой

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (1)$$

где  $h$  - постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия  $E_k$ . Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше ее энергии покоя) и для релятивистского случая (когда они сравнимы между собой).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0 E_k}, \quad (2)$$

где  $m_0$  - масса покоя частицы.

В релятивистском случае

$$p = \sqrt{\frac{(2E_0 + E_k)E_k}{c^2}}, \quad (3)$$

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

В нерелятивистском случае из формулы (1) и соотношения (2) следует:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}. \quad (4)$$

В релятивистском случае из формулы (1) и соотношения (3) следует:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{(2E_0 + E_k)E_k/c^2}}. \quad (5)$$

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов  $U_1=51$  В и  $U_2=510$  кВ, с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим, какую из формул: (4) или (5) - следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$ , равна  $E_k = eU$ .

В первом случае  $E_k' = eU = 51$  эВ =  $0,51 \cdot 10^{-4}$  МэВ, что много меньше энергии покоя электрона  $E_0 = m_0 c^2 = 0,51$  МэВ. Следовательно, для вычисления  $\lambda$  можно применить формулу (4). Для упрощения расчетов заметим, что  $E_k' = 10^{-4} m_0 c^2$ . Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0 10^{-4} m_0 c^2}} = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h}{m_0 c}.$$

**Пример 3.** Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, равна  $\lambda_{\max} = 0,58$  мкм. Определить энергетическую светимость  $R_T$  тела.

**Решение.** По закону Стефана-Больцмана энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и выражается формулой

$$R_T = \sigma T^4, \quad (1)$$

где  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана;

$T$  - термодинамическая температура.

Температуру  $T$  можно выразить, используя закон смещения Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (2)$$

где  $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$  м/К - постоянная Вина.

Используя формулы (1) и (2), получаем

$$R_T = \sigma \left( \frac{b}{\lambda_{\max}} \right)^4.$$

Произведем вычисления:

$$R_T = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{0,58 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 3,54 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

**Пример 4.** Определить максимальную скорость  $v_{\max}$  фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра ультрафиолетовым излучением с длиной волны  $\lambda = 155$  нм.

**Решение.** Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}, \quad (1)$$

где  $h$  - постоянная Планка;

$c$  - скорость света в вакууме;

$A$  - работа выхода электронов, определяемая по таблице (табл. 6 приложения);

$m$  - масса покоя электрона.

Отсюда

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2(hc/\lambda - A)}{m}}. \quad (2)$$

Подстановка значений констант и значений величин, заданных в условии задачи, в формулу (2) дает

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 155 \cdot 10^{-9} - 0,75 \cdot 10^{-18})}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Учитывая, что  $h/(m_0c)$  есть комптоновская длина волны  $\lambda_k$ , получаем

$$\lambda_1 = 10^2 \lambda_k / \sqrt{2}.$$

Подставив сюда значение  $\lambda_k = 2,43$  пм, находим

$$\lambda_1 = 10^2 \cdot 2,43 / \sqrt{2} = 155 \text{ пм.}$$

Во втором случае кинетическая энергия  $E_k'' = eU_2 = 510 \text{ кэВ} = 0,51 \text{ МэВ}$ , т.е. равна энергии покоя электрона. Для вычисления  $\lambda$  необходимо применить формулу (5):

$$\lambda_2 = \frac{h}{\sqrt{(2m_0c^2 + m_0c^2) m_0c^2 / c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3}m_0c} = \frac{\lambda_k}{\sqrt{3}} = \frac{2,43}{\sqrt{3}} = 1,27 \text{ пм.}$$

**Пример 6.** Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка  $E_k = 10$  эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома.

**Решение.** Соотношение неопределенностей для координаты и импульса имеет вид

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar, \quad (1)$$

где  $\Delta x$  – неопределенность координаты частицы (в данном случае электрона);

$\Delta p$  – неопределенность импульса электрона;

$\hbar$  – постоянная Планка ( $h/2\pi$ ).

