

Ф И З И К А

Пособие
для подготовки

к централизованному
тестированию



$$F_A = |B| \sin \alpha$$

Аверсэв

С. Н. Капельян, В. А. Малашонок

Ф И З И К А

Пособие
для подготовки

к централизованному
тестированию

18-е издание

Минск
«АверсЭВ»
2021

УДК 53(075.4)
ББК 22.3я729
К20

Рецензенты:

канд. пед. наук, декан физ. факультета, зав. каф. методики преподавания физики и астрономии Витебского гос. ун-та им. П. М. Машерова **И. В. Галузо**; канд. физ.-мат. наук, учитель физики гимназии № 5 г. Минска **В. И. Анцупевич**; нач. отдела естественно-математического образования Минского гор. гос. ин-та повышения квалификации и переподготовки кадров образования **В. Н. Поддубский**; канд. физ.-мат. наук, доц., учитель физики высш. категории СШ № 165 г. Минска **В. А. Пенязь**

Капельян, С. Н.

К20 **Физика : пособие для подготовки к централизованному тестированию / С. Н. Капельян, В. А. Малашонок. — 18-е изд. — Минск : Аверсэв, 2021. — 480 с. : ил.**

ISBN 978-985-19-5297-3.

Пособие содержит основные физические понятия, законы и формулы, а также тестовые задания, которые охватывают все типы задач, предлагаемые абитуриентам на централизованном тестировании по физике. В конце книги приведены три варианта проверочных заданий, восемь вариантов итоговых тестов, которые можно выполнить в режиме онлайн на сайте издательства (www.aversev.by), а также табличные данные.

УДК 53(075.4)
ББК 22.3я729

Справочное издание

Капельян Семен Наумович

Малашонок Владимир Александрович

ФИЗИКА

Пособие для подготовки к централизованному тестированию

18-е издание

Ответственный за выпуск *Д. Л. Дембовский*

Подписано в печать 15.01.2021. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага газетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 27,90. Уч.-изд. л. 20,03. Тираж 4100 экз. Заказ

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/15 от 02.08.2013.

Ул. Н. Олешева, 1, офис 309, 220090, г. Минск.

E-mail: info@aversev.by; www.aversev.by

Контактные телефоны: (017) 378-00-00, 379-00-00.

Для писем: а/я 3, 220090, г. Минск.

Государственное предприятие «Издательство “Белорусский Дом печати”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/102 от 01.04.2014.

Пр. Независимости, 79/1, 220013, г. Минск.

12+

ISBN 978-985-19-5297-3

© Капельян М. Ф., Малашонок В. А., 2017
© Оформление. ОДО «Аверсэв», 2017

Предисловие

Все большее распространение в настоящее время получает тестирование как объективный и универсальный способ контроля знаний учащихся и выпускников учреждений общего среднего образования. Задания централизованного тестирования по физике за последние годы претерпели значительные изменения. Изменились форма и содержание тестов, увеличилось число задач без альтернативных ответов, повышается уровень сложности предлагаемых заданий.

Настоящее пособие предназначено для учащихся учреждений общего среднего образования и может быть использовано для подготовки к тестовым испытаниям по физике любого уровня сложности, в том числе и к централизованному тестированию. Тестовые задания составлены в соответствии с действующей программой по физике для учреждений общего среднего образования и программой вступительных экзаменов в учреждения высшего образования. Они охватывают основные типы задач, которые могут быть предложены абитуриентам и выпускникам школ на экзаменах по физике различного уровня.

Сборник разбит на главы в соответствии с программой школьного курса физики. В начале каждой главы приведены основные физические понятия, законы и формулы, которые могут использоваться при решении приведенных тестовых заданий, а также в качестве справочного материала по соответствующим темам.

Пособие содержит 2150 тестов, к каждому из которых приведены альтернативные ответы. Все задания разделены на 40 тем (параграфов) в соответствии с программой по физике. Каждый параграф содержит 4 варианта тестов (по 10 заданий) четырех уровней сложности: А1, А2, В1 и В2.

К каждому заданию А1 и А2 приведено пять ответов, из которых только один является верным. Задания части В1 и В2 содержат тесты, ответ на которые должен быть найден в указанных единицах измерения. Ответ должен быть указан с точностью заданных параметров задачи согласно правилам приближенных вычислений. После каждого раздела приведены обобщающие тесты, состоящие из 20 заданий, охватывающие весь учебный материал соответствующего раздела. Эти варианты рекомендуется использовать как своеобразные контрольные работы, характеризующие усвоение учебного материала данного раздела. Таких обобщающих тестов в пособии 10. В качестве дополнительного задания приведен контрольный вариант на знание формул и единиц системы СИ. Подобные тесты предлагаются на ЦТ и представляют особую сложность для учащихся. В конце пособия приведены три варианта проверочных заданий «Проверь себя». Кроме того, там размещены во-

семь вариантов итоговых тестов, которые также можно выполнить в режиме онлайн на сайте издательства «Аверсэв» (www.aversev.by) в разделе «Тесты онлайн». Составлены они подобно вариантам ЦТ прошлых лет. Подбор задач по трудности авторы пытались сделать аналогичным задачам ЦТ. Каждый тест оценивается определенным количеством баллов из расчета 200 баллов за вариант. Общая сумма баллов варианта характеризует подготовку учащегося.

Вариант состоит из тестов пяти уровней сложности.

I уровень сложности — знание формул или основных понятий физики — имеют два теста, которые оцениваются по 2 балла каждый.

II уровень сложности — знание формул, понимание физических особенностей явления, умение решать стандартные задачи. Вариант содержит 10 задач, каждая из которых оценивается в 5 баллов.

Тесты III уровня сложности предполагают знание не только формул и физических процессов, но и более сложных физических задач, для решения которых необходимо построить физическую модель явления. Таких тестов III уровня сложности в варианте содержится 14, и решение каждого оценивается в 7 баллов.

IV уровень сложности предполагает свободное оперирование материалом школьного курса физики, построение физической модели явления, уверенное владение математическим аппаратом. Тестов этого уровня в варианте два и каждый оценивается в 10 баллов. И, наконец, по два теста V уровня сложности, для решения которых требуется анализ физического явления, построение модели, составление системы уравнений и анализ полученного решения. Каждый из этих тестов оценивается в 14 баллов.

Конечно, подобного рода оценки отличаются от методики расчета тестового балла, используемого при ЦТ. Однако авторы полагают, что результаты расчета итогового балла по предлагаемой методике не должны существенно отличаться от результатов расчета по методике Республиканского института контроля знаний.

Авторы предлагают следующую шкалу оценок за решение варианта.

Число набранных баллов	0—10	11—30	31—50	51—60	61—80
Оценка	1	2	3	4	5
Число набранных баллов	81—100	101—130	131—150	151—180	181—200
Оценка	6	7	8	9	10

Итоговые варианты рекомендуется решать целиком за ограниченное время (например, 180 минут), после того как будет пройден весь курс физики. Авторы подчеркивают, что решение задачи обязательно при любой форме задания.

Тесты составлены таким образом, что анализ ответа не может привести к правильному решению. К каждому варианту прилагаются ответы. В конце книги содержатся справочные данные, необходимые для решения задач.

Для задач, отмеченных звездочкой (*), в конце пособия приведены указания к их решению.

Физические постоянные: заряд и масса электрона, гравитационная постоянная, постоянная Авогадро, постоянная Больцмана, универсальная газовая постоянная и другие приведены в таблице 1 Приложения.

При выполнении задач части В значение искомой величины следует выразить в тех единицах физических величин, которые указаны в условии задачи. Если такого указания нет, то значение величины следует записать в Международной системе единиц (СИ).

Во всех тестах, если специально не оговорено в условии, сопротивлением воздуха при движении тел следует пренебречь, а ускорение свободного падения g следует полагать равным 10 м/с^2 .

При расчете следует использовать значения констант с указанной в приложениях точностью.

Если в ответе требуется получить ответ в кратных и дольных единицах системы СИ, то используйте эти единицы. Кратные и дольные единицы системы СИ приведены в Приложении.

В условии задачи численные значения физических величин приведены с определенной точностью, т. е. являются приближенными.

Цифры приближенного числа, стоящие после сомнительной, являются неверными и их не записывают. Так, в приближенном числе $307,25 \pm 4$ среди пяти значащих цифр верными являются 3 и 0, сомнительной — 7 и неверными — 2 и 5. Поэтому правильной будет запись: 307 ± 4 .

При решении задач надо учитывать следующие правила.

а) При сложении и вычитании приближенных чисел результат округляют до числа значащих цифр, которое имеет слагаемое с наименьшим количеством значащих цифр.

Например, при сложении двух чисел $6,384 + 2,92 = 9,304$ результат округляют до сотых долей, т. е. до 9,30.

При вычитании двух чисел $8,6341 - 2,2 = 6,4341$ результат принимают равным 6,4.

Если при этом последняя отбрасываемая цифра равна или больше 5, то в результат добавляют единицу к последней значащей цифре.

Например: $6,45 - 2,3 = 4,15$. Результат принимают равным 4,2.

б) При умножении и делении в окончательном результате оставляют столько значащих цифр, сколько их содержится в сомножителе с наименьшим количеством значащих цифр.

Например: $4,273 \cdot 1,2 = 5,1276$. Результат принимают равным 5,1.

в) При промежуточных действиях сохраняют на одну значащую цифру больше, чем требуют правила округления.

Например:

$$(0,123 \cdot 0,46 + 0,8240 \cdot 0,24) \cdot 0,26 = (0,0566 + 0,198) \cdot 0,26 = 0,0662.$$

Результат принимают равным 0,066.

г) Если результат нужно получить с заранее заданной точностью (например, с двумя значащими цифрами), то данные необходимо взять с таким количеством значащих цифр, чтобы ответ имел на единицу больше требуемого числа значащих цифр (три значащие цифры), и затем округлить до нужного количества значащих цифр (до двух).

д) Если число взято из таблицы, то его следует округлить до того количества значащих цифр, которое соответствует наименьшему числу значащих цифр в условии задачи.

Если действие промежуточное, то число значащих цифр увеличивается на единицу.

е) При вычислении сложных выражений все промежуточные вычисления производятся с числом значащих цифр на единицу больше, чем у числа с наименьшим количеством значащих цифр.

Например:

$$\frac{(6,41 + 22,74) \cdot \sqrt{8,6}}{2,6 \cdot 5,434 \cdot 10^3} = \frac{29,1 \cdot 2,93}{14,1 \cdot 10^3} = 6,0 \cdot 10^{-3}.$$

Глава 1. Основы кинематики

§ 1. Равномерное прямолинейное движение

Под *механическим движением* понимают изменение положения тел (или частей тела) друг относительно друга в пространстве с течением времени.

Материальная точка — тело, размерами которого можно пренебречь в данных условиях.

Траектория — воображаемая линия, которую описывает движущаяся материальная точка.

Траектория и все характеристики механического движения относительны и зависят от выбора **системы отсчета**, состоящей из условно неподвижного тела — *тела отсчета*, с которым связана *система координат и часов*.

Путь s — скалярная физическая величина, численно равная длине траектории, описанной материальной точкой за данный промежуток времени.

Перемещение $\Delta\vec{r}$ — вектор, соединяющий начальную и конечную точки траектории движения, описанного за данный промежуток времени.

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1,$$

где \vec{r}_1 и \vec{r}_2 — радиусы-векторы начальной и конечной точек (рис. 1.1).

При вычитании векторов совмещаем их начала в одну точку, а затем проводим вектор $\Delta\vec{r}$ из конца вектора \vec{r}_1 к концу вектора \vec{r}_2 .

Средняя скорость пути — $\langle v \rangle = \frac{s}{t}$.

Средняя скорость перемещения — $\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$.

Мгновенная скорость \vec{v} направлена по касательной к траектории движения в данной точке.

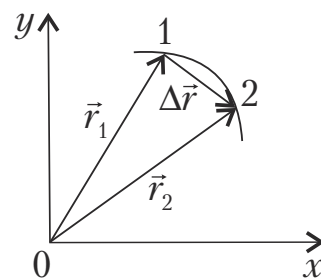


Рис. 1.1

Равномерное прямолинейное движение — это движение с постоянной по модулю и направлению скоростью.

Если ось Ox выбрать вдоль направления движения точки, то кинематическое уравнение равномерного движения: $x = x_0 + v_x t$, где x_0 и x — координаты точки в начальный момент времени ($t = 0$) и в момент времени t ; v_x — проекция вектора скорости на координатную ось.

Закон сложения скоростей: скорость \vec{v} тела относительно неподвижной системы отсчета равна геометрической сумме его скорости \vec{v}_1 относительно подвижной системы отсчета и скорости \vec{v}_2 подвижной системы отсчета относительно неподвижной: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

Тест А1

- Мяч с высоты $h_0 = 1$ м был подброшен вертикально вверх еще на $h = 3$ м и упал на землю. Путь и модуль перемещения мяча составляют:
 - 1) 7 м; 1 м;
 - 2) 4 м; 7 м;
 - 3) 4 м; 1 м;
 - 4) 5 м; 3 м;
 - 5) 5 м; 2 м.
- Если материальная точка в течение времени $t = 20$ с двигалась со скоростью, модуль которой $v = 4,0$ м/с, то модуль ее перемещения составил:
 - 1) 5,0 м;
 - 2) 24 м;
 - 3) 40 м;
 - 4) 80 м;
 - 5) 0,80 км.
- По арене цирка лошадь пробежала круг за время $t_1 = 30$ с. Путь, пройденный лошадью за $t_2 = 15$ с, больше модуля ее перемещения за $t_3 = 45$ с движения:
 - 1) в $\frac{\pi}{2}$ раза;
 - 2) в π раз;
 - 3) в 2π раз;
 - 4) в 2 раза;
 - 5) в 3 раза.
- Материальная точка движется вдоль оси Ox так, что в момент времени $t_1 = 2$ с ее координата равна $x_1 = 6$ м, а к моменту времени $t_2 = 6$ с ее координата $x_2 = -2$ м. Проекция скорости движения точки составляет:
 - 1) 2 м/с;
 - 2) -2 м/с;
 - 3) 0,5 м/с;
 - 4) -0,5 м/с;
 - 5) 1 м/с.
- Чтобы по трубопроводу сечением $S = 0,01$ м² в течение часа протекала нефть объемом $V = 18$ м³, модуль скорости движения нефти должен быть равен:
 - 1) 0,1 м/с;
 - 2) 0,5 м/с;
 - 3) 1 м/с;
 - 4) 2 м/с;
 - 5) 5 м/с.

6. Координата x точки изменяется по закону $x = 2t - 1$. Путь, пройденный точкой за $t = 2$ с, составит:
- 1) 2 м; 3) 4 м; 5) 8 м.
2) 3 м; 4) 5 м;
7. Первое время движения $t_1 = 2,0$ с тело движется со скоростью, модуль которой $v_1 = 5,0$ м/с, а затем в течение $t_2 = 3,0$ с — со скоростью, модуль которой $v_2 = 7,0$ м/с. Средняя скорость тела равна:
- 1) 4,0 м/с; 3) 6,2 м/с; 5) 3,6 м/с.
2) 5,0 м/с; 4) 4,5 м/с;
8. Два автомобиля двигаются навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 108$ км/ч и $v_2 = 72$ км/ч. Модуль относительной скорости автомобилей равен:
- 1) 10 м/с; 3) 36 м/с; 5) 60 м/с.
2) 25 м/с; 4) 50 м/с;
9. Мотоциклист едет со скоростью, модуль которой $v_1 = 36,0$ км/ч. Модуль скорости ветра $v_2 = 2,00$ м/с. Если ветер боковой, то модуль его скорости относительно мотоциклиста составляет:
- 1) 12,0 м/с; 3) 8,40 м/с; 5) 5,00 м/с.
2) 10,2 м/с; 4) 10,0 м/с;
10. Расстояние от пункта A до пункта B катер проходит за время $t_1 = 3,0$ ч, а обратно — за $t_2 = 6,0$ ч. При выключенном моторе катер пройдет расстояние от A до B за время:
- 1) 4,5 ч; 3) 4,2 ч; 5) 12 ч.
2) 3,0 ч; 4) 9,0 ч;

Тест А2

1. Материальная точка движется прямолинейно так, что в момент времени $t_1 = 4$ с ее координата $x_1 = 6$ м, а к моменту времени $t_2 = 8$ с ее координата $x_2 = -2$ м. Путь и проекция перемещения точки за $t = 2$ с составляют:
- 1) 5 м; 5 м; 3) 4 м; -4 м; 5) 8 м; -8 м.
2) 2 м; -1 м; 4) 8 м; -2 м;
2. По оси Ox движутся две точки, координаты которых меняются по законам $x_1 = 10 + 2,0t$ и $x_2 = 4 - 5,0t$. Точки встретятся в момент времени:
- 1) 3,5 с; 4) 7,0 с;
2) 2,0 с; 5) точки вообще не встретятся.
3) 3,0 с;

3. Материальная точка начала равномерное движение со скоростью, модуль которой $v = 1,0$ м/с, из точки A , являющейся вершиной равнобедренного треугольника ABC со стороной $a = 10$ см. Во сколько раз пройденный путь за время $t = 0,50$ с отличается от модуля перемещения за то же время?
- 1) В 50 раз больше; 4) в 5,0 раза меньше;
2) в 50 раз меньше; 5) в 2,0 раза больше.
3) в 5,0 раза больше;
4. Движения двух точек задаются уравнениями: $x = -1 + 2t$ (м) и $y = 1 + 1,5t$ (м). Расстояние между ними через время $t = 2$ с составит:
- 1) 1 м; 2) 3 м; 3) 4 м; 4) 5 м; 5) 7 м.
5. Первую половину времени движения вертолет перемещался на север со скоростью, модуль которой $v_1 = 30$ м/с, а вторую половину времени — на восток со скоростью, модуль которой $v_2 = 40$ м/с. Разность между средней путевой скоростью и модулем скорости перемещения составляет:
- 1) 5,0 м/с; 3) 15 м/с; 5) 8,0 м/с.
2) 10 м/с; 4) 20 м/с;
6. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 54$ км/ч и $v_2 = 36$ км/ч. Длина второго поезда $l_2 = 250$ м. Пассажир, сидящий в первом поезде, будет видеть проходящий мимо него встречный поезд в течение времени:
- 1) 5 с; 3) 15 с; 5) 10 с.
2) 12 с; 4) 20 с;
7. Пловец переплывает реку, двигаясь перпендикулярно берегу, со скоростью, модуль которой $v_1 = 0,60$ м/с относительно воды. Если модуль скорости течения реки равен $v_2 = 0,80$ м/с, то модуль скорости пловца относительно берега составляет:
- 1) 0,20 м/с; 3) 0,52 м/с; 5) 1,4 м/с.
2) 0,40 м/с; 4) 1,0 м/с;
8. Велосипедист едет со скоростью, модуль которой $v = 3$ м/с. Модули скорости верхней и нижней точек обода колеса велосипеда относительно земли составляют:
- 1) 6 м/с; 3 м/с; 4) 6 м/с; 0;
2) 3 м/с; 3 м/с; 5) 3 м/с; 6 м/с.
3) 3 м/с; 0;
9. Два человека бегают по дорожке стадиона длиной $l = 400$ м. Первый пробегает круг за время $t_1 = 50$ с, второй — за $t_2 = 60$ с. Сколько

раз они встретятся при забеге на дистанцию $L = 4$ км, если стартуют одновременно и побегут в одну сторону?

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) 5.

10. Теплоход длиной $l = 300$ м движется по озеру с некоторой скоростью. Катер со скоростью, модуль которой $v_1 = 90,0$ км/ч, проходит от кормы до носа движущегося теплохода и обратно за время $t = 37,5$ с. Модуль скорости теплохода составляет:

- 1) 10,0 м/с; 3) 25,0 м/с; 5) 36,0 м/с.
2) 15,0 м/с; 4) 32,0 м/с;

Тест В1

1. Первую половину времени тело движется со скоростью, модуль которой $v_1 = 6,0$ м/с, под углом $\alpha_1 = 45^\circ$ к оси Ox , а вторую половину времени — под углом $\alpha_2 = 135^\circ$ к оси Ox со скоростью, модуль которой $v_2 = 9,0$ м/с. Модуль средней скорости перемещения равен ... м/с.
2. Пассажирский поезд, движущийся со скоростью, модуль которой $v_1 = 54$ км/ч, проходит мимо встречного товарного поезда длиной $l_1 = 300$ м, идущего со скоростью, модуль которой $v_2 = 36$ км/ч, за время $t_2 = 20$ с. Длина пассажирского поезда составляет ... км.
3. Координата x материальной точки изменяется по закону $x = 2 - 4t$ (м). Путь, пройденный точкой за время $t = 5$ с, отличается от модуля координаты точки в этот же момент времени на ... м.
4. Человек поднимается по неподвижному эскалатору за время $t_1 = 3$ мин, а по движущемуся вверх эскалатору — за $t_2 = 2$ мин. По эскалатору, движущемуся с той же скоростью вниз, человек поднимется за ... мин.
5. Самолет в безветренную погоду взлетает со скоростью, модуль которой $v_1 = 40$ м/с, под углом к горизонту $\alpha = 10^\circ$. Если подует горизонтальный встречный ветер со скоростью, модуль которой $v_2 = 10$ м/с, то модуль скорости самолета относительно земли составит ... м/с.
6. Автомобиль, двигаясь равномерно со скоростью, модуль которой $v_1 = 45,0$ км/ч, в течение времени $t_1 = 10,0$ с прошел такой же путь, какой автобус, двигающийся в том же направлении, прошел за $t_2 = 15,0$ с. Их модуль относительной скорости равен ... км/ч.
7. Из пункта A в пункт B с интервалом времени $t_1 = 10$ мин вышли два электропоезда со скоростью, модуль которой $v_1 = 30$ км/ч. Если поезд, идущий из B в A , повстречал встречные электропоезда через

- $t_2 = 4,0$ мин один после другого, то модуль скорости поезда v_2 составляет ... км/ч.
8. При скорости ветра, модуль которой $v_1 = 10$ м/с, капли дождя падают под углом $\alpha_1 = 30^\circ$ к вертикали. Под углом $\alpha_2 = 45^\circ$ капли будут падать при скорости ветра, модуль которой равен ... м/с.
 9. График зависимости координаты x тела от времени t изображается прямой, проходящей через точки $t_1 = 0$ с, $x_1 = 6$ м и $t_2 = 3$ с, $x_2 = 0$ м. Проекция скорости v_x тела на ось Ox составляет ... м/с.
 10. Когда две лодки равномерно движутся навстречу друг другу — одна по течению, а другая против течения реки, то расстояние между ними сокращается на $l_1 = 30$ м за каждые $t = 10$ с. Если же лодки с прежними по величине скоростями будут двигаться по течению реки, то расстояние между ними за то же время будет увеличиваться на $l_2 = 10$ м. Модуль скорости более быстрой лодки равен ... м/с.

Тест В2

1. Пассажирский поезд длиной $l_1 = 150$ м, идущий со скоростью, модуль которой $v_1 = 72,0$ км/ч, обгонит идущий в том же направлении по параллельному пути товарный поезд длиной $l_2 = 300$ м, модуль скорости которого составляет $v_2 = 54,0$ км/ч, за время, равное ... с.
2. Эскалатор спускает идущего по нему человека за время $t_1 = 1,0$ мин. Если человек будет идти по эскалатору вдвое быстрее, то он спустится за $t_2 = 45$ с. Стоя на эскалаторе, человек спустится за ... с.
3. Катер проходит расстояние между двумя пунктами по течению реки за время $t_1 = 3,0$ ч, а плот — за $t_2 = 12$ ч. На обратный путь катер затратит ... ч.
4. Два тела движутся навстречу друг другу так, что расстояние между ними за каждые $t_1 = 10$ с уменьшается на $l_1 = 16$ м. Если эти тела будут двигаться в одном направлении с прежними по величине скоростями, то за $t_2 = 5,0$ с расстояние между ними увеличится на $l_2 = 3,0$ м. Модуль скорости менее быстрого тела составляет ... см/с.
5. На первой половине пути автобус двигался со скоростью, в $n = 8,0$ раза большей, чем на второй половине. Модуль средней скорости автобуса на всем пути $v = 16$ км/ч. Модуль скорости автобуса на первой половине пути составляет ... км/ч.
6. В момент времени $t_1 = 1,0$ с тело находилось в точке B с координатами $x_1 = -2,0$ м и $y_1 = 2,0$ м. К моменту времени $t_2 = 3,0$ с тело перемес-

тилось в точку с координатами $x_2 = 2,0$ м и $y_2 = -1,0$ м. К моменту времени $t_3 = 9,0$ с модуль перемещения тела от точки B составит ... м.

- 7*. Из пункта A в пункт B против течения реки со скоростью, модуль которой $v_1 = 3$ км/ч относительно воды, плывет лодка. Из B в A одновременно с лодкой отходит катер, модуль скорости которого относительно воды $v_2 = 10$ км/ч. За время движения лодки между пристанями катер успевает пройти это расстояние $n = 4$ раза и прибывает в пункт B одновременно с лодкой. Модуль скорости течения реки равен ... км/ч.
- 8*. Два человека одновременно ступают на эскалатор с противоположных сторон и двигаются навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями относительно эскалатора $v_1 = 200$ см/с. Если длина эскалатора $l = 100$ м, а модуль его скорости $v_2 = 150$ см/с, то они встретятся на расстоянии от входа на эскалатор, равном ... м.
- 9*. Модуль скорости катера $v_1 = 7,0$ м/с, модуль скорости течения реки $v_2 = 3,0$ м/с. Когда катер двигался против течения, с него в воду сбросили поплавок. Затем катер прошел против течения расстояние $s = 4,2$ км, повернул обратно и догнал поплавок. Общее время движения катера составляет ... мин.
10. Велосипедист ехал из одного города в другой. Половину пути он проехал со скоростью, модуль которой $v_1 = 12$ км/ч. Затем половину оставшегося времени он ехал со скоростью, модуль которой $v_2 = 6,0$ км/ч, а затем до конца пути — со скоростью, модуль которой $v_3 = 4,0$ км/ч. Модуль средней скорости велосипедиста на всем пути составляет ... км/ч.

§ 2. Равноускоренное прямолинейное движение. Свободное падение

Ускорение — векторная физическая величина, численно равная изменению скорости за единицу времени:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Движение называется **равноускоренным**, если вектор ускорения \vec{a} не изменяется с течением времени.

Кинематические уравнения скорости и координаты при равноускоренном движении в проекциях на координатную ось Ox имеют вид:

$$v_x = v_{0x} + a_x t; \quad (1)$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; \quad (2)$$

$$\Delta r_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

где x и x_0 , v_{0x} и v_x — координаты движущейся материальной точки и проекции вектора скорости на ось Ox в момент времени $t_0 = 0$ и t ; Δr_x и a_x — проекции векторов перемещения и ускорения на ось Ox . Исключая из уравнений (1–2) время t , получим следующую формулу:

$$\Delta r_x = \frac{(v_x^2 - v_{0x}^2)}{2a_x}. \quad (3)$$

■ Свободное падение

Свободным падением называют движение тела только под действием силы тяжести (т. е. сопротивление воздуха при движении не учитывается).

Кинематические уравнения свободно падающего тела в проекции на ось Oy аналогичны уравнениям (1–3) и имеют вид:

$$v_y = v_{0y} + g_y t; \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2};$$

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2g_y(y - y_0); \quad \Delta r_y = v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2},$$

где g_y — проекция ускорения свободного падения на ось Oy ; $|\vec{g}| = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Для тела, брошенного с поверхности земли вертикально вверх с модулем начальной скорости v_0 , время подъема на максимальную высоту $t_1 = \frac{v_0}{g}$; максимальная высота подъема $h = \frac{v_0^2}{2g}$. Время падения с максимальной

высоты $t_2 = t_1$; общее время движения $t = 2t_1 = \frac{2v_0}{g}$.

Тест А1

1. Координату тела, движущегося вдоль оси Ox из состояния покоя, при равноускоренном движении можно определить по формуле:

1) $x = x_0 + 2at^2$; 3) $x = x_0 + \frac{at^2}{2}$; 5) $x = x_0 + at$.

2) $x = x_0 + at^2$; 4) $x = x_0 + \frac{at^2}{4}$;

2. Тело начинает движение со скоростью, модуль которой $v_0 = 2,0$ м/с. Если за время $t = 10$ с модуль скорости тела увеличился в $n = 5$ раз, то модуль ускорения тела равен:
- 1) $0,20$ м/с²; 3) $0,80$ м/с²; 5) 80 м/с².
2) $0,40$ м/с²; 4) $1,0$ м/с²;
3. Тело начинает движение с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 1,0$ м/с. Если за время $t = 4,0$ с модуль скорости тела достиг значения $v = 5,0$ м/с, то модуль перемещения тела составил:
- 1) $4,0$ м; 3) 12 м; 5) 20 м.
2) $8,0$ м; 4) 16 м;
4. Модуль ускорения тела $a = 1,0$ м/с² и направлено ускорение \vec{a} противоположно его скорости \vec{v} . За время $t = 2,0$ с движения модуль скорости тела изменится на:
- 1) $-4,0$ м/с; 3) $-1,4$ м/с; 5) $2,0$ м/с.
2) $-2,0$ м/с; 4) $1,0$ м/с;
5. Два тела движутся из состояния покоя навстречу друг другу с одинаковым модулем ускорения $a = 2,0$ м/с². Расстояние между телами в начальный момент времени $s = 200$ м. Модуль относительной скорости тел в момент встречи равен:
- 1) 40 м/с; 3) 20 м/с; 5) 0 м/с.
2) 25 м/с; 4) 10 м/с;
6. Если тело свободно падает с некоторой высоты, то через время $t = 4,0$ с модуль его скорости составит:
- 1) $4,0$ м/с; 3) 20 м/с; 5) 80 м/с.
2) 16 м/с; 4) 40 м/с;
7. Если тело бросить вертикально вверх с высоты $h = 20$ м со скоростью, модуль которой $v_0 = 4,0$ м/с, то через время $t = 2,0$ с после начала движения тело окажется на высоте:
- 1) 68 м; 3) 24 м; 5) 0 м.
2) 40 м; 4) $8,0$ м;
8. За третью секунду свободного падения тело проходит путь, равный:
- 1) 45 м; 3) 30 м; 5) 15 м.
2) 35 м; 4) 25 м;
9. Свободно падающее тело за последнюю секунду падения пролетело половину всего пути. Время падения равно:
- 1) $1,7$ с; 4) $6,8$ с;
2) $3,4$ с; 5) недостаточно данных для решения задачи.
3) $5,2$ с;

10. Камень падает в ущелье. Через время $t = 6,00$ с слышен звук удара камня о землю. Если модуль скорости звука $v = 330$ м/с, то глубина ущелья составляет:

- 1) 55,0 м; 3) 153 м; 5) 660 м.
2) 110 м; 4) 242 м;

Тест А2

1. Два тела движутся согласно законам $x_1 = -4,0 + 2,0t + 1,0t^2$ (м) и $x_2 = 6,0 - 8,0t + 1,0t^2$ (м). Модуль относительной скорости тел в момент встречи равен:

- 1) 0; 3) 6,0 м/с; 5) 10 м/с.
2) 5,0 м/с; 4) 7,0 м/с;

2. Тело, двигаясь равноускоренно, за время t прошло путь s , причем за это время модуль его скорости увеличился в 5 раз. Модуль ускорения тела равен:

- 1) $\frac{3s}{t^2}$; 2) $\frac{4s}{3t^2}$; 3) $\frac{2s}{t^2}$; 4) $\frac{s}{3t^2}$; 5) $\frac{s}{2t^2}$.

3. Если при равноускоренном движении тело за первые $t_1 = 4,0$ с проходит путь $s_1 = 2,0$ м, а следующий участок длиной $s_2 = 4,0$ м — за $t_2 = 5,0$ с, то модуль ускорения тела составляет:

- 1) 3,8 см/с²; 3) 5,4 см/с²; 5) 7,8 см/с².
2) 4,2 см/с²; 4) 6,7 см/с²;

4. По наклонной доске пустили снизу вверх шарик. Если на расстоянии $s = 30$ см от начала движения шарик побывал дважды через время $t_1 = 1,0$ и $t_2 = 2,0$ с после начала движения, то модуль начальной скорости шарика составляет:

- 1) 10 см/с; 3) 30 см/с; 5) 60 см/с.
2) 20 см/с; 4) 45 см/с;

5. По графику зависимости модуля скорости v от времени t (рис. 2.1) определите модуль средней скорости движения на первой половине пути:

- 1) 2,0 м/с;
2) 1,5 м/с;
3) 1,2 м/с;
4) 1,0 м/с;
5) 0,50 м/с.

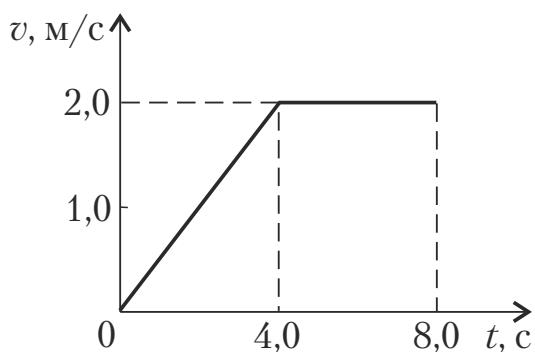


Рис. 2.1

6. Свободно падающее тело за последнюю секунду своего падения проходит путь $h = 100$ м. Время падения тела равно:
- 1) 0,500 с; 3) 10,5 с; 5) 11,5 с.
2) 8,00 с; 4) 11,0 с;
7. С каким модулем начальной скорости нужно бросить вертикально вниз тело с высоты $h = 20,0$ м, чтобы оно упало на $\Delta t = 1,00$ с раньше, чем тело, свободно падающее с той же высоты?
- 1) 9,80 м/с; 3) 12,4 м/с; 5) 15,0 м/с.
2) 10,6 м/с; 4) 14,2 м/с;
8. Тело свободно падает с высоты $h = 125$ м. Модуль средней скорости тела на нижней половине пути равен:
- 1) 11,5 м/с; 3) 25,0 м/с; 5) 42,7 м/с.
2) 17,9 м/с; 4) 35,7 м/с;
9. Если свободно падающее тело последнее расстояние $h = 200$ м пролетело за время $t = 4,00$ с, то тело падало с высоты:
- 1) 245 м; 3) 382 м; 5) 788 м.
2) 322 м; 4) 490 м;
10. Парашютист, спускающийся с постоянной скоростью, модуль которой $v = 500$ см/с, находясь на высоте $h = 100$ м, бросил вертикально вниз небольшое тело со скоростью, модуль которой $v_0 = 10,0$ м/с относительно парашютиста. Интервал времени между падением тела и приземлением парашютиста составит:
- 1) 14,4 с; 3) 20 с; 5) 32,4 с.
2) 16,8 с; 4) 24,2 с;

Тест В1

1. Координата материальной точки изменяется по закону $x = -4 + 6t - 0,25t^2$. Модуль скорости точки через время $t = 4$ с после начала движения равен ... м/с.
2. Два тела, расстояние между которыми $s = 280$ м, начинают одновременно двигаться навстречу друг другу: первое из состояния покоя равноускоренно с ускорением, модуль которого $a = 4$ м/с², второе равномерно со скоростью, модуль которой $v = 8$ м/с. Тела встретятся через ... с.
3. Тело, трогаясь с места, через время $t = 10$ с приобретает скорость, модуль которой $v_1 = 60$ см/с. Модуль скорости тела достигнет значения $v_2 = 3,0$ м/с через интервал времени от начала движения, равный ... с.

4. Камень, брошенный по льду со скоростью, модуль которой $v_0 = 5$ м/с, останавливается на расстоянии $s = 25$ м от места бросания. Путь, пройденный камнем, за первые $t_1 = 2$ с движения составляет ... м.
5. Автомобиль движется равноускоренно с ускорением, модуль которого $a = 1,0$ м/с². Мимо наблюдателя он проезжает со скоростью, модуль которой $v = 10,5$ м/с. За секунду до этого момента он находился от наблюдателя на расстоянии, равном ... м.
6. С крыши дома оторвалась сосулька и за время $t = 0,20$ с пролетела мимо окна высотой $h = 1,5$ м. Сосулька падала с высоты относительно верхнего края окна, равной ... м.
- 7*. С воздушного шара, опускающегося вертикально вниз с постоянной скоростью, модуль которой $v = 200$ см/с, бросили вертикально вверх камень со скоростью, модуль которой $v_0 = 10,0$ м/с относительно земли. Максимальное расстояние между камнем и шаром составит ... см.
8. Свободно падающее тело в некоторый момент времени находилось на высоте $h_1 = 1100$ м от поверхности земли. Если через промежуток времени $t = 10,00$ с тело оказалось на высоте $h_2 = 120,0$ м, то оно падало с высоты ... м.
9. Если тело, свободно падающее с некоторой высоты, первый участок пути пролетело за время $t_1 = 1,00$ с, а такой же последний за $t_2 = 0,500$ с, то высота h от поверхности земли, с которой падало тело, составляет ... см.
10. Тело, брошенное вертикально вверх, упало на землю через промежуток времени $t = 8,00$ с. Путь, пройденный телом за последнюю секунду подъема, равен ... м.

Тест В2

1. Проекция скорости движения материальной точки v_x на ось x изменяется со временем t согласно приведенному графику (рис. 2.2). Сумма пути и модуля перемещения точки через $t = 4,0$ с после начала движения составляет ... м.
2. Координата x материальной точки изменяется по закону $x = -2,0 + 6,0t - 0,25t^2$ (м). Модуль

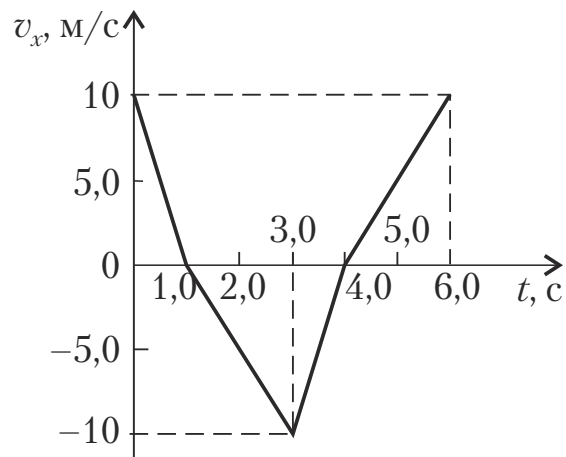


Рис. 2.2

средней скорости движения точки за первые $t = 10$ с движения равен ... м/с.

3. Пассажир, стоявший у начала третьего вагона электрички, определил, что начавший двигаться вагон прошел мимо него за промежуток времени $t_1 = 5,0$ с, а вся электричка — за $t = 15,8$ с. Число вагонов электрички составляет
4. Тело, двигаясь из состояния покоя, за десятую секунду проходит путь $s = 38$ м. За двенадцатую секунду движения тело пройдет путь ... м.
5. Двигаясь равноускоренно без начальной скорости, тело, пройдя некоторый путь, приобрело модуль скорости $v = 7$ м/с. Модуль скорости тела на середине этого пути был равен ... м/с.
6. За последний промежуток времени $t = 2,0$ с свободного падения тело пролетело расстояние $h = 60$ м. Полное время падения тела составило ... с.
- 7*. В момент, когда опоздавший пассажир вбежал на платформу, мимо него за время $t_1 = 6$ с прошел предпоследний вагон. Последний вагон прошел мимо пассажира за время $t_2 = 4$ с. Если поезд движется равноускоренно, то пассажир опоздал к его отходу на время ... с.
8. Мячик, отскочивший от поверхности земли вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 10$ м/с, пролетел мимо окна высотой $h = 1,5$ м за время $t = 0,20$ с. Высота относительно поверхности земли, на которой расположен подоконник, составляет ... м.
9. Тело брошено со скоростью, модуль которой $v_0 = 15$ м/с, вертикально вверх с высоты $h = 20$ м относительно поверхности земли. Средняя путевая скорость тела за время полета составляет ... м/с.
10. Тело свободно падает с высоты $h = 270$ м. Разделите этот путь на три таких участка, на прохождение каждого из которых потребовалось одинаковое время. Определите в метрах разность между длинами наибольшего и наименьшего участков пути.

§ 3. Движение по окружности. Криволинейное движение

Под **угловой скоростью** ω понимают физическую величину, численно равную отношению угла поворота $\Delta\varphi$ радиус-вектора к промежутку времени Δt , за который совершен этот поворот; $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$. Единицей угловой скорости является 1 рад/с. Модуль **линейной скорости** v

связан с угловой ω соотношением $v = \omega R$, где R — радиус окружности, по которой движется тело. Угловая скорость ω связана с **периодом** T и **частотой** ν вращения соотношениями $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$. Модуль линейной скорости $v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R$ и вектор \vec{v} направлен по касательной к окружности. **Центростремительное ускорение** \vec{a} при движении по окружности с постоянной по модулю скоростью направлено по радиусу к центру окружности и по модулю $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 \nu^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$.

■ Движение тела, брошенного горизонтально

Пусть тело брошено с высоты h с начальной скоростью, равной по модулю v_0 . Выберем систему координат xOy , где горизонтальная ось Ox сонаправлена с \vec{v}_0 , ось Oy — направлена вертикально вверх. Начало координат находится на поверхности земли (рис. 3.1). Тогда $v_{0x} = v_0$; $a_x = 0$; $v_{0y} = 0$; $a_y = -g$.

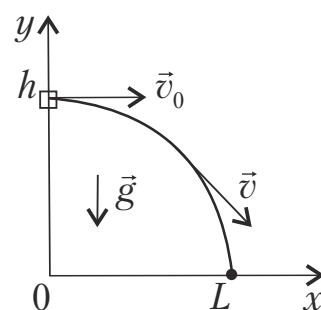


Рис. 3.1

Кинематические уравнения движения имеют вид: $x = v_0 t$; $y = h - \frac{gt^2}{2}$. Модуль скорости тела

в любой момент времени $v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$. Время движения тела $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

Дальность полета тела $L = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$. Уравнение траектории движения тела $y = h - \frac{gx^2}{2v_0^2}$. Это уравнение параболы.

■ Движение тела, брошенного под углом к горизонту

Пусть тело брошено под углом к горизонту с начальной скоростью, по модулю равной v_0 . Введем систему координат xOy , где ось Ox направлена горизонтально, Oy — вертикально вверх, с началом координат в точке бросания тела (на поверхности земли) (рис. 3.2).

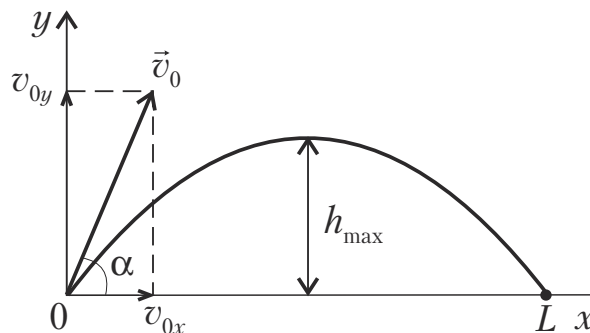


Рис. 3.2

Проекции вектора начальной скорости \vec{v}_0 на выбранные направления осей координат $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$; $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$.

Кинематические уравнения движения тела вдоль осей Ox и Oy имеют вид: $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$; $y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$.

$$\text{Время движения тела } t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Дальность полета тела в горизонтальном направлении

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

$$\text{Максимальная высота подъема } h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

Тест А1

- Плоский горизонтальный диск вращается относительно вертикальной оси, проходящей через его центр. Какие из параметров, характеризующих вращение диска, одинаковы для любых двух точек диска?
а) Период;
б) частота;
в) линейная скорость;
г) угловая скорость;
д) центростремительное ускорение.
1) а, в; 3) а, б, д; 5) а, б, г.
2) б, г; 4) б, г, д;
- Автомобиль движется без проскальзывания со скоростью, модуль которой $v = 108 \text{ км/ч}$. Если внешний диаметр покрышек колес автомобиля $d = 60,0 \text{ см}$, то количество оборотов, которое совершит каждое колесо за время $t = 6,28 \text{ с}$, составит:
1) 10,0; 3) 50,0; 5) 200.
2) 20,0; 4) 100;
- При равномерном движении по окружности тело проходит путь $s = 5,0 \text{ м}$ за время $t = 2,0 \text{ с}$. Если период обращения $T = 5,0 \text{ с}$, то модуль центростремительного ускорения, с которым движется тело, составляет:
1) $6,3 \text{ м/с}^2$; 3) $3,1 \text{ м/с}^2$; 5) $1,6 \text{ м/с}^2$.
2) $4,8 \text{ м/с}^2$; 4) $2,4 \text{ м/с}^2$;

Тест А2

1. Модуль линейной скорости точек обода вращающегося диска $v_1 = 400$ см/с, а точек, расположенных на $\Delta r = 5,00$ см ближе к оси вращения, $-v_2 = 200$ см/с. Количество оборотов, совершаемое диском в минуту, равно:
1) 2,60; 3) 96,0; 5) 382.
2) 3,20; 4) 190;
2. Минутная стрелка часов в $n = 3$ раза длиннее часовой. Модуль линейной скорости минутной стрелки больше модуля линейной скорости часовой:
1) в 72 раза; 3) в 20 раз; 5) в 4 раза.
2) в 36 раз; 4) в 18 раз;
3. Тело равномерно движется по окружности радиусом $R = 200$ см. Если период обращения тела $T = 2,0$ с, то за время движения $t = 3,0$ с модуль перемещения тела составит:
1) 0; 3) 4,0 м; 5) 19 м.
2) 2,8 м; 4) 6,3 м;
4. Если период обращения точек обода колеса уменьшить в $n = 3$ раза, то модуль центростремительного ускорения точек:
1) уменьшится в 3 раза; 4) увеличится в 9 раз;
2) уменьшится в 9 раз; 5) не изменится.
3) увеличится в 3 раза;
5. Тело движется по окружности радиусом $R = 4,0$ м с постоянной по модулю скоростью. Период обращения $T = 4,0$ с. Модуль средней скорости перемещения за время $t = 6,0$ с движения равен:
1) $\frac{2\pi}{3}$ м/с; 3) $\frac{4}{3}$ м/с; 5) $\frac{4\pi}{3}$ м/с.
2) 2π м/с; 4) $\frac{2}{3}$ м/с;
6. Чтобы камень, брошенный под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, мог достигнуть высоты $h = 2,5$ м, ему нужно сообщить минимальную скорость, модуль которой равен:
1) 7,1 м/с; 3) 10 м/с; 5) 35 м/с.
2) 7,6 м/с; 4) 22 м/с;
7. С вертолета, летящего горизонтально со скоростью, модуль которой $v_1 = 160$ км/ч, на высоте $h = 500$ м сбрасывают вымпел. Встречным курсом по отношению к вертолету движется теплоход со скоростью, модуль которой $v_2 = 20,0$ км/ч. Чтобы вымпел упал на теп-

- лоход, летчик должен сбросить его, когда расстояние до теплохода по горизонтали составляет:
- 1) 1,00 км; 3) 450 м; 5) 250 м.
2) 500 м; 4) 400 м;
8. Камень брошен с башни со скоростью, модуль которой $v_0 = 20$ м/с, под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Если высота башни $h = 15$ м, то расстояние от основания башни до точки падения камня составит:
- 1) 52 м; 3) 34 м; 5) 14 м.
2) 46 м; 4) 26 м;
9. Тело брошено с вышки горизонтально. Когда тело опустилось по вертикали на $\Delta h = 20$ м, его скорость оказалась направленной под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Модуль начальной скорости тела равен:
- 1) 36 м/с; 3) 18 м/с; 5) 11 м/с.
2) 24 м/с; 4) 20 м/с;
10. Тело брошено под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 40$ м/с. Время, через которое тело поднимется на половину максимальной высоты, составляет ($g = 9,8$ м/с²):
- 1) 0,20 с; 3) 1,0 с; 5) 4,0 с.
2) 0,60 с; 4) 2,0 с;

Тест В1

1. Два тела начинают движение по окружности из одной точки в одном направлении. Период обращения первого тела $T_1 = 1,0$ с, второго — $T_2 = 3,0$ с. Первое тело догонит второе через промежуток времени, равный ... с.
2. Пуля попадает во вращающийся вокруг вертикальной оси с частотой $\nu = 100$ Гц тонкостенный цилиндр диаметром $d = 400$ см. Чтобы, пробив цилиндр, пуля оставила в нем одно отверстие, она должна лететь вдоль диаметра цилиндра с максимальной скоростью, модуль которой ... м/с.
3. Автомобиль проходит середину выпуклого моста радиусом $R = 90$ м. Чтобы модуль центростремительного ускорения равнялся модулю ускорения свободного падения, модуль скорости автомобиля должен быть равен ... м/с.
4. Колесо велосипеда имеет радиус $R = 40$ см. Если колесо совершает $n = 100$ об/мин, то модуль скорости велосипедиста равен ... км/ч.
5. Колесо радиусом $R = 0,5$ м катится без проскальзывания по горизонтальной дороге со скоростью, модуль которой $v = 1$ м/с. Раз-

ность модулей скоростей двух точек, лежащих на концах горизонтального диаметра колеса, равна ... м/с.

6. Камень брошен с поверхности земли со скоростью, модуль которой $v_0 = 20$ м/с, под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Наименьшее время, через которое вектор скорости камня будет направлен под углом $\beta = 45^\circ$ к горизонту, составляет ... мс.
7. Горизонтально летящая в начальный момент времени пуля пробивает последовательно два вертикальных листа бумаги, расположенные на расстоянии $l = 3,00$ м друг от друга. Если пробоина на втором листе оказалась на $h = 2,00$ мм ниже, чем на первом, то модуль скорости пули был равен ... м/с.
8. Тело, брошенное горизонтально с высоты $h = 80$ м, упало на землю на расстоянии $l = 60$ м по горизонтали. Модуль перемещения тела за время, в течение которого модуль его скорости увеличился в $n = 2$ раза, составляет ... м.
9. Мальчик бросает в стену мяч со скоростью, модуль которой $v_0 = 10$ м/с, под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, стоя на расстоянии $l = 4,0$ м от стены. Удар мяча о стену упругий. Чтобы затем поймать отскочивший мяч, мальчик должен встать от стены на расстоянии ... м.
10. Два тела одновременно брошены из одной точки. Модуль начальной скорости первого тела $v_{01} = 10$ м/с и направлен вертикально вверх, второго — $v_{02} = 20$ м/с и направлен под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Через промежуток времени $t = 1,0$ с после начала движения расстояние между телами составит ... м.

Тест В2

1. Две точки с постоянными по модулю скоростями движутся по окружности. Первая точка, двигаясь по часовой стрелке, делает один оборот за время $T_1 = 3,0$ с, вторая точка, двигаясь против часовой стрелки, делает один оборот за $T_2 = 1,0$ с. Время между двумя последовательными встречами точек составляет ... с.
- 2*. Цилиндр радиусом $R = 100$ мм зажат между рейками, движущимися без проскальзывания со скоростями, модули которых $v_1 = 120$ мм/с и $v_2 = 80,0$ мм/с. Скорости направлены параллельно рейкам (рис. 3.4). Угловая скорость вращения цилиндра равна ... рад/с.

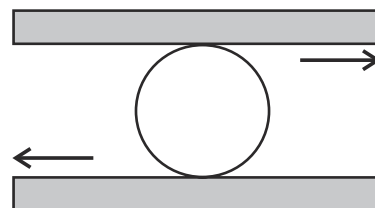


Рис. 3.4

3. Точка движется по окружности с постоянной по модулю скоростью $v = 15 \text{ м/с}$. Вектор скорости изменяет направление на угол $\alpha = 60^\circ$ за время $t = 3,0 \text{ с}$. Модуль центростремительного ускорения точки равен ... м/с^2 .
4. Диск радиусом $R = 2,0 \text{ м}$ равномерно вращается относительно оси, проходящей через его центр перпендикулярно к поверхности диска. Максимальное расстояние, на котором могут быть расположены друг от друга две точки диска, если отношение модулей их линейных скоростей $n = 2$, составляет ... м .
- 5*. По окружности радиусом $R = 2,0 \text{ м}$ одновременно движутся две точки так, что законы их движения имеют вид: $\varphi_1 = 2,0 + 2,0t$ и $\varphi_2 = -3,0 - 4,0t$ (рад). Модуль относительной скорости точек в момент их встречи равен ... м/с .
6. Тело, брошенное горизонтально со скоростью, модуль которой $v_0 = 5,0 \text{ м/с}$, с высоты $h = 5,0 \text{ м}$, за время своего падения совершит перемещение, модуль которого ... м .
- 7*. Камень брошен горизонтально со склона горы, образующего угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом. Если камень упал на склон на расстоянии $l = 50 \text{ м}$ от точки бросания, то модуль его начальной скорости составляет ... м/с .
8. Мячик бросили с некоторой высоты h под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Чтобы мячик достиг максимальной высоты над поверхностью земли, равной $2h$, и упал на землю через время $t = 4,0 \text{ с}$ после броска, модуль его начальной скорости должен составить ... м/с .
9. Два шара выброшены одновременно из одной точки с некоторой высоты со скоростями $v_{01} = v_{02} = 10 \text{ м/с}$, которые направлены под углом $\alpha = 120^\circ$ друг к другу. Расстояние между шарами через время $t = 2,0 \text{ с}$ после начала движения составит ... м .
10. Камень, брошенный со скоростью, модуль которой $v_0 = 12 \text{ м/с}$, под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, упал на землю на некотором расстоянии от места бросания. Чтобы при той же величине начальной скорости камень упал на то же место, его необходимо бросить в горизонтальном направлении с высоты, равной ... м .

Обобщающий тест № 1

1. Материальная точка начала равномерное движение из точки A со скоростью, модуль которой $v = 10 \text{ см/с}$. Треугольник ABC — равносторонний со стороной $a = 1,0 \text{ см}$ (рис. 1). Пройденный точкой путь

за промежуток времени $\Delta t = 0,50$ с больше модуля перемещения за это же время:

- 1) в 2 раза; 4) в 5 раз;
 2) в 3 раза; 5) в 8 раз.
 3) в 4 раза;

2. Комбайн убирает урожай с поля прямоугольной формы площадью $S = 216$ га. Захват жатки комбайна $l = 6,0$ м, средняя скорость движения комбайна $v = 7,2$ км/ч. Промежуток времени, за который комбайн убереет урожай, составляет:

- 1) 3,0 ч; 3) 6,5 ч; 5) 8,0 ч.
 2) 5,0 ч; 4) 7,0 ч;

3. Первую треть пути велосипедист двигался со скоростью, модуль которой $v_1 = 5,0$ м/с; вторую треть пути — со скоростью, модуль которой $v_2 = 10,8$ км/ч; оставшийся отрезок пути велосипедист двигался со скоростью, модуль которой $v_3 = 7,0$ м/с. Средняя скорость прохождения пути равна:

- 1) 4,2 м/с; 3) 4,6 м/с; 5) 5,0 м/с.
 2) 4,4 м/с; 4) 4,8 м/с;

4. Две материальные точки движутся вдоль оси Ox согласно уравнениям $x_1 = 20 - 4t$ (м), $x_2 = 2 + 2t$ (м). Координата точки встречи составляет:

- 1) 4 м; 3) 8 м; 5) точки не встретятся.
 2) 6 м; 4) 9 м;

5. Эскалатор метро поднимает стоящего на нем пассажира за промежуток времени $\Delta t_1 = 180$ с. Идущий по движущемуся эскалатору пассажир поднимается за $\Delta t_2 = 120$ с. По неподвижному эскалатору человек поднимается за промежуток времени, равный:

- 1) 240 с; 3) 330 с; 5) 480 с.
 2) 300 с; 4) 360 с;

6. Два автомобиля приближаются к перекрестку по дорогам, угол между которыми $\alpha = 30^\circ$ (рис. 2), со скоростями, модули которых $v_1 = 36$ км/ч, $v_2 = 54$ км/ч. Модуль скорости, с которой автомобили приближаются друг к другу, равен:

- 1) 6,2 м/с; 4) 10 м/с;
 2) 8,1 м/с; 5) 12 м/с.
 3) 9,5 м/с;

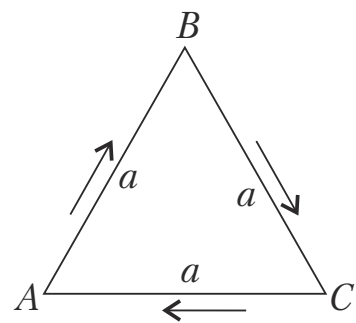


Рис. 1

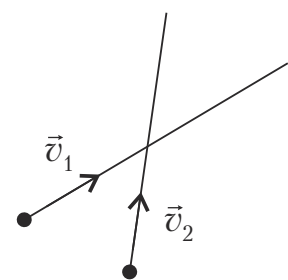


Рис. 2

7. При резком торможении модуль ускорения автомобиля $a = 3,2 \text{ м/с}^2$. Тормозной путь автомобиля при движении со скоростью, модуль которой $v = 54 \text{ км/ч}$, равен:
- 1) 15 м; 3) 35 м; 5) 62 м.
 2) 25 м; 4) 50 м;
8. Автомобиль движется прямолинейно и равноускоренно и за промежуток времени $\Delta t = 40 \text{ с}$ проходит путь $s = 800 \text{ м}$. Если модуль скорости автомобиля за это время увеличился в $k = 3$ раза, то модуль ускорения автомобиля равен:
- 1) $0,20 \text{ м/с}^2$; 3) $0,50 \text{ м/с}^2$; 5) $1,0 \text{ м/с}^2$.
 2) $0,35 \text{ м/с}^2$; 4) $0,80 \text{ м/с}^2$;
9. На рисунке 3 приведен график зависимости $v_x(t)$, где v_x — проекция скорости точки на ось Ox , а t — время. Модуль результирующего перемещения точки за промежуток времени $\Delta t = 10 \text{ с}$ равен:
- 1) 6 м; 3) 10 м; 5) 18 м.
 2) 8 м; 4) 12 м;

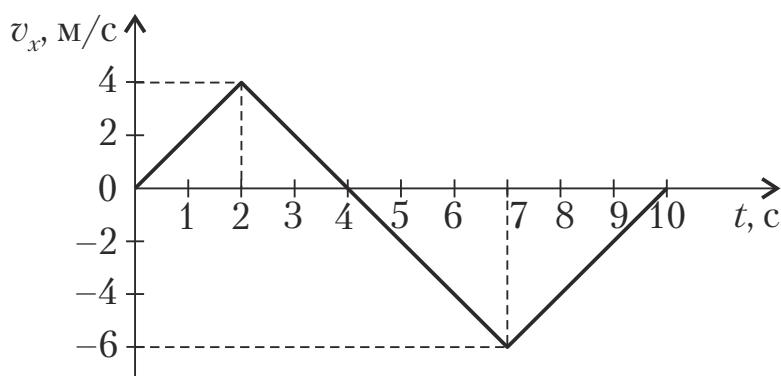


Рис. 3

10. Два тела начали свое движение из одной точки вдоль оси Ox из состояния покоя так, как показано на рисунке 4. Расстояние между телами через время $t = 20 \text{ с}$ после начала движения первого тела составит:
- 1) 50 м; 3) 0,20 км; 5) 0,30 км.
 2) 0,10 км; 4) 0,25 км;

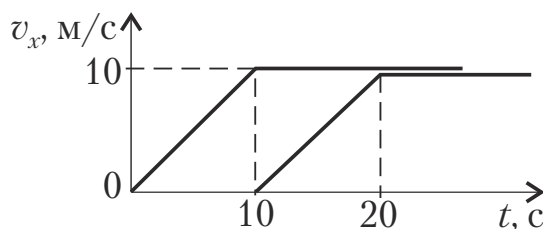


Рис. 4

11. Свободно падающее без начальной скорости тело последнюю часть пути $s = 30$ м преодолело за промежуток времени $\Delta t = 1,0$ с. Высота, с которой падало тело, составляет:
 1) 45 м; 2) 54 м; 3) 61 м; 4) 76 м; 5) 90 м.
12. От тела, движущегося вертикально вверх с модулем ускорения a , через t_1 с после начала движения выпал шарик. Какая из нижеприведенных формул определяет время t достижения шариком поверхности земли?
 1) $\frac{t_1}{g} \left(a + \sqrt{a^2 + ga} \right)$; 4) $\frac{t_1}{g} \left(a - \sqrt{a^2 - ga} \right)$;
 2) $\frac{t_1}{g} \left(a - \sqrt{a^2 + ga} \right)$; 5) $\frac{a}{g} t_1$.
 3) $\frac{t_1}{g} \left(-a + \sqrt{a^2 + ga} \right)$;
13. Воздушный шар поднимается вертикально вверх с поверхности земли с ускорением, модуль которого $a = 1,5$ м/с². Через промежуток времени $\Delta t_1 = 12$ с от начала движения от него отделился камень. Высота от поверхности земли, на которой будет находиться камень через $\Delta t_2 = 5,0$ с после его отделения от шара, равна:
 1) 54 м; 2) 63 м; 3) 73 м; 4) 76 м; 5) 84 м.
14. Тело бросили горизонтально с начальной скоростью, модуль которой равен $v_0 = 46$ м/с. Через промежуток времени $\Delta t = 5,0$ с после броска модуль скорости тела будет равен:
 1) 56 м/с; 3) 74 м/с; 5) 96 м/с.
 2) 68 м/с; 4) 80 м/с;
15. С вершины горы в горизонтальном направлении произведен выстрел в мишень, отстоящую на расстоянии $l = 0,10$ км от точки выстрела по горизонтальному направлению. Модуль скорости пули $v_0 = 0,50$ км/с. В вертикальном направлении пуля за время полета снизилась на расстояние (сопротивление воздуха не учитывать):
 1) 8,0 см; 2) 10 см; 3) 12 см; 4) 16 см; 5) 20 см.
16. Велосипедист движется по горизонтальной дороге с постоянной по модулю скоростью $v = 4,8$ м/с. Модуль скорости точки A (рис. 5) на ободе колеса относительно поверхности земли равен:
 1) 4,8 м/с; 4) 9,3 м/с;
 2) 5,6 м/с; 5) 9,6 м/с.
 3) 6,7 м/с;

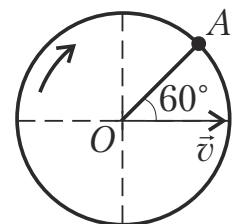


Рис. 5

17. Автомобиль движется со скоростью, модуль которой $v = 36,0$ км/ч. Диаметр колеса автомобиля $d = 80,0$ см. Число оборотов колеса за промежутки времени $\Delta t = 60,0$ с составляет:
- 1) 60,0; 3) 239; 5) 480.
2) 120; 4) 360;
18. Модули линейных скоростей точек 1 и 2, расположенных на поверхности горизонтального диска, $v_1 = 6,4$ м/с и $v_2 = 11$ м/с. Диск вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 9,6$ рад/с вокруг неподвижной вертикальной оси, проходящей через его центр (рис. 6). Расстояние между точками 1 и 2 равно:
- 1) 24 см; 3) 48 см; 5) 60 см.
2) 36 см; 4) 56 см;
19. Радиус Земли $R = 6400$ км. Модуль линейной скорости вращения точек земной поверхности на широте $\varphi = 60,0^\circ$ равен:
- 1) 7,90 км/с; 3) 233 м/с; 5) 62,0 м/с.
2) 466 м/с; 4) 120 м/с;
20. На высоте $h = 80$ см над горизонтальным диском находится маленький шарик. Если после начала свободного падения шарика до попадания его на диск последний повернулся на угол $\alpha = 36^\circ$, то частота равномерного вращения этого диска равна:
- 1) 0,25 об/с; 3) 2,5 об/с; 5) 88 об/с.
2) 1,5 об/с; 4) 8,8 об/с;

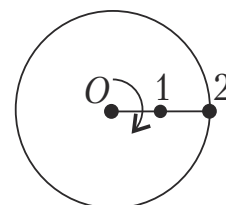


Рис. 6

Глава 2. Основы динамики

§ 4. Законы Ньютона. Силы в механике

Первый закон Ньютона. Существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущиеся тела сохраняют свою скорость постоянной, если на них не действуют другие тела или действие этих тел скомпенсировано. Такие системы отсчета называются *инерциальными*.

Второй закон Ньютона. Ускорение, которое приобретает тело, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, действующих на тело, и обратно пропорционально массе тела:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m},$$

где $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ — равнодействующая сила.

Третий закон Ньютона. Силы, с которыми тела действуют друг на друга, одинаковой природы, равны по модулю и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21},$$

где \vec{F}_{12} и \vec{F}_{21} — силы взаимодействия тел. Эти силы приложены к разным телам и всегда действуют парами.

■ **Закон всемирного тяготения. Вес тела**

Две материальные точки притягиваются друг к другу с силами, прямо пропорциональными произведению масс этих точек и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G — гравитационная постоянная, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Сила притяжения, действующая на тело со стороны Земли, называется **силой тяжести**. Если тело находится на поверхности Земли, то

$$\vec{F} = m\vec{g},$$

где $g = \frac{GM_3}{R_3^2}$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; M_3 — масса; R_3 — радиус Земли.

Вес тела — это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес, неподвижные относительно тела.

Вес тела приложен к опоре или подвесу, а сила тяжести — к центру тяжести тела.

Вес тела и сила тяжести совпадают по модулю только в случае неподвижной или равномерно движущейся опоры или подвеса.

Если опора (подвес) движется с ускорением \vec{a} , направленным вертикально, то модуль веса тела $P = m(g \pm a)$; «+» — если ускорение тела направлено вертикально вверх, «-» — вертикально вниз.

■ **Сила упругости. Закон Гука**

Силой упругости называется сила, возникающая при деформации любых твердых тел, а также при сжатии жидкостей и газов. Если после прекращения действия силы тело полностью восстанавливает первоначальную форму и размер, то деформация называется *упругой*.

Закон Гука. Модуль силы упругости, возникающей при малых деформациях тела, прямо пропорционален абсолютному удлинению и направлен в сторону, противоположную направлению смещения частиц тела:

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta l,$$

где k — **жесткость** (коэффициент упругости) тела; $\Delta l = |l - l_0|$ — абсолютное удлинение тела, l и l_0 — конечная и начальная длина тела.

Другая форма записи закона Гука: механическое напряжение σ упруго деформированного тела прямо пропорционально относительной деформации ε :

$$\sigma = \varepsilon E,$$

где $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ — относительное удлинение; $\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}$ — механическое напряжение, S — площадь поперечного сечения тела; E — модуль Юнга.

Коэффициент жесткости и модуль Юнга связаны соотношением

$$k = \frac{ES}{l_0}.$$

Сила упругости перпендикулярна поверхности взаимодействующих сил. Силу упругости, действующую на тело со стороны опоры, часто называют **силой нормальной реакции опоры**. Если на тело, лежащее на неподвижной поверхности, действует внешняя сила \vec{F} , направленная вдоль поверхности соприкосновения, то возникает **сила трения покоя** $\vec{F}_{\text{тр}}$. Тело покоится, пока модуль внешней силы меньше модуля максимальной силы трения покоя $F_{\text{тр. пок. max}}$:

$$F_{\text{тр. пок. max}} = \mu_0 F_{\text{д}},$$

где μ_0 — коэффициент трения покоя; $F_{\text{д}}$ — модуль силы нормального давления. При этом $|\vec{F}_{\text{тр. пок}}| = |\vec{F}|$.

Если $|\vec{F}| > F_{\text{тр. пок. max}}$ — тело придет в движение, и сила трения в этом случае называется **силой трения скольжения**. Модуль ее

$$F_{\text{тр}} = \mu F_{\text{д}} = \mu N,$$

где μ — коэффициент трения скольжения; N — модуль силы нормальной реакции опоры.

Тест А1

1. Какое из приведенных утверждений правильное?
- 1) Если на тело не действует сила, то оно не движется;
 - 2) если на тело прекратила действовать сила, то оно останавливается;
 - 3) если на тело действует сила, то скорость тела изменяется;
 - 4) если на тело действует сила, то оно обязательно движется в направлении действия силы;
 - 5) если на тело действует сила, то оно движется с постоянной скоростью в направлении действия силы.
- 1) 1; 3) 3; 5) 5.
2) 2; 4) 4;
2. При действии на тело силы, модуль которой $F = 6,0$ Н, оно движется с ускорением, модуль которого $a = 2,0$ м/с². Если тело будет покоиться, то модуль его веса составит:
- 1) 3,0 Н; 3) 20 Н; 5) 30 Н.
2) 12 Н; 4) 22 Н;
3. С каким модулем минимального ускорения может двигаться тело массой $m = 20$ кг под действием сил, модули которых $F_1 = 30$ Н, $F_2 = 40$ Н и $F_3 = 60$ Н?
- 1) 0; 3) 2,5 м/с²; 5) 6,5 м/с².
2) 0,50 м/с²; 4) 3,5 м/с²;
4. На пружинный динамометр действуют две силы, модули которых: вправо $F_1 = 10$ Н и влево $F_2 = 10$ Н. Показания динамометра составляют:
- 1) 0; 3) 10 Н; 5) 0,10 кН.
2) 5 Н; 4) 20 Н;
5. Локомотив ведет состав из одинаковых вагонов в количестве $n = 10$ с постоянной скоростью. Если сила сопротивления движению, действующая на один вагон, $F = 40,0$ кН по модулю, то модуль силы взаимодействия второго и третьего вагонов составляет:
- 1) 400 кН; 3) 320 кН; 5) 140 кН.
2) 360 кН; 4) 280 кН;
6. Жесткость пружины, составленной из двух последовательно соединенных пружин, $k = 50$ Н/м. Если жесткость одной из этих пружин $k_1 = 150$ Н/м, то жесткость второй составляет:
- 1) 0,20 кН/м; 3) 75 Н/м; 5) 25 Н/м.
2) 0,10 кН/м; 4) 50 Н/м;

7. Однородная цепочка длиной $l = 150$ см лежит на столе так, что часть ее свешивается со стола. Коэффициент трения цепочки о стол $\mu = 0,50$. При какой длине свешивающейся части цепочка начнет скользить по столу?
- 1) 1,0 м; 3) 50 см; 5) 20 см.
2) 75 см; 4) 40 см;
8. Два одинаковых тела, связанные невесомой нитью, движутся по горизонтальной поверхности под действием силы, модуль которой $F = 50\sqrt{2}$ Н. Сила приложена к первому телу под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения между телами и поверхностью $\mu = 1,0$. Модуль силы натяжения нити равен:
- 1) 25 Н; 3) 50 Н; 5) 0,10 кН.
2) 36 Н; 4) 70 Н;
9. На нити, выдерживающей натяжение, модуль которого $F = 20$ Н, поднимают груз массой $m = 1,0$ кг из состояния покоя вертикально вверх. Если движение груза равноускоренное, то за время $t = 1,0$ с груз можно поднять на высоту:
- 1) 5,0 м; 3) 10 м; 5) 15 м.
2) 7,5 м; 4) 12 м;
10. Шарик скользит по гладкому стержню, составляющему угол $\alpha = 30^\circ$ с вертикалью, с модулем ускорения:
- 1) $9,8 \text{ м/с}^2$; 3) $7,4 \text{ м/с}^2$; 5) 5 м/с^2 .
2) $8,7 \text{ м/с}^2$; 4) $6,2 \text{ м/с}^2$;

Тест А2

1. Если тело массой $m = 2000$ г удалить от поверхности Земли на расстояние, в $k = 3$ раза превышающее радиус Земли, то модуль силы взаимодействия тела и Земли составит:
- 1) 1,25 Н; 3) 6,70 Н; 5) 9,00 Н.
2) 5,00 Н; 4) 8,75 Н;
2. Имеются одинаковые пружины в количестве $n = 5$, которые можно соединить всеми возможными способами. Максимально возможная жесткость системы пружин больше минимально возможной жесткости:
- 1) в 5 раз; 3) в 15 раз; 5) в 50 раз.
2) в 10 раз; 4) в 25 раз;
3. На тело массой $m = 3,0$ кг, лежащее на горизонтальной поверхности, действует горизонтальная сила, модуль которой $F = 5,0$ Н. Если ко-

коэффициент трения между телом и поверхностью $\mu = 0,20$, то модуль силы трения, действующей на тело, равен:

- 1) 3,0 Н; 3) 5,0 Н; 5) 15 Н.
2) 4,0 Н; 4) 10 Н;

4. К вертикальной стене горизонтальной силой, модуль которой $F = 20$ Н, прижимается брусок массой $m = 2,0$ кг. Чтобы брусок мог скользить вниз вдоль стены с ускорением, модуль которого $a = 1,0$ м/с², при коэффициенте трения $\mu = 0,10$, к нему следует приложить вертикальную силу, модуль которой равен:

- 1) 10 Н; 3) 20 Н; 5) 40 Н.
2) 16 Н; 4) 32 Н;

5. Веревка 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. При равномерном подъеме с помощью этой веревки можно поднять груз массой:

- 1) 400 кг; 3) 240 кг; 5) 190 кг.
2) 267 кг; 4) 200 кг;

6. Если вагонетка массой $m = 350$ кг движется по горизонтальным рельсам с ускорением, модуль которого $a = 0,15$ м/с², при силе сопротивления, модуль которой $F_c = 12$ Н, то модуль горизонтальной силы, под действием которой движется вагонетка, составляет:

- 1) 76 Н; 3) 56 Н; 5) 36 Н.
2) 65 Н; 4) 40 Н;

7. Шарик массой $m = 10$ г соскальзывает по вертикальной нити. Если модуль силы трения между шариком и нитью $F_{тр} = 0,05$ Н, то модуль силы натяжения нити составляет:

- 1) 0,005 Н; 3) 0,1 Н; 5) 0,5 Н.
2) 0,05 Н; 4) 0,2 Н;

8. На столе лежат два шарика массами m_1 и m_2 , соединенные пружиной с жесткостью k . На шарик m_1 действует постоянная сила, модуль которой F , направленная вдоль пружины к шарiku m_2 . Если трение и колебания отсутствуют, то пружина будет сжата на x , равное:

- 1) $\frac{m_1 F}{(m_1 + m_2)k}$; 3) $\frac{m_2 F}{(m_2 - m_1)k}$; 5) $\frac{(m_1 + m_2)F}{m_1 k}$.
2) $\frac{m_2 F}{(m_1 - m_2)k}$; 4) $\frac{m_2 F}{(m_1 + m_2)k}$;

9. Тело массой $m_1 = 1,0$ кг, брошенное под углом к горизонту, имеет в верхней точке траектории модуль полного ускорения $a = 12$ м/с². Модуль силы сопротивления среды в этой точке равен:
- 1) 6,6 Н; 3) 16 Н; 5) 44 Н.
 2) 12 Н; 4) 22 Н;
10. Брусочек лежит на доске. Если поднимать один конец доски, то при угле наклона $\alpha = 30^\circ$ брусочек начинает двигаться. Если угол наклона доски с горизонтом составит $\beta = 45^\circ$, то брусочек соскользнет с доски длиной $l = 1,0$ м за время:
- 1) 0,20 с; 3) 1,5 с; 5) 4,0 с.
 2) 0,82 с; 4) 2,5 с;

Тест В1

1. Чтобы находящиеся на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 45^\circ$ тела оставались в покое, плоскость следует двигать в горизонтальном направлении (трение не учитывать) с модулем ускорения ... м/с².
2. К грузу массой $m_1 = 7000$ г подвешен на веревке груз массой $m_2 = 5000$ г. Масса веревки $m = 4000$ г. Систему поднимают вертикально, прикладывая силу, модуль которой $F = 240$ Н, к большему грузу. Модуль силы натяжения середины веревки составит ... Н.
3. Легкая тележка может скатываться без трения по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. На тележке укреплен отвес-шарик массой m на нити. При движении тележки нить образует с вертикалью угол ... град.
4. Модуль предельной нагрузки, которую выдерживает нить в системе (рис. 4.1), $T = 200$ Н. Массы грузов $m, 2m$ и $3m$. Если трением пренебречь, то одна из нерастяжимых нитей, связывающая грузы, разорвется при минимальном значении силы \vec{F} , модуль которой равен ... Н.