Из соотношения неопределенностей следует, что, чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределенным становится импульс, а следовательно, и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры  $l$ , тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределенностью

$$\Delta x = l/2.$$

Соотношение неопределенностей (1) можно записать в этом случае в виде

$$(l/2) \Delta p \geq \hbar,$$

откуда

$$l \geq 2\hbar/\Delta p.$$

Неопределенность импульса не должна превышать значение самого импульса  $p$ , т.е.  $\Delta p \leq p$ . Импульс  $p$  связан с кинетической энергией соотношением  $p = \sqrt{2mE_k}$ . Заменяем  $\Delta p$  значением  $p = \sqrt{2mE_k}$ . (Такая замена не увеличит величину  $l$ .) Переходя от неравенства к равенству, получим

$$l_{\min} = 2\hbar / \sqrt{2mE_k}. \quad (2)$$

Проверим размерность  $l_{\min}$ . Для этого в правую часть формулы (2) вместо символов величин подставим их единицы измерения:

$$\frac{[\hbar]}{([m] \cdot [E_k])^{1/2}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{(\text{кг} \cdot \text{Дж})^{1/2}} = \left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)^{1/2} \cdot \text{с} = \text{м}.$$

Найденная единица измерения является единицей измерения длины. Произведем вычисления:

$$l_{\min} = \frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10}} = 1,24 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

**Пример 7.** Волновая функция  $\Psi(x) = \sqrt{2/l} \cdot \sin \pi x/l$  описывает состояние частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $l$ . Вычислить вероятность нахождения частицы в малом интервале  $\Delta l$ , составляющем 1 % от ширины ямы, в двух случаях: 1) вблизи стенки ( $0 \leq x \leq \Delta l$ ); 2) в средней части ямы ( $l/2 - \Delta l/2 \leq x \leq l/2 + \Delta l/2$ ).

**Решение.** Вероятность того, что частица будет обнаружена в интервале  $dx$  (от  $x$  до  $x + dx$ ), пропорциональна этому интервалу и квадрату модуля волновой функции, описывающей данное состояние:

$$dW = |\Psi(x)|^2 dx.$$

В первом случае искомую вероятность можно найти путем интегрирования в пределах от 0 до 0,011 (рис. 20):

$$W = \frac{2}{l} \int_0^{0,011} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx. \quad (1)$$

Знак модуля в выражении (1) опущен, так как функция  $\Psi$  в данном случае не является комплексной.

Поскольку  $x$  изменяется в интервале  $0 \leq x \leq 0,011$ , то  $\pi x/l \ll 1$  и, следовательно, справедливо приближенное равенство

$$\sin^2 \frac{\pi x}{l} \approx \left( \frac{\pi x}{l} \right)^2. \quad (2)$$

С учетом формулы (2) выражение (1) принимает вид

$$W = \frac{2}{l} \int_0^{0,011} \left( \frac{\pi x}{l} \right)^2 dx = \frac{2\pi^2}{l^3} \cdot \int_0^{0,011} x^2 dx.$$

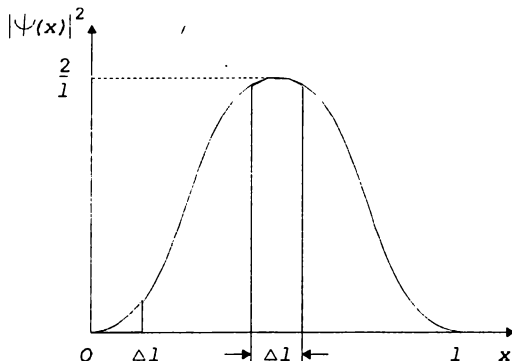


Рис. 20

После интегрирования получаем

$$W = (2/3)\pi^2 \cdot 10^{-6} = 6,6 \cdot 10^{-6}.$$

Во втором случае нет необходимости в интегрировании, так как квадрат модуля волновой функции вблизи ее максимума в заданном малом интервале ( $\Delta l = 0,011$ ) практически не изменяется. Искомая вероятность определяется выражением

$$W = |\psi(l/2)|^2 \Delta l,$$

или

$$W = \frac{2}{1} \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi}{1} \cdot \frac{1}{2} \right) \Delta l = \frac{2}{1} \cdot 0,011 = 0,02.$$

**Пример 8.** Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить энергию испущенного при этом фотона.

**Решение.** Энергия фотона определяется по формуле

$$E = h\nu,$$

где неизвестной величиной является частота  $\nu$ , которая может быть рассчитана по спектральной формуле

$$\nu = Rc \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $R$  - постоянная Ридберга ( $R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ );

$c$  - скорость света в вакууме ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ );

$m$  - номер орбиты, на которую перешел электрон;

$n$  - номер орбиты, с которой перешел электрон.

Следовательно, энергия фотона выражается формулой

$$E = hRc \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (1)$$

Подставим в формулу (1) значения величин:

$$E = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 1,1 \cdot 10^7 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot (1/4 - 1/16) = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

**Пример 9.** Вычислить дефект массы и энергию связи ядра  ${}^7_3\text{Li}$ .

**Решение.** Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов. Дефект массы ядра  $\Delta m$  определяется по формуле

$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)m_n) - m_{\text{я}}, \quad (1)$$

где  $Z$  - зарядовое число (атомный номер или число протонов в ядре);

$A$  - массовое число (число нуклонов, составляющих ядро);

$m_p$ ,  $m_n$ ,  $m_{\text{я}}$  - массы протона, нейтрона и ядра соответственно.

В формуле (1) неизвестна масса ядра лития, которая определяется из соотношения

$$m_{\text{я}} = m_{\text{А}} - Zm_e, \quad (2)$$

где  $m_{\text{А}}$  - масса атома;

$m_e$  - масса электрона.



Подставим соотношение (2) в формулу (1):

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_A + Z m_e . \quad (3)$$

Массы нуклонов, электрона и атома выразим в атомных единицах массы (а.е.м.), приняв во внимание, что  $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ . Тогда после подстановки соответствующих значений в формулу (3) получим

$$\Delta m = 3 \cdot 1,00728 + 4 \cdot 1,00867 - 7,01601 + 3 \cdot 0,00065 = 0,04216 \text{ а.е.м.},$$

что соответствует  $0,04216 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 7 \cdot 10^{-29} \text{ кг}$ .

Энергия связи определяется по формуле

$$\epsilon_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2 = 7 \cdot 10^{-29} (3 \cdot 10^8)^2 = 63 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

**Пример 10.** Определить начальную активность  $A_0$  и активность  $A$  через время  $t=5$  ч радиоактивного препарата магния  $^{27}\text{Mg}$  массой  $m=0,2$  мкг. Период полураспада магния  $T_{1/2}=10$  мин.

**Решение.** Активность изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и определяется отношением числа ядер  $dN$ , распавшихся за интервал времени  $dt$ , к этому интервалу:

$$A = - dN/dt. \quad (1)$$

Знак "-" показывает, что число радиоактивных ядер  $N$  со временем убывает. Для нахождения отношения  $dN/dt$  воспользуемся законом радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где  $N$  - число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе в момент времени  $t$ ;

$N_0$  - число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начальный ( $t=0$ );

$\lambda$  - постоянная радиоактивного распада.

Продифференцируем выражение (2) по времени:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Из формул (1) и (3) следует, что активность препарата  $A$  в момент времени  $t$  равна

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

Если в формулу (4) подставить  $t=0$ , получим начальную активность препарата  $A_0$ :

$$A_0 = \lambda N_0. \quad (5)$$

Постоянная радиоактивного распада  $\lambda$  связана с периодом полураспада  $T_{1/2}$  соотношением

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}. \quad (6)$$

Число радиоактивных ядер  $N_0$ , содержащихся в изотопе в момент времени, когда его масса была равна  $m$ , определяется соотношением

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_A, \quad (7)$$

где  $\mu$  - молярная масса изотопа;

$N_A$  - число Авогадро.

С учетом выражений (5) и (7) формулы (5) и (4) принимают вид

$$A_0 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_A;$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}. \quad (8)$$

Произведем вычисления, учитывая, что:

- 1)  $T_{1/2} = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с};$
- 2)  $\ln 2 = 0,693;$
- 3)  $t = 6 \text{ ч} = 6 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ с} = 2,16 \cdot 10^4 \text{ с}.$

$$A_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0,693}{600} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 5,15 \cdot 10^{12} \text{ Бк};$$

$$A = 5,15 \cdot 10^{12} \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{600} \cdot 2,16 \cdot 10^4\right) = 75,3 \text{ Бк}.$$

## 5.2. Контрольная работа № 4

Номера задач для вариантов контрольной работы № 4 указаны в табл. 4.