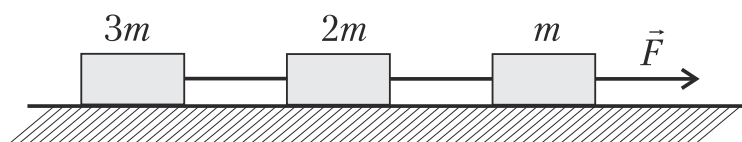


Рис. 4.1

5. На тело массой $m = 100$ кг, лежащее на наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, в горизонтальном направлении действует сила, модуль которой $F = 1500$ Н. Коэффициент тре-

ния $\mu = 0,10$. Модуль ускорения, с которым тело движется вверх, составляет ... м/с².

6. Тело массой $m_1 = 2,0$ кг расположено на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. К телу прикреплена нить, перекинутая через блок, закрепленный на вершине наклонной плоскости. Ко второму концу нити прикреплено тело массой $m_2 = 8,0$ кг. Если коэффициент трения между первым телом и плоскостью $\mu = \sqrt{3}$, то модуль силы натяжения нити составляет ... Н.
- 7*. Парашютист массой $m_1 = 80$ кг опускается с установившейся скоростью, модуль которой $v_1 = 5,6$ м/с. Если модуль силы сопротивления воздуха пропорционален квадрату скорости, то мальчик массой $m_2 = 40$ кг будет опускаться на этом же парашюте с установившейся скоростью, модуль которой ... м/с.
8. Одно тело свободно падает с высоты h , другое — без трения скользит по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ с той же высоты. Отношение времен t_2/t_1 движения тел составляет
9. Груз массой $m_1 = 3,0$ кг расположен на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ и связан с грузом $m_2 = 2,0$ кг нерастяжимой легкой нитью, переброшенной через невесомый и неподвижный блок. Модуль силы давления на ось блока равен ... Н.
10. Два тела массами $m = 100$ г каждое подвешены на концах нити, перекинутой через блок. Если на одно из тел положить груз массой $m_1 = 50,0$ г, то, после того как вся система придет в движение, груз будет давить на тело с силой модулем ... мН.

Тест В2

1. На тело массой $m = 1,0$ кг, лежащее на горизонтальной поверхности, начинает действовать горизонтальная сила, модуль которой зависит от времени по закону $F = Ct$, где $C = 0,50$ Н/с. Коэффициент трения тела о поверхность $\mu = 0,10$. Под действием силы тело начнет двигаться через промежуток времени, равный ... с.
- 2*. На гладкой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, движущейся с ускорением модулем a (рис. 4.2), лежит брусок. Брусок не будет давить на плоскость, если ее ускорение составит ... м/с².

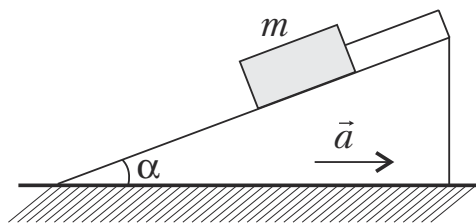


Рис. 4.2

3. На однородный стержень длиной $l = 90$ см действуют две силы, модули которых $F_1 = 6$ Н и $F_2 = 3$ Н, приложенные к его концам и направленные в противоположные стороны вдоль оси стержня. Модуль силы упругости стержня в сечении, расположенном на расстоянии $l_1 = 30$ см от конца стержня, к которому приложена сила \vec{F}_2 , равен ... Н.
4. Небольшое тело пускают снизу вверх по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 10^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения тела о плоскость $\mu = 0,10$. Отношение времени спуска тела до первоначального положения ко времени его подъема составляет
5. Коэффициент трения между стенкой (рис. 4.3) и бруском $\mu = 0,40$. Брусок будет находиться в покое относительно стенки при ускорении \vec{a} , модуль которого равен ... м/с².
- 6*. По наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту скользит доска, по которой скользит тело. Коэффициент трения между доской и плоскостью $\mu = 0,10$. Трение между телом и доской отсутствует. Если массы доски и тела одинаковы, то модуль ускорения доски относительно наклонной плоскости составит ... м/с².
7. Если к телу массой $m = 25$ кг, лежащему на горизонтальной поверхности, приложить силу $F = 120$ Н под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту, то оно будет двигаться равномерно. Если эту же силу приложить под углом $\beta = 30^\circ$, то тело будет двигаться с ускорением, модуль которого равен ... м/с².
8. На рисунке 4.4 приведен график зависимости $v_x(t)$ — проекции скорости тела от времени. Масса тела $m = 500$ г. В момент времени $t_1 = 3,00$ с на тело действует модуль силы, равный ... Н.

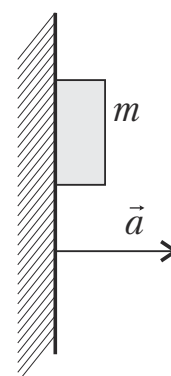


Рис. 4.3

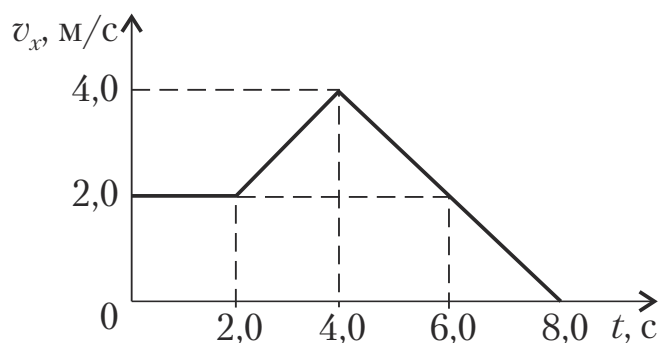


Рис. 4.4

9. Шар массой $m = 1,0$ кг лежит в ящике, соскальзывающем без трения с наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. На переднюю стенку ящика шар давит с силой, модуль которой равен ... мН.
- 10*. Брусок массой $M = 2,0$ кг, на котором лежит тело массой $m = 1,0$ кг, расположен на горизонтальной плоскости. Коэффициенты трения между телом и бруском и между бруском и поверхностью одинаковы: $\mu = 1,0$. Если на брусок действует горизонтальная сила, модуль которой $F = 60$ Н, то модуль его ускорения составляет ... м/с².

§ 5. Динамика движения по окружности

Если тело движется по окружности с постоянной по модулю скоростью, то на тело действуют силы, равнодействующая которых направлена к центру. Природа этих сил различна, но модуль равнодействующей этих сил

$$F = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} = m4\pi^2 \nu^2 r,$$

где r — радиус окружности; m — масса тела; v и ω — модули линейной и угловой скоростей вращения; T и ν — период и частота вращения.

Первая космическая скорость \vec{v}_1 — скорость, которую надо сообщить спутнику, чтобы он обращался вблизи поверхности планеты по круговой орбите. Модуль этой скорости

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}},$$

где M — масса планеты; R — ее радиус; G — гравитационная постоянная. Для Земли $v_1 = \sqrt{gR_3} = 7,9$ км/с. При движении спутника по круговой орбите на высоте h над поверхностью планеты модуль линейной скорости

$$v'_1 = v_1 \sqrt{\frac{R}{R+h}},$$

где R — радиус планеты.

Тест А1

1. Какой из нижеприведенных ответов соответствует размерности гравитационной постоянной, выраженной через основные единицы СИ?
- 1) $\frac{с^2 \cdot кг}{м^3}$; 3) $\frac{кг^2}{Н \cdot м^2}$; 5) $\frac{м^3}{с \cdot кг}$.
- 2) $\frac{Н \cdot м^2}{кг^3}$; 4) $\frac{м^3}{с^2 \cdot кг}$
2. Если искусственный спутник Земли ($R_3 = 6,4 \cdot 10^3$ км) находится постоянно над одной и той же точкой экватора, то его расстояние до центра Земли составляет:
- 1) $6,4 \cdot 10^3$ км; 3) $4,3 \cdot 10^4$ км; 5) $2,4 \cdot 10^5$ км.
2) $2,4 \cdot 10^4$ км; 4) $1,3 \cdot 10^5$ км;
3. Тела на экваторе Земли весили бы в $n = 2$ раза меньше, чем на полюсе, если бы продолжительность суток на Земле составляла:
- 1) 2,0 ч; 3) 12 ч; 5) 96 ч.
2) 6,0 ч; 4) 48 ч;
4. Модуль первой космической скорости на планете со средней плотностью ρ равен:
- 1) $2R\sqrt{\frac{\rho G}{3}}$; 3) $2R\sqrt{\frac{\pi \rho G}{3}}$; 5) $R\sqrt{\frac{\pi \rho G}{3}}$.
2) $2R\sqrt{\frac{\pi G}{3}}$; 4) $2\sqrt{\frac{\pi \rho G}{3}}$
5. Модуль ускорения свободного падения на Луне в $k = 6$ раз меньше, чем на Земле. Человек на Луне прыгнет выше, чем на Земле:
- 1) в 2,5 раза; 3) в 6,0 раза; 5) в 36 раз.
2) в 3,0 раза; 4) в 12 раз;
- 6*. Самолет, модуль скорости которого $v = 2,0 \cdot 10^3$ км/ч, совершает поворот в горизонтальной плоскости. Если летчик при этом испытывает пятикратную перегрузку, то радиус кривизны траектории составляет:
- 1) 2,1 км; 3) 6,3 км; 5) 13 км.
2) 4,2 км; 4) 10 км;
7. Тело массой $m = 0,20$ кг, прикрепленное к невесомому стержню, равномерно вращается в вертикальной плоскости. Модуль силы упру-

гости в верхней точке траектории отличается от модуля силы упругости в нижней точке траектории так:

- 1) на 4,0 Н больше;
- 2) на 4,0 Н меньше;
- 3) на 40 Н больше;
- 4) на 40 Н меньше;
- 5) модули сил натяжения одинаковы.

8. Два тела, связанные нерастяжимой нитью, могут вращаться с одинаковыми угловыми скоростями на гладкой горизонтальной поверхности, если ось вращения делит нить в отношении 5:1 при соотношении масс $\frac{m_1}{m_2}$:

- | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1) $\frac{1}{2}$; | 3) $\frac{1}{5}$; | 5) $\frac{2}{5}$. |
| 2) $\frac{1}{4}$; | 4) $\frac{1}{10}$; | |

9. На расстоянии $r = 4,0$ см от оси горизонтально расположенного диска лежит бусинка, коэффициент трения которой о диск $\mu = 0,10$. Бусинка начнет скольжение по диску, если он будет вращаться с угловой скоростью:

- | | | |
|---------------|---------------|--------------|
| 1) 2,0 рад/с; | 3) 5,0 рад/с; | 5) 10 рад/с. |
| 2) 3,5 рад/с; | 4) 7,5 рад/с; | |

10. Автомобиль массой $m = 5,0$ т движется с постоянной по модулю скоростью $v = 10$ м/с по выпуклому мосту радиусом $R = 100$ м. Модуль силы давления автомобиля на середине моста равен:

- | | | |
|-----------|-------------|-------------|
| 1) 45 кН; | 3) 0,10 МН; | 5) 0,20 МН. |
| 2) 50 кН; | 4) 0,12 МН; | |

Тест А2

1. Чтобы тела на экваторе Земли ($R_3 = 6,40 \cdot 10^3$ км) не имели веса, продолжительность суток должна составлять:

- | | | |
|--------------|--------------|-------------|
| 1) 60,0 мин; | 3) 84,0 мин; | 5) 248 мин. |
| 2) 64,0 мин; | 4) 168 мин; | |

2. Радиус Луны приблизительно в $n = 3,7$ раза меньше, чем радиус Земли, а масса Луны в $k = 81$ раз меньше массы Земли. Модуль ускорения свободного падения на поверхности Луны равен:

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1) 2,4 м/с ² ; | 3) 1,5 м/с ² ; | 5) 1,0 м/с ² . |
| 2) 1,7 м/с ² ; | 4) 1,2 м/с ² ; | |

3. Плотность некоторой планеты такая же, как у Земли, а радиус в $n = 2$ раза меньше. Первая космическая скорость для Земли больше первой космической скорости для данной планеты:
- 1) в 0,3 раза; 3) в 1 раз; 5) в 4 раза.
2) в 0,5 раза; 4) в 2 раза;
4. Период обращения спутника по круговой орбите вокруг Земли $T = 4,0$ ч. Высота орбиты спутника над поверхностью Земли составляет:
- 1) $3,2 \cdot 10^3$ км; 3) $1,3 \cdot 10^5$ км; 5) $3,2 \cdot 10^5$ км.
2) $6,5 \cdot 10^3$ км; 4) $2,1 \cdot 10^5$ км;
5. Летчик массой $m = 70,0$ кг описывает на самолете в вертикальной плоскости «мертвую петлю» радиусом $R = 100$ м. Модуль скорости самолета $v = 180$ км/ч. В нижней точке петли летчик прижимается к сиденью самолета с силой, модуль которой равен:
- 1) 1,05 кН; 3) 2,45 кН; 5) 2,90 кН.
2) 1,42 кН; 4) 2,14 кН;
6. Велосипедист движется по горизонтальному закруглению, отклонившись от вертикали на угол $\alpha = 23^\circ$. Это возможно при коэффициенте трения:
- 1) 0,20; 3) 0,42; 5) 0,80.
2) 0,30; 4) 0,50;
- 7*. В вагоне поезда, движущегося равномерно со скоростью, модуль которой $v = 20$ м/с, по закруглению радиусом $R = 200$ м, производится взвешивание груза с помощью динамометра. При массе груза $m = 5,0$ кг результат взвешивания составит:
- 1) 18 Н; 2) 26 Н; 3) 36 Н; 4) 51 Н; 5) 68 Н.
8. Диск вращается вокруг вертикальной оси с периодом $T = 1,0$ с. К оси диска прикреплен вертикальный стержень, а к стержню на нити длиной $l = 30$ см — шарик массой $m = 10$ г. Угол наклона нити к стержню $\alpha = 45^\circ$. Модуль силы давления шарика на диск, если трение отсутствует, равен ... мН:
- 1) 8,0; 2) 12; 3) 16; 4) 32; 5) 92.
9. Через реку шириной $L = 100$ м переброшен выпуклый мост в форме дуги окружности. Верхняя точка моста поднимается над берегом на высоту $h = 10,0$ м. Мост выдерживает максимальную силу давления, модуль которой $F = 44,1$ кН. Грузовик массой $m = 5000$ кг сможет проехать через мост при скорости, модуль которой равен:
- 1) 54,4 км/ч; 3) 24,8 км/ч; 5) 11,0 км/ч.
2) 44,6 км/ч; 4) 20,2 км/ч;

10*. Шарик подвешен на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 300,0$ мм и вращается в горизонтальной плоскости с периодом $T = 1000$ мс. Если нить составляет с вертикалью угол $\alpha = 30,00^\circ$, то модуль ускорения свободного падения в данном месте равен:

- 1) $9,800$ м/с²; 3) $9,940$ м/с²; 5) $10,25$ м/с².
 2) $9,880$ м/с²; 4) $10,06$ м/с²;

Тест В1

- Первый спутник вращается по круговой орбите на высоте от поверхности, равной радиусу планеты, а второй — на высоте, в $n = 7$ раз большей. Модуль скорости первого спутника больше модуля скорости второго в ... раз (раза).
- Если ускорение свободного падения на Луне в $n = 6,0$ раза меньше, чем на Земле, а радиус Луны $R = 1760$ км, то первая космическая скорость у поверхности Луны составляет ... км/с.
- Если ракета массой $m = 2 \cdot 10^3$ кг поднимется на высоту $h = 1 \cdot 10^3$ км над поверхностью Земли, то модуль силы тяжести, действующей на ракету, уменьшится на ... кН.
- На экваторе некоторой планеты тела весят вдвое меньше, чем на полюсе. Если сутки на этой планете составляют $T = 55$ мин, то средняя плотность планеты равна ... т/м³.
- Автомобиль выезжает на поворот радиусом $R = 10$ м. Коэффициент трения колес автомобиля $\mu = 0,8$. Модуль наибольшей скорости, с которой автомобиль может двигаться на повороте без проскальзывания, составляет ... м/с.
- Тело совершает колебания на нити длиной $l = 1$ м, отклоняясь от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$. Модуль ускорения тела в верхней точке траектории равен ... м/с².
- *. Модуль минимальной скорости, с которой должен двигаться мотоциклист по вертикальной цилиндрической стене диаметром $d = 20$ м при коэффициенте трения $\mu = 0,80$, составляет ... м/с.
- На карусели радиусом $R = 5,0$ м на подвесах длиной $l = 5,0$ м вращаются лодочки. Чтобы лодочки отклонились от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$ (рис. 5.1), карусель должна совершать ... об/мин ($g = 9,8$ м/с²).

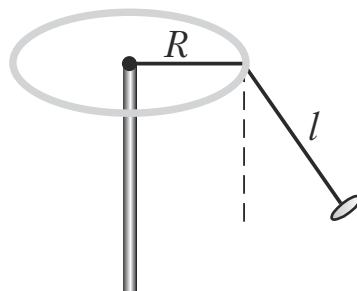


Рис. 5.1

9. Шарик массой $m = 0,10$ кг на нити, вращающийся равномерно в вертикальной плоскости, находится в лифте, движущемся с ускорением, модуль которого $2g$. Когда шарик находится в нижней точке траектории, натяжение нити равно нулю. Когда шарик будет проходить через верхнюю точку траектории, модуль силы натяжения нити составит ... Н.
10. Гладкий горизонтальный диск может вращаться относительно вертикальной оси симметрии, совершая $n = 480$ об/мин. На поверхности диска лежит шар массой $m = 100$ г, прикрепленный к центру диска пружиной с жесткостью $k = 1500$ Н/м. Если длина пружины в недеформированном состоянии $l_0 = 20$ см, то при вращении диска она составит ... см.

Тест В2

1. Если среднее расстояние от Солнца до Земли в $n = 390$ раз больше расстояния от Луны до Земли, а Луна совершает вокруг Земли $k = 13$ обращений в течение года, то отношение масс Солнца и Земли составляет
2. Период обращения спутника, движущегося на расстоянии $h_1 = 2,16 \cdot 10^4$ км от поверхности Земли, больше периода обращения спутника, движущегося на расстоянии $h_2 = 6,0 \cdot 10^2$ км от ее поверхности, в ... раз (раза).
3. Если вес тела на экваторе некоторой планеты на $\Delta n = 10\%$ меньше, чем на полюсе, а продолжительность ее суток $T = 6,0$ ч, то плотность ρ планеты составляет ... кг/м³.
4. Если после совершения тысячи оборотов вокруг Земли период обращения искусственного спутника уменьшился от $T_1 = 96$ мин до $T_2 = 92$ мин, то средняя высота орбиты спутника над поверхностью Земли уменьшилась на ... км.
- 5*. Велосипедист движется по наклонному треку с радиусом закругления $R = 30$ м и углом наклона $\alpha = 45^\circ$. Если коэффициент трения между шинами и треком $\mu = 0,20$, то модуль максимальной скорости, с которой может двигаться велосипедист, составляет ... м/с.
6. Автомобиль массой $m = 1000$ кг едет по выпуклому мосту с радиусом кривизны $R = 200$ м со скоростью, модуль которой $v = 72$ км/ч. Модуль силы давления автомобиля на мост в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет $\alpha = 45^\circ$ с вертикалью, равен ... кН.

- 7*. Чаша в виде полусферы радиусом $R = 80$ см и шарик внутри чаши вращаются вокруг вертикальной оси с постоянной по модулю скоростью. Если расстояние от шарика до нижней точки чаши равно ее радиусу, то угловая скорость вращения чаши составляет ... рад/с.
8. Груз на нити может совершать колебания в вертикальной плоскости, отклоняясь от вертикали на угол $\alpha = 45^\circ$. Этот же груз может вращаться по окружности в горизонтальной плоскости и, описывая конус, отклоняться на такой же угол (конический маятник). Отношение модуля силы натяжения T_m для конического маятника к модулю силы натяжения нити T_k в крайней точке для колебаний составляет
9. Бусинка может свободно скользить по гладкому обручу радиусом $R = 4,5$ м, который вращается относительно вертикальной оси, проходящей через его центр, с угловой скоростью $\omega = 2,0$ рад/с. Ось лежит в плоскости обруча. Бусинка поднимется на максимальную высоту, равную ... м относительно начального положения.
10. На диске, который может вращаться вокруг вертикальной оси, лежит шайба массой $m = 100$ г, соединенная с осью диска пружиной. Если частота вращения диска не превышает $\nu_1 = 2,0$ Гц, пружина недеформирована. Если частота составляет $\nu_2 = 5,0$ Гц, то пружина удлинится вдвое. Жесткость пружины равна ... Н/м.

Обобщающий тест № 2

1. На тело массой $m = 10$ кг действуют две силы, модули которых $F_1 = 6,0$ Н и $F_2 = 8,0$ Н, направленные под углом $\alpha = 90^\circ$ друг к другу. Под действием этих сил тело получает ускорение, модуль которого равен:
- 1) $0,50$ м/с²; 3) $1,5$ м/с²; 5) $5,0$ м/с².
 2) $1,0$ м/с²; 4) $2,0$ м/с²;
2. Тело массой $m = 1,5$ кг движется прямолинейно вдоль оси Ox . Координаты тела изменяются со временем по закону $x(t) = 7,2 + 3,0t \times (2,0 + 3,0t)$. Модуль силы, действующей на тело, равен:
- 1) 12 Н; 2) 18 Н; 3) 24 Н; 4) 27 Н; 5) 32 Н.
3. Проволока под действием силы, модуль которой $F = 20$ Н, удлинилась на расстояние $\Delta l_1 = 4,0$ мм. Жесткость проволоки равна:
- 1) $2,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; 3) $7,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; 5) $20 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$.
 2) $5,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; 4) $10 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$;

4. Некая сила сообщает телам массами m_1 и m_2 ускорения, модули которых $a_1 = 3,0 \text{ м/с}^2$ и $a_2 = 6,0 \text{ м/с}^2$ соответственно. Модуль ускорения, которое сообщит эта сила телу массой $m = m_1 + m_2$, равен:

- 1) $1,0 \text{ м/с}^2$; 3) $1,5 \text{ м/с}^2$; 5) $2,5 \text{ м/с}^2$.
2) $1,3 \text{ м/с}^2$; 4) $2,0 \text{ м/с}^2$;

5. Четыре одинаковых кубика, связанных невесомыми нитями, движутся по гладкому горизонтальному столу под действием горизонтальной силы, модуль которой

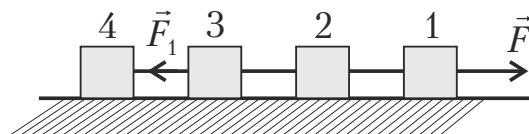


Рис. 1

$F = 16 \text{ Н}$, приложенной к первому кубику (рис. 1). Модуль силы натяжения F_1 , связывающей третий и четвертый кубики, равен:

- 1) 16 Н ; 3) 10 Н ; 5) $4,0 \text{ Н}$.
2) 12 Н ; 4) $8,0 \text{ Н}$;

6. Легковой автомобиль начинает буксировать другой автомобиль массой $m = 1600 \text{ кг}$ с помощью капронового троса. При равноускоренном движении за промежуток времени $\Delta t = 10 \text{ с}$ автомобилем пройден путь $s = 25 \text{ м}$. Удлинение троса $\Delta l = 10 \text{ см}$. Жесткость троса равна:

- 1) $4,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; 3) $16 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; 5) $0,16 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$.
2) $8,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; 4) $80 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$;

7. К невесомой нити подвешен груз массой $m = 2,0 \text{ кг}$. Если точку подвеса нити поднимать вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a = 5,0 \text{ м/с}^2$, то модуль силы натяжения нити равен:

- 1) 10 Н ; 3) 30 Н ; 5) 60 Н .
2) 20 Н ; 4) 40 Н ;

8. Если R — радиус Земли, то расстояние от поверхности Земли, на котором модуль силы тяжести станет в $n = 64$ раза меньше, чем на поверхности Земли, равно:

- 1) $3R$; 3) $7R$; 5) $63R$.
2) $5R$; 4) $9R$;

9. Под действием силы, модуль которой $F = 30 \text{ Н}$, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту вверх, тело массой $m = 7,7 \text{ кг}$ движется с ускорением, модуль которого $a = 3,0 \text{ м/с}^2$. Коэффициент трения скольжения μ при движении тела равен:

- 1) $0,023$; 3) $0,056$; 5) $0,096$.
2) $0,046$; 4) $0,081$;

10. На наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha_1 = 30^\circ$, тело еще неподвижно. Время t , за которое тело из состояния покоя соскользнет с наклонной плоскости с углом наклона к горизонту $\alpha_2 = 45^\circ$, если длина наклонной плоскости $l = 24$ м, составляет:
1) 2,0 с; 2) 4,0 с; 3) 6,0 с; 4) 8,0 с; 5) 10 с.
11. По наклонной плоскости высотой $h = 5,0$ м и основанием $b = 30$ м съезжают санки, которые останавливаются, проехав от основания горы горизонтальный участок длиной $l = 70$ м. Если коэффициент трения μ одинаков на всем пути, то он равен:
1) 0,020; 3) 0,080; 5) 0,12.
2) 0,050; 4) 0,10;
12. Автомобиль движется по выпуклому мосту, радиус кривизны которого $R = 200$ м. Если в верхней точке он давит на мост с силой, модуль которой на $k = 20\%$ меньше модуля силы тяжести, то модуль скорости автомобиля равен:
1) 40 м/с; 3) 25 м/с; 5) 10 м/с.
2) 30 м/с; 4) 20 м/с;
13. Небольшая шайба соскальзывает с вершины закрепленной на полу гладкой полусферы радиусом $R = 60$ см. Начальная скорость шайбы равна нулю. Высота от поверхности пола, на которой шайба оторвется от полусферы, равна:
1) 10 см; 2) 20 см; 3) 30 см; 4) 40 см; 5) 50 см.
14. Шарик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 29$ см, равномерно вращается в горизонтальной плоскости (конический маятник). Если при вращении шарика нить отклонена от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$, то период вращения шарика равен:
1) 0,10 с; 3) 0,60 с; 5) 1,0 с.
2) 0,25 с; 4) 0,80 с;
15. Шарик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити, качается в вертикальной плоскости. Модули ускорения шарика в крайнем и нижнем положениях равны. Модуль силы натяжения нити при прохождении шариком нижнего положения больше модуля силы тяжести в $n = 1,5$ раза. Угол отклонения нити с шариком от вертикального положения равен:
1) 20° ; 2) 30° ; 3) 45° ; 4) 60° ; 5) 90° .
16. Радиус Земли $R_3 = 6400$ км (приблизительно). Модуль веса тела на полюсе больше модуля веса тела на экваторе на $k\%$:
1) 0,12 %; 3) 1,2 %; 5) 3,8 %.
2) 0,34 %; 4) 2,4 %;

17. Искусственный спутник выведен на круговую орбиту, высота которой над поверхностью Земли $h = 3110$ км. Если ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с², а радиус Земли $R = 6400$ км, то модуль скорости движения спутника по этой орбите равен:
- 1) 6,50 км/с; 3) 7,00 км/с; 5) 7,35 км/с.
 2) 6,80 км/с; 4) 7,20 км/с;
18. Через блок с неподвижной горизонтальной осью вращения перекинута нить, на которой висят грузы массой $M = 6,0$ кг и $m = 3,0$ кг. Модуль силы натяжения нити равен:
- 1) 20 Н; 2) 30 Н; 3) 40 Н; 4) 45 Н; 5) 50 Н.
19. На каком из нижеприведенных рисунков (рис. 2) тело массой m обладает наименьшим по модулю ускорением? (В начальный момент времени все грузы удерживаются в равновесии, плоскости гладкие.)

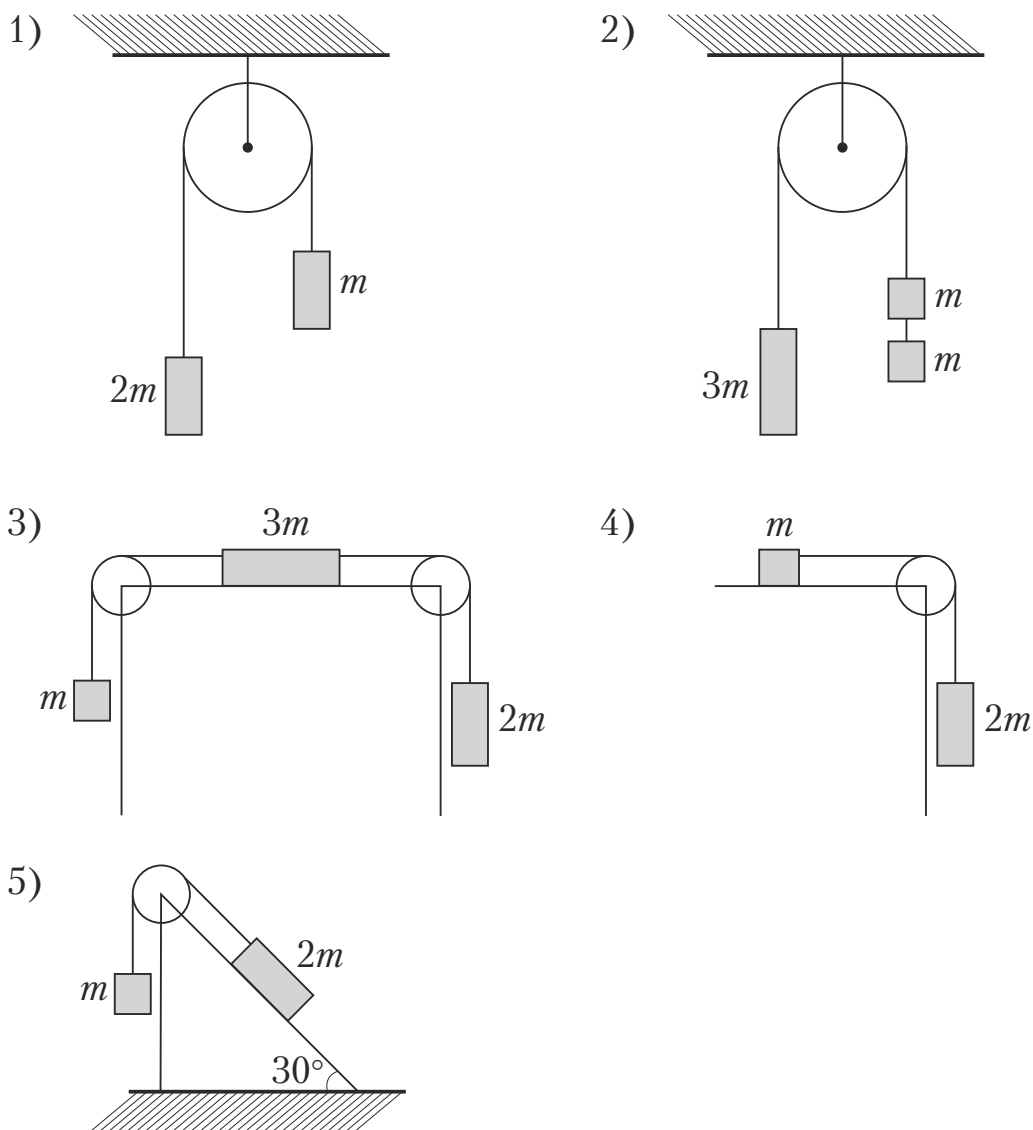


Рис. 2

20. С наклонной плоскости (рис. 3) соскальзывают два кубика массами $m_1 = 1,2$ кг и $m_2 = 1,8$ кг, связанные невесомой и нерастяжимой нитью. Коэффициенты трения скольжения между кубиками и плоскостью $\mu_1 = 0,12$ и $\mu_2 = 0,15$. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 10^\circ$. Модуль силы натяжения нити равен:

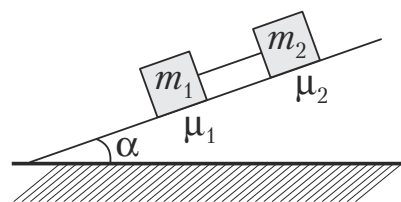


Рис. 3

- 1) 0,12 Н; 3) 0,17 Н; 5) 0,21 Н.
2) 0,15 Н; 4) 0,19 Н;

Глава 3. Законы сохранения в механике

§ 6. Импульс тела. Закон сохранения импульса

Второй закон Ньютона: изменение импульса тела равно импульсу силы, действующей на тело:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t, \quad m \Delta \vec{v} = \vec{F} \Delta t,$$

где $\vec{F} \Delta t$ — импульс силы (или равнодействующей сил), действующей на тело; $\vec{p} = m \vec{v}$ — импульс тела, $\Delta \vec{p} = m \Delta \vec{v}$ — изменение импульса тела за время Δt , m — масса тела, $\Delta \vec{v}$ — изменение скорости тела.

Если в системе тел действуют только внутренние силы (силы взаимодействия между телами системы), то такая система называется **замкнутой**. Для замкнутой системы справедлив **закон сохранения импульса**: при любых взаимодействиях между телами замкнутой системы ее импульс остается неизменным:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 + \dots + m_n \vec{u}_n,$$

где $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_n$ — скорости тел до взаимодействия; $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_n$ — скорости после взаимодействия.

Для незамкнутых систем закон сохранения импульса выполняется в следующих случаях:

- 1) если внешние силы скомпенсированы, т. е. $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$;

2) если существует направление, вдоль которого сумма проекций внешних сил равна нулю, т. е.

$$F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0;$$

3) если внешние силы действуют на систему в течение малого промежутка времени, а внутренние силы велики по сравнению с внешними (удары, выстрелы, разрывы снарядов).

Тест А1

- Если модуль импульса тела массой $m = 100$ г $p = 0,2 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$, то модуль скорости тела составляет:
 - 1) 1 м/с;
 - 2) 2 м/с;
 - 3) 4 м/с;
 - 4) 6 м/с;
 - 5) 8 м/с.
- Два шарика массами $m_1 = 2,0$ г и $m_2 = 3,0$ г движутся в горизонтальной плоскости со скоростями, модули которых $v_1 = 6,0$ м/с и $v_2 = 4,0$ м/с соответственно. Направления движения шариков составляют друг с другом угол $\alpha = 90^\circ$. Чему равен модуль суммарного импульса шариков?
 - 1) $0,0050 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$;
 - 2) $0,0070 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$;
 - 3) $0,010 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$;
 - 4) $0,017 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$;
 - 5) 0.
- Вагон массой $m_1 = 50$ т движется со скоростью, модуль которой $v_1 = 12$ км/ч, и встречает стоящую на пути платформу массой $m_2 = 30$ т. Расстояние, пройденное вагоном и платформой после сцепления, если коэффициент трения $\mu = 0,050$, составляет:
 - 1) 2,1 м;
 - 2) 3,2 м;
 - 3) 4,3 м;
 - 4) 5,6 м;
 - 5) 8,3 м.
- Охотник стреляет с легкой надувной лодки. Ствол ружья во время выстрела направлен под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Если масса охотника с лодкой $M = 70$ кг, масса дроби $m = 35$ г, модуль средней начальной скорости дроби $v = 320$ м/с, то в момент выстрела модуль скорости лодки будет равен:
 - 1) 2,0 см/с;
 - 2) 4,0 см/с;
 - 3) 8,0 см/с;
 - 4) 12 см/с;
 - 5) 16 см/с.
- В двухступенчатой ракете массой $m = 1200$ кг после достижения скорости, модуль которой $v = 200$ м/с, отделилась первая ступень массой $m_1 = 700$ кг. Если первая ступень после отделения имела скорость, модуль которой $v_1 = 150$ м/с, то вторая ступень приобретет скорость, модуль которой равен:
 - 1) 300 м/с;
 - 2) 270 м/с;
 - 3) 220 м/с;
 - 4) 190 м/с;
 - 5) 150 м/с.