Таблица 4

Вариант	Номер задачи							
0	410	420	430	440	450	460	470	480
1	401	411	421	431	441	451	461	471
2	402	412	422	432	442	452	462	472
3	403	413	423	433	443	453	463	473
4	404	414	424	434	444	454	464	474
5	405	415	425	435	445	455	465	475
6	406	416	426	436	446	456	466	476
7	407	417	427	437	447	457	467	477
8	408	418	428	438	448	458	468	478
9	409	419	429	439	449	459	469	479

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

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

403. На стеклянную пластинку нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления  $n=1,3$ . Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны  $\lambda=540$  нм, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину  $d$  должен иметь слой, чтобы отраженный пучок имел наименьшую яркость?

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

405. Расстояние между штрихами дифракционной решетки  $d=4$  мкм. На решетку нормально падает свет с длиной волны  $\lambda=0,58$  мкм. Определить угол дифракции, соответствующий первому максимуму.

405. На поверхность дифракционной решетки нормально падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в пять раз больше длины световой волны. Сколько дифракционных максимумов возможно наблюдать в данном случае?

407. На непрозрачную пластину с узкой щелью нормально падает плоская монохроматическая световая волна ( $\lambda=500$  нм). Угол дифракции, соответствующий второму максимуму, равен  $\varphi=20^\circ$ . Определить ширину  $a$  щели.

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

409. Угол падения  $\alpha$  луча на поверхность стекла равен  $50^\circ$ . При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол  $\beta$  преломления луча.

410. Угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен  $\alpha=50^\circ$ . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в 4 раза. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения света в поляризаторах.

411. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отраженный пучок света максимально поляризован?

412. При прохождении света через трубку длиной  $l=20$  см, содержащую раствор сахара с концентрацией  $C_1=1$  кг/см, плоскость поляризации света повернулась на угол  $\varphi=13,3^\circ$ . В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной  $l=15$  см, плоскость поляризации повернулась на угол  $\varphi=5,2^\circ$ . Определить концентрацию  $C_2$  второго раствора.

413. Абсолютно твердое тело имеет температуру  $T_1=500$  К. Какова будет температура  $T_2$  тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в 5 раз?

414. Температура абсолютно черного тела  $T=2$  кК. Определить длину волны  $\lambda_{\max}$ , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости  $(\epsilon_{\lambda T})_{\max}$  для этой длины волны.

415. Определить температуру  $T$  и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda_{\max}=500$  нм.

416. Из смотрового окошечка печи излучается поток энергии, равный  $N=4$  кДж/мин. Определить температуру  $T$  печи, если площадь окошечка  $S=8$  см<sup>2</sup>.

417. Поток излучения абсолютно черного тела равен  $N=10$  кВт, максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda_{\max}=0,8$  мкм. Определить площадь излучающей поверхности.

418. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра  $\lambda_{\text{кр}}=780$  нм на фиолетовую  $\lambda_{\text{ф}}=390$  нм?

419. Красная граница фотоэффекта для цинка равна  $\lambda_0=310$  нм. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны  $\lambda=200$  нм.

420. На поверхность калия падает свет с длиной волны  $\lambda=50$  нм. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.

421. Фотон с энергией  $E=10$  эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс  $p$ , полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной к поверхности пластин.

422. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны  $\lambda=200$  нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов  $U$ , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

423. Какова должна быть длина волны  $\gamma$ -излучения, падающего на платиновую пластину, если максимальная скорость фотоэлектронов  $v_{\max}=3 \cdot 10^6$  м/с?

424. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения ( $\lambda=0,25$  мкм). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов  $U=0,96$  В. Определить работу выхода электронов из металла.

425. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda=0,1$  мкм. Красная граница фотоэффекта равна  $\lambda_0=0,3$  мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

426. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроны был рассеян на угол  $\theta=90^\circ$ . Определить импульс  $p_e$ , приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была равна  $\epsilon_1=1,02$  МэВ.