6. Тело массой $m = 1$ кг движется равномерно по окружности со скоростью, модуль которой $v = 2$ м/с. Изменение модуля импульса тела после того, как оно пройдет половину окружности, составит:
- 1) 0; 3) $2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 5) $4 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.
2) $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 4) $2\sqrt{2} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
7. Свободно падающий шарик массой $m = 200$ г ударился о пол со скоростью, модуль которой $v = 5,0$ м/с, и подпрыгнул на высоту $h = 80$ см. Модуль изменения импульса шарика при ударе равен:
- 1) $1,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 3) $1,2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 5) $0,2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.
2) $1,3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 4) $0,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
8. Если шар массой m , двигавшийся со скоростью модулем v , столкнется с неподвижным шаром такой же массы, то в результате абсолютно упругого центрального удара первый шар начнет двигаться со скоростью, модуль которой:
- 1) $-2v$; 3) $-\frac{v}{2}$; 5) $\frac{v}{2}$.
2) $-v$; 4) 0;
9. Два тела массами m_1 и m_2 движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 6,0$ м/с и $v_2 = 2,0$ м/с соответственно. Если после неупругого соударения модули скоростей обоих тел $v = 2,0$ м/с и направлены в сторону движения первого тела, то отношение их масс $\frac{m_1}{m_2}$ равно:
- 1) 4,0; 3) 1,4; 5) $\frac{1}{3}$.
2) 3,0; 4) 1,0;
10. Чтобы сцепить три одинаковых вагона, стоящих на рельсах на небольшом расстоянии друг от друга, первому сообщают скорость, модуль которой $v = 3$ м/с. После сцепления модуль скорости вагонов станет равен:
- 1) 9 м/с; 3) 1 м/с; 5) 0,3 м/с.
2) 6 м/с; 4) 0,7 м/с;

Тест А2

- Шарик массой $m = 10$ г, летящий перпендикулярно стенке со скоростью, модуль которой $v = 2$ м/с, ударяется о стенку без потери скорости. Модуль изменения импульса шарика за время удара равен:
1) $0,01 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$; 3) $0,04 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$; 5) 0.
2) $0,02 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$; 4) $0,08 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$;
- Из орудия в горизонтальном направлении вылетает снаряд со скоростью, модуль которой $v = 500$ м/с. Если модуль силы трения $F_{\text{тр}} = 4500$ Н, масса орудия $m = 1500$ кг, масса снаряда $m_1 = 12$ кг, то расстояние, на которое откатится орудие, равно:
1) 1,3 м; 3) 2,7 м; 5) 5,5 м.
2) 1,8 м; 4) 3,4 м;
- На тело в течение времени $t = 10$ с действует постоянная сила модулем $F = 50$ Н. Если модуль изменения скорости в результате действия силы $\Delta v = 5,0$ м/с, то масса тела равна:
1) 25 кг; 3) 100 кг; 5) 250 кг.
2) 50 кг; 4) 200 кг;
- Два шара движутся по гладкой горизонтальной плоскости вдоль одной прямой навстречу друг другу. Первый шар имеет массу $m_1 = 1,0$ кг и скорость, модуль которой $v_1 = 4,0$ м/с, а второй — массу $m_2 = 2,0$ кг и скорость, модуль которой $v_2 = 3,0$ м/с. Происходит упругий центральный удар. Модуль скорости второго шара после удара равен:
1) 0,10 м/с; 3) 0,86 м/с; 5) 2,9 м/с.
2) 0,30 м/с; 4) 1,7 м/с;
- Если горизонтально летящая пуля массой m , застревая в подвешенном на нити теле такой же массы, сообщает ему модуль скорости v , то при увеличении массы тела в $n = 2$ раза та же пуля при тех же условиях сообщит ему скорость, модуль которой равен:
1) $\frac{v}{3}$; 2) $\frac{v}{2}$; 3) $\frac{2v}{3}$; 4) $\frac{3v}{4}$; 5) $\frac{3v}{2}$.
- Если два тела, летящие навстречу друг другу со скоростями, модуль каждой из которых $v = 5$ м/с, после абсолютно неупругого удара стали двигаться со скоростью, модуль которой $u = 2,5$ м/с, то отношение масс этих тел составляет:
1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) 5.

7. Тело брошено под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью, модуль которой $v = 20$ м/с. Модуль импульса тела при броске больше модуля импульса в верхней точке траектории:
- 1) в 1,0 раза; 3) в 2,0 раза; 5) в 3,7 раза.
2) в 1,2 раза; 4) в 2,9 раза;
- 8*. Если тело массой m_1 сталкивается с покоящимся телом массой m_2 и угол между векторами скоростей тел после абсолютно упругого удара составляет $\alpha = 90^\circ$, то отношение масс тел $\frac{m_1}{m_2}$ равно:
- 1) 1; 2) $\sqrt{2}$; 3) 2; 4) 3; 5) 4.
9. Изменение модуля импульса шарика массой m , упавшего на горизонтальную плиту с высоты H и подпрыгнувшего на высоту h , в момент удара составило:
- 1) $m\sqrt{2gH + 2gh}$; 4) $m(\sqrt{2gH} - \sqrt{2gh})$;
2) $m\sqrt{2gH - 2gh}$; 5) $m(\sqrt{2gH} + \sqrt{2gh})$.
3) $m\sqrt{gH + gh}$;
- 10*. Шарик летит перпендикулярно стенке со скоростью по модулю v . Стенка движется навстречу шарика со скоростью, модуль которой u . После упругого удара о стенку модуль скорости шарика будет равен:
- 1) $v + 2u$; 3) $v - 2u$; 5) $v + u$.
2) $2v + u$; 4) $2(v + u)$;

Тест В1

1. Мальчик, бегущий со скоростью, модуль которой $v_1 = 4,0$ м/с, догоняет тележку, движущуюся со скоростью модулем $v_2 = 3,0$ м/с, и вскакивает на нее. Масса мальчика $m_1 = 50$ кг, масса тележки $m_2 = 80$ кг. Модуль скорости тележки в тот момент, когда мальчик вскочил на нее, составляет ... м/с.
2. Автомат выпускает пули с частотой $\nu = 600$ мин⁻¹. Масса каждой пули $m = 4,0$ г, модуль начальной скорости $v = 500$ м/с. Модуль средней силы отдачи при стрельбе составляет ... Н.
3. Частицы массами $m_1 = 4,0$ и $m_2 = 6,0$ г со скоростями, модули которых $v_1 = 2,0$ м/с и $v_2 = 1,0$ м/с, движутся взаимно перпендикулярно. При столкновении частиц происходит неупругий удар, в результате которого частицы начинают двигаться вместе. Модуль скорости частиц после удара составит ... м/с.

4. Снаряд, летящий со скоростью, модуль которой $v_0 = 100$ м/с, в верхней точке траектории на высоте $h = 100$ м разорвался на две части массами $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 1,5$ кг. Модуль скорости большего осколка $v_2 = 250$ м/с и совпадает по направлению с \vec{v}_0 . Расстояние между точками падения обоих осколков составляет ... км.
5. Человек, находящийся в лодке, переходит с носа на корму. Если длина лодки составляет $l = 3,0$ м, масса человека $m = 60$ кг, а масса лодки $M = 120$ кг, то лодка переместится на расстояние ... м.
6. Тележка массой $m_1 = 120$ кг движется по рельсам без трения со скоростью, модуль которой $v_1 = 6,0$ м/с. С тележки соскакивает человек массой $m_2 = 80$ кг под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению ее движения в горизонтальной плоскости. Если модуль скорости тележки уменьшается при этом до $u_1 = 5,0$ м/с, то модуль скорости человека относительно земли во время прыжка равен ... м/с.
- 7*. Два человека массами $m_1 = 70$ кг и $m_2 = 80$ кг стоят друг против друга на роликовых коньках. Первый человек бросает второму груз массой $m = 10$ кг с горизонтальной скоростью, модуль которой $v = 5,0$ м/с относительно земли. Отношение модулей скоростей, которые приобретут оба человека, составит $n = \frac{v_1}{v_2}$, где n равно
8. Граната, летевшая горизонтально со скоростью, модуль которой $v = 10$ м/с, разорвалась на две части массами $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 1,5$ кг. Если скорость большего осколка осталась горизонтальной и модуль ее $v_2 = 26$ м/с, то модуль скорости меньшего осколка составляет ... м/с.
9. К неподвижному аэростату массой $M = 1140$ кг привязана веревочная лестница, на которой стоит человек массой $m = 60$ кг. Если человек начнет подниматься по лестнице с постоянной по модулю скоростью $v = 1,0$ м/с относительно лестницы, то аэростат будет перемещаться со скоростью, модуль которой равен ... см/с.
10. Тело массой $m = 200$ г брошено с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 50$ м/с, под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Модуль изменения импульса тела за время полета равен ... кг · м/с.

Тест В2

1. Конькобежец массой $m_1 = 70$ кг, стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой $m_2 = 3,0$ кг со скоростью, модуль которой $v = 8,0$ м/с. Если коэффициент трения коньков о лед $\mu = 0,020$ ($g = 9,8$ м/с²), то конькобежец откатится на расстояние ... см.

2. Тело массой $m_1 = 2,0$ кг движется навстречу второму телу массой $m_2 = 1,5$ кг и неупруго сталкивается с ним. Модули скоростей тел непосредственно перед ударом $v_1 = 1,0$ м/с и $v_2 = 2,0$ м/с. Если коэффициент трения $\mu = 0,050$, то тела после удара будут двигаться в течение времени ... с.
3. Частицы 1 и 2 имеют одинаковую массу m и скорости, модули которых $v_1 = 3$ м/с и $v_2 = 4$ м/с. Скорости частиц направлены взаимно перпендикулярно. Если в результате удара первая частица останавливается, то модуль скорости второй частицы после удара будет равен ... м/с.
4. Снаряд в верхней точке траектории имеет скорость, модуль которой $v = 12$ м/с. Снаряд разорвался на две части массами $m_1 = 10$ кг и $m_2 = 5,0$ кг. Модуль скорости большего осколка $v_2 = 25$ м/с и скорость направлена под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту вниз и вперед. Величина скорости меньшего осколка составляет ... м/с.
5. Тележка с песком массой $M = 16$ кг движется по горизонтальным рельсам со скоростью, модуль которой $v = 5,0$ м/с. Камень, падающий с высоты $h = 10$ м, массой $m = 4,0$ кг попадает в песок и движется вместе с тележкой. Модуль скорости тележки после падения камня будет равен ... м/с.
6. Два рыбака сидят в неподвижной лодке на расстоянии $l = 5,0$ м друг от друга. Масса лодки $M = 280$ кг, массы рыбаков $m_1 = 70$ кг и $m_2 = 140$ кг. Если рыбаки поменяются местами, лодка сместится на ... см.
7. Ракета, масса которой без топлива составляет $M = 400$ г, при сгорании топлива поднимается на высоту $h = 125$ м. Масса топлива $m = 50$ г. Если сгорание происходит мгновенно, то модуль скорости выхода газов из ракеты составляет ... км/с.
- 8*. Космонавт массой $m = 90$ кг приближается к космическому кораблю массой $M = 1900$ кг с помощью троса длиной $l = 100$ м. До момента сближения с кораблем космонавт пройдет путь, равный ... м.
- 9*. Струя воды падает перпендикулярно на стенку и стекает с нее. Если модуль скорости течения воды в струе $v = 10,0$ м/с, то давление, оказываемое водой на стенку, составляет ... кПа.
10. Гидрореактивный (водомерный) катер всасывает и выбрасывает ежесекундно забортную воду объемом $V = 0,500$ м³. Если модуль скорости выбрасываемой воды относительно катера $v = 25,0$ м/с, то модуль реактивной силы составляет ... кН.

§ 7. Механическая работа. Мощность. Энергия

Механическая работа характеризует процесс обмена энергией между взаимодействующими телами.

Работа силы — это физическая скалярная величина, равная произведению модулей силы F , перемещения Δr и косинуса угла α между направлениями силы и перемещения (если сила не изменяется в процессе движения):

$$A = F\Delta r \cos \alpha.$$

Единица измерения работы 1 Дж (джоуль), $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}$. При равноускоренном прямолинейном движении

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

где v_1 и v_2 — модули начальной и конечной скоростей.

Работа силы тяжести (при небольших расстояниях от поверхности Земли) $A = mg(h_1 - h_2)$, где h_1 и h_2 — начальная и конечная высоты.

Работа силы упругости

$$A = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2),$$

где k — жесткость пружины; x_1 и x_2 — координаты начального и конечного положений.

Работа силы трения скольжения

$$A_{\text{тр}} = -\mu mg\Delta r,$$

где μ — коэффициент трения скольжения; Δr — модуль перемещения тела.

Мощность характеризует быстроту совершения работы.

Средняя мощность $\langle P \rangle = \frac{A}{\Delta t} = F\langle v \rangle \cos \alpha$ (для постоянной силы), где

$\langle v \rangle$ — модуль средней скорости тела; α — угол между направлением силы и скорости.

Мощность измеряется в ваттах (Вт), $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3}$. Мгно-

венная мощность $P = Fv \cos \alpha$, где v — модуль мгновенной скорости.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{з}}},$$

где $A_{\text{п}}$ и $A_{\text{з}}$ — полезная и затраченная работы, совершенные машиной за некоторый промежуток времени; $P_{\text{п}}$ и $P_{\text{з}}$ — аналогично полезная и затраченная мощности за тот же промежуток времени.

Механическая энергия W — скалярная величина, характеризующая способность тела совершать работу.

Кинетическая энергия $W_{\text{к}}$ — энергия, обусловленная движением тела. Если тело массой m движется поступательно со скоростью, модуль которой v , то

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Теорема о кинетической энергии. Работа внешних сил, приложенных к телу, равна изменению кинетической энергии тела:

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

Потенциальная энергия определяется взаимным расположением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.

Потенциальная энергия тела массой m , поднятого на высоту h над поверхностью земли,

$$W_{\text{п}} = mgh.$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела

$$W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2},$$

где x — величина линейной деформации тела.

Работа силы тяжести A_1 и силы упругости A_2 равна убыли потенциальной энергии тела:

$$A_1 = -(mgh_2 - mgh_1), \quad A_2 = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right).$$

Тест А1

1. Потенциальная энергия упруго деформированного тела определяется по формуле:

1) $W = \frac{k\Delta l}{2};$

3) $W = k\Delta l^2;$

5) $W = -k\Delta l.$

2) $W = k\Delta l;$

4) $W = \frac{k\Delta l^2}{2};$

2. Груз массой $m = 50$ кг поднят при помощи каната вертикально вверх за время $t = 2,0$ с на высоту $h = 10$ м. Работа, совершаемая силой натяжения каната, равна:
- 1) 2,5 кДж; 4) 10 кДж;
2) 5,0 кДж; 5) ответ зависит от характера движения.
3) 7,5 кДж;
3. Уравнение движения тела массой $m = 2,0$ кг имеет вид $x = 3,0 + 2,0t + 1,0 \cdot t^2$. Кинетическая энергия тела через время $t = 1,0$ с равна:
- 1) 4,0 Дж; 3) 16 Дж; 5) 32 Дж.
2) 8,0 Дж; 4) 18 Дж;
4. Самолет поднимается и на высоте $h = 5,0$ км достигает скорости, модуль которой $v = 360$ км/ч. Работа, совершаемая при подъеме самолета против силы тяжести, больше работы, идущей на увеличение скорости самолета:
- 1) в 2,5 раза; 3) в 10 раз; 5) в 36 раз.
2) в 5,0 раза; 4) в 20 раз;
5. Динамометр, рассчитанный на измерение модуля силы до $F = 40$ Н, имеет пружину с жесткостью $k = 500$ Н/м. Чтобы растянуть пружину от середины шкалы до последнего деления, необходимо совершить работу:
- 1) 0,60 Дж; 3) 2,4 Дж; 5) 3,6 Дж.
2) 1,2 Дж; 4) 2,8 Дж;
6. Тело брошено вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 10$ м/с. Кинетическая энергия тела станет равна нулю на высоте, равной:
- 1) 2,0 м; 3) 10 м; 5) 20 м.
2) 5,0 м; 4) 15 м;
7. Средняя мощность силы тяжести за пятую секунду свободного падения тела массой $m = 1,00$ кг составляет:
- 1) 50,0 Вт; 3) 330 Вт; 5) 580 Вт.
2) 210 Вт; 4) 450 Вт;
- 8*. Насос поднимает воду на поверхность земли с глубины $h = 18,0$ м за время $t = 30,0$ мин. Если мощность насоса $P = 10,0$ кВт, то объем поднятой воды равен:
- 1) 10,0 м³; 3) 100 м³; 5) 200 м³.
2) 50,0 м³; 4) 120 м³;
9. На горизонтальном участке пути длиной $L = 2,0$ км модуль скорости поезда массой $m = 800$ т увеличился от $v_1 = 54$ до $v_2 = 72$ км/ч.

Коэффициент трения $\mu = 0,0050$. Средняя мощность, развиваемая паровозом на этом участке, равна:

- 1) 0,76 МВт; 3) 1,3 МВт; 5) 2,6 МВт.
2) 0,82 МВт; 4) 1,7 МВт;

10. Грузовики, снабженные двигателями мощностью P_1 и P_2 , развивают соответственно модули скоростей v_1 и v_2 . Если грузовики соединить тросом, то модуль скорости грузовиков будет равен:

- 1) $\frac{(P_1 - P_2)v_1 v_2}{P_1 v_2 + P_2 v_1}$; 3) $\frac{(P_1 + P_2)v_1 v_2}{P_1 v_1 + P_2 v_2}$; 5) $\frac{(P_1 - P_2)v_1 v_2}{P_1 v_2 - P_2 v_1}$.
2) $\frac{(P_1 + P_2)v_1 v_2}{P_1 v_2 - P_2 v_1}$; 4) $\frac{(P_1 + P_2)v_1 v_2}{P_1 v_2 + P_2 v_1}$;

Тест А2

1. Чтобы лежащий на земле однородный стержень длиной $l = 2,0$ м и массой $m = 100$ кг поставить вертикально, необходимо совершить работу:

- 1) 0,50 кДж; 3) 2,0 кДж; 5) 20 кДж.
2) 1,0 кДж; 4) 4,0 кДж;

2. Вагонетка с рудой скатывается равномерно по наклонной эстакаде длиной $l = 15,0$ м и высотой $h = 300$ см. Коэффициент трения $\mu = 0,204$. Отношение модулей работ силы тяжести и силы трения при этом составляет:

- 1) 0,3; 3) 1; 5) 5.
2) 0,5; 4) 2;

3. На земле лежат пять кирпичей. Высота каждого из них $l = 60$ мм, масса $m = 4,0$ кг. Чтобы уложить все кирпичи один на другой, необходимо совершить минимальную работу:

- 1) 8,0 Дж; 3) 24 Дж; 5) 40 кДж.
2) 16 Дж; 4) 32 Дж;

4. Для растяжения пружины на $\Delta l_1 = 4,0$ см необходимо совершить работу $A_1 = 2,0$ Дж. Чтобы растянуть четыре такие пружины на $\Delta l_2 = 2,0$ см, если их соединить параллельно, необходимо совершить работу:

- 1) 2,0 Дж; 3) 8,0 Дж; 5) 24 Дж.
2) 4,0 Дж; 4) 16 Дж;

5. Вагон массой $m = 40$ т, движущийся со скоростью, модуль которой $v = 2,0$ м/с, в конце запасного пути ударяется о пружинный амортиза-

- тор. Если коэффициент жесткости пружины $k = 225$ кН/м, то вагон сожмет ее на:
- 1) 42 см; 3) 84 см; 5) 1,7 м.
2) 63 см; 4) 1,3 м;
6. Мяч, летящий горизонтально со скоростью, модуль которой $v_1 = 10$ м/с, отбрасывается ударом ракетки в противоположную сторону со скоростью, модуль которой $v_2 = 20$ м/с. Если кинетическая энергия мяча изменилась при этом на $\Delta W = 10$ Дж, то модуль изменения его импульса составит:
- 1) $0,30 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$; 3) $1,0 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$; 5) $4,0 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$.
2) $0,70 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$; 4) $2,0 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$;
7. Чтобы из колодца глубиной $h = 10$ м поднять на тросе ведро с водой массой $m = 8,0$ кг, надо совершить минимальную работу (масса одного метра троса равна $0,40$ кг/м):
- 1) 0,50 кДж; 3) 1,6 кДж; 5) 3,2 кДж.
2) 1,0 кДж; 4) 2,0 кДж;
8. Самолет, мощность двигателей которого составляет $P = 3000$ кВт, при модуле силы тяги $F = 4,5$ кН пролетел расстояние $s = 360$ км за $t = 30$ мин. КПД двигателей самолета составляет:
- 1) 14 %; 3) 30 %; 5) 61 %.
2) 22 %; 4) 38 %;
- 9*. Над Землей неподвижно висит ракета массой M . Если модуль скорости истечения газов равен u , то мощность двигателя ракеты составляет:
- 1) $0,25Mgu$; 3) $2Mgu$; 5) $5Mgu$.
2) $0,5Mgu$; 4) $4Mgu$;
10. На тело массой $m = 1$ кг в течение времени $t = 2$ с действует сила, модуль которой $F = 1$ Н. Если начальная кинетическая энергия тела равна нулю, то его конечная кинетическая энергия составит:
- 1) 6 Дж; 3) 2 Дж; 5) 0,5 Дж.
2) 4 Дж; 4) 1 Дж;

Тест В1

1. На балкон, расположенный на высоте $h = 6,0$ м, бросили с поверхности земли тело массой $m = 200$ г. За время полета тело достигло максимальной высоты $H = 8,0$ м от поверхности земли. Работа силы тяжести при полете тела равна ... Дж.

2. Кубик массой $m = 100$ г имеет ребро $a = 20$ см. Чтобы перевернуть кубик на боковую грань, необходимо совершить минимальную работу ... мДж.
- 3*. Шарик массой $m = 100$ г, подвешенный на нити длиной $l = 100$ см, раскрутили так, что он начинает двигаться по окружности в горизонтальной плоскости. Если при движении нить образует с вертикалью угол $\alpha = 60,0^\circ$, то работа по раскручиванию шарика равна ... Дж.
4. Две пружины с жесткостями $k_1 = 300$ Н/м и $k_2 = 500$ Н/м соединены последовательно и растянуты так, что растяжение второй пружины составляет $\Delta l_2 = 30$ мм. При этом была совершена работа ... Дж.
5. Железнодорожный вагон массой $m = 20$ т надвигается на упор со скоростью, модуль которой $v = 0,20$ м/с. Обе буферные пружины вагона сжимаются на $\Delta l = 4,0$ см каждая. Модуль максимального значения силы, действующей на каждую пружину, составляет ... кН.
6. Двигатель подъемного крана мощностью $P = 32$ кВт равномерно поднимает груз со скоростью, модуль которой $v = 4,8$ м/с. Коэффициент полезного действия крана $\eta = 78\%$. Наибольшая масса груза, который может поднять кран при этих условиях, составляет ... т.
7. Автомобиль массой m , начиная движение, разгоняется до скорости, равной по модулю v . Отношение работы A_1 , совершенной двигателем автомобиля при разгоне от скорости, равной по модулю $\frac{v}{2}$, до скорости, равной по модулю v , к работе A_2 при разгоне от $v_1 = 0$ до модуля скорости $\frac{v}{2}$ составляет
8. Если тело брошено под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 20$ м/с, то потенциальная энергия тела на максимальной высоте подъема больше его кинетической энергии в этой же точке в ... раз (раза).
9. Автомобиль массой $m = 2,0$ т трогается с места и движется с постоянным ускорением, модуль которого $a = 0,50$ м/с². Коэффициент трения $\mu = 0,10$. Мгновенная мощность, развиваемая автомобилем на участке пути, на котором модуль его скорости $v = 15$ м/с, составляет ... кВт.
- 10*. КПД двигателя мотодельтаплана массой $m = 200$ кг при горизонтальном полете со скоростью, модуль которой $v = 72$ км/ч, $\eta = 40\%$.

Если отношение модуля подъемной силы дельтаплана к модулю силы лобового сопротивления $n = 5$, то мощность его двигателя составляет ... кВт.

Тест В2

1. Тело массой $m = 100$ г, брошенное вертикально вниз с высоты $h = 20$ м со скоростью, модуль которой $v_0 = 10$ м/с, упало на землю со скоростью, модуль которой $v = 20$ м/с. Работа по преодолению силы сопротивления воздуха за время полета тела составила ... Дж.
2. Из шахты глубиной $h = 200$ м поднимают груз массой $m = 0,50$ т на канате, каждый метр которого имеет массу $m_1 = 1,5$ кг. КПД установки равен ... %.
3. К нижнему концу невесомой пружины, подвешенной вертикально, присоединена другая невесомая пружина, к концу которой прикреплен груз. Жесткости пружин $k_1 = 800$ Н/м² и $k_2 = 400$ Н/м² соответственно. Отношение потенциальных энергий $\frac{W_{п1}}{W_{п2}}$ этих пружин составляет
4. Тело движется горизонтально и ускоренно. Если отношение модуля изменения импульса к модулю начального импульса тела $n = 50,0$ %, то отношение изменения его кинетической энергии к начальной кинетической энергии составит ... %.
5. Модуль начальной скорости пули $v_0 = 600$ м/с, масса $m = 10$ г. Если ее кинетическая энергия в высшей точке траектории $W_k = 450$ Дж, то пуля вылетела из ружья под углом к горизонту, который равен ... град.
6. Камень массой $m = 5,0$ кг упал с некоторой высоты без начальной скорости за время $t = 2,0$ с. Кинетическая энергия камня в средней точке пути равна ... кДж.
7. Для откачки нефти из скважины глубиной $h = 500$ м установлен насос мощностью $P = 10$ кВт. Коэффициент полезного действия насоса $\eta = 80$ %. Максимальная добыча нефти за время $t = 5,0$ ч работы насоса составляет ... т.
8. Если коэффициент сопротивления движению $\mu = 0,0027$, масса состава $m = 1500$ т, то максимальный подъем ($\sin \alpha = \dots$), который может преодолеть паровоз мощностью $P = 368$ кВт, двигая состав со скоростью, модуль которой $v = 7,2$ км/ч, равен ... (полученное значение умножьте на 100).

9. Самолет при взлете должен иметь скорость, модуль которой $v = 25$ м/с. Длина пробега перед взлетом $s = 100$ м, масса самолета $m = 1000$ кг, коэффициент сопротивления движению $\mu = 0,020$. Движение самолета можно считать равноускоренным. Мощность двигателей самолета при взлете должна составить ... кВт.
10. На горизонтальном столе лежит брусок массой $m = 2,0$ кг, к которому прикреплена пружина жесткостью $k = 100$ Н/м. Ко второму концу пружины приложили горизонтальную силу. Коэффициент трения бруска о стол $\mu = 0,50$. К моменту, когда брусок начнет скользить по столу, сила совершит работу ... Дж.

§ 8. Закон сохранения энергии

Механическая энергия — это сумма кинетической и потенциальной энергий:

$$W = \frac{mv^2}{2} + mgh = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}.$$

Работа силы сопротивления:

$$A_{\text{с}} = W_2 - W_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 - \frac{mv_1^2}{2} - mgh_1.$$

Если силы сопротивления отсутствуют, то полная механическая энергия системы тел, взаимодействующих силами тяготения и упругости, есть величина постоянная.

В общем случае изменение механической энергии ΔW равно сумме работ A всех сил, действующих на тело: $\Delta W = A$.

Тест А1

1. Если тело массой $m = 2,0$ кг разогнать из состояния покоя до скорости, модуль которой $v = 4,0$ м/с, то при этом будет совершена механическая работа, равная:
- 1) 2,0 Дж; 3) 8,0 Дж; 5) 32 Дж.
2) 4,0 Дж; 4) 16 Дж;
2. Пружина детского пистолета жесткостью $k = 10$ Н/см имеет длину $l_0 = 15$ см. Шарик массой $m = 10$ г, выпущенный из пистолета вертикально вверх, если его пружина была сжата до $l = 50$ мм, взлетит на высоту:
- 1) 10 м; 3) 50 м; 5) 200 м.
2) 25 м; 4) 100 м;

3. Потенциальная энергия тела массой $m = 200$ г, брошенного вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 30$ м/с, через время $t = 2,0$ с после бросания равна:
- 1) 12 Дж; 3) 68 Дж; 5) 90 Дж.
2) 22 Дж; 4) 80 Дж;
4. Тело массой $m = 1,0$ кг брошено с вышки в горизонтальном направлении со скоростью, модуль которой $v_0 = 20$ м/с, и через время $t = 6,0$ с упало на землю. Кинетическая энергия тела в момент удара тела о землю будет равна:
- 1) 1,0 кДж; 3) 2,0 кДж; 5) 4,0 кДж.
2) 1,4 Дж; 4) 2,8 кДж;
5. Кинетическая энергия системы в начальном состоянии равна нулю. Если при переводе системы в конечное состояние внешними силами совершена работа $A = 11$ Дж, а потенциальная энергия системы уменьшилась на $\Delta W = 3,0$ Дж, то ее кинетическая энергия в конечном состоянии составляет:
- 1) 3,0 Дж; 3) 11 Дж; 5) 33 Дж.
2) 8,0 Дж; 4) 14 Дж;
6. На некоторой высоте модуль скорости планера $v_1 = 10$ м/с. При снижении планера на высоту $\Delta h = 40$ м модуль его скорости составит:
- 1) 90 м/с; 3) 30 м/с; 5) 60 м/с.
2) 25 м/с; 4) 45 м/с;
7. Тело массой $m = 1,0$ кг, брошенное вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 20$ м/с, достигло верхней точки траектории за время $t = 1,9$ с. Работа силы тяжести при этом составит:
- 1) 95 Дж; 3) $-0,19$ кДж; 5) $-0,20$ кДж.
2) -95 Дж; 4) $0,19$ кДж;
8. На тело массой $m = 1,0$ кг в течение времени $t = 2,0$ с действует сила, модуль которой $F = 1,0$ Н. Если начальная кинетическая энергия тела равна нулю, то его конечная кинетическая энергия составит:
- 1) 1,0 Дж; 3) 2,0 Дж; 5) 8,0 Дж.
2) 1,4 Дж; 4) 4,0 Дж;
9. Тело массой $m = 1,0$ кг, брошенное под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, достигло максимальной высоты $h = 5,0$ м. Работа, совершенная при бросании тела, равна:
- 1) 0,10 кДж; 3) 0,25 кДж; 5) 0,80 кДж.
2) 0,20 кДж; 4) 0,40 кДж;

- Если коэффициент трения на всем пути $\mu = 0,100$, то путь, пройденный телом во время движения, составит:
- 1) 8,00 м; 3) 20,5 м; 5) 32,0 м.
2) 16,2 м; 4) 24,4 м;
7. Камень массой $m = 5,0$ кг упал без начальной скорости с некоторой высоты за время $t = 2,0$ с. Кинетическая энергия камня в средней точке пути равна:
- 1) 0,10 кДж; 3) 0,50 кДж; 5) 1,0 кДж.
2) 0,25 кДж; 4) 0,75 кДж;
8. Тело движется горизонтально. Если модуль изменения импульса тела $\eta = 50,0$ % от начального модуля импульса, то отношение модуля изменения его кинетической энергии к начальной кинетической энергии составит:
- 1) 75,0 %; 3) 50,0 %; 5) 10,0 %.
2) 60,0 %; 4) 25,0 %;
9. Два шара массами $m_1 = 1,0$ кг и $m_2 = 3,0$ кг движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 4,0$ м/с и $v_2 = 8,0$ м/с соответственно. Количество теплоты, выделившееся после абсолютно неупругого столкновения шаров, составит:
- 1) 10 Дж; 3) 27 Дж; 5) 54 Дж.
2) 18 Дж; 4) 36 Дж;
10. Два одинаковых шара, один из которых неподвижен, а другой движется с постоянной скоростью, упруго сталкиваются и разлетаются. Угол между векторами скоростей шаров после удара составит:
- 1) 30°; 3) 90°; 5) 0.
2) 45°; 4) 180°;

Тест В1

1. Пуля массой $m = 10$ г попадает в дерево толщиной $d = 10$ см, имея скорость, модуль которой $v_0 = 400$ м/с. Пробив дерево, пуля вылетает из него со скоростью, модуль которой $v = 200$ м/с. Модуль силы сопротивления, действовавшей на пулю, равен ... кН.
2. Кинетическая энергия тела массой $m = 200$ г, брошенного горизонтально с высоты $h = 100$ м со скоростью, модуль которой $v_0 = 30,0$ м/с, через время $t = 2,00$ с после бросания равна ... Дж.
3. С вершины клина скользит тело массой $m = 0,50$ кг. Высота клина $h = 46$ см, масса $M = 2,0$ кг, угол при основании клина $\alpha = 60^\circ$. Клинь

гладкий и находится на гладкой горизонтальной плоскости. Модуль скорости клина в момент, когда тело окажется у его основания, составит ... см/с.

4. Тело массой $m = 400$ г брошено под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту с начальной скоростью, модуль которой $v_0 = 10$ м/с. Минимальная кинетическая энергия тела во время полета составит ... Дж.
- 5*. Два шара подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. Первый шар отводят из положения равновесия и отпускают. После упругого удара шары поднимаются на одинаковую высоту. Если масса первого шара $m_1 = 0,30$ кг, то масса второго равна ... кг.
- 6*. На покоящийся шар налетает такой же шар со скоростью, модуль которой $v = 10$ м/с. Разлетаются шары под прямым углом. Если масса каждого шара $m = 1$ кг, то в результате столкновения выделится количество теплоты, равное ... Дж.
7. Два шара массами m и $2m$ движутся по взаимно перпендикулярным направлениям с равными по величине скоростями. После соударения тело массой m останавливается. Выделившаяся при ударе теплота составляет часть энергии первого шара ... %.
8. Пуля, летящая горизонтально со скоростью, модуль которой v_0 , попадает в две доски одинаковой толщины, расположенные вплотную. Пробив две доски, пуля продолжает лететь со скоростью, модуль которой $v = 0,6v_0$. Если сложить несколько таких досок, то пуля застрянет в доске, равной по счету
9. Если неподвижная частица распадается на две движущиеся частицы массами $3m$ и $6m$, то их суммарная кинетическая энергия превышает кинетическую энергию частицы массой $6m$ в ... раз (раза).
10. В шар массой $M = 5,0$ кг, подвешенный на нити длиной $l = 49$ см, попадает горизонтально летящая пуля массой $m = 20$ г. Модуль скорости пули $v_0 = 1000$ м/с. Если, пробив шар, пуля продолжит движение в том же направлении со скоростью, модуль которой $v = 500$ м/с, то шар отклонится от вертикали на угол, равный ... град.

Тест В2

1. Пружину, составленную из двух одинаковых параллельно соединенных пружин жесткостью $k = 3000$ Н/м каждая, растянули на $\Delta l = 10$ мм. При этом была совершена работа ... Дж.

2. Тело массой $m = 10$ кг брошено вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v_0 = 20$ м/с. Если на преодоление сопротивления расходуется $\eta = 10\%$ всей его энергии, то потенциальная энергия тела в наивысшей точке подъема составит ... кДж.
3. С покоящимся на горизонтальной поверхности шаром упруго сталкивается шар в $n = 5$ раз большей массы. Удар центральный. Скорость легкого шара после удара больше скорости тяжелого шара в ... раз (раза).
4. При неупругом столкновении шара массой $2m$ с покоящимся шаром массой $3m$ в тепло превратится часть кинетической энергии первого шара, равная ... %.
5. Для того чтобы разогнать тело из состояния покоя до модуля скорости $2v$ с постоянным по модулю ускорением, необходимо совершить работу $A = 100$ Дж. Для того чтобы увеличить модуль скорости этого тела от $2v$ до $4v$, необходима работа, равная ... Дж.
6. Два тела массами $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 5$ кг движутся навстречу друг другу с одинаковыми по модулю импульсами. Если модуль скорости первого тела до удара $v_1 = 3$ м/с, то его кинетическая энергия после неупругого удара составит ... Дж.
7. Санки движутся со скоростью, модуль которой $v = 10$ м/с, и начинают подниматься в гору с углом наклона $\alpha = 11^\circ$. Известно, что на горизонтальном участке с тем же коэффициентом трения и при том же модуле начальной скорости санки проходят путь 10 м. Путь, пройденный санками до полной остановки, составит ... м.
- 8*. Два пластилиновых шарика, массы которых относятся как $m_1 : m_2 = 1 : 3$, подвешены на нитях одинаковой длины и касаются друг друга. Шарики симметрично разводят в разные стороны и отпускают. При ударе шариков в теплоту перейдет часть механической энергии ... %.
9. Тело массой $m_1 = 5$ кг ударяется о другое неподвижное тело массой $m_2 = 2,5$ кг, которое после удара начинает двигаться с кинетической энергией $W_2 = 5$ Дж. Удар центральный и упругий. Модуль скорости первого тела в результате удара изменился на ... м/с.
10. К одному из концов нити длиной $l = 1,0$ м подвешен груз массой $m = 1,0$ кг. Другой конец нити закреплен неподвижно. Чтобы при прохождении груза через положение равновесия модуль силы натяжения нити был $F = 15$ Н, его следует отвести на высоту ... см.