427. Рентгеновское излучение ( $\lambda=1$  пм) рассеивается электронами, которые можно считать практически свободными. Определить максимальную длину волны  $\lambda_{\max}$  рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

428. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если угол рассеяния фотона равен  $\theta=90^\circ$ ? Энергия фотона до рассеяния равна  $\epsilon_1=0,511$  МэВ.

429. Фотон с длиной волны  $\lambda_1=15$  пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона  $\lambda_2=15$  пм. Определить угол рассеяния.

430. Фотон с энергией  $\varepsilon_1=0,51$  МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол  $\theta=180^\circ$ . Определить кинетическую энергию электрона отдачи.

431. Определить угол  $\theta$ , на который был рассеян  $\gamma$ -квант с энергией  $\varepsilon_1=1,53$  МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи равна  $0,53$  МэВ.

432. Определить длину волны де Бройля для частицы массой  $m=1$  г, движущейся со скоростью  $v=10$  м/с.

433. Вычислить длину волны де Бройля  $\lambda$  для электрона, обладающего кинетической энергией  $T=13,5$  эВ (энергия ионизации атома водорода). Сравнить полученное значение  $\lambda$  с диаметром  $d$  атома водорода (найти отношение  $\lambda/d$ ). Нужно ли учитывать волновые свойства электрона при изучении движения электрона в атоме водорода? Диаметр атома водорода принять равным удвоенному значению боровского радиуса.

434. Какую ускоряющую разность потенциалов  $U$  должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля  $\lambda$  была равна: 1)  $1$  нм; 2)  $1$  пм?

435. Вычислить длину волны де Бройля  $\lambda$  протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$ , равную: 1)  $1$  МВ; 2)  $1$  ГВ.

436. Определить длины волн де Бройля  $\lambda$   $\alpha$ -частицы и протона, прошедших одинаковую разность потенциалов  $U=1$  кВ.

437. Электрон обладает кинетической энергией  $T=1,02$  МэВ. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля  $\lambda$ , если кинетическая энергия электрона уменьшится вдвое?

438. Кинетическая энергия электрона равна удвоенному значению его энергии покоя. Вычислить длину волны де Бройля  $\lambda$  для такого электрона.

439. Используя соотношение неопределенностей, оценить  $\Delta p$  в определении импульса электрона, если координата его центра масс установлена с неопределенностью  $\Delta x=0,01$  мм.

440. Время жизни возбужденного ядра порядка  $t=1$  нс, длина волны излучения равна  $\lambda=0,1$  нм. С какой наибольшей точностью может быть определена энергия излучения?

441. Атом испустил фотон с длиной волны  $\lambda=800$  нм. Продолжительность излучения  $\Delta t=10$  нс. Определить наибольшую точность  $\Delta \lambda$ , с которой может быть измерена длина волны излучения.

442. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину одномерного потенциального ящика, в котором минимальная энергия электрона равна  $T=10$  эВ.

443. Электрон находится в возбужденном состоянии ( $n=2$ ) внутри бесконечно глубокого одномерного прямоугольного потенциального ящика шириной  $l=0,1$  нм. Вычислить плотность вероятности нахождения электрона в точках с координатами:  $x=0,1l$ ;  $0,2l$ ;  $0,5l$ .

444. Электрон находится в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l=0,1$  нм. Определить в электрон-вольтах наименьшую энергию электрона.

445. Частица в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l$  находится в возбужденном состоянии ( $n=3$ ). Определить плотность вероятности нахождения частицы в точке с координатой  $x=l/2$ .

446. Найти: 1) радиусы первых трех боровских орбит в атоме водорода; 2) скорости электрона на них.

447. Найти числовые значения кинетической, потенциальной и полной энергии электрона на первой боровской орбите.

448. Вычислить кинетическую энергию электрона, находящегося на  $n$ -й орбите атома водорода, для  $n=1, 2, 3$  и  $\infty$ .

449. Найти: 1) период обращения электрона на первой боровской орбите атома водорода; 2) угловую скорость электрона.

450. Найти наименьшую и наибольшую длины волн спектральных линий водорода в видимой области спектра.