§ 9. Статика

Сохранение телом состояния покоя или равномерного прямолинейного движения называется **равновесием тела**. Условия, при которых тело покоится или равномерно движется, называют *условиями равновесия*.

Момент силы — физическая величина, равная произведению силы на ее плечо:

$$M = Fl,$$

где l — плечо силы.

Плечо силы — это расстояние от оси вращения до линии действия силы. Положительным считается момент силы, вызывающий вращение тела по часовой стрелке, отрицательным — против.

■ Условия равновесия твердого тела

1) Геометрическая сумма действующих на тело сил должна быть равна нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0.$$

2) Алгебраическая сумма моментов сил относительно возможных осей вращения должна быть равна нулю:

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n = 0.$$

■ Виды равновесия

Различают устойчивое, неустойчивое и безразличное равновесие.

Равновесие тела в некотором положении называется **устойчивым**, если при любых малых отклонениях тела от этого положения возникают силы или моменты сил, стремящихся возвратить тело в исходное состояние.

Равновесие тела в некотором положении называется **неустойчивым**, если хотя бы при некоторых малых отклонениях тела от этого положения возникают силы или моменты сил, стремящиеся еще больше отклонить тело от начального положения.

Равновесие тела в некотором положении называется **безразличным**, если при любых малых отклонениях тела от этого положения не возникает сил или моментов сил, стремящихся возвратить тело в начальное положение или еще более удалить тело от начального положения. Состояние устойчивого равновесия соответствует минимальному значению потенциальной энергии тела.

Центром тяжести тела называется точка приложения равнодействующей всех сил тяжести, действующих на отдельные части тела. Для однородного тела центр тяжести совпадает с **центром масс** — точкой, которая движется так, как если бы в ней была сосредоточена вся масса тела и приложены все внешние силы.

Тест А1

1. Если центр тяжести тела расположен выше оси вращения и на одной вертикали, то равновесие, в котором находится тело, является:
 - 1) устойчивым;
 - 2) неустойчивым;
 - 3) безразличным;
 - 4) ответ зависит от расстояния между центром тяжести и осью вращения;
 - 5) ответ зависит от потенциальной энергии тела.
2. Под каким углом α друг к другу должны действовать на одну и ту же точку две силы, модули которых $F_1 = F_2 = 5,0$ Н, чтобы модуль их равнодействующей F равнялся тоже 5,0 Н?
 - 1) 60° ;
 - 2) 30° ;
 - 3) 45° ;
 - 4) 120° ;
 - 5) такое действие невозможно.
3. Два человека несут бревно длиной $l = 5,00$ м и массой $m = 50,0$ кг. Первый поддерживает бревно на расстоянии $s = 100$ см от его конца, второй — противоположный конец. Модуль силы, с которым бревно действует на второго рабочего, равен:
 - 1) 375 Н;
 - 2) 313 Н;
 - 3) 250 Н;
 - 4) 188 Н;
 - 5) 125 Н.
4. На наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ лежит тело массой $m = 2$ кг. Минимальный коэффициент трения, при котором тело еще покоится, равен:
 - 1) $\frac{1}{\sqrt{2}}$;
 - 2) $\frac{1}{2}$;
 - 3) $\frac{1}{\sqrt{3}}$;
 - 4) $\sqrt{3}$;
 - 5) $\frac{1}{3}$.
5. Если от однородного стержня отрезать кусок длиной $l = 60$ см, то центр тяжести стержня переместится на расстояние, равное:
 - 1) 90 см;
 - 2) 60 см;
 - 3) 30 см;
 - 4) 20 см;
 - 5) 15 см.
6. Гаечным ключом отвинчивают гайку. Длина рукоятки ключа $l = 100$ см. Модуль силы, приложенный под углом $\alpha = 90^\circ$ к концу ру-

коятки, равен F . Если эту же силу приложить к середине ключа, то модуль момента силы изменится в число раз n , равное:

1) 1,0; 2) 1,5; 3) 2,0; 4) 2,5; 5) 5,0.

7. Горизонтальная доска массой $m = 10$ кг подперта на расстоянии $l_1 = \frac{1}{4}$ ее длины. Чтобы доска была в равновесии, к короткому концу

нужно приложить силу, модуль которой равен:

1) 0,20 кН; 3) 67 Н; 5) 25 Н.
2) 0,10 кН; 4) 50 Н;

8. Балка массой $M = 400$ кг имеет длину $l = 4,0$ м и подперта на расстоянии $l_1 = 1,85$ м от конца A . Чтобы балка оставалась в равновесии, человек массой $m = 60$ кг должен стать на расстоянии от конца A :

1) 1,0 м; 3) 0,60 м; 5) 0.
2) 0,85 м; 4) 0,30 м;

9. Система состоит из двух тел массами $M = 3$ кг и $m = 2$ кг, соединенных тонким невесомым стержнем длиной $l = 1$ м. Модуль результирующего момента сил тяжести, действующих на тела системы относительно оси, проходящей через центр тяжести системы, равен:

1) 1 Н·м; 3) 6 Н·м; 5) 0.
2) 5 Н·м; 4) 8 Н·м;

10. Труба массой $m = 120$ кг лежит на земле. Чтобы приподнять трубу за один из ее концов, необходимо приложить силу, модуль которой:

1) 0,30 кН; 3) 0,90 кН; 5) 1,6 кН.
2) 0,60 кН; 4) 1,2 кН;

Тест А2

1. Если в положении равновесия потенциальная энергия тела принимает минимально возможное значение, то такое равновесие является:
- 1) неустойчивым;
 - 2) устойчивым;
 - 3) безразличным;
 - 4) ответ зависит от высоты, на которой находится тело;
 - 5) ответ зависит от положения центра тяжести тела.
2. Центр тяжести плоского треугольника находится:
- 1) в точке пересечения биссектрис;
 - 2) в точке пересечения высот;
 - 3) в точке пересечения медиан;
 - 4) в центре вписанной окружности;
 - 5) в центре описанной окружности.

3. На неподвижное тело массой $m = 6,0$ кг действуют три силы: сила тяжести $\vec{F}_{\text{тяж}}$, горизонтальная сила, модуль которой $F_2 = 80$ Н, и сила, направленная под некоторым углом к горизонту. Модуль этой силы равен:
- 1) 20 Н; 3) 70 Н; 5) 0,10 кН.
 2) 40 Н; 4) 86 Н;
4. Если масса бруска $m = 5,0$ кг, то модуль минимальной силы, направленной горизонтально, с которой следует прижать плоский брусок к вертикальной стене, чтобы он не соскальзывал вниз, если коэффициент трения $\mu = 0,20$, равен:
- 1) 25 Н; 3) 75 Н; 5) 0,25 кН.
 2) 50 Н; 4) 0,15 кН;
5. Однородная балка массой $m = 200$ кг своими концами лежит на опорах, расстояние между которыми $l = 6,0$ м. На расстоянии $l_1 = 1,0$ м от правой опоры на балке расположен груз весом, модуль которого $P_1 = 3,0$ кН. Модуль силы реакции одной из опор равен:
- 1) 1,0 кН; 3) 3,5 кН; 5) 5,0 кН.
 2) 2,0 кН; 4) 4,0 кН;
6. Шарик массой m подвешен на нити длиной l и отклонен на угол α от вертикали. Модуль момента силы тяжести относительно точки подвеса равен:
- 1) $\frac{mgl}{\sin \alpha}$; 3) $mgl \cdot \cos \alpha$; 5) $mgl \cdot \operatorname{tg} \alpha$.
 2) $mgl \cdot \sin \alpha$; 4) $\frac{mgl}{\cos \alpha}$;
7. Однородный массивный стержень с закрепленными на его концах грузами массами $m_1 = 5,5$ кг и $m_2 = 1,0$ кг находится в равновесии, если его подпереть на расстоянии Δl , равном $\frac{1}{5}$ его длины, от более тяжелого груза. Масса стержня равна:
- 1) 1,0 кг; 3) 3,3 кг; 5) 6,5 кг.
 2) 2,5 кг; 4) 2,3 кг;
8. Два шара радиусами $R = 60$ см и $r = 40$ см и массами $M = 5,0$ кг и $m = 7,0$ кг соединены стержнем длиной $l = 20$ см и массой $m_c = 3,0$ кг. Расстояние от середины стержня до центра тяжести системы составляет:
- 1) 5,0 см; 3) 15 см; 5) 0.
 2) 10 см; 4) 20 см;

9. Однородная балка массой $m = 10$ кг закреплена на оси, делящей ее в отношении 1:3. Модуль силы, приложенной под прямым углом к короткому концу балки и удерживающей ее в горизонтальном положении, составляет:
- 1) 25 Н; 3) 50 Н; 5) 0,10 кН.
2) 33 Н; 4) 67 Н;
10. Два однородных шара радиусами $R = 4,0$ см и $r = 2,0$ см, изготовленные из одного и того же материала, скреплены в точке касания. Центр тяжести системы расположен на расстоянии от точки касания, равном:
- 1) 0,80 см; 3) 3,3 см; 5) 4,0 см.
2) 2,7 см; 4) 3,8 см;

Тест В1

1. К телу приложены две силы, модули которых $F_1 = 7$ Н и $F_2 = 12$ Н. Модуль равнодействующей этих сил будет наибольшим, если угол между силами составляет ... град.
2. Доска массой $m = 16$ кг стоит одним из своих концов на земле и удерживается силой, приложенной ко второму концу и направленной перпендикулярно доске. Если угол между доской и горизонтом $\alpha = 60^\circ$, то модуль силы равен ... Н.
3. На гладкой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 45^\circ$ лежит тело массой $m = 2,0$ кг. Параллельно основанию наклонной плоскости, чтобы тело не двигалось, следует приложить минимальную силу, модуль которой равен ... Н.
4. К гладкой вертикальной стене на нити длиной $l = 4,0$ см подвешен шар массой $m = 1200$ г и радиусом $R = 2,5$ см. Один конец нити закреплен на стене, другой — на поверхности шара. Модуль силы давления шара на стену составляет ... Н.
- 5*. Однородная балка длиной $l = 4$ м подвешена на двух вертикальных тросах разной длины. Длинный трос закреплен за один конец балки, а короткий — на расстоянии $l_1 = 1$ м от второго конца. Модуль силы натяжения короткого троса больше модуля силы натяжения длинного троса в ... раз (раза).
- 6*. При взвешивании на неравновесных рычажных весах тело, находясь на одной чашке весов, было уравновешено грузом массой $m_1 = 300$ г, находясь на другой чашке — грузом массой $m_2 = 400$ г. Масса тела составляет ... г.

- 7*. Лестница опирается о вертикальную стену и горизонтальный пол. Коэффициент трения между стеной и лестницей $\mu_1 = 0,40$, между полом и лестницей — $\mu_2 = 0,50$. Наименьший угол наклона лестницы к полу, при котором она будет находиться в равновесии, составляет ... град.
8. Модуль минимальной силы, с которой необходимо тянуть колесо массой $m = 10,0$ кг и радиусом $R = 50,0$ см за ось вращения, чтобы поднять его на ступеньку высотой $h = 20,0$ см, составляет ... Н.
9. Легкое коромысло длиной $d = 1$ м, закрепленное на оси плечом длиной $l = 25$ см, опирается на пружину жесткостью $k = 1000$ Н/м, а другим плечом — на поплавок массой $m = 1$ кг и объемом $V = 0,002$ м³, полностью погруженный в воду. Деформация x пружины составляет ... см.
10. В однородном диске радиусом $R = 106$ см вырезан квадрат (рис. 9.1). Центр тяжести диска с вырезом будет расположен от его центра (точка O) на расстоянии x , равном ... см.

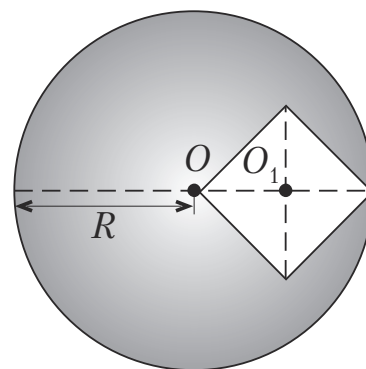


Рис. 9.1

Тест В2

1. Однородный канат массой $m = 10$ кг и длиной $l = 6,0$ м подвешен к потолку. Модуль силы натяжения каната в точке, расположенной на расстоянии $h = 3,0$ м от потолка, составляет ... Н.
2. Однородный цилиндр поставлен на наклонную плоскость с углом наклона $\alpha = \arctg \frac{2}{3}$. Цилиндр еще не опрокинется, если высота h цилиндра будет больше его радиуса R в ... раз (раза). Трение велико и цилиндр не скользит.
3. Невесомый эластичный шнур длиной $l = 1,0$ м подвешен за концы горизонтально в нерастянутом состоянии. Если к середине шнура подвесить груз массой $m = 1,7$ кг, то его длина увеличивается вдвое. Жесткость нерастянутого шнура составляет ... Н/м.
4. Однородный стержень массой $m = 10$ кг и длиной $l = 3,0$ м за концы подвешен к потолку на параллельных нитях длиной $l_1 = 1,0$ м и $l_2 = 2,5$ м. Модуль силы натяжения короткой нити равен ... Н.

5. В ящике находится шар массой $m = 3,0$ кг. Если ящик наклонить так, что его дно составит с полом угол $\alpha = 30^\circ$, то модуль силы давления шара на дно ящика будет равен ... Н.
6. К концам однородного стержня длиной $l = 2,0$ м и весом $P = 40$ Н приложены две силы, направленные параллельно силе тяжести стержня, модули которых: слева $F_1 = 20$ Н, справа $F_2 = 100$ Н. Чтобы стержень остался в равновесии, его следует подпереть на расстоянии x от правого конца ... см.
7. Лом массой $m = 16$ кг и длиной $l = 2,0$ м лежит на ящике шириной $d = 1,0$ м, выступая за его край на $l_1 = 40$ см. Чтобы приподнять длинный конец лома, нужно приложить минимальную силу, модуль которой равен ... Н.
8. Центры трех соприкасающихся шаров расположены на одной прямой. Радиусы шаров относятся как 1:2:3. Радиус меньшего шара $R_1 = 18$ см, плотности шаров одинаковы. Максимальное расстояние от центра меньшего шара до точки, где может находиться центр тяжести системы, составляет ... дм.
9. Однородный прут изогнут пополам так, что его части образуют прямой угол. Прут подвешен за один из концов на шарнире. Угол α , который образует с вертикалью верхний стержень в положении равновесия, равен ... град.
- 10*. Если в свинцовом шаре радиусом $R = 28$ см сделать сферическую полость вдвое меньшего радиуса, касающуюся поверхности шара, то центр тяжести тела сместится на расстояние, равное ... см.

§ 10. Механика жидкостей и газов

Для жидкостей и газов имеет место **закон Паскаля**: жидкости и газы передают оказываемое на их поверхности давление по всем направлениям без изменения.

Давление $p = \frac{F}{S}$, где F — модуль силы, действующей перпендикулярно поверхности. Единицей давления в СИ является паскаль ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$).

Гидравлический пресс (два сообщающихся сосуда цилиндрической формы, заполненные жидкостью (маслом), в которых двигаются поршни с площадями сечений S_1 и S_2) дает выигрыш в силе $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ во столько раз, во сколько площадь большого поршня S_2 больше площади

малого S_1 , но, выигрывая в силе, проигрываем в перемещении поршней, как $\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}$.

Давление p , обусловленное весом жидкости, называется **гидростатическим**: $p = \rho gh$, где ρ — плотность жидкости; h — высота столба жидкости.

Закон сообщающихся сосудов: однородная жидкость устанавливается в неподвижных сообщающихся сосудах так, что давление во всех точках, расположенных в одной горизонтальной плоскости, одинаково.

Для двух разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах, разделенных невесомым подвижным поршнем, этот закон дает $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$, где h_1 и h_2 — высоты жидкостей в сообщающихся сосудах; ρ_1 и ρ_2 — плотности (рис. 10.1).

Нормальным атмосферным давлением считается давление при 0°C , при котором высота столбика ртути h , оставшегося в барометрической трубке, равна 760 мм.

$$p_a = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Для жидкостей и газов выполняется **закон Архимеда**: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (или газа), в объеме $V_{\text{погр}}$ погруженной части тела. Сила Архимеда приложена к центру тяжести вытесненного объема.

Условие плавания тела:

$$mg = F_{\text{выт}} = V_{\text{погр}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g,$$

где m — масса тела.

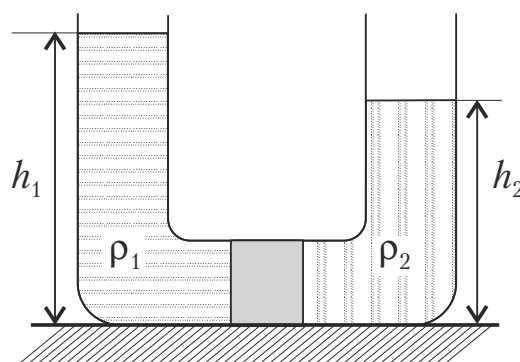


Рис. 10.1

Тест А1

- Единица измерения давления в системе СИ может быть выражена следующим образом:
 - 1) $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;
 - 2) $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$;
 - 3) $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$;
 - 4) $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$;
 - 5) $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.
- На какой глубине давление в воде больше атмосферного в $n = 7$ раз, если атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$?
 - 1) 60 м;
 - 2) 140 м;
 - 3) 35 м;
 - 4) 80 м;
 - 5) 70 м.

3. Чтобы модуль силы давления на дно кубического сосуда с ребром a превысил модуль силы давления на боковую грань в $n = 2$ раза, жидкость следует налить до высоты H , равной:
- 1) $\frac{a}{4}$; 2) $\frac{a}{3}$; 3) $\frac{a}{2}$; 4) $\frac{2}{3}a$; 5) a .
4. Если в сообщающиеся сосуды налить жидкости с различными плотностями ρ_1 и ρ_2 , причем $\rho_1 > \rho_2$, то высота столба h_1 жидкости с большей плотностью и высота столба h_2 жидкости с меньшей плотностью связаны соотношением:
- 1) $h_1 > h_2$;
2) $h_1 < h_2$;
3) $h_1 = h_2$;
4) ответ зависит от соотношения площадей сечения сосудов;
5) ответ зависит от численных значений плотностей.
5. В куб с ребром a налита доверху жидкость с плотностью ρ . Модуль силы гидростатического давления на боковую грань куба равен:
- 1) $\rho g a^3$; 3) $\rho g a^2$; 5) $\frac{\rho g a^3}{4}$.
2) $\frac{\rho g a^3}{2}$; 4) $\frac{\rho g a^2}{2}$;
6. Гидравлический пресс, заполненный водой, имеет поршни сечением $S_1 = 100 \text{ см}^2$ и $S_2 = 10 \text{ см}^2$, которые расположены на одной высоте. Если на больший поршень поместить груз массой $m = 8,0 \text{ кг}$, то разность высот, на которых установятся поршни, составит:
- 1) 40 см; 3) 60 см; 5) 1,0 м.
2) 50 см; 4) 80 см;
7. Уровень воды в сосуде, в котором плавает кусок льда, когда весь лед растает:
- 1) увеличится; 4) ответ зависит от массы льда;
2) уменьшится; 5) ответ зависит от объема сосуда.
3) не изменится;
8. Кусок дерева плавает в воде, погрузившись на $k = \frac{3}{4}$ своего объема. Плотность дерева равна:
- 1) 250 кг/м^3 ; 3) 750 кг/м^3 ; 5) 900 кг/м^3 .
2) 500 кг/м^3 ; 4) 800 кг/м^3 ;
9. Шарик массой $m = 10 \text{ г}$ движется с постоянной по модулю скоростью вверх в жидкости, плотность которой в $n = 4$ раза больше плот-

ности вещества шарика. Модуль силы сопротивления жидкости при движении шарика равен:

- 1) 0,1 Н; 3) 0,3 Н; 5) 0,6 Н.
2) 0,2 Н; 4) 0,5 Н;

10. Минимальная высота над поверхностью воды, на которой должен находиться центр шара плотностью $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$, чтобы при падении в воду он погрузился на глубину $h = 20 \text{ см}$, равна:

- 1) 16 см; 3) 40 см; 5) 1,0 м.
2) 20 см; 4) 80 см;

Тест А2

1. Если воду заменить более плотной жидкостью — глицерином, то производимое гидравлическим прессом давление:

- 1) не изменится;
2) увеличится;
3) уменьшится;
4) ответ зависит от соотношения площадей цилиндров пресса;
5) ответ зависит от высоты цилиндров пресса.

2. Если опыт Торричелли провести в горах, где атмосферное давление $p_0 = 68 \text{ кПа}$, то высота столба ртути в опыте составит:

- 1) 34 см; 3) 50 см; 5) 1,4 м.
2) 38 см; 4) 69 см;

3. Куб с ребром $a = 5 \text{ см}$ заполнен жидкостью с плотностью $\rho = 8 \text{ г/см}^3$. Модуль силы гидростатического давления на боковую грань куба равен:

- 1) 1 Н; 2) 2 Н; 3) 4 Н; 4) 5 Н; 5) 9 Н.

4. В кубе с ребром $a = 1 \text{ см}$ давление газа $p = 100 \text{ Па}$. Модуль равнодействующей сил давления этого газа на стенки сосуда равен:

- 1) 0,01 Н; 3) 0,04 Н; 5) 0.
2) 0,02 Н; 4) 0,06 Н;

5. При подъеме груза массой $m = 2000 \text{ кг}$ с помощью гидравлического пресса совершена работа $A = 40,0 \text{ Дж}$. При этом малый поршень сделал количество ходов $n = 10$, перемещаясь за один ход на высоту $h = 100 \text{ мм}$. Площадь большего поршня больше площади малого поршня:

- 1) в 100 раз; 3) в 400 раз; 5) в 600 раз.
2) в 200 раз; 4) в 500 раз;

6. На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила:
- 1) всегда;
 - 2) ответ зависит от соотношения плотностей тела и жидкости;
 - 3) ответ зависит от объема тела;
 - 4) ответ зависит от массы тела;
 - 5) не всегда.
7. Тело массой $m = 0,2$ кг плавает в жидкости. Модуль равнодействующей всех сил давления, действующих на тело, равен:
- 1) 2 Н;
 - 2) 3 Н;
 - 3) 4 Н;
 - 4) необходимо знать площадь поверхности тела;
 - 5) необходимо знать плотности тела и жидкости.
8. На границе раздела двух жидкостей с плотностями ρ_1 и ρ_2 плавает шайба с плотностью ρ ($\rho_1 < \rho < \rho_2$). Высота шайбы h . Глубина погружения шайбы во вторую жидкость составляет:
- 1) $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho - \rho_1} h$;
 - 2) $\frac{\rho - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1} h$;
 - 3) $\frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1} h$;
 - 4) $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} h$;
 - 5) $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 - \rho} h$.
9. Тело плавает в воде, причем часть объема тела $k = 0,750$ остается над поверхностью воды. Плотность тела составляет:
- 1) 200 кг/м³;
 - 2) 250 кг/м³;
 - 3) 500 кг/м³;
 - 4) 750 кг/м³;
 - 5) 800 кг/м³.
10. Минимальная работа, необходимая для погружения мяча массой $m = 200$ г и объемом $V = 7,0$ л в воду с глубины $h_1 = 1,0$ м до глубины $h_2 = 21$ м, составляет:
- 1) 0,67 кДж;
 - 2) 0,90 кДж;
 - 3) 1,1 кДж;
 - 4) 1,4 кДж;
 - 5) 1,5 кДж.

Тест В1

1. Если в сосуд с водой вставить трубку с сечением $S = 2$ см² и налить в нее масло (плотность масла $\rho_m = 0,9$ г/см³) в количестве $m = 72$ г, то разность уровней масла и воды составит ... см.
2. У основания дома давление воды в водопроводе $p = 500$ кПа. На высоте $h = 15$ м на четвертом этаже вода из крана вытекает под давлением ... МПа.

3. В цилиндрический сосуд налиты ртуть, вода и керосин. Атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа. Если объемы всех жидкостей равны, а верхний уровень керосина расположен на высоте $h = 120$ мм от дна сосуда, то давление на дно сосуда составляет ... кПа.
4. В колено U -образной трубки площадью $S = 100$ мм², содержащей ртуть, налили воду в количестве $m_1 = 7,20$ г и керосин в количестве $m_2 = 200$ г ($\rho = 800$ кг/м³). Разность уровней жидкости в обоих коленах трубки составит ... см.
5. При помощи гидравлического пресса с отношением площадей сечений $S_1 : S_2 = 1 : 100$ необходимо поднять груз массой $m = 100$ т. КПД пресса $\eta = 80,0$ %, мощность его двигателя $P = 5,00$ кВт. Если за один ход малый поршень пресса опускается на расстояние $h = 200$ мм, то за время $t = 60,0$ с он совершит ... ходов.
6. При погружении тела массой $m = 100$ г и объемом $V = 5000$ см³ с глубины $h_1 = 1,0$ м на глубину $h_2 = 37$ м потенциальная энергия тела изменится на ... кДж.
- 7*. Шарик погрузили в жидкость на глубину $H = 1$ м и отпустили. Если плотность материала шарика в $n = 2$ раза меньше плотности жидкости, то шарик подпрыгнет над поверхностью жидкости на высоту ... м.
8. Модуль веса тела в воде в пять раз меньше, чем в воздухе. Плотность тела равна ... кг/м³.
9. Воздушный шар общей массой $m = 120$ кг находится в равновесии в воздухе. Чтобы шар начал подниматься с ускорением, модуль которого $a = 50$ см/с², при силе сопротивления воздуха, модуль которой $F = 45$ Н, необходимо сбросить балласт массой ... кг.
10. Если тело объемом $V = 4,0$ л и плотностью $\rho = 5,0$ г/см³ на $k = 75$ % своего объема погружено в воду, то модуль силы давления тела на дно сосуда составляет ... кН. Плотность серебра $\rho = 10\,500$ кг/м³.

Тест В2

1. Если в одном из сообщающихся сосудов находится столб жидкости высотой $h_1 = 10$ см с плотностью $\rho_1 = 1000$ кг/м³, поверх которой налит столб жидкости с плотностью $\rho_2 = 800$ кг/м³ такой же высоты, то высота столба третьей жидкости с плотностью $\rho_3 = 900$ кг/м³ в другом сосуде равна ... см.
- 2*. Ртуть находится в сообщающихся сосудах, площади сечения которых относятся как 1:3. Уровень ртути в узком колене расположен на расстоянии $h = 30$ см от верхнего конца трубки. Если это колено

доверху долить водой, то уровень ртути в правом колене повысится на ... мм.

3. Малый поршень гидравлического пресса под действием силы, модуль которой $F_1 = 500$ Н, опустился на расстояние $h_1 = 15$ см. Если при этом больший поршень поднялся на $h_2 = 5,0$ см, на него подействовала сила ... кН.
- 4*. В трех одинаковых сообщающихся сосудах находится ртуть. Когда в левый сосуд налили слой воды высотой $h_1 = 102$ мм, а в правый — высотой $h_2 = 153$ мм, уровень ртути в третьем сосуде повысился на ... мм.
5. В стакан, до краев наполненный водой, опустили тело с плотностью $\rho = 800$ кг/м³. Если высота стакана $h = 10$ см, а площадь его дна $S = 10$ см², то модуль силы давления воды на дно стакана составляет ... Н.
6. Модуль веса куска железа массой $m = 7,8$ кг, содержащего полость, в воде $P = 66$ Н. Объем полости составляет ... см³.
7. Открытый сосуд с водой движется вверх с ускорением, модуль которого $a = 100$ см/с². Если атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа, то в сосуде на глубине $h = 200$ мм давление составляет ... кПа.
8. Мяч массой $m = 100$ г и объемом $V = 1,0$ л, свободно падая с высоты $H = 100$ м от уровня воды, достиг максимальной глубины $h = 2,0$ м. Количество механической энергии, превратившейся в теплоту, составляет ... Дж.
9. Слиток серебра взвешивают в воде на равноплечих весах с помощью гирь из сплава с плотностью $\rho = 5000$ кг/м³. Если масса гирь $m = 1,8$ кг, то масса слитка составляет ... кг.
- 10*. Стержень массой $m = 100$ кг и объемом $V = 0,010$ м³ покоится на горизонтальном дне сосуда. Если плотность жидкости в сосуде $\rho = 2,0$ г/см³, то модуль минимальной силы, с которой можно приподнять стержень за один из его концов, составляет ... кН.

Обобщающий тест № 3

1. Суммарный модуль импульса двух тел одинаковой массы $m = 2,0$ кг, двигавшихся с одинаковыми по модулю скоростями $v = 5,3$ м/с во взаимно перпендикулярных направлениях, после неупругого удара равен:
 - 1) $11 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
 - 2) $13 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
 - 3) $15 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
 - 4) $18 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
 - 5) $21 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

2. Два мальчика отталкиваются друг от друга и на гладком льду разъезжаются на коньках в разные стороны. Через промежуток времени $\Delta t = 2,0$ с расстояние между ними становится $s = 10$ м. Массы мальчиков $m_1 = 40$ кг и $m_2 = 60$ кг. Модуль скорости более легкого мальчика равен:
- 1) 1,0 м/с; 3) 3,0 м/с; 5) 5,0 м/с.
 2) 1,5 м/с; 4) 4,0 м/с;
3. Два тела, массы которых $m_1 = 2,0$ кг и $m_2 = 3,0$ кг соответственно, одновременно толкнули навстречу друг другу по гладкому столу с горизонтально направленными скоростями, модули которых $v_1 = 3,0$ м/с и $v_2 = 2,0$ м/с. Произошло абсолютно неупругое столкновение этих тел. Модуль импульса образовавшейся системы тел равен:
- 1) $1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 3) $50 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 5) 0.
 2) $60 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 4) $40 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
4. Подъемный кран поднимает с поверхности земли бетонную плиту массой $m = 200$ кг на высоту $h = 12$ м равноускоренно за время $t = 1,8$ с. Если КПД крана $\eta = 60\%$, то средняя мощность $\langle P \rangle$, развиваемая двигателем крана, составляет:
- 1) 11 кВт; 3) 26 кВт; 5) 50 кВт.
 2) 13 кВт; 4) 39 кВт;
5. Груз массой $m = 100$ кг подъемным краном поднимают на высоту $h = 3,0$ м с ускорением, модуль которого $a = 1,0$ м/с². Работа крана, поднимающего груз, равна:
- 1) 0,30 кДж; 3) 3,0 кДж; 5) 5,3 кДж.
 2) 1,0 кДж; 4) 3,3 кДж;
6. Под действием силы тело массой $m = 3,0$ кг изменяет свою проекцию скорости v_x с течением времени так, как показано на рисунке 1. Работа этой силы за промежуток времени $\Delta t = 10$ с после начала движения составляет:
- 1) 0,15 кДж; 4) -75 Дж;
 2) -0,15 кДж; 5) 0.
 3) 75 Дж;

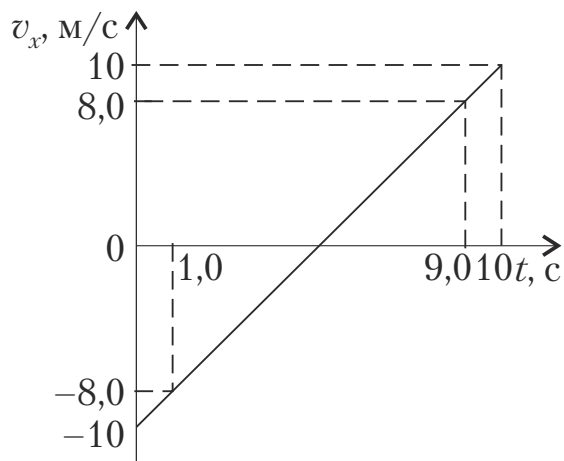


Рис. 1

7. С горки высотой $h = 0,5$ м и углом наклона к горизонту $\alpha = 30^\circ$ скатывается тело массой $m = 5$ кг. Длинная пружина жесткостью $k = 100$ Н/м, установленная так, как показано на рисунке 2, сожмется на расстояние x , равное:

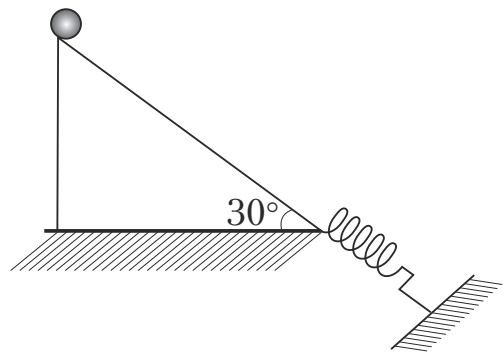


Рис. 2

- 1) 1 м;
- 2) 0,9 м;
- 3) 0,8 м;
- 4) 0,7 м;
- 5) 0,6 м.

8. На рисунке 3 приведена зависимость проекции силы на ось Ox от времени для тела массой $m = 500$ г. Если в начальный момент времени тело покоилось, то кинетическая энергия этого тела будет $W_k = 810$ Дж в момент времени:

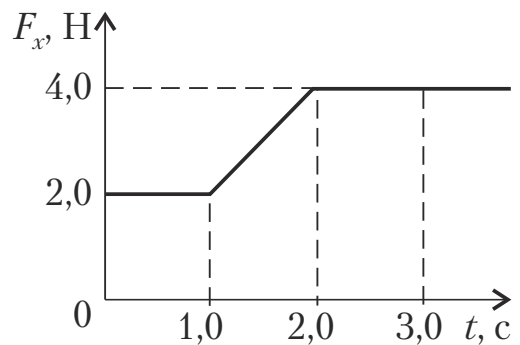


Рис. 3

- 1) 1,50 с;
- 2) 1,70 с;
- 3) 2,75 с;
- 4) 3,00 с;
- 5) 4,00 с.

9. Тело массой $m = 10$ кг брошено горизонтально со скоростью, модуль которой $v = 20$ м/с. К концу четвертой секунды движения величина кинетической энергии тела равна:

- 1) 0,80 кДж;
- 2) 1,0 кДж;
- 3) 1,6 кДж;
- 4) 2,0 кДж;
- 5) 2,4 кДж.

10. Легкомоторный самолет массой $m = 1200$ кг пикирует вертикально вниз с высоты $h_1 = 1000$ м до высоты $h_2 = 200$ м. Модуль начальной скорости самолета $v_1 = 360$ км/ч, а при выходе из пике $v_2 = 540$ км/ч. Если двигатель самолета во время пикирования не работает, то модуль средней силы сопротивления воздуха равен:

- 1) 1,2 кН;
- 2) 1,8 кН;
- 3) 2,6 кН;
- 4) 3,0 кН;
- 5) 4,5 кН.

11. К невесомой нерастяжимой нити подвешен груз массой $m = 30$ кг. Если нить с грузом отклонить на угол $\alpha = 90^\circ$ от вертикали и отпустить, то в момент прохождения грузом нижней точки траектории модуль силы натяжения F нити равен:

- 1) 0,10 кН;
- 2) 0,20 кН;
- 3) 0,40 кН;
- 4) 0,50 кН;
- 5) 0,90 кН.

12. Тело массой $m_1 = 250$ г, движущееся со скоростью, модуль которой v , налетает на покоящееся тело и после упругого столкновения отскакивает от него под углом $\alpha = 90^\circ$ к первоначальному направлению движения со скоростью, модуль которой $v_1 = \frac{2}{3}v$. Масса второго те-

ла равна:

- 1) 1,0 кг; 4) 0,50 кг;
 2) 0,85 кг; 5) 0,35 кг.
 3) 0,65 кг;
13. На поршень площадью $S_1 = 6,0$ см² (рис. 4) действует сила, изменяющаяся так, как показано на рисунке 5. Площадь малого поршня $S_2 = 2,0$ см². Модуль силы давления на малый поршень через промежуток времени $\Delta t = 3,0$ мин равен:
- 1) 0,72 МН;
 2) 0,24 МН;
 3) 12 кН;
 4) 4,0 кН;
 5) недостаточно информации для ответа.

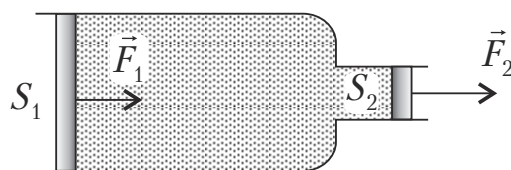


Рис. 4

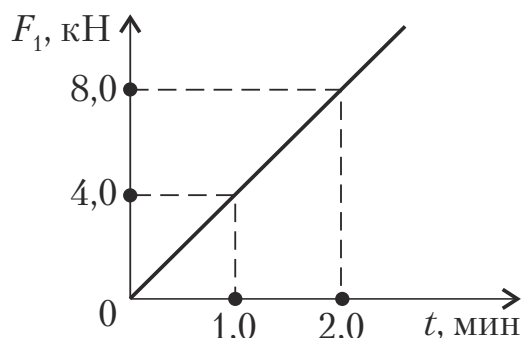


Рис. 5

14. В U-образную трубку наливают воду. Затем в одно колено трубки наливают бензин (плотность бензина $\rho_б = 700$ кг/м³), а в другое — нефть ($\rho_н = 800$ кг/м³). Границы раздела воды с бензином и нефтью находятся на одинаковом уровне. Если высота столба бензина $h_б = 16$ см, то высота столба нефти равна:

- 1) 10 см; 3) 12 см; 5) 14 см.
 2) 11 см; 4) 13 см;
15. Сосуд наполнен двумя несмешивающимися жидкостями, плотности которых $\rho_1 = 800$ кг/м³ и $\rho_2 = 600$ кг/м³. Тело, помещенное в этот сосуд, находится в равновесии тогда, когда граница раздела этих жидкостей делит объем данного тела на две равновеликие части. Плотность данного тела (тело полностью погружено в жидкости) составляет:
- 1) 100 кг/м³; 4) 700 кг/м³;
 2) 300 кг/м³; 5) 1400 кг/м³.
 3) 400 кг/м³;

16. Вес тела, полностью погруженного в некоторую жидкость, $P = 20$ Н. Объем этого тела, если плотность этой жидкости отличается от плотности тела на $\Delta\rho = 200$ кг/м³, составляет:
- 1) 0,010 м³; 3) 0,10 м³; 5) 1,0 м³.
 2) 0,040 м³; 4) 0,40 м³;
17. Тело, плотность которого ρ_1 , плавает в воде (рис. 6, а). Плотность второго тела, которое, будучи подсоединенным к первому телу, плавает так, как показано на рисунке 6, б, составляет:
- 1) 1000 кг/м³; 3) 1800 кг/м³; 5) 2500 кг/м³.
 2) 1500 кг/м³; 4) 2000 кг/м³;

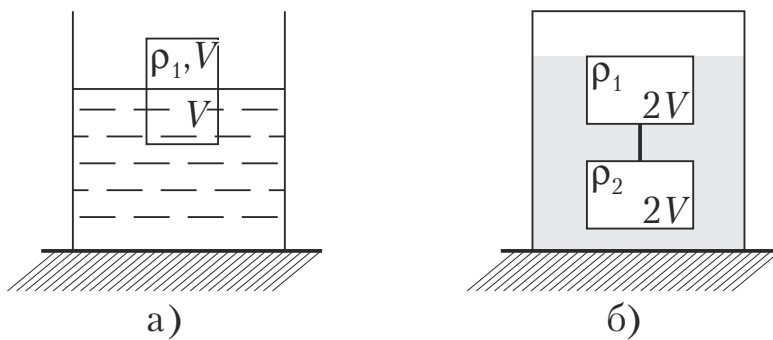


Рис. 6

18. Лыдина с площадью поперечного сечения $S = 1,0$ м² и высотой $H = 20$ см плавает в воде. Плотность льда $\rho_{\text{л}} = 900$ кг/м³, воды $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³. Чтобы полностью погрузить лыдину в воду, надо совершить работу, равную:
- 1) 1,0 Дж; 3) 3,0 Дж; 5) 4,5 Дж.
 2) 2,0 Дж; 4) 4,0 Дж;
19. На рычаге уравновешены два разных груза из одного и того же материала. Плотность материала грузов больше плотности воды. Грузы погружают в воду:
- 1) перевесит та часть рычага, на которую подвешен груз меньшей массы;
 2) перевесит та часть рычага, на которую подвешен груз большей массы;
 3) рычаг останется в равновесии;
 4) рычаг всплывет.
20. Три шарика, массы которых $m_1 = 3,0$ г, $m_2 = 6,0$ г, $m_3 = 9,0$ г соответственно, укреплены на невесомом стержне так, что их центры находятся на расстоянии $l = 18$ см друг от друга. Центр масс системы находится от центра меньшего шара на расстоянии:
- 1) 20 см; 2) 22 см; 3) 24 см; 4) 26 см; 5) 28 см.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Глава 4. Электростатика

§ 11. Закон Кулона

Существует два вида электрических зарядов — *положительные* и *отрицательные*. Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются. Любой электрический заряд кратен элементарному заряду $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Для отрицательных зарядов это заряд электрона, для положительных — протона.

Закон сохранения электрического заряда: в электрически изолированной системе алгебраическая сумма всех зарядов остается постоянной при любых взаимодействиях внутри нее.

Закон Кулона. Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов q_1 и q_2 , обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними и направлена вдоль прямой, соединяющей заряды: $F = \frac{k|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$, где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} =$

$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ — электрическая постоянная. Единица заряда Кл (кулон) в СИ.

$$[q] = 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с.}$$

Тест А1

- Если от капли воды, несущей электрический заряд $q_1 = +5e$, отделится капелька с электрическим зарядом $q_2 = -3e$, то электрический заряд оставшейся части капли будет равен (e — элементарный электрический заряд):
 - 1) $-8e$;
 - 2) $-2e$;
 - 3) $2e$;
 - 4) $4e$;
 - 5) $8e$.
- Незаряженную стеклянную палочку потерли о шелк и ее заряд стал равен $q = +1,6 \cdot 10^{-9}$ Кл. Стеклянная палочка:
 - 1) потеряла $1,0 \cdot 10^{10}$ электронов;
 - 2) потеряла $1,0 \cdot 10^9$ электронов;

- 3) приобрела $1,0 \cdot 10^{10}$ электронов;
4) приобрела $1,0 \cdot 10^9$ электронов;
5) приобрела 10 электронов.
3. На каком расстоянии друг от друга находятся два точечных заряда $q_1 = 0,10$ мкКл и $q_2 = 200$ нКл, если они взаимодействуют с силой, модуль которой $F = 1,8$ Н?
- 1) 0,10 мм; 3) 1,0 см; 5) 1,0 м.
2) 1,0 мм; 4) 10 см;
4. При увеличении каждого из двух точечных электрических зарядов в $k_1 = 3$ раза и уменьшении расстояния между ними в $k_2 = 4$ раза модуль силы взаимодействия между ними увеличится:
- 1) в 9 раз; 3) в 16 раз; 5) в 144 раза.
2) в 12 раз; 4) в 48 раз;
5. Два маленьких одинаковых металлических шарика заряжены зарядами $-q$ и $+7q$. Шарика привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Модуль силы взаимодействия между шариками:
- 1) увеличился в 7 раз; 4) уменьшился в $\frac{9}{7}$ раза;
2) увеличился в $\frac{9}{7}$ раза; 5) уменьшился в 7 раз.
3) не изменился;
6. Как изменится модуль силы кулоновского взаимодействия между двумя одинаковыми маленькими металлическими шариками с зарядами q и $-3q$, если после соприкосновения шарика раздвинули на расстояние, в 3 раза меньшее, чем до соприкосновения?
- 1) Модуль силы притяжения увеличится в 3 раза;
2) модуль силы притяжения уменьшится в 3 раза;
3) возникнет сила отталкивания, которая по модулю в 3 раза больше прежней силы притяжения;
4) возникнет сила отталкивания, которая по модулю в 3 раза меньше прежней силы притяжения;
5) модуль силы взаимодействия не изменится.
7. Стальную линейку зарядили положительно. Масса линейки:
- 1) увеличилась;
2) не изменилась;
3) уменьшилась;
4) однозначный ответ дать невозможно.

8. Электрическая постоянная ϵ_0 в СИ имеет размерность:

- 1) $\frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^2}$; 3) $\frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^3}$; 5) $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^2}$.
- 2) $\frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2}$; 4) $\frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^4}{\text{кг} \cdot \text{м}^3}$;

9. Сравните модуль силы взаимодействия двух разноименно заряженных металлических шаров (случай 1) с модулем силы взаимодействия двух таких же одноименно заряженных шаров (случай 2). При прочих равных условиях модуль силы взаимодействия:

- 1) больше в случае 1;
 2) больше в случае 2;
 3) модули силы взаимодействия в обоих случаях одинаковы;
 4) результат зависит от величины зарядов.

10. Точечные положительные заряды q и $2q$ закреплены на расстоянии r друг от друга в вакууме. На середине прямой, соединяющей заряды, поместили точечный отрицательный $-q$ (рис. 11.1) заряд. При этом у силы, действующей на положительный заряд q :

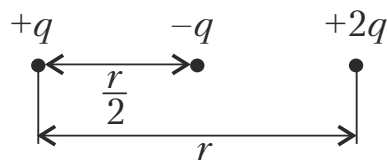


Рис. 11.1

1) модуль не изменился, направление изменилось на противоположное;

2) модуль силы уменьшился в два раза, направление изменилось на противоположное;

3) модуль силы стал равен нулю;

4) модуль силы увеличился в 2 раза, направление не изменилось;

5) модуль силы увеличился в 3 раза, направление не изменилось.

Тест А2

1. Стекланную палочку наэлектризовали и ее заряд q стал равным $6,4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Масса стекланной палочки:

- 1) увеличилась на $3,6 \cdot 10^{-20}$ кг;
 2) уменьшилась на $3,6 \cdot 10^{-20}$ кг;
 3) увеличилась на $1,8 \cdot 10^{-20}$ кг;
 4) уменьшилась на $1,8 \cdot 10^{-20}$ кг;
 5) не изменилась.

2. Модуль силы электрического взаимодействия между двумя протонами, находящимися на расстоянии $l = 1,0 \cdot 10^{-10}$ см друг от друга, равен:

- 1) $2,3 \cdot 10^{-18}$ Н; 3) $2,3 \cdot 10^{-8}$ Н; 5) $2,3 \cdot 10^{-4}$ Н.
 2) $2,3 \cdot 10^{-16}$ Н; 4) $4,6 \cdot 10^{-5}$ Н;

3. Точечные заряды 1 и 2 закреплены. Заряд 3 может перемещаться. Этот заряд (рис. 11.2):

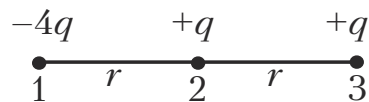


Рис. 11.2

- 1) перемещается с ускорением влево;
 2) перемещается равномерно влево;
 3) остается в покое;
 4) перемещается равномерно вправо;
 5) перемещается с ускорением вправо.

4. Четыре заряда, равные по абсолютному значению, находятся в вершинах квадрата (рис. 11.3). Если предоставить им возможность свободно перемещаться только под действием кулоновских сил, то:

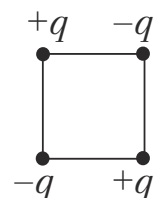


Рис. 11.3

- 1) заряды будут сближаться;
 2) заряды будут удаляться друг от друга;
 3) система будет в неустойчивом равновесии;
 4) система будет в устойчивом равновесии;
 5) однозначного ответа дать нельзя.

5. Маленький шарик массой m и зарядом q подвешен на нити. Снизу к нему подносят одноименный и увеличенный в 3 раза заряд. Модуль силы натяжения нити уменьшился при этом в 9 раз. Расстояние между зарядами q и $3q$ равно:

- 1) $\frac{3\sqrt{3}q}{4\sqrt{2\pi\epsilon_0 mg}}$; 3) $\frac{3q}{4\sqrt{\pi\epsilon_0 mg}}$; 5) $\frac{4\sqrt{\pi\epsilon_0 mg}}{3\sqrt{3}q}$.
 2) $\frac{3\sqrt{3}q}{4\sqrt{\pi\epsilon_0 mg}}$; 4) $\frac{3\sqrt{3}q}{\sqrt{2\pi\epsilon_0 mg}}$;

6. Поверхностная плотность заряда на металлическом шаре $\sigma = 10$ мкКл/м². Радиус шара $R = 10$ см. Величина заряда шара равна:

- 1) $1,0 \cdot 10^{-7}$ Кл; 3) $1,3 \cdot 10^{-6}$ Кл; 5) $3,1 \cdot 10^{-5}$ Кл.
 2) $6,3 \cdot 10^{-7}$ Кл; 4) $3,1 \cdot 10^{-6}$ Кл;

7. Два закрепленных точечных заряда q и $-9q$ находятся на расстоянии l друг от друга. На каком расстоянии от заряда $-9q$ нужно поместить точечный заряд $2q$, чтобы он находился в равновесии?

- 1) $\frac{2}{3}l$; 2) $\frac{3}{4}l$; 3) $\frac{4}{3}l$; 4) $\frac{3}{2}l$; 5) $2l$.

8. Три точечных заряда $q_1 = q_2 = 24 \text{ нКл}$ и $q_3 = -24 \text{ нКл}$ расположены вдоль одной прямой. Расстояния между соседними зарядами одинаковы: $r = 12 \text{ см}$. Модуль равнодействующей силы, с которым заряды действуют на заряд q_2 , равен:

- 1) 0,18 мН; 3) 0,54 мН; 5) 1,4 мН.
2) 0,36 мН; 4) 0,72 мН;

9. Шарик массой m подвешен на шелковой нити в воздухе и имеет заряд q . Снизу от него на расстоянии r помещают второй шарик. Натяжение нити, удерживающей шарик, при этом увеличилось в n раз. Заряд второго шарика равен:

- 1) $\left| \frac{4\pi\epsilon_0 mgr^2 (n-1)}{q} \right|$; 4) $-\left| \frac{mgr^2 (n-1)}{4\pi\epsilon_0 q} \right|$;
2) $-\left| \frac{4\pi\epsilon_0 mgr^2 (n-1)}{q} \right|$; 5) $-\left| \frac{mgr^2 (n-1)}{q} \right|$.
3) $\frac{4\pi\epsilon_0 mgr^2 n}{q}$;

10. Одноименные точечные заряды $q_1 = q_2 = q_3 = q$ расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной a . Модуль силы, действующей в вакууме на каждый заряд, равен:

- 1) $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$; 3) $\frac{q^2 \sqrt{3}}{4\pi\epsilon_0 a^2}$; 5) $\frac{3q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$.
2) $\frac{q^2 \sqrt{3}}{8\pi\epsilon_0 a^2}$; 4) $\frac{q^2 \sqrt{3}}{2\pi\epsilon_0 a^2}$;

Тест В1

- 1*. Имеется некоторое вещество в количестве $\nu = 0,50$ моль. Если у каждой тысячной молекулы отнять один электрон, то вещество приобретет заряд, равный ... Кл.
2. Два положительных точечных заряда взаимодействуют в вакууме с силой, модуль которой $F = 2,0 \text{ Н}$. Один заряд больше другого в $k = 9$ раз. Расстояние между зарядами $r = 100 \text{ см}$. Величина Q большего заряда равна ... мкКл.
3. Два закрепленных точечных заряда q и $9q$ находятся на расстоянии $l = 1,0 \text{ м}$ друг от друга. Расстояние r от заряда q , на котором нужно поместить заряд $2q$, чтобы он находился в равновесии, составляет ... см.

4. Каждая из двух соприкасающихся одинаковых маленьких сферических капелек воды имеет заряд, равный элементарному электрическому заряду. Если сила электрического отталкивания капелек уравнивает силу гравитационного притяжения, то радиус r капельки равен ... мкм.
- 5*. Точечный заряд $q = 2,0 \cdot 10^{-9}$ Кл находится на расстоянии $r = 30$ мм от металлической заземленной стенки. Модуль силы, с которой взаимодействуют точечный заряд и стенка, равен ... мкН.
6. Два одинаковых проводящих шарика, расположенные в вакууме и имеющие заряды $q_1 = 38$ нКл и $q_2 = -18$ нКл, соприкоснулись и разошлись на расстояние $r = 10$ см. Модуль силы взаимодействия между ними после соприкосновения равен ... мкН.
7. Согласно ядерной модели атом водорода состоит из протона и электрона, вращающегося вокруг протона по круговой орбите радиусом $R = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Модуль скорости движения электрона по орбите равен ... км/с.
8. Два одинаковых маленьких шарика подвешены на легких нитях длиной $l = 1,1$ м, закрепленных в одной точке. После того как шарикам сообщили одинаковые заряды $q = 1,0$ мкКл, нити разошлись так, что угол между ними стал $\varphi = 60^\circ$. Масса шарика равна ... г.
9. В вершинах равностороннего треугольника, сторона которого $a = 50$ мм, находятся одинаковые заряды $q = 0,32$ мкКл. Модуль силы, действующей на один из них, равен ... Н.
10. Тонкая шелковая нить выдерживает максимальную силу натяжения, модуль которой $F = 18$ мН. На нити в воздухе подвешен маленький шарик массой $m = 1,2$ г с зарядом $q_1 = 20$ нКл. Снизу по линии подвеса к нему подносят шарик, заряд которого $q_2 = -16$ нКл. Нить разорвется, когда расстояние между центрами шариков будет равно ... мм.

Тест В2

- 1*. Если из каждого десятого атома частички удалить по одному электрону, то заряд частички свинца массой $m = 1,0 \cdot 10^{-3}$ г будет равен ... мКл. Масса моля свинца согласно периодической системе элементов $A = 0,207$ кг/моль.
- 2*. Точечные заряды $+q$ и $+9q$, где $q = 80$ нКл, расположены на расстоянии $l = 80$ см друг от друга. Чтобы вся система находилась в равновесии, нужно взять заряд ... нКл и поместить его на расстоянии ... см от первого заряда.

3. В центр квадрата, в вершинах которого находится по заряду $Q = 18$ нКл, помещен отрицательный заряд. Величина этого заряда, чтобы система находилась в равновесии, должна быть равна ... нКл.
4. Два шарика массами $m_1 = m_2 = 1,5$ г каждый подвешены в вакууме в одной точке на шелковых нитях. После сообщения одинаковых по модулю отрицательных зарядов $q_1 = q_2$ шарики разошлись на расстояние $r = 10$ см и нити образовали угол $\alpha = 60^\circ$. Число электронов, полученных каждым шариком, равно ... (полученное значение умножьте на 10^{-11}).
5. Три одинаковых маленьких шарика массой $m = 0,25$ г каждый подвешены в одной точке на одинаковых нитях длиной $l = 30$ см. Чтобы каждая нить составила с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$, шарикам нужно сообщить заряды ... нКл.
- 6*. Тонкое кольцо радиусом $R = 100$ мм равномерно заряжено зарядом $Q = 60,0$ нКл. В вакууме на оси кольца на расстоянии $l = 200$ мм от его центра помещен точечный заряд $q = 10,0$ нКл. Модуль силы, действующей на заряд q , равен ... мкН.
7. Две шайбы массами $m_1 = m_2 = 2,0$ г, заряженные разноименными зарядами $q_1 = 1,0$ мкКл и $q_2 = -1,0$ мкКл, связаны нитью длиной $l = 100$ см. Шайбы находятся на горизонтальной поверхности, коэффициент трения скольжения по которой $\mu = 0,20$. Чтобы система не двигалась по поверхности, к шайбам нужно приложить внешние силы, минимальный модуль которых равен ... мН.
8. Вокруг неподвижного шарика с зарядом $q = 1,2 \cdot 10^{-9}$ Кл в вакууме равномерно вращается по окружности отрицательно заряженный шарик. Радиус окружности $r = 80$ см и много больше размеров шариков. Отношение заряда подвижного шарика к его массе $\gamma = 171$. Угловая скорость вращения шарика равна ... рад/с.
- 9*. Два одинаковых заряда на маленьких шариках подвешены на шелковых нитях длиной l в одной точке. Шарики разошлись на расстояние $r = 10$ см ($r \ll l$) друг от друга. Один из шариков разрядили. Расстояние между шариками станет равным ... см.
10. Три одинаковых маленьких шарика, соединенные вместе двумя непроводящими пружинами одинаковой жесткости, расположены в воздухе вдоль одной прямой на гладкой горизонтальной поверхности. Расстояние между крайними шариками $l_0 = 10$ см. Каждому шарiku сообщили одинаковые одноименные заряды $q = 1,0 \cdot 10^{-6}$ Кл, и расстояние между крайними шариками стало $l = 20$ см. Жесткость пружины равна ... Н/м.

§ 12. Напряженность электростатического поля

Напряженностью электростатического поля \vec{E} в данной точке называется векторная физическая величина, численно равная отношению силы \vec{F} , действующей на положительный точечный (пробный) заряд q , к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Модуль напряженности электростатического поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r от него,

$$E = \frac{k|q|}{r^2}.$$

Модуль напряженности электростатического поля бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда σ

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0},$$

где $\sigma = \frac{q}{S}$, q — заряд участка плоскости, а S — площадь этого участка.

Модуль напряженности электростатического поля, создаваемого металлической заряженной сферой (сферической поверхностью) радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

$$E = \begin{cases} 0 & \text{при } r < R; \\ \frac{kq}{r^2} & \text{при } r \geq R. \end{cases}$$

Единицами напряженности электростатического поля в СИ являются ньютон на кулон (1 Н/Кл), вольт на метр (1 В/м).

Согласно принципу суперпозиции электростатических полей вектор напряженности электростатического поля в данной точке равен геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых отдельными зарядами:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

Силовые линии электростатического поля начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

Если вектор напряженности \vec{E} в каждой точке пространства одинаков ($\vec{E} = \underline{\text{const}}$), то поле называется *однородным*.

Тест А1

1. В некоторую точку электростатического поля помещен заряд $q = 5,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Модуль силы, действующей на этот заряд, $F = 2,5 \cdot 10^{-6}$ Н. Модуль напряженности поля в этой точке равен:
- 1) $1,0 \cdot 10^{-14}$ В/м; 4) 5,0 кВ/м;
 2) $2,0 \cdot 10^{-3}$ В/м; 5) $5,0 \cdot 10^2$ кВ/м.
 3) $5,0 \cdot 10^2$ В/м;
2. Электростатическое поле создано двумя точечными электрическими зарядами $+q$ и $+q$ (рис. 12.1, а). Вектор напряженности электростатического поля в точке А направлен вдоль прямой (рис. 12.1, б):

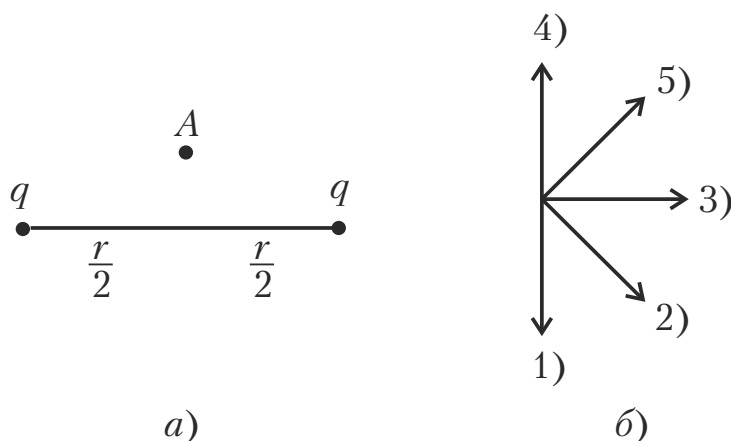


Рис. 12.1

3. Если модуль напряженности поля точечного заряда в точке, удаленной от него на расстояние $r_1 = 12$ см, $E_1 = 36$ В/м, то модуль напряженности поля в точке, расположенной на расстоянии $r_2 = 8,0$ см от этого заряда, будет равен:
- 1) 16 В/м; 4) 36 В/м;
 2) 24 В/м; 5) 92 В/м.
 3) 81 В/м;
4. Единица напряженности электростатического поля, выраженная через основные единицы СИ, равна:
- 1) $\frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$; 4) $\frac{\text{кг} \cdot \text{А}}{\text{м} \cdot \text{с}^3}$;
 2) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}^3}$; 5) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}}$.
 3) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$;

5. Если электрон влетел с некоторой скоростью \vec{v}_0 в пространство плоского заряженного конденсатора (рис. 12.2), то он будет:

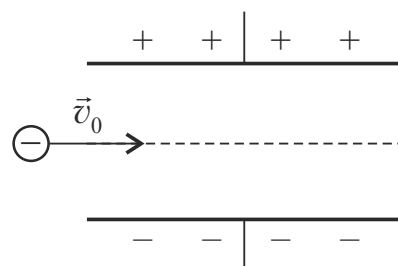


Рис. 12.2

- 1) двигаться ускоренно в направлении движения;
- 2) двигаться замедленно в направлении движения;
- 3) двигаться по параболе вниз;
- 4) двигаться по параболе вверх;
- 5) вращаться по окружности.

6. Модуль напряженности E электростатического поля в некоторой точке, если величину заряда и расстояние от точки до точечного заряда, образующего поле, уменьшить в 2 раза:

- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) уменьшится в 2 раза;
- 3) увеличится в 8 раз;
- 4) уменьшится в 8 раз;
- 5) не изменится.

7. Три точечных электрических заряда расположены в трех вершинах квадрата (рис. 12.3). При этом вектор напряженности электростатического поля в четвертой вершине будет направлен вдоль прямой:

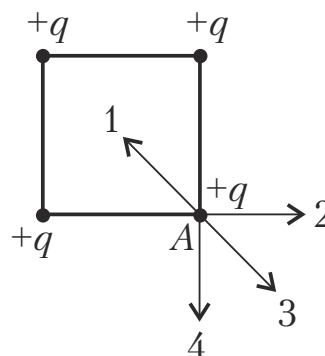


Рис. 12.3

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4;
- 5) напряженность поля в точке A будет

равна нулю.

8. Напряженность электростатического поля между двумя бесконечными разноименно заряженными плоскостями с поверхностной плотностью заряда σ равна:

- 1) $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$;
- 2) $\frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0}$;
- 3) $\epsilon_0 \sigma$;
- 4) σ ;
- 5) $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$.

9. Заряд $q = 5,0 \cdot 10^{-9}$ Кл образует электростатическое поле. В точке, находящейся на расстоянии $r = 25$ см от заряда, модуль напряженности поля будет равен:

- 1) 0,072 В/м;
- 2) 0,13 кВ/м;
- 3) $5,0 \cdot 10^7$ В/м;
- 4) 0,72 кВ/м;
- 5) 0,36 кВ/м.

10. В однородном электростатическом поле, силовые линии напряженности которого направлены вертикально, находится в равновесии пылинка массой $m = 4,0$ мкг с зарядом $q = 1,0$ нКл. Модуль напряженности электростатического поля равен:
- 1) 4,0 В/м;
 - 2) 40 В/м;
 - 3) 0,40 кВ/м;
 - 4) 4,0 кВ/м;
 - 5) 40 кВ/м.

Тест А2

1. Два точечных заряда $+q$ и $+9q$ расположены в вакууме на расстоянии $l = 60$ см друг от друга. Модуль напряженности электростатического поля будет равен нулю на расстоянии от второго заряда, равном:
 - 1) 35 см;
 - 2) 38 см;
 - 3) 45 см;
 - 4) 48 см;
 - 5) 50 см.
2. Два точечных заряда $q_1 = 10$ нКл и $q_2 = 40$ нКл находятся на расстоянии $r = 10$ см друг от друга. Модуль напряженности электростатического поля в точке, удаленной на $x_1 = 6,0$ см от первого заряда и на $x_2 = 8,0$ см от второго, равен:
 - 1) 1,8 кВ/м;
 - 2) 2,7 кВ/м;
 - 3) 5,4 кВ/м;
 - 4) 62 кВ/м;
 - 5) 0,11 МВ/м.
3. Два одинаковых одноименных заряда $q_1 = q_2 = 5,1 \cdot 10^{-9}$ Кл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника, длина стороны которого $a = 20$ см. Модуль напряженности электростатического поля в третьей вершине треугольника равен:
 - 1) 1,0 кВ/м;
 - 2) 1,1 кВ/м;
 - 3) 2,0 кВ/м;
 - 4) 2,3 кВ/м;
 - 5) 3,9 кВ/м.
4. Модуль напряженности E электростатического поля в центре тонкого кольца радиусом $R = 10$ см, по которому равномерно распределен заряд $q = 20 \cdot 10^{-6}$ Кл, равен:
 - 1) $4 \cdot 10^{-4}$ В/м;
 - 2) $2 \cdot 10^{-6}$ В/м;
 - 3) $2 \cdot 10^{-4}$ В/м;
 - 4) $2 \cdot 10^{-3}$ В/м;
 - 5) 0.
5. В однородном электростатическом поле, силовые линии напряженности которого направлены вертикально, находится в равнове-

сии капелька жидкости радиусом R с зарядом q . Плотность жидкости ρ . Модуль напряженности E электростатического поля равен:

- 1) $\frac{4}{3}\pi R^3 \rho g q$; 3) $\frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \rho}{q}$; 5) $\frac{4\pi R^3 \rho g}{q}$.
- 2) $\frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \rho g}{q}$; 4) $\frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3 \rho g}$;

6. Протон, заряд которого q , а масса m , влетает со скоростью, модуль которой v_0 , в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого E . Направление скорости протона противоположно направлению силовых линий поля. До остановки протона пройдет время:

- 1) $\frac{mv_0^2}{qE}$; 3) $\frac{mv_0}{qE}$; 5) $\frac{2mv_0}{qE}$.
- 2) $\frac{mv_0^2}{2qE}$; 4) $\frac{mv_0}{2qE}$;

7. Если электрон начинает двигаться в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 2,0$ В/м, то модуль его скорости возрастает до $v = 1000$ км/с за промежуток времени, равный:

- 1) $1,4 \cdot 10^{-6}$ с; 3) $5,7 \cdot 10^{-6}$ с; 5) $10 \cdot 10^{-6}$ с.
2) $2,8 \cdot 10^{-6}$ с; 4) $8,0 \cdot 10^{-6}$ с;

8. Одинаковые капельки ртути диаметром d в количестве N , заряженные одинаковыми зарядами q , сливаются в одну большую каплю. Модуль напряженности E на расстоянии от центра, равном четверти диаметра большой капли, составляет:

- 1) $\frac{8q^3\sqrt{N}}{\pi\epsilon_0 d^2}$; 3) $\frac{qN}{\pi\epsilon_0 d^2}$; 5) 0.
- 2) $\frac{2q^3\sqrt{N}}{\pi\epsilon_0 d^2}$; 4) $\frac{8q\sqrt{N}}{\pi\epsilon_0 d^3}$;

9. В однородном электростатическом поле, силовые линии напряженности которого направлены горизонтально, в вакууме подвешен на длинной нити шарик массой m с зарядом q . Модуль напря-

женности электростатического поля E . Угол отклонения нити от вертикали равен:

- 1) $\arcsin\left(\frac{qE}{mg}\right)$; 3) $\arccos\left(\frac{qE}{mg}\right)$; 5) $\arccos\left(\frac{mg}{qE}\right)$.
 2) $\arctg\left(\frac{qE}{mg}\right)$; 4) $\arctg\left(\frac{mg}{qE}\right)$;

10. Одинаковые капельки ртути количеством N и диаметром d , заряженные одинаковыми зарядами q , сливаются в одну большую каплю. Модуль напряженности E на поверхности большой капли равен:

- 1) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^3\sqrt{N}}{d^2}$; 3) $\frac{qN}{\pi\epsilon_0 d^2}$; 5) $\frac{q^3\sqrt{N}}{\pi\epsilon_0 d^2}$.
 2) $\frac{1}{\pi\epsilon_0} \frac{q\sqrt{N}}{d^2}$; 4) $\frac{qN}{4\pi\epsilon_0 d^2}$;

Тест В1

1. В вершинах квадрата последовательно закреплены точечные заряды $q_1 = 2,0 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_2 = -6,0 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_3 = 6,0 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_4 = -8,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Диагональ квадрата $d = 20$ см. Модуль напряженности электростатического поля в центре квадрата равен ... кВ/м.
2. Два точечных заряда $q_1 = 2,0$ мкКл и $q_2 = 4,0$ мкКл находятся в точках $A(1; 0)$ и $B(0; 3)$ прямоугольной системы координат x, y (x и y в метрах). Проекция вектора напряженности электростатического поля на ось x в точке $C(3; 0)$ равна ... кВ/м.
3. На расстоянии $r = 30$ см от центра проводящего шара радиусом $R = 10$ см модуль напряженности электростатического поля $E = 200$ В/м. Поверхностная плотность заряда на шаре равна ... нКл/м².
4. Количество электронов, которое нужно удалить из медного шара радиусом $R = 10$ см, чтобы модуль напряженности на его поверхности был $E = 1,2$ кВ/м, составляет Полученное значение умножьте на 10^{-9} .
5. Пылинка, масса которой $m = 10$ мг, поднимается вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a = 6,0$ м/с², в однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 1000$ В/м. Силовые линии поля направлены вниз. Сопротивление воздуха не

учитывать. Число избыточных электронов на пылинке равно
Полученное значение умножьте на 10^{-12} .

6. Пылинка массой $m = 10$ мг с зарядом $q = 1,0$ нКл движется в однородном электростатическом поле вертикально вниз с ускорением, модуль которого $a = 3,0$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать. Модуль напряженности электростатического поля равен ... кВ/м.
7. Электрон влетает в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 2,0$ кВ/м, перпендикулярно силовым линиям поля. Изменение кинетической энергии электрона за время $\Delta t = 10$ нс равно ... эВ.
8. Электрон, модуль скорости которого $v = 1,8 \cdot 10^4$ м/с, влетает в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 3,0$ мВ/м, и движется против линий напряженности. Модуль скорости электрона, если он пройдет расстояние $s = 7,1$ см, равен ... км/с.
9. Протон и α -частица (ядро атома гелия) влетают в конденсатор параллельно плоскости пластин с одинаковой по модулю скоростью. Смещение s_1 протона вдоль силовых линий электростатического поля отличается от смещения s_2 α -частицы при вылете из конденсатора в ... раз (раза). (Заряд α -частицы в 2 раза больше заряда протона, а масса α -частицы в 4 раза больше массы протона.)
10. Электростатическое поле создано двумя бесконечными параллельными проводящими пластинами с поверхностной плотностью зарядов $\sigma_1 = 20$ нКл/м² и $\sigma_2 = -80$ нКл/м². Модуль напряженности электростатического поля между пластинами равен ... кВ/м.

Тест В2

1. Модуль напряженности электростатического поля, образованного точечным зарядом q в точке A , $E_A = 16$ В/м, а в точке B , лежащей на прямой, проходящей через заряд q и точку A , $E_B = 49$ В/м. В точке C , находящейся в середине отрезка AB , модуль напряженности E_C равен ... В/м.
2. Электростатическое поле создано двумя бесконечными параллельными проводящими пластинами с поверхностной плотностью зарядов $\sigma_1 = 4,0 \cdot 10^{-8}$ Кл/м² и $\sigma_2 = 8,0 \cdot 10^{-8}$ Кл/м². Модуль напряженности электростатического поля между пластинами равен ... кВ/м.

3. Два шарика массами $m_1 = 22$ г и $m_2 = 12$ г с зарядами, равными соответственно $+q_1 = 5,4 \cdot 10^{-6}$ Кл и $+q_2 = 2,4 \cdot 10^{-6}$ Кл, связаны нитью, перекинутой через неподвижный блок. Если вся система помещена в однородное электростатическое поле напряженностью $E = 6,4 \cdot 10^4$ В/м, силовые линии которого направлены вертикально вниз, то модуль ускорения шариков равен ... м/с². (Взаимодействием заряженных шариков пренебречь.)
4. Тонкое проволочное кольцо радиусом $R = 10$ см имеет заряд $q = 1,0$ мкКл. Модуль напряженности поля на прямой, проходящей через центр кольца перпендикулярно плоскости кольца, на расстоянии $l = 40$ см от центра равен ... кВ/м.
5. В однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 1,0$ МВ/м, висит на нити шарик массой $m = 2,0$ г, несущий заряд $q = 10$ нКл. Вектор напряженности поля составляет с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$ и линии напряженности направлены вниз. Модуль силы натяжения нити равен ... мН.
- 6*. Шар массой $m = 1,0$ кг с зарядом $q = 2,0 \cdot 10^{-4}$ Кл висит на невесомой и нерастяжимой нити в электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 30$ кВ/м, а линии напряженности направлены вертикально вниз. Шар отклонили на угол $\alpha = 90^\circ$ от вертикали и отпустили. Модуль максимальной силы натяжения нити составляет ... Н.
7. Электрон влетает в конденсатор параллельно плоскости пластин со скоростью, модуль которой $v_0 = 3,0 \cdot 10^6$ м/с. Если электрон вылетает из конденсатора под углом $\alpha = 30^\circ$ к пластинам, то при длине пластин $l = 20$ см модуль напряженности поля в конденсаторе равен ... кВ/м.
8. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью, модуль которой $v = 3,6 \cdot 10^4$ км/с. Модуль напряженности поля внутри конденсатора $E = 370$ В/м. Длина пластин конденсатора $l = 20$ см. Смещение электрона в вертикальном направлении под действием электростатического поля за время его движения в конденсаторе равно ... мм.
9. Пылинка находится в однородном электростатическом поле и движется горизонтально с ускорением, модуль которого $a = 4,6$ м/с². Силовые линии поля составляют с горизонтом угол, равный ... град.