451. Найти наибольшую длину волны в ультрафиолетовой серии спектра водорода. Какую наименьшую скорость должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами электронов появилась эта линия?

452. Насколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda=485$  нм?

453. Найти длину волны де Бройля  $\lambda$  для электрона, движущегося по первой боровской орбите атома водорода.

454. Определить число электронов и их квантовые числа на третьем энергетическом уровне ( $n=3$ ).

455. Составить схему заполнения электронных оболочек атома углерода.

456. Составить схему заполнения электронных оболочек атома натрия.

457. При нагревании полупроводника от 20 до 40 °C его удельная электропроводность уменьшилась в 2,7 раза. Определить ширину запрещенной зоны  $E_g$  полупроводника и длину волны  $\lambda_0$  красной границы внутреннего фотоэффекта.

458. Ширина запрещенной зоны полупроводника  $E_g=0,8$  эВ. Будет ли наблюдаться внутренний фотоэффект в этом полупроводнике, если его облучать светом с длиной волны  $\lambda=2 \cdot 10^{-6}$  м?

459. Два разнородных металла соединили между собой при температуре окружающей среды  $t=27$  °C. Определить контактную разность потенциалов, если известно, что концентрация электронов в области перехода изменилась в 10 раз.

460. Температура холодного спая термопары  $t=0$  °C, ее термоэлектродвижущая сила  $\mathcal{E}=5,3$  мВ. Чему равна температура горячего спая термопары, если на каждый градус разницы температуры ее спаев приходится  $\Delta \mathcal{E}=43$  мкВ?

461. Найти число протонов и нейтронов, входящих в состав ядра алюминия  ${}_{13}^{27}\text{Al}$ .

462. Найти энергию связи ядра изотопа лития  ${}_{3}^7\text{Li}$ .

463. Найти энергию связи ядра атома гелия  ${}_{2}^4\text{He}$ .

464. Найти энергию связи ядра атома алюминия  ${}_{13}^{27}\text{Al}$ .

465. Найти энергию связи, приходящуюся на один нуклон в ядре атома кислорода  ${}_{8}^{16}\text{O}$ .

466. Исходными компонентами ядерной реакции являются  ${}_{7}^{14}\text{N}$  и  ${}_{2}^4\text{He}$ , а одним из продуктов -  ${}_{8}^{17}\text{O}$ . Записать уравнение этой реакции и найти ее энергию. Освобождается или поглощается эта энергия?

467. Какая энергия выделится, если в ходе протекания реакции  $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + ^1_1\text{H}$  подвергаются превращению все ядра, находящиеся в  $m=1$  г алюминия, атомная плотность которого составляет  $n=6,03 \cdot 10^{22}$  атомов/см<sup>3</sup>?

468. Реакция  $(n, \alpha)$  на изотопе бора  $^{10}_5\text{B}$  идет при бомбардировке ядер медленными нейтронами. Найти энергию, выделяющуюся при этой реакции, и скорость  $\alpha$ -частицы.

469. Какую энергию можно получить в результате деления 1 г урана  $^{235}_{92}\text{U}$ , если при каждом делении ядра выделяется энергия, равная 200 МэВ?

470. Какая масса урана  $^{235}_{92}\text{U}$  расходуется в сутки на атомной электростанции мощностью 5 МВт? КПД электростанции принять равным  $\eta=17\%$ , а энергию, выделяющуюся при каждом акте распада, – 200 МэВ.

471. В результате цепной реакции в ядерном реакторе число нейтронов увеличивается за  $t=30$  с в 2,7 раза. В каком режиме работает реактор, если среднее время жизни одного поколения нейтронов  $\tau=100$  мс?

472. Кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы, вылетающей из ядра атома радия при радиоактивном распаде, равна  $T=4,78$  МэВ. Найти скорость  $\alpha$ -частицы и полную энергию, выделяющуюся при ее вылете.

473. Какой изотоп образуется из ядра  $^{232}_{90}\text{Th}$  после четырех  $\alpha$ -распадов и двух  $\beta$ -распадов?

474. Кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы, вылетающей из ядра атома полония  $^{210}_{84}\text{Po}$  при радиоактивном распаде, равна  $T=7,58$  МэВ. Найти скорость  $\alpha$ -частицы и полную энергию, выделенную ядром при его распаде.