10* Конический маятник состоит из невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 100$ см, шарика массой $m = 2,0$ г с зарядом $q = 1,0 \cdot 10^{-6}$ Кл. Маятник находится в однородном электростатическом поле с напряженностью, модуль которой $E = 10$ кВ/м и силовые линии направлены вертикально вниз. Если нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$, то угловая скорость вращения шарика равна ... рад/с.

§ 13. Потенциал. Разность потенциалов

Под **потенциалом** φ электростатического поля в данной точке понимают скалярную физическую величину, равную отношению потенциальной энергии W_0 заряда q_0 , помещенного в данную точку поля, к этому заряду:

$$\varphi = \frac{W_0}{q_0}.$$

В СИ за единицу потенциала принимается вольт (В):

$$[\varphi] = \frac{1 \text{ Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{ В}.$$

Потенциал поля, образованного точечным зарядом q на расстоянии r от него,

$$\varphi = \frac{kq}{r}.$$

Потенциал поля равномерно заряженной проводящей сферической поверхности радиусом R с зарядом q рассчитывается по формуле

$$\varphi = \begin{cases} \frac{kq}{R}, & r \leq R \\ \frac{kq}{r}, & r > R. \end{cases}$$

Если поле образовано системой точечных зарядов, то имеет место принцип суперпозиции полей и потенциал результирующего поля в данной точке равен сумме потенциалов, создаваемых каждым зарядом в этой точке:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

Под **разностью потенциалов** (напряжением) между двумя точками поля понимают отношение работы A_{12} , совершенной полем по пере-

мещению заряда q_0 из начальной точки в конечную, к перемещаемому заряду:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0} = -\frac{\Delta W}{q_0},$$

где ΔW — изменение потенциальной энергии заряда q_0 .

Для поля, образованного точечным зарядом q :

$$A_{12} = -\Delta W_{\text{п}} = W_{\text{п}1} - W_{\text{п}2} = kq_0q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Потенциальная энергия системы двух точечных зарядов q_1 и q_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга,

$$W_{\text{п}} = k \frac{q_1 q_2}{r}.$$

Модуль напряженности однородного электростатического поля связан с разностью потенциалов соотношением

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов (напряжение) между точками, находящимися на расстоянии d , измеренном вдоль линии напряженности.

Тест А1

- Точечный заряд $q = 10$ нКл находится в вакууме. Потенциал $\varphi = 30$ В будет создан на расстоянии от точечного заряда, равном:
 - 3,0 мм;
 - 3,0 см;
 - 30 см;
 - 50 см;
 - 3,0 м.
- На рисунке 13.1 показаны эквипотенциальные поверхности 1, 2, 3 отрицательного заряда $-q$. На какой из них потенциал больше?
 - 1;
 - 2;
 - 3;
 - потенциалы одинаковы;
 - $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$.
- Точечный неподвижный заряд $q = 20$ нКл создает электростатическое поле. Заряд $q_0 = 10$ нКл перемещается в этом поле по траектории, представляю-

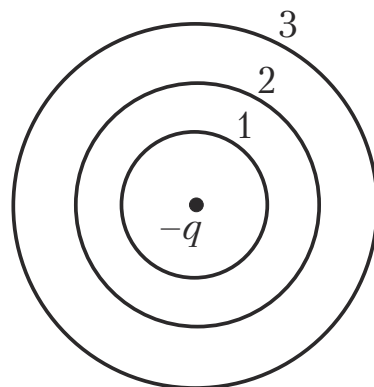


Рис. 13.1

щей собой квадрат со стороной $a = 10$ см (рис. 13.2).

Работа сил поля по перемещению заряда q равна:

- 1) 100 Дж; 3) 36 Дж; 5) 0.
2) 50 Дж; 4) 25 Дж;

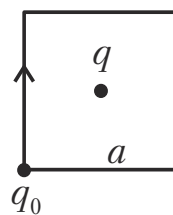


Рис. 13.2

4. Неподвижный точечный заряд q создает электростатическое поле, в котором перемещается точечный заряд q_1 из точки N в точку M , лежащие на одной окружности (рис. 13.3). Работа, совершаемая полем при перемещении заряда q_1 :

- 1) максимальна по траектории a ;
2) минимальна по траектории b ;
3) одинакова по всем траекториям;
4) одинакова по всем траекториям и равна 0;
5) по траектории b больше, чем по траекториям b и a .

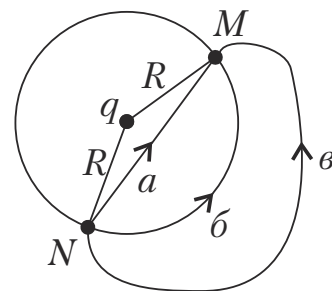


Рис. 13.3

5. Электростатическое поле в вакууме образовано точечным зарядом $q = 4,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между двумя точками, удаленными от заряда на $l_1 = 60$ мм и $l_2 = 90$ мм, равна:

- 1) $-0,20$ кВ; 3) $0,10$ кВ; 5) $0,60$ кВ.
2) $-0,10$ кВ; 4) $0,20$ кВ;

6. При перемещении заряда $q = -2,0$ Кл в электростатическом поле внешние силы совершили работу $A = 60$ Дж. Разность потенциалов между начальной и конечной точками перемещения заряда равна:

- 1) $-0,12$ кВ; 3) $-\frac{1}{30}$ В; 5) $0,12$ кВ.
2) -30 В; 4) 30 В;

7. Работа электростатического поля по перемещению заряда $q = -2,0$ нКл из точки с потенциалом $\varphi_1 = -700$ В в точку с потенциалом $\varphi_2 = 200$ В равна:

- 1) -18 мкДж; 3) $-9,0$ мкДж; 5) 10 мкДж.
2) -10 мкДж; 4) $1,8$ мкДж;

8. Заряды $+q$, $+4q$ и $-3q$ находятся в вершинах правильного треугольника со стороной a . Потенциальная энергия этой системы зарядов равна:

- 1) $\frac{11q^2}{4\pi\epsilon_0 a}$; 3) $-\frac{11q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$; 5) $-\frac{11q^2}{4\pi\epsilon_0 a}$.
2) $\frac{11q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$; 4) $-\frac{16q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$;

9. Два заряда $q_1 = 3,0$ мкКл и $q_2 = 1,0$ мкКл находятся в воздухе на расстоянии $r_1 = 40$ см. Чтобы сблизить их до $r_2 = 20$ см, необходимо совершить работу, равную:

- 1) -68 мДж; 4) 68 мДж;
 2) $-0,20$ Дж; 5) 94 мДж.
 3) $0,20$ Дж;

10. Напряжение между точками A и B (рис. 13.4), если $AB = 8,0$ см, $\alpha = 60^\circ$, а модуль напряженности поля $E = 100$ кВ/м, равно:

- 1) $6,9$ кВ;
 2) $-6,9$ кВ;
 3) $4,0$ кВ;
 4) $-4,0$ кВ;
 5) $-2,0$ кВ.

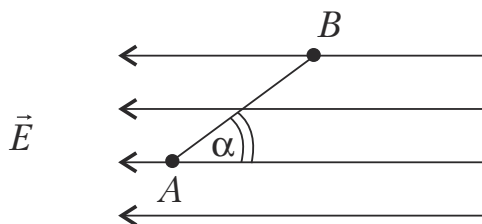


Рис. 13.4

Тест А2

1. Неподвижный точечный заряд $+q$ создает электростатическое поле, в котором по замкнутой траектории перемещают заряд $+q_1$ (рис. 13.5). Работа электростатического поля при этом перемещении отрицательна на участке траектории:

- 1) 1–2;
 2) 2–3;
 3) 3–4;
 4) 4–1;
 5) одинакова по всем траекториям.

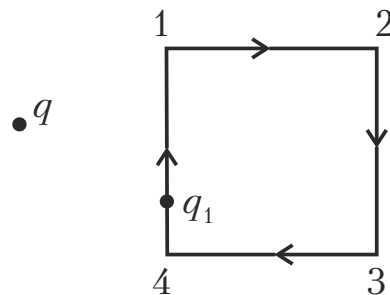


Рис. 13.5

2. В однородном электростатическом поле электрон, двигавшийся против направления силовых линий, переместился на расстояние d . Масса электрона m , модуль заряда e . Напряжение между начальной и конечной точками перемещения электрона U . Модуль ускорения a , с которым двигался электрон в электростатическом поле, равен:

- 1) $\frac{eU}{d}$; 3) $-\frac{eU^2}{md}$; 5) $\frac{eU}{m}$.
 2) $-\frac{eU}{d}$; 4) $\frac{eU}{md}$;

3. Металлический шар радиусом $R = 9,0$ см заряжен до потенциала $\varphi = 16$ В. Число электронов, находящихся на поверхности шара, равно:

- 1) $1,0 \cdot 10^7$; 3) $1,0 \cdot 10^9$; 5) $1,6 \cdot 10^{11}$.
 2) $1,0 \cdot 10^8$; 4) $1,0 \cdot 10^{10}$;

4. Два точечных заряда $q_1 = 5,0 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -4,0 \cdot 10^{-6}$ Кл находятся в вершинах A и B треугольника ABC , стороны которого $BC = 40$ см, $AC = 50$ см. Потенциал поля в третьей вершине C равен:

- 1) -90 кВ; 3) 0 ; 5) 90 кВ.
 2) -40 кВ; 4) 40 кВ;

5. В трех вершинах квадрата, расположенного в вакууме, находятся заряды $q = 1,0$ нКл. Сторона квадрата $a = 20$ см. Потенциал электростатического поля в четвертой вершине квадрата равен:

- 1) $0,18$ кВ; 3) $0,12$ кВ; 5) 95 В.
 2) $0,16$ кВ; 4) $0,11$ кВ;

6. По поверхности проводящей сферы радиусом R равномерно распределены заряды с поверхностной плотностью σ . Потенциал φ электростатического поля в зависимости от расстояния r до центра сферы в вакууме будет равен:

- 1)
$$\begin{cases} \varphi = 0, r \leq R, \\ \varphi = \frac{R^2 \sigma}{\epsilon_0 r}, r > R; \end{cases}$$
 4) $\varphi = \frac{R^2 \sigma}{\epsilon_0 r}$;
- 2)
$$\begin{cases} \varphi = 0, r < R, \\ \varphi = \frac{R^2 \sigma}{\epsilon_0 r}, r > R; \end{cases}$$
 5)
$$\begin{cases} \varphi = \frac{4\pi R \sigma}{\epsilon_0}, r \leq R, \\ \varphi = \frac{4\pi R^2 \sigma}{\epsilon_0 r}, r > R. \end{cases}$$
- 3)
$$\begin{cases} \varphi = \frac{R \sigma}{\epsilon_0}, r \leq R, \\ \varphi = \frac{R^2 \sigma}{\epsilon_0 r}, r > R; \end{cases}$$

7. Точечные электрические заряды $q_1 = 100$ нКл и $q_2 = 300$ нКл расположены на расстоянии $l = 50$ см друг от друга. Потенциальная энергия этой системы зарядов равна:

- 1) $5,4 \cdot 10^{-4}$ Дж; 4) $2,7 \cdot 10^{-4}$ Дж;
 2) $3,9 \cdot 10^{-4}$ Дж; 5) $2,7 \cdot 10^{-7}$ Дж.
 3) $3,1 \cdot 10^{-4}$ Дж;

8. Капелька масла массой $m = 10^{-2}$ г «взвешена» в поле плоского конденсатора, расстояние между пластинами которого $d = 2$ см. К пластинам приложено напряжение $U = 1000$ В. Заряд капельки масла по величине равен:
- 1) $2 \cdot 10^{-9}$ Кл; 3) $2 \cdot 10^{-8}$ Кл; 5) $4 \cdot 10^{-8}$ Кл.
 2) $4 \cdot 10^{-9}$ Кл; 4) $3 \cdot 10^{-8}$ Кл;
9. Электрон вылетает из точки с потенциалом φ со скоростью, модуль которой v , и движется в направлении силовых линий электростатического поля. Модуль заряда электрона e , масса электрона m . Потенциал точки, в которой он остановится, равен:
- 1) $\varphi + \frac{mv^2}{2e}$; 3) $\varphi - \frac{mv^2}{e}$; 5) $-\varphi$.
 2) $\varphi - \frac{mv^2}{2e}$; 4) $\varphi + \frac{mv^2}{e}$;
10. Электрический пробой в воздухе происходит, если модуль напряженности E поля достигает 3 МВ/м. Максимальное напряжение, которое можно подать на пластины конденсатора в воздухе, если расстояние между пластинами $d = 1$ мм, равно:
- 1) 6 кВ; 3) 4 кВ; 5) 2 кВ.
 2) 5 кВ; 4) 3 кВ;

Тест В1

1. Искровой разряд в воздухе происходит при модуле напряженности поля $E = 3,0 \cdot 10^6$ В/м. Потенциал, до которого можно зарядить находящийся в воздухе металлический шар радиусом $R = 0,50$ м, чтобы не произошел искровой разряд, равен ... МВ.
2. В вершинах квадрата со стороной $a = 1,4$ см находятся закрепленные точечные заряды, величина каждого из которых равна $-5,0$ нКл. Потенциал поля в точке, в которой модуль напряженности поля равен нулю, составляет ... кВ.
3. Электростатическое поле создано неподвижным зарядом $Q = 4,6$ нКл. Из точки с потенциалом φ_1 , находящейся на расстоянии $r_1 = 20$ см от заряда Q , в точку с потенциалом φ_2 , находящуюся на расстоянии $r_2 = 10$ см от заряда Q , перемещают точечный заряд $q = 1,2$ нКл. Работа внешней силы по перемещению этого заряда равна ... мкДж.
4. Электростатическое поле образовано неким положительным зарядом. В точках A и B потенциалы $\varphi_A = 60$ В и $\varphi_B = 120$ В (рис. 13.6).

Потенциал точки C , лежащей посередине между точками A и B , равен ... В.



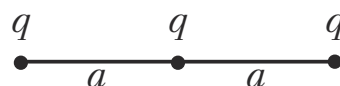
Рис. 13.6

5. Восемь одинаковых маленьких капель ртути, заряженные равными зарядами, сливаются в одну сферическую каплю. Отношение потенциала большой капли к потенциалу маленькой капли равно
6. Электрон в вакууме движется к закрепленному металлическому шарик радиусом $R = 30$ мм с зарядом $q = -1,0$ нКл. Модуль минимальной скорости электрона на достаточно большом расстоянии от шарика, при которой он сможет достичь поверхности шарика, равен ... Мм/с.
- 7*. Четыре одинаковых бусинки с зарядами $q = 0,20$ мкКл и массами $m = 0,20$ г расположены в вакууме в вершинах квадрата, сторона которого $a = 50$ см, и удерживаются нитями. Модуль максимальной скорости, которую приобретут бусинки, если одновременно пережечь удерживающие их нити, составляет ... м/с.
8. Три точечных заряда $+q$, $+2q$ и $-q$ ($q = 10$ нКл) находятся в вершинах правильного треугольника со стороной $a = 10$ см. Работа, которую нужно совершить, чтобы удалить заряд $-q$ на большое расстояние, равна ... мкДж.
9. Две материальные частицы массами $m_1 = m_2$ с равными, но противоположными по знаку зарядами движутся по окружности вокруг общего центра масс. Отношение модуля потенциальной энергии их электрического взаимодействия к кинетической энергии частицы равно
- 10*. На расстоянии $l = 30$ см от бесконечной металлической пластины находится точечный заряд $q = 1,2$ нКл. Чтобы медленно удалить заряд от пластины на большое расстояние, необходимо совершить работу ... нДж.

Тест В2

1. Потенциал точки электростатического поля, расположенной на расстоянии $r = 50$ см от точечного заряда, создающего поле, если вектор напряженности в этой точке направлен к заряду, а модуль напряженности $E = 10$ кВ/м, равен ... кВ.
2. Чтобы три одинаковых точечных положительных заряда $q = 12$ нКл, находящиеся в вакууме вдоль одной прямой на расстоянии $a = 20$ см друг от друга, расположить в вершинах равностороннего треуголь-

ника со стороны $\frac{a}{2}$ (рис. 13.7), необходимо



совершить работу, равную ... мкДж.

3. По наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, с высоты $h = 1,0$ м соскальзывает небольшое тело массой $m = 1,0$ г, заряженное отрицательным зарядом $q_1 = -100$ нКл. В точке пересечения вертикали, проведенной через начальное положение тела с основанием плоскости, закреплен положительный заряд $+q_2 = 400$ нКл. Модуль скорости, которой тело достигнет у основания плоскости, равен ... м/с. Трением пренебречь.

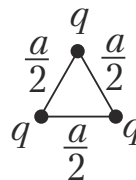


Рис. 13.7

4*. Большая сферическая капля образована при слиянии маленьких сферических капелек радиусом $r = 5,0 \cdot 10^{-3}$ мм в количестве $n = 1,0 \cdot 10^6$. Заряд каждой маленькой капли $q = 1,6 \cdot 10^{-14}$ Кл. Работа, которую нужно совершить, чтобы преодолеть электростатические силы отталкивания при соединении капелек, равна ... мДж.

- 5*. Два электрона, находящиеся на большом расстоянии один от другого, двигаются по прямой навстречу друг другу со скоростями по модулю v и $3v$, где $v = 1,0 \cdot 10^6$ м/с. Наименьшее расстояние, на которое сблизятся электроны, равно ... нм (полученное значение умножьте на 10^{12}).

- 6*. Проводящий шар радиусом $R = 10$ см, потенциал которого $\phi_1 = 400$ В, соединяют длинным проводником с проводящим шаром радиусом $r = 20$ см с потенциалом $\phi_2 = -80$ В. Потенциал шаров после соединения равен ... В.

7. Электрон влетает в плоский конденсатор, пластины которого расположены горизонтально, параллельно его пластинам со скоростью, модуль которой $v_0 = 2,0 \cdot 10^7$ м/с. На пластины подано напряжение $U = 50$ В. Длина пластин $l = 50$ мм, расстояние между ними $d = 10$ мм. Расстояние, на которое сместится электрон в вертикальном направлении за время его движения в конденсаторе, составляет ... мм.

8. Электрон влетает в пространство между пластинами плоского конденсатора, на которых поддерживается постоянная разность потенциалов $U = 60$ В, под углом $\alpha = 60^\circ$ (рис. 13.8). Модуль мини-

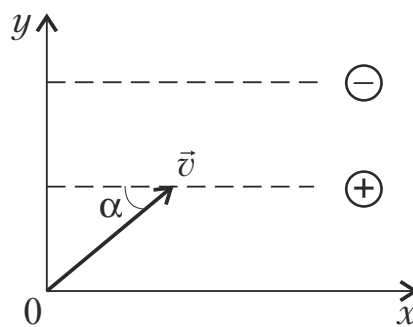


Рис. 13.8

мальной скорости, при которой он достигнет верхней пластины, равен ... Мм/с.

- 9*. Три точечных заряда $q_1 = q$, $q_2 = q$ и $q_3 = -2q$ расположены в вершинах равностороннего треугольника с длиной стороны $a = 60$ см. Зависимость потенциала φ электростатического поля заряда q от расстояния r приведена на графике (рис. 13.9). Модуль напряженности электростатического поля в центре треугольника равен ... В/м.

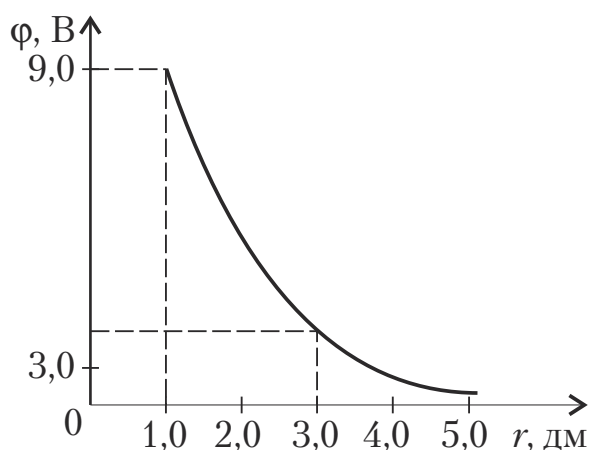


Рис. 13.9

- 10*. На рисунке 13.10 приведен график зависимости потенциала φ электростатического поля, созданного в вакууме точечными электрическими зарядами q_1 и q_2 , от координаты x . Заряды размещены на оси Ox в точках с координатами $x_1 = 0$ м и $x_2 = 100$ см соответственно. Проекция напряженности этого поля на ось Ox в точке с координатой $x = 0,300$ м равна ... В/м.

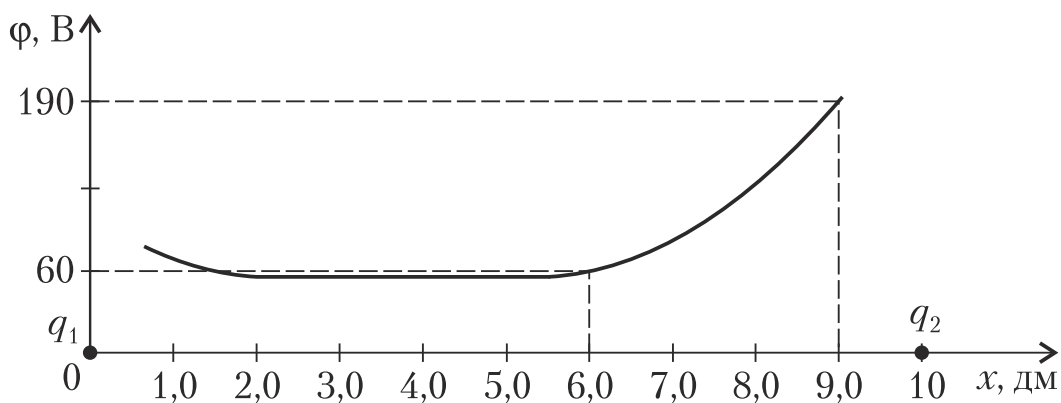


Рис. 13.10

§ 14. Электростатическое поле в веществе

Проводники — вещества, в которых могут свободно перемещаться электрические заряды (металлы, электролиты, плазма). Если проводник внести во внешнее электростатическое поле, то происходит перераспределение зарядов по поверхности проводника до тех пор, пока внутреннее электростатическое поле не скомпенсирует внешнее. Это

явление называется **электростатической индукцией** и приводит к тому, что напряженность поля внутри проводника $\vec{E} = \vec{0}$, а потенциал проводника одинаков во всех его точках: $\varphi = \text{const}$.

Диэлектрики (вода, керосин, стекло) — вещества, у которых нет свободных носителей заряда.

Под действием внешнего электростатического поля заряды в атомах и молекулах диэлектрика несколько смещаются, и это приводит к поляризации диэлектрика — явлению смещения связанных зарядов и возникновению внутри диэлектрика дополнительного электростатического поля, направленного противоположно внешнему.

Диэлектрическая проницаемость ϵ — величина, характеризующая поляризацию диэлектрика, равна отношению модуля напряженности E_0 электростатического поля в вакууме к модулю напряженности E электростатического поля в диэлектрике, внесенном во внешнее электростатическое поле: $\epsilon = \frac{E_0}{E}$. Необходимо учитывать ослабление поля в диэлектрике, тогда формулы электростатики в диэлектрике имеют вид: $F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$; $E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$; $\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$.

Тест А1

1. Незаряженный проводник внесли в однородное электростатическое поле и разделили на две части 1 и 2 (рис. 14.1). После разделения проводника:

1) обе части останутся электрически нейтральными;

2) часть 1 будет заряжена положительно, а часть 2 — отрицательно;

3) часть 1 будет заряжена отрицательно, а часть 2 — положительно;

4) обе части будут заряжены положительно;

5) обе части будут заряжены отрицательно.

2. Незаряженный диэлектрик внесли в однородное электростатическое поле и разделили на две части 1 и 2 (рис. 14.2). После разделения:

1) обе части останутся электрически нейтральными;

2) часть 1 будет заряжена положительно, а часть 2 — отрицательно;

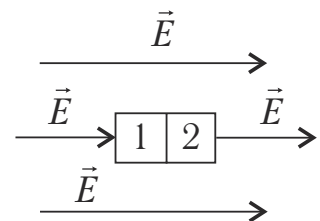


Рис. 14.1

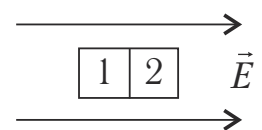


Рис. 14.2

- 3) часть 1 будет заряжена отрицательно, а часть 2 — положительно;
- 4) обе части будут заряжены положительно;
- 5) обе части будут заряжены отрицательно.
3. Электрический заряд находится на теле в полости внутри металла. Электростатическое поле заряда равно нулю:
- 1) внутри полости;
- 2) внутри металла;
- 3) снаружи тела;
- 4) внутри металла и снаружи тела;
- 5) в любой точке пространства.
4. Металлический шар диаметром $d = 10$ см имеет заряд $q = 3,14 \cdot 10^{-8}$ Кл. Поверхностная плотность заряда равна:
- 1) $1,0 \cdot 10^{-5}$ Кл/м²; 4) $2,0 \cdot 10^{-7}$ Кл/м²;
- 2) $1,0 \cdot 10^{-6}$ Кл/м²; 5) $4,0 \cdot 10^{-8}$ Кл/м².
- 3) $4,0 \cdot 10^{-7}$ Кл/м²;
5. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся в керосине на расстоянии r_1 друг от друга. На каком расстоянии они должны находиться в вакууме, чтобы модуль силы взаимодействия не изменился? Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2,0$.
- 1) $\frac{r_1}{2}$; 3) $r_1 \sqrt{2}$; 5) $\frac{r_1}{4}$.
- 2) $2r_1$; 4) $\frac{r_1}{\sqrt{2}}$;
6. Если два одинаковых металлических шарика, обладающие электрическими зарядами $q_1 = 0,12$ мкКл и $q_2 = -0,080$ мкКл, поместить в воду (диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$), привести в соприкосновение и раздвинуть на расстояние $l = 4,0$ см, то модуль их взаимодействия будет равен:
- 1) $5,4 \cdot 10^{-2}$ Н; 3) $6,9 \cdot 10^{-4}$ Н; 5) $3,5 \cdot 10^{-6}$ Н.
- 2) $2,3 \cdot 10^{-3}$ Н; 4) $2,8 \cdot 10^{-5}$ Н;
7. Если проводящий шар радиусом R заряжен зарядом q , то в точке на расстоянии $R/2$ от центра шара модуль напряженности электростатического поля равен:
- 1) $-\frac{q}{2\pi\epsilon_0 R}$; 3) $\frac{q}{\pi\epsilon_0 R^2}$; 5) 0.
- 2) $-\frac{q}{\pi\epsilon_0 R^2}$; 4) $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$;

8. Потенциал электростатического поля заряженной проводящей сферы радиусом R в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ на расстоянии r от центра сферы, если заряд сферы равен Q , определяется выражением:

$$1) \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}, r > 0; \quad 4) \varphi = \begin{cases} \frac{Q\epsilon}{4\pi\epsilon_0 R}, r \leq R, \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}, r > R; \end{cases}$$

$$2) \varphi = \begin{cases} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}, r < R, \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}, r > R; \end{cases} \quad 5) \begin{cases} \varphi = 0, r \leq R, \\ \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}, r > R. \end{cases}$$

$$3) \varphi = \begin{cases} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}, r \leq R, \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}, r > R; \end{cases}$$

9. Электростатическое поле в вакууме образовано точечным зарядом q . Потенциал в точке A равен φ . Если пространство заполнить средой с диэлектрической проницаемостью ϵ , то потенциал в точке A :

- 1) увеличится в ϵ раз;
- 2) уменьшится в ϵ раз;
- 3) не изменится;
- 4) увеличится в $\sqrt{\epsilon}$ раз;
- 5) уменьшится в $\sqrt{\epsilon}$ раз.

10. Точечный заряд $q = 10$ нКл находится в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 6,0$. Потенциал $\varphi = 30$ В наблюдается на расстоянии от точечного заряда:

- 1) 30 см;
- 2) 50 см;
- 3) 60 см;
- 4) 1,2 м;
- 5) 1,5 м.

Тест А2

1. Два заряженных шарика находятся в среде на расстоянии $l_0 = 5,0$ см друг от друга. Те же шарики взаимодействуют с такой же по модулю силой в воздухе, когда они находятся на расстоянии $l = 10$ см друг от друга. Диэлектрическая проницаемость ϵ среды равна:

- 1) 2,0;
- 2) 2,5;
- 3) 4,0;
- 4) 5,0;
- 5) 10.

2. Два маленьких заряженных шарика находятся в воде на расстоянии $r_1 = 2,0$ см. Эти же шарики взаимодействуют в вакууме с такой же силой на расстоянии $r_2 = 18$ см. Диэлектрическая проницаемость воды равна:
- 1) 3,0; 3) 36; 5) 81.
 2) 9,0; 4) 71;
3. Как изменится модуль силы взаимодействия двух маленьких одинаковых металлических шариков с зарядами q и $-5q$, находящихся в вакууме на расстоянии r друг от друга, если их привести в соприкосновение, а затем раздвинуть на расстояние $\frac{2r}{\sqrt{5}}$ в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5$?
- 1) Увеличится в 5 раз;
 2) уменьшится в 3 раза;
 3) уменьшится в 5 раз;
 4) уменьшится в 15 раз;
 5) уменьшится в $5\sqrt{3}$ раз.
4. На некотором расстоянии от равномерно заряженной проводящей плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 5$ мкКл/м² находится маленький шарик с зарядом $q = 1,77$ мкКл. Если шарик переместить на противоположную сторону плоскости на такое же расстояние, то изменение силы, действующей на шарик, будет равно:
- 1) 0,5 Н;
 2) 1 Н;
 3) 2 Н;
 4) 0 Н;
 5) недостаточно данных для решения задачи.
5. Если модуль напряженности поля в точке, удаленной на расстояние r от центра заряженного проводящего шара радиусом R ($r > R$), равен E , то поверхностная плотность заряда σ на шаре равна:
- 1) $\sigma = \frac{E\epsilon_0 R^2}{r^2}$; 4) $\sigma = \frac{E\epsilon_0 r}{R}$;
 2) $\sigma = \frac{E\epsilon_0 r^2}{R^2}$; 5) $\sigma = \frac{E4\pi\epsilon_0}{(R+r)}$.
 3) $\sigma = \frac{E\epsilon_0 R}{r}$;
6. Внутри тонкой полый проводящей сферы радиусом R_1 находится металлический шарик радиусом $R_2 < R_1$. Сфере сообщали заряд q_1 ,

а шаруку $-q_2$. Их центры совпадают. Модуль напряженности поля в точке, находящейся на расстоянии r от центра ($R_2 < r < R_1$), равен:

- 1) $\frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1^2}$; 3) $\frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$; 5) $\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_2}{r^2} + \frac{q_1}{R_1^2} \right)$.
 2) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2}{r^2}$; 4) $\frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{R_1^2} + \frac{q_2}{R_2^2} \right)$;

7. Модуль вектора напряженности электростатического поля, образованного заряженным проводящим шаром радиусом R , в зависимости от расстояния r до центра шара, представлен на графике (1–5) (рис. 14.3).

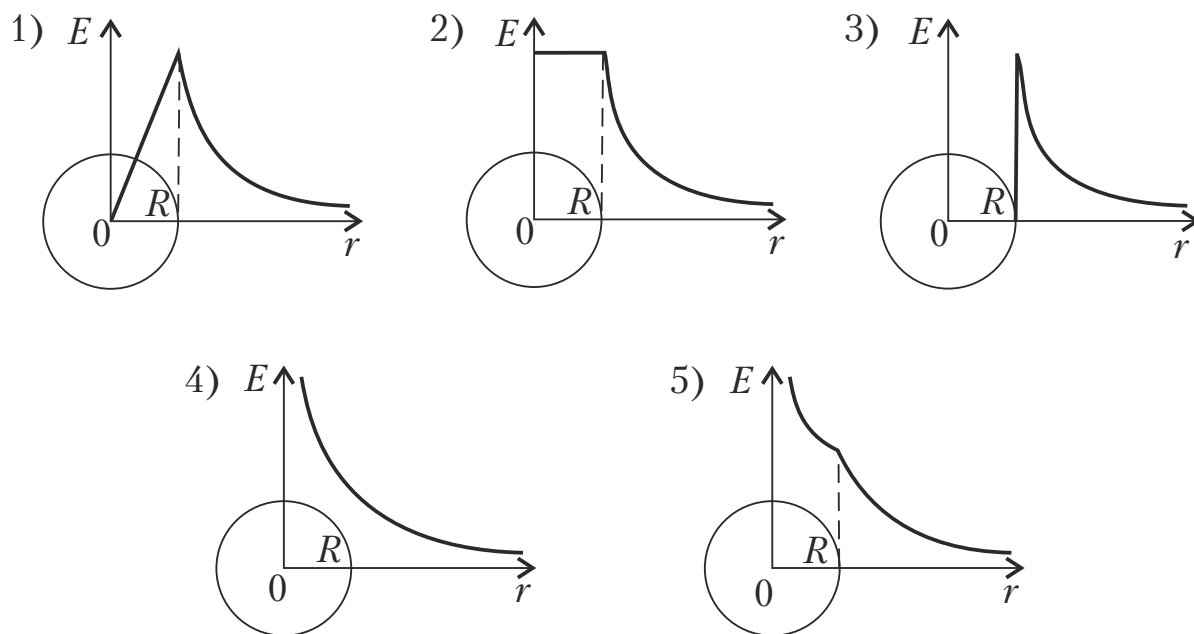


Рис. 14.3

8. Если на расстоянии $r = 2,0$ м от поверхности проводящего шара, радиус которого $R = 1,0$ м, потенциал электростатического поля $\varphi = 20$ В, то потенциал шара равен:
 1) 10 В; 3) 40 В; 5) 80 В.
 2) 30 В; 4) 60 В;
9. Металлический шар диаметром $d = 16$ см зарядили положительно и поверхностная плотность заряда на шаре $\sigma = 28$ нКл/м². Потенциал в точке, находящейся на расстоянии $r = 4,0$ см от центра шара, равен:
 1) 50 В; 3) 0,15 кВ; 5) 0,25 кВ.
 2) 0,10 кВ; 4) 0,20 кВ;

- $\varepsilon = 2,2$. Модуль напряженности в центре треугольника равен ... кВ/м.
8. Проводящий шар радиусом $R = 10$ см зарядили до потенциала $\varphi = 820$ В и на расстоянии $r = 2R$ от центра шара поместили точечный заряд $q = -6,0$ нКл. Потенциал шара будет равен ... кВ.
 9. Заряженный шарик погружен в керосин (диэлектрическая проницаемость керосина $\varepsilon = 2$). Расстояние r_2 от шарика, на котором модуль напряженности поля будет таким же, каким был до погружения в керосин на расстоянии $r_1 = 30$ см, равно ... см.
 10. На расстоянии $r = 40$ мм от заряда $q = 2,5 \cdot 10^{-9}$ Кл, находящегося в жидком диэлектрике, модуль напряженности поля $E = 174$ В/м. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика равна

Тест В2

1. Два шарика с одинаковыми массами, радиусами и зарядами, подвешенные в одной точке на нитях одинаковой длины, опускают в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2,0$ и плотностью $\rho = 2700$ кг/м³. Плотность вещества шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в диэлектрике был одинаковым, должна составлять ... кг/м³.
2. Медный шар диаметром $d = 1,0$ см помещен в трансформаторное масло, диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 2,2$ и плотность $\rho_m = 900$ кг/м³. Систему помещают во внешнее однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого в вакууме $E = 79$ кВ/см. Силовые линии поля направлены вертикально вверх. Если шар оказался взвешен в масле, то заряд шара равен ... нКл.
3. В сосуде с керосином ($\varepsilon = 2,3$) находятся два одинаковых шарика массами $m_1 = m_2 = m = 0,60$ г с зарядами $q_1 = q_2 = q = 100$ нКл. Расстояние между центрами шариков $l = 10$ см. Один из шариков плавает, наполовину погруженный в жидкость, а второй, соединенный невесомой нитью с первым, находится внутри жидкости. Модуль силы натяжения нити равен ... мН.
- 4*. Заряд $q = 10$ нКл равномерно распределен по объему шара радиусом $R = 20$ см, изготовленного из непроводящего материала. Модуль напряженности поля на расстоянии $r = 10$ см от центра шара равен ... кВ/м.