475. Какой изотоп образуется из ядра атома урана  $^{238}_{92}\text{U}$  после трех  $\alpha$ -распадов и двух  $\beta$ -распадов?

476. Определить постоянную распада и период полураспада радионуклида, если за три дня число радиоактивных ядер уменьшилось на 13,5 %.

477. В 1 см<sup>3</sup> воздуха на уровне моря за счет ионизирующих частиц вторичного космического излучения образуется две пары ионов в секунду. Определить поглощенную дозу в воздухе за год.

478. Рассчитать годовую дозу  $\gamma$ -излучения над поверхностью Земли от одной из компонент естественного фона, обусловленного изотопом  $^{40}_{19}\text{K}$ , содержание которого в земной породе равно 0,04 %. Учесть, что мощность дозы, создаваемой  $\gamma$ -излучением  $^{40}_{19}\text{K}$ , равна 0,8 Р/ч·мКи, а удельная активность  $^{40}_{19}\text{K}$  составляет 6,4 мКи/кг.

479. Определить эффективный период полувыведения и время, в течение которого число радиоактивных ядер радионуклида  $^{90}_{38}\text{Sr}$ , ранее попавших в организм человека, уменьшится в  $10^3$  раз. Принять  $T_{1/2}=10^4$  суток,  $T_b=1,8 \cdot 10^4$  суток.

480. Определить эффективный период полувыведения и время, в течение которого число радиоактивных ядер радионуклида  $^{131}_{53}\text{I}$ , ранее попавших в организм человека, уменьшится в 10 раз. Принять  $T_{1/2}=8$  суток,  $T_b=138$  суток.

## Литература

1. Акиншин В.Д., Зольников П.П., Конев С.Н. Физика: Учеб. пособие: В 3 ч. Ч.1 / Свердл. инж.-пед. ин-т. - Свердловск, 1990. - 144 с.
2. Зольников П.П., Конев С.Н. Физика: Учеб. пособие: В 3 ч. Ч.2/ Свердл. инж.-пед. ин-т. - Свердловск. 1991. - 104 с.
3. Зольников П.П., Конев С.Н. Физика: Учеб. пособие: В 3 ч. Ч.3. - Екатеринбург: Изд-во Свердл. инж.-пед. ин-та, 1993. - 175 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 ч. - М.: Наука, 1996.- 426 с.
5. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. для студентов вузов. - М.: Высш. шк., 1995.- 432 с.
6. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики: Учеб. пособие для вузов.-М.: Высш. шк., 1997.- 351 с.
7. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. - М.:Наука, 1996.- 512 с.



## Краткий справочник по физике

Таблица 1

Некоторые физические и астрономические константы

Константа	Числовое значение
Число Авогадро	$N_A = 6,02205 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,3144 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Планка	$h = 6,6252 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Заряд электрона	$e = -1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$
Радиус Земли	$R_3 = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$m_3 = 5,96 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Таблица 2

Диаметр атомов и молекул

Химический элемент	Диаметр, нм
Гелий ( $He$ )	0,20
Водород ( $H_2$ )	0,23

Таблица 3

Свойства некоторых твердых тел

Вещество	Плотность, $10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	Удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	Удельная теплота плавления, $10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$
Алюминий	2,5	559	895	3,22
Железо	7,9	1530	500	2,72
Лед	0,9	0	2100	3,35
Медь	8,5	1100	395	1,75
Свинец	11,3	327	125	0,23

Таблица 4

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  диэлектриков

Вещество	$\epsilon$	Вещество	$\epsilon$	Вещество	$\epsilon$
Керосин	2	Стекло	6	Эбонит	2,6
Масло	5	Фарфор	6	Парафинированная бумага	2,0

Таблица 5

Удельное сопротивление проводников при 0 °С

Проводник	$\rho \cdot 10^8, \text{ Ом}\cdot\text{м}$
Медь	1,7
Алюминий	2,5
Нихром	100,0

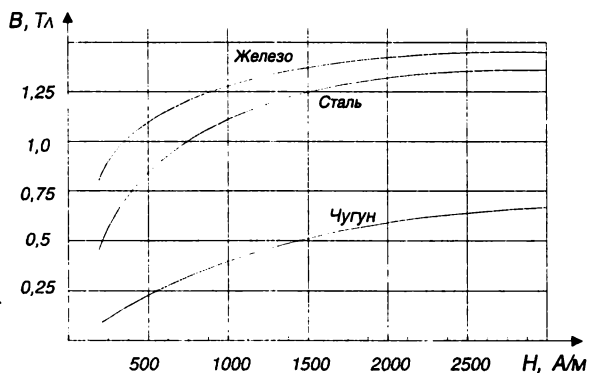
Зависимость индукции  $B$  от напряженности  $H$  магнитного поля для ферромагнетиков

Таблица 6

Работа выхода  $A_{\text{вых}}$  электронов из металла, эВ

Металл	$A_{\text{вых}}$
Св	1,90
W	4,50
Ag	4,74
Pt	5,30

Таблица 7

Показатели преломления  $n$ 

Вещество	$n$
Алмаз	2,42
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Стекло	1,50

Таблица 8

Массы некоторых изотопов, а.е.м.

(1 а.е.м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг)

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
${}^1_1\text{H}$	1,00814	${}^9_4\text{Be}$	9,01505	${}^{27}_{13}\text{Al}$	26,99010
${}^2_1\text{H}$	2,01474	${}^{10}_5\text{B}$	10,01612	${}^{30}_{14}\text{Si}$	29,98325
${}^3_1\text{H}$	3,01700	${}^{12}_6\text{C}$	12,00380	${}^{40}_{20}\text{Ca}$	39,97542
${}^3_2\text{He}$	3,01699	${}^{13}_7\text{N}$	13,00987	${}^{56}_{27}\text{Co}$	55,95759
${}^4_2\text{He}$	4,00388	${}^{14}_7\text{N}$	14,00752	${}^{63}_{29}\text{Cu}$	62,94962
${}^6_3\text{Li}$	6,01703	${}^{17}_8\text{O}$	17,00453	${}^{113}_{48}\text{Cd}$	112,94206
${}^7_3\text{Li}$	7,01823	${}^{18}_8\text{O}$	17,00453	${}^{200}_{80}\text{Hg}$	200,02800
${}^7_4\text{Be}$	7,01915	${}^{23}_{12}\text{Mg}$	23,00145	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,11750
${}^8_4\text{Be}$	8,00785	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	23,99267	${}^{238}_{92}\text{U}$	238,12376

Таблица 9

Масса ( $m_0$ ) и энергия покоя ( $E_0$ ) некоторых частиц

Частица	$m_0$		$E_0$	
	кг	а.е.м.	Дж	Мэв
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,673 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938,3
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939,6
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876,0
$\alpha$ -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733,0

## Оглавление

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	3
1.1. Самостоятельная работа студента.....	3
1.2. Выполнение контрольной работы.....	3
1.3. Выполнение лабораторных работ.....	4
1.4. Сдача экзамена и зачета.....	4
2. МЕХАНИКА.....	5
2.1. Примеры решения задач.....	5
2.2. Контрольная работа № 1.....	15
3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК.....	23
3.1. Примеры решения задач.....	23
3.2. Контрольная работа № 2.....	31
4. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.....	38
4.1. Примеры решения задач.....	38
4.2. Контрольная работа № 3.....	44
5. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА...	51
5.1. Примеры решения задач.....	51
5.2. Контрольная работа № 4.....	58
Литература.....	64
Приложение. Краткий справочник по физике.....	65

Гулин Лев Васильевич  
Житенев Виктор Иванович  
Зольников Петр Пантелеймонович  
Маруня Михаил Семенович

**СБОРНИК ЗАДАЧ  
ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор Е.А. Ушакова

Печатается по постановлению  
редакционно-издательского совета университета

Лицензия ЛР № 040328 от 10.04.97

Подписано в печать 27.10.00. Формат 60×84/16. Бумага для множ. аппаратов. Усл. печ.л. 5,9. Уч.-изд.л. 6,1. Тираж 1200 экз.  
Заказ № 467.

Издательство Уральского государственного профессионально-педагогического университета. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