5. По вертикальной проводящей плоскости распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 4,0$ нКл/см². К плоскости прикреплена невесомая и непроводящая нить, на конце которой находится заряженный шарик массой $m = 1,0$ г. При равновесии системы нить отклонилась от плоскости на угол $\alpha = 13^\circ$. Заряд шарика равен ... нКл.
6. Две тонкостенные концентрические металлические сферические оболочки радиусами $R_1 = 30$ см и $R_2 = 60$ см имеют заряды $q_1 = 100$ нКл и $q_2 = -400$ нКл. Потенциалы ϕ_1 и ϕ_2 электростатического поля на расстоянии $r_1 = 20$ см и $r_2 = 50$ см от центра сфер равны ... кВ.
- 7*. Две квадратные параллельные металлические пластины с длиной стороны $a = 50$ см находятся на расстоянии $d = 2,0$ см друг от друга. Пластины помещены в керосин, диэлектрическая проницаемость которого $\epsilon = 2,0$. Заряды пластин $q_1 = -0,12$ мкКл и $q_2 = +0,36$ мкКл. Разность потенциалов между пластинами равна ... кВ.
- 8*. Шар радиусом $R_1 = 80$ мм помещен внутрь тонкой концентрической металлической сферы радиусом $R_2 = 16$ см. Через маленькое отверстие в сфере шар соединен с землей длинным тонким проводником (рис. 14.4). Если потенциал сферы $\phi_1 = 120$ В, то сфере сообщился заряд, равный ... нКл.
- 9*. Модуль напряженности однородного электростатического поля в диэлектрике ($\epsilon = 5,0$) $E = 12$ кВ/м. Модуль напряженности поля связанных зарядов поляризованного диэлектрика равен ... кВ/м.
10. Точечные электрические заряды $q_1 = q = 2,4$ нКл; $q_2 = 2q$ и $q_3 = -3q$ помещены в вершины правильного треугольника, сторона которого $a = 16$ см. Система находится в среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5,0$. Потенциальная энергия такой системы равна ... мкДж.

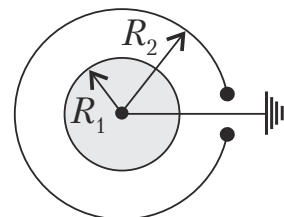


Рис. 14.4

§ 15. Электроёмкость. Конденсаторы

Под *электроёмкостью* уединенного проводника понимают физическую величину, численно равную заряду, который необходимо сообщить проводнику, чтобы повысить его потенциал на 1 В:

$$C = \frac{q}{\phi}$$

В СИ единицей емкости является фарад ($1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$, $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$, $1 \text{ нФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$).

Емкость проводящего шара радиусом R в среде диэлектрической проницаемостью ϵ

$$C = 4\pi\epsilon_0 \epsilon R.$$

Емкость конденсатора численно равна отношению заряда на одной из его обкладок к напряжению между ними:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Емкость плоского конденсатора с площадью обкладок S , расстоянием между обкладками d и диэлектрической проницаемостью среды ϵ

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

При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость определяется выражением

$$C = \sum_{i=1}^n C_i.$$

При последовательном соединении конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Энергия электростатического поля заряженного конденсатора

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 V}{2},$$

где V — объем среды внутри конденсатора.

Плотность энергии электростатического поля

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}.$$

Тест А1

1. Единица емкости 1 Ф в СИ может быть выражена следующим образом:
- | | |
|-----------|--------------------------------------|
| 1) В/м; | 4) Кл ² /м ² ; |
| 2) Кл/В; | 5) Дж/В. |
| 3) Дж/Кл; | |

2. Зависимость потенциала проводящей сферы от величины заряда на сфере представлена на рисунке 15.1. Ёмкость сферы равна:

- 1) $1 \cdot 10^{-8}$ Ф;
- 2) $3 \cdot 10^{-8}$ Ф;
- 3) $5 \cdot 10^{-8}$ Ф;
- 4) $8 \cdot 10^{-8}$ Ф;
- 5) $1 \cdot 10^{-7}$ Ф.

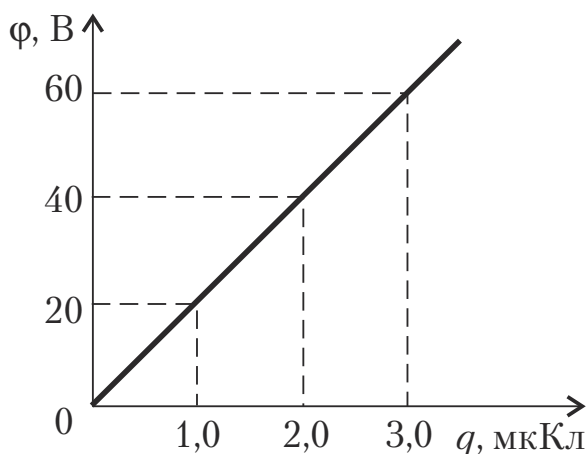


Рис. 15.1

3. Радиус металлической сферы $R = 5,00$ см. Ёмкость такой сферы в вакууме равна:

- 1) 5,56 Ф;
- 2) 5,56 мФ;
- 3) 5,56 мкФ;
- 4) 5,56 пФ;
- 5) 1,11 пФ.

4. При уменьшении расстояния между пластинами в $k = 2$ раза и введении между пластинами диэлектрика с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$ ёмкость плоского конденсатора:

- 1) увеличится в 8 раз;
- 2) увеличится в 2 раза;
- 3) не изменится;
- 4) уменьшится в 2 раза;
- 5) уменьшится в 8 раз.

5. Имеется 4 одинаковых конденсатора ёмкостью C каждый. Чтобы общая ёмкость была равна $\frac{3C}{4}$, нужно их соединить по схеме (рис. 15.2):

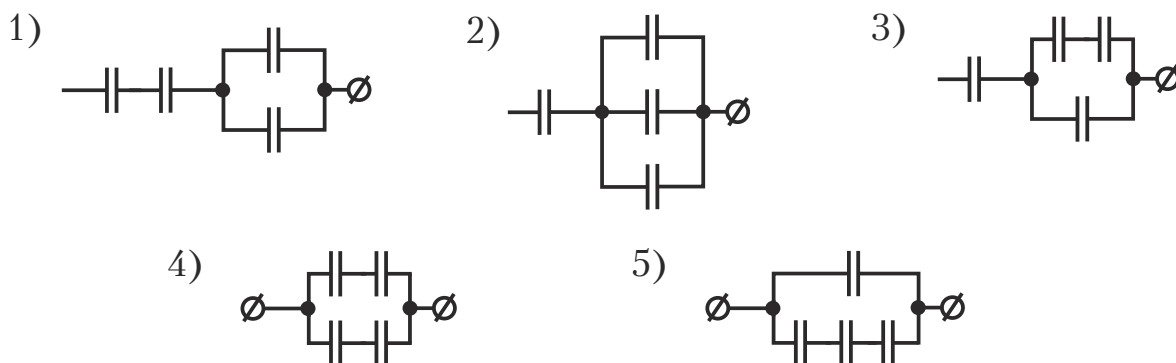


Рис. 15.2

6. Если плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 наполовину заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε (рис. 15.3), то его емкость будет равна:

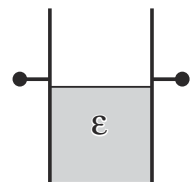


Рис. 15.3

- 1) $2C_0(\varepsilon+1)$; 4) $C_0\varepsilon$;
 2) $\frac{C_0(\varepsilon+1)}{2}$; 5) $\frac{2C_0(\varepsilon+1)}{\varepsilon}$.
 3) $\frac{C_0\varepsilon}{2(\varepsilon+1)}$;

7. Если плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 наполовину заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε (рис. 15.4), то его емкость будет равна:

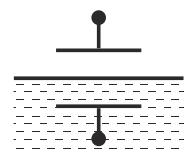


Рис. 15.4

- 1) $C_0(\varepsilon+1)$; 3) $\frac{C_0(\varepsilon+1)}{2}$; 5) $\frac{2C_0\varepsilon}{1+\varepsilon}$.
 2) $\frac{C_0\varepsilon}{2(\varepsilon+1)}$; 4) $C_0\varepsilon$;

8. Конденсатор представляет собой два диска диаметрами D , расположенные друг от друга на расстоянии d . Диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора ε . К обкладкам конденсатора приложено напряжение U . Энергия конденсатора равна:

- 1) $\frac{\varepsilon_0\varepsilon\pi D^2 U^2}{8d}$; 3) $\frac{\varepsilon_0\varepsilon\pi D^2 U}{2d}$; 5) $\frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon\pi D^2}{d}$.
 2) $\frac{\varepsilon_0\varepsilon\pi D^2 U^2}{4d}$; 4) $\frac{\varepsilon_0\varepsilon\pi D^2 U^2}{2d}$;

9. К батарее конденсаторов (рис. 15.5) $C_1 = 1,00$ мкФ, $C_2 = 2,00$ мкФ, $C_3 = 3,00$ мкФ подключили напряжение $U = 100$ В. Напряжение на конденсаторе C_1 и отношение напряжений на конденсаторах C_1 , C_2 и C_3 равны:

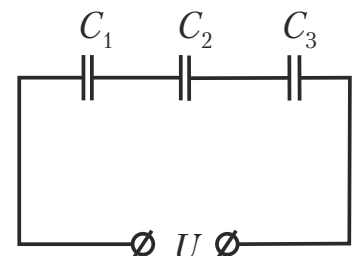


Рис. 15.5

- 1) 15,5 В; 1 : 2 : 3;
 2) 54,5 В; 1 : 1 : 1;
 3) 54,5 В; 6 : 3 : 2;
 4) 45,5 В; 1 : 2 : 3;
 5) 15,2 В; 3 : 2 : 1.

10. На батарею конденсаторов $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 2C_1$, $C_3 = 3C_1$ (рис. 15.6) подали напряжение $U = 100$ В. Заряд на конденсаторе C_3 и отношение зарядов на конденсаторах C_1 , C_2 и C_3 равны:

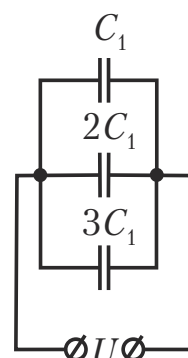


Рис. 15.6

- 1) $q_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ Кл; $q_1 : q_2 : q_3 = 3 : 2 : 1$
- 2) $q_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ Кл; $q_1 : q_2 : q_3 = 1 : 2 : 3$;
- 3) $q_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ Кл; $q_1 : q_2 : q_3 = 1 : 1 : 1$;
- 4) $q_3 = 10^{-4}$ Кл; $q_1 : q_2 : q_3 = 1 : 2 : 3$;
- 5) $q_3 = 10^{-4}$ Кл; $q_1 : q_2 : q_3 = 3 : 2 : 1$.

Тест А2

1. Между обкладками плоского конденсатора с площадью пластин S и расстоянием между пластинами d находится диэлектрик, состоящий из трех одинаковых частей с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 . Границы раздела диэлектрика перпендикулярны обкладкам (рис. 15.7). Ёмкость такого конденсатора равна:

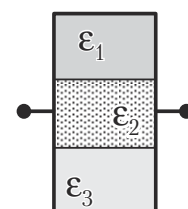


Рис. 15.7

- 1) $\frac{\epsilon_0 S}{3d} (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)$;
- 2) $\frac{\epsilon_0 S (\epsilon_1 \epsilon_2 + \epsilon_2 \epsilon_3 + \epsilon_1 \epsilon_3)}{d (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)}$;
- 3) $\frac{\epsilon_0 S (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)}{d}$;
- 4) $\frac{3\epsilon_0 S}{d} (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)$;
- 5) $\frac{\epsilon_0 S (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)}{d (\epsilon_1 \epsilon_2 + \epsilon_2 \epsilon_3 + \epsilon_1 \epsilon_3)}$.

2. Ёмкость батареи конденсаторов в приведенной схеме (рис. 15.8) равна:

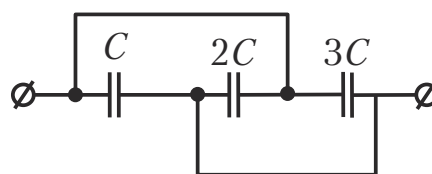


Рис. 15.8

- 1) $2,5 C$;
- 2) $3 C$;
- 3) $4 C$;
- 4) $5 C$;
- 5) $6 C$.

3. Воздушный конденсатор ёмкостью C_0 заполняют диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого ϵ . Конденсатор какой ёмкости необходимо включить последовательно с первым конденсатором, чтобы такая батарея вновь имела ёмкость C_0 ?

- 1) $\frac{C_0}{\epsilon - 1}$;
- 2) $C_0 (\epsilon - 1)$;
- 3) $\frac{\epsilon C_0}{\epsilon + 1}$;
- 4) $\frac{\epsilon C_0}{\epsilon - 1}$;
- 5) $\frac{C_0}{\epsilon + 1}$.

4. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого d , на треть погрузили в масло с диэлектрической проницаемостью ϵ (рис. 15.9). На какое расстояние следует дополнительно раздвинуть пластины, чтобы емкость конденсатора не изменилась?

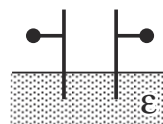


Рис. 15.9

- 1) $(\epsilon - 1)\frac{d}{2}$; 3) $(\epsilon - 1)\frac{d}{3}$; 5) $\epsilon\frac{d}{2}$.
- 2) $(\epsilon + 1)\frac{d}{2}$; 4) $(\epsilon + 1)\frac{d}{3}$.
5. Если в плоском заряженном и не отключенном от источника напряжения конденсаторе расстояние между пластинами увеличить в 2 раза, то его энергия:
- 1) увеличится в 2 раза; 4) увеличится в 4 раза;
 2) уменьшится в 2 раза; 5) уменьшится в 4 раза.
 3) не изменится;
6. При увеличении напряжения на конденсаторе емкостью $C = 20,0 \text{ мкФ}$ в 2 раза энергия его электростатического поля возросла на $\Delta W = 0,300 \text{ Дж}$. Начальное значение напряжения на конденсаторе составляло:
- 1) 100 мВ; 3) 200 В; 5) 10,0 кВ.
 2) 100 В; 4) 500 В;
7. Как изменится энергия заряженного и отключенного от источника тока плоского конденсатора, если из него убрать пластинку с диэлектрической проницаемостью ϵ , полностью заполняющую конденсатор?
- 1) Увеличится в ϵ раз;
 2) станет равной нулю;
 3) уменьшится в ϵ раз;
 4) не изменится;
 5) уменьшится в $\sqrt{\epsilon}$ раз.
8. Плоский конденсатор зарядили в воздухе до разности потенциалов $U_0 = 10 \text{ В}$, отключили от источника, а затем погрузили в керосин, диэлектрическая проницаемость которого в 2 раза больше, чем диэлектрическая проницаемость воздуха. При этом разность потенциалов на пластинах конденсатора будет равна:
- 1) 20 В; 3) 5,0 В; 5) 1,0 В.
 2) 10 В; 4) 2,5 В;

9. Четыре одинаковых последовательно соединенных конденсатора емкостью C каждый подключены к источнику постоянного напряжения U . Один из конденсаторов пробило. Энергия батареи конденсаторов после пробоя (при пробое конденсатора диэлектрик превращается в угольный проводник):
- 1) не изменилась;
 - 2) уменьшилась на $\frac{CU^2}{24}$;
 - 3) увеличилась на $\frac{CU^2}{24}$;
 - 4) увеличилась на $\frac{CU^2}{12}$;
 - 5) уменьшилась на $\frac{CU^2}{12}$.
10. Импульсная лампа питается от конденсатора емкостью $C = 600 \text{ мкФ}$, заряженного до напряжения $U = 1000 \text{ В}$. Продолжительность вспышки $t = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. Средняя мощность вспышки равна:
- 1) 20 кВт;
 - 2) 40 кВт;
 - 3) 60 кВт;
 - 4) 80 кВт;
 - 5) 100 кВт.

Тест В1

1. Два проводящих шара емкостями $C_1 = 40 \text{ пФ}$ и $C_2 = 90 \text{ пФ}$ зарядили до разности потенциалов $\Delta\varphi_1 = 100 \text{ В}$ и $\Delta\varphi_2 = 1,0 \text{ кВ}$. Шары удалены на значительное расстояние. Заряд, который переместится по проволоке, если шары соединить этой проволокой, равен ... нКл.
2. Если $C = 10 \text{ мкФ}$, то емкость батареи конденсаторов в приведенной схеме (рис. 15.10) составляет ... мкФ.
3. Воздушный конденсатор зарядили до напряжения $U_0 = 400 \text{ В}$ и соединили параллельно с таким же, но незаряженным конденсатором, заполненным диэлектриком. После этого соединения напряжение на обкладках конденсаторов стало $U = 100 \text{ В}$. Диэлектрическая проницаемость среды второго конденсатора равна
4. Заряженный и отключенный от источника тока конденсатор залили жидкостью с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3,0$. Если мо-

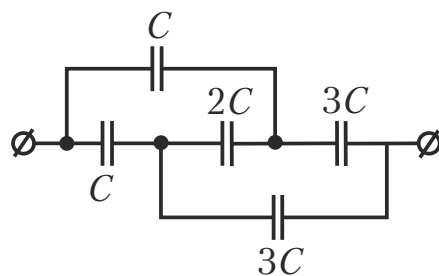


Рис. 15.10

дуль напряженности электростатического поля в конденсаторе вначале $E_1 = 90$ В/м, то после заливки модуль напряженности равен ... В/м.

5. Плоский воздушный конденсатор заполнили керосином и зарядили, сообщив ему энергию $W_0 = 10$ Дж. Затем конденсатор отсоединили от источника, слили керосин и разрядили. Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2,0$. Энергия, которая выделилась при разрядке конденсатора, равна ... Дж.
6. Заряженный и отключенный от источника тока конденсатор залили жидкостью с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 7$. Если модуль силы притяжения между обкладками конденсатора до заливки $F_0 = 14$ мН, то после заливки жидкостью модуль силы притяжения равен ... мН.
7. Между обкладками плоского конденсатора находится парафиновая пластинка с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,2$. Если емкость конденсатора $C = 4,0$ мкФ, а его заряд $q = 0,20$ мКл, то, для того чтобы из конденсатора, отключенного от источника тока, вытащить пластинку, необходимо совершить работу, равную ... мДж.
8. Три конденсатора с емкостями $C_1 = 1,0$ мкФ; $C_2 = 2,0$ мкФ; $C_3 = 3,0$ мкФ соединены, как показано на рисунке 15.11, и подключены к источнику постоянного напряжения. Конденсатор C_2 пробило. Отношение зарядов $\frac{q_2}{q_1}$, где q_1 и q_2 — заряды на батарее конденсаторов до и после пробоя, равно

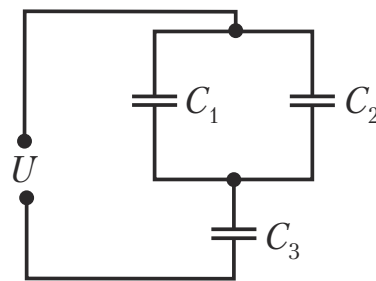


Рис. 15.11

9. Расстояние между пластинами воздушного конденсатора $d = 2,0$ мм, емкость конденсатора $C = 10$ мкФ, напряжение на его обкладках $U = 100$ В. Модуль силы, с которой притягиваются пластины конденсатора, равен ... Н.
10. Пластины плоского конденсатора площадью $S = 15$ см² расположены на некотором расстоянии друг от друга. Пространство внутри конденсатора заполнено средой с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5,0$. Заряд на пластинах конденсатора $q = 1,0$ мКл. Объемная плотность энергии электростатического поля конденсатора равна ... кДж/м³.

Тест В2

1. В схеме, изображенной на рисунке 15.12, ёмкость батареи конденсатора не изменяется при замыкании ключа К. Отношение C/C_0 равно

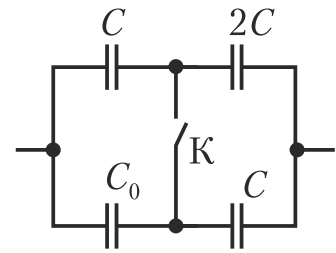


Рис. 15.12

2. Плоский воздушный конденсатор, пластины которого расположены горизонтально, наполовину залит жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3,0$. Чтобы ёмкость конденсатора не изменилась, надо залить этим же диэлектриком при вертикальном расположении пластин часть конденсатора, которая составляет ... %.

3. На два последовательно соединенных воздушных конденсатора с ёмкостями $C_1 = 100$ пФ и $C_2 = 250$ пФ подано напряжение $U = 300$ В. Не отключая источника от конденсаторов, все пространство между обкладками конденсатора C_1 заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5,0$. При этом источник совершает работу, равную ... мкДж.

4*. Два плоских конденсатора ёмкостями $C_1 = 24$ мкФ и $C_2 = 16$ мкФ зарядили соответственно до напряжений $U_1 = 84$ В и $U_2 = 0,12$ кВ и соединили разноименными пластинами. Напряжение на конденсаторах после соединения будет равно ... В.

5. Три плоских конденсатора с одинаковой ёмкостью соединили, как показано на рисунке 15.13. Батарею зарядили до напряжения $U = 900$ В и отключили от источника тока. Если расстояние между пластинами конденсаторов C_2 и C_3 увеличить вдвое и пространство между обкладками заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4,00$, то напряжение между точками А и В будет равно ... В.

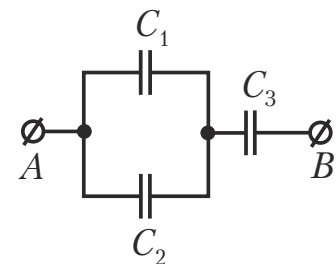


Рис. 15.13

6. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора ёмкостью $C = 1,0$ мкФ каждый соединили параллельно и зарядили до напряжения $U = 300$ В. Конденсаторы отключили от источника тока. Затем один из конденсаторов поместили в керосин, диэлектрическая проницаемость которого $\epsilon = 2,0$. По соединительным проводам прошел заряд ... мкКл.

7. Три плоских конденсатора с одинаковой емкостью соединены, как показано на рисунке 15.14. Батарейку зарядили до напряжения $U_0 = 150$ В и отключили от источника тока. Если расстояние между пластинами конденсатора C_3 уменьшить вдвое и пространство между обкладками заполнить маслом с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,5$, то напряжение U между точками A и B равно ... В.

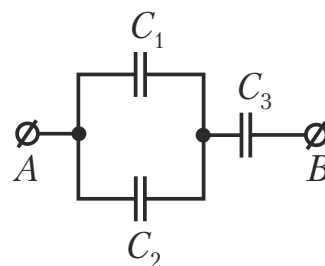


Рис. 15.14

8. Между обкладками плоского воздушного конденсатора поместили металлический лист, параллельный пластинам. Толщина листа в 3 раза меньше расстояния d между пластинами. Если начальная энергия заряженного и отключенного от источника напряжения конденсатора $W_0 = 0,36$ Дж, то после внесения листа энергия составила ... Дж.

- 9*. Верхняя пластина плоского конденсатора площадью $S = 100$ см² и очень малой массой висит на пружине жесткостью $k = 32$ Н/м. Нижняя пластина закреплена. Начальное расстояние между пластинами $d_0 = 3,0$ мм. Разность потенциалов, которую нужно приложить к пластинам конденсатора, чтобы они сблизилась до расстояния $d = 2,0$ мм, равна ... кВ.

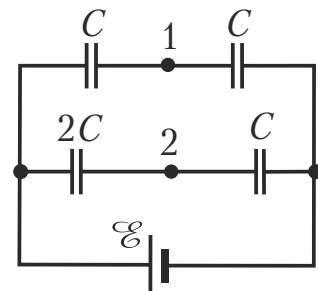


Рис. 15.15

- 10*. Разность потенциалов между точками 2 и 1 в схеме, представленной на рисунке 15.15, если ЭДС источника $\mathcal{E} = 60$ В, будет равна ... В.

Обобщающий тест № 4

1. Во сколько раз изменится сила кулоновского взаимодействия между двумя одинаковыми очень маленькими шариками с зарядами $q_1 = 10,0$ нКл и $q_2 = -58,2$ нКл, если после соприкосновения шарика раздвинули на прежнее расстояние?
- 1) Сила не изменится;
 - 2) возникнет сила отталкивания, по модулю равная прежней силе притяжения;
 - 3) модуль силы увеличится в 5,80 раза;
 - 4) модуль силы уменьшится в 5,80 раза;
 - 5) сила уменьшится в 2,90 раза.

2. В ядерной модели атома водорода электрон вращается вокруг ядра (протон) по круговой орбите, радиус которой $R = 5,3 \cdot 10^{-11}$ м. Определите кинетическую энергию, которой обладает электрон на данной орбите (полученное значение умножьте на 10^{19}).

- 1) 44 Дж; 3) 16 Дж; 5) 10 Дж.
2) 22 Дж; 4) 12 Дж;

3. На гладкой изолированной плоскости находится три одинаковых металлических шарика (рис. 1). Второму, закрепленному, шарика сообщили заряд $q = 12$ мкКл. Модуль какой силы будет действовать на первый шар в тот момент, когда расстояние между центрами первого и третьего шара $r = 40$ см?

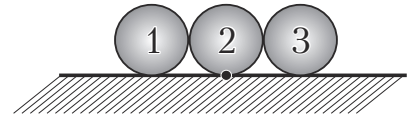


Рис. 1

- 1) 0,26 Н; 3) 4,5 Н; 5) 0,45 кН.
2) 2,5 Н; 4) 0,10 кН;

4. Заряженный шарик подвешен на нити и вращается вокруг другого неподвижного заряженного шарика со скоростью, модуль которой $v = 2,0$ м/с, по окружности радиуса $r = 50$ см (рис. 2). Поверхность, к которой подвешен шарик, движется вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a = 2,0$ м/с². Определите массу вращающегося шарика. (Нить образует с вертикалью угол 45° ; заряд каждого шарика $2,0$ мкКл.)

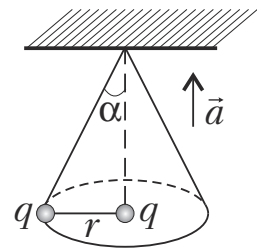


Рис. 2

- 1) 2,3 г; 3) 18 г; 5) 72 г.
2) 4,5 г; 4) 36 г;

5. Две плоские пластины площадью $S = 100$ см² каждая находятся на некотором расстоянии друг от друга. Модуль силы, с которой взаимодействуют эти пластины, если заряд каждой из них $q = 17,6$ мкКл, равен:

- 1) 1,75 кН; 3) 7,04 кН; 5) 35,2 кН.
2) 3,52 кН; 4) 12,6 кН;

6. Частица, заряд которой $q = 10$ нКл, а масса $m = 1,0 \cdot 10^{-9}$ кг, влетает со скоростью, модуль которой $v = 1,0 \cdot 10^5$ м/с, в ускоряющее переменное электростатическое поле, зависимость напряженности которого от времени приведена на рисунке 3. Определите модуль скоро-

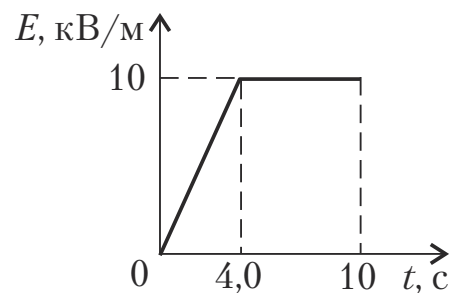


Рис. 3

сти этой ускоренной частицы в момент времени $t = 10$ с (в один и тот же момент времени поле во всех точках пространства одинаково).

- 1) 0,60 Мм/с; 3) 0,80 Мм/с; 5) 1,0 Мм/с.
2) 0,75 Мм/с; 4) 0,90 Мм/с;

7. Вектор напряженности электростатического поля, создаваемого равными по модулю разноименными зарядами в точке A (рис. 4), направлен:

- 1) вправо; 4) вниз;
2) влево; 5) равен нулю.
3) вверх;

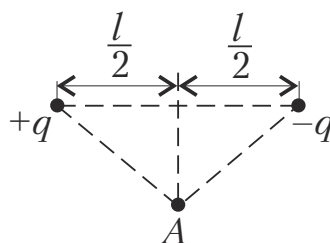


Рис. 4

8. Пылинка массой $m = 2,0$ мг с зарядом $q = 1,2$ нКл находится в однородном электростатическом поле, линии напряженности которого направлены вертикально вверх, а модуль напряженности $E = 20$ кВ/м. Модуль ускорения пылинки равен:

- 1) $1,0$ м/с²; 3) $3,2$ м/с²; 5) $5,5$ м/с².
2) $2,0$ м/с²; 4) $4,0$ м/с²;

9. Маленький шарик массой $m = 50$ мг, подвешенный на легкой непроводящей нити, имеет заряд $q = 2,5$ мкКл. Шарик находится в горизонтальном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 200$ В/м. Угол отклонения нити от вертикали в этом случае равен:

- 1) 15° ; 3) 45° ; 5) 90° .
2) 30° ; 4) 60° ;

10. Модуль минимальной скорости электрона, при которой он, направляясь из бесконечности, может достичь поверхности заряженного закрепленного проводящего шара, $v = 10$ Мм/с. Заряд на шаре $q = 2,0$ нКл. Радиус шара равен:

- 1) 12 мм; 3) 48 мм; 5) 82 мм.
2) 24 мм; 4) 63 мм;

11. На рисунке 5 представлена зависимость $\varphi(x)$ потенциала φ некоторого электростатического поля от координаты x . Модуль напряженности поля равен нулю на участках:

- 1) 1–2 и 2–3;
2) 4–5;
3) 3–4 и 5–6;
4) 3–4, 4–5, 5–6;
5) 2–3 и 4–5.

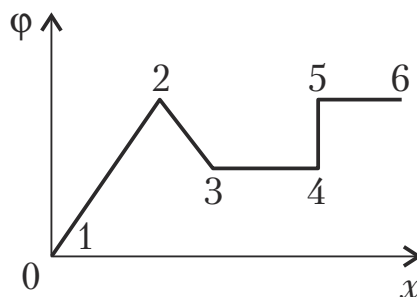


Рис. 5

12. Два металлических шара радиусами R и $2R$ заряжены с одинаковой поверхностной плотностью заряда σ . Отношение потенциалов $\frac{\varphi_1}{\varphi_2}$

меньшего шара к большему равно:

- 1) $\frac{1}{4}$; 2) $\frac{1}{2}$; 3) 1; 4) 2; 5) 4.

13. В вершинах равностороннего треугольника закреплены точечные заряды, величины которых $q_1 = 4,0$ нКл, $q_2 = -8,0$ нКл и $q_3 = 10$ нКл. Какой заряд необходимо поместить в середине одной из сторон, чтобы потенциал поля в центре треугольника стал равен нулю?

- 1) $-6,0$ нКл; 4) $6,0$ нКл;
2) $-3,0$ нКл; 5) 12 нКл.
3) $3,0$ нКл;

14. Модуль напряженности однородного электростатического поля $E = 40$ кВ/м. Если расстояние $AB = 20$ см, угол $\alpha = 60^\circ$ (рис. 6), то напряжение между точками A и B равно:

- 1) $-2,0$ кВ; 4) $4,0$ кВ;
2) $2,0$ кВ; 5) $-6,0$ кВ.
3) $-4,0$ кВ;

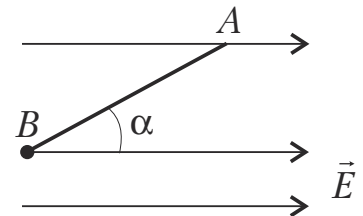


Рис. 6

15. Если заряженный до напряжения $U_1 = 400$ В конденсатор емкостью $C_1 = 50$ мкФ соединить параллельно с незаряженным конденсатором емкостью $C_2 = 150$ мкФ, то на втором конденсаторе появится заряд, равный:

- 1) 10 мкКл; 4) 25 мкКл;
2) 10 мКл; 5) $5,0$ Кл.
3) 15 мКл;

16. Пространство между обкладками плоского воздушного конденсатора заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$. Если конденсатор все время оставался подключенным к источнику напряжения, то энергия конденсатора:

- 1) увеличилась в 4 раза;
2) уменьшилась в 4 раза;
3) увеличилась в 2 раза;
4) уменьшилась в 2 раза;
5) не изменилась.

17. Два одинаковых последовательно соединенных воздушных конденсатора подключены к источнику постоянного напряжения. На

сколько процентов изменится напряжение на первом конденсаторе, если расстояние между его обкладками уменьшить на треть?

- 1) Уменьшится на 20 %;
- 2) увеличится на 20 %;
- 3) уменьшится на 40 %;
- 4) увеличится на 40 %;
- 5) увеличится на 50 %.

18. Четыре конденсатора одинаковой емкости соединены так, как показано на рисунке 7. Во сколько раз энергия второго конденсатора отличается от энергии четвертого конденсатора?

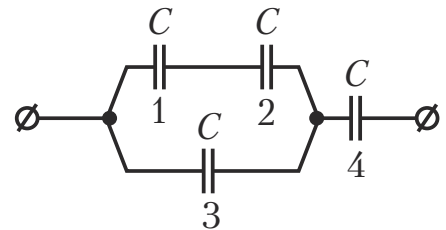


Рис. 7

- 1) В 4,5 раза меньше;
- 2) в 4,5 раза больше;
- 3) в 9 раз меньше;
- 4) в 9 раз больше;
- 5) в 1,5 раза больше.

19. Конденсатор емкостью $C_1 = 2,0$ мкФ зарядили до разности потенциалов $U_1 = 100$ В, а конденсатор емкостью $C_2 = 0,50$ мкФ — до $U_2 = 50$ В. После зарядки конденсаторы соединили разноименными полюсами. Количество теплоты, которое выделится в результате такого соединения, равно:

- | | | |
|-------------|-------------|------------|
| 1) 1,5 мДж; | 3) 4,5 мДж; | 5) 18 мДж. |
| 2) 3,0 мДж; | 4) 6,0 мДж; | |

20. Плоский конденсатор имеет площадь пластин $S = 2000$ см². Расстояние между пластинами $d = 5,00$ мм. К одной из обкладок примыкает пластина толщиной $d_1 = 3,00$ мм, диэлектрическая проницаемость которой $\epsilon = 7,00$. Остальное пространство внутри конденсатора заполнено воздухом. Емкость такого конденсатора составляет:

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 1) 730 пФ; | 3) 2,40 нФ; | 5) 12,0 нФ. |
| 2) 1,00 нФ; | 4) 4,60 нФ; | |

Глава 5. Постоянный ток

§ 16. Закон Ома для однородного участка электрической цепи

Под **электрическим током** понимают направленное движение электрических зарядов. Отношение заряда Δq , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени Δt , к этому интервалу времени называется **силой тока**:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

Единицей силы тока в СИ является ампер (А).

Плотность электрического тока

$$j = \frac{I}{S},$$

где S — площадь поперечного сечения проводника. Единицей плотности тока является ампер на метр квадратный ($\text{А}/\text{м}^2$). В металлах плотность тока равна $j = en \langle v \rangle$, где e — заряд электрона; n — концентрация свободных электронов в металле; $\langle v \rangle$ — средняя скорость их упорядоченного движения.

Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС: сила тока I на участке цепи прямо пропорциональна напряжению U на концах участка и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению R участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Электрическое сопротивление однородного проводника длиной l с постоянным сечением S : $R = \frac{\rho l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление материала проводника.

Для большинства металлов удельное сопротивление ρ зависит от температуры t °С согласно закону $\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$, где ρ_0 — удельное сопротивление проводника при 0 °С; α — температурный коэффициент сопротивления.

При последовательном соединении проводников их общее сопротивление определяется по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

При параллельном соединении проводников

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

Тест А1

- Сила тока, протекающего по спирали электронагревателя, $I = 6,0$ А. Число электронов, прошедших через поперечное сечение спирали за время $t = 4,0$ с, равно:
 - $1,5 \cdot 10^{20}$;
 - $3,0 \cdot 10^{20}$;
 - $1,5 \cdot 10^{21}$;
 - $3,0 \cdot 10^{21}$;
 - $1,5 \cdot 10^{22}$.
- Какой заряд пройдет по проводнику за время $t = 20$ с, если сила тока в нем за это время линейно возросла от $I_1 = 2,0$ А до $I_2 = 8,0$ А?
 - 10 Кл;
 - 40 Кл;
 - 60 Кл;
 - 80 Кл;
 - $1,0 \cdot 10^2$ Кл.
- Масса никелинового проводника (плотность никелина $\rho = 8900$ кг/м³, удельное сопротивление $0,42 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) сечением $S = 0,50$ мм² и сопротивлением $R = 8,0$ Ом равна:
 - 0,042 кг;
 - 0,12 кг;
 - 0,16 кг;
 - 0,24 кг;
 - 1,5 кг.
- По проводнику с сопротивлением $R = 20$ Ом за время $t = 1,0$ мин прошел заряд величиной $q = 300$ Кл. Напряжение, приложенное к концам проводника, равно:
 - 18 В;
 - 36 В;
 - 50 В;
 - 80 В;
 - 0,10 кВ.
- Если по проводнику сечением $S = 5,0$ мм² течет ток $I = 9,0$ А, а скорость направленного движения электронов $\langle v \rangle = 0,282$ мм/с, то концентрация n электронов в проводнике равна:
 - $4,0 \cdot 10^{28}$ м⁻³;
 - $4,0 \cdot 10^{26}$ м⁻³;
 - $2,8 \cdot 10^{22}$ м⁻³;
 - $2,0 \cdot 10^{20}$ м⁻³;
 - $1,5 \cdot 10^{15}$ м⁻³.
- Единица плотности тока в СИ может быть выражена следующим образом:
 - $\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$;
 - $\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;
 - $\frac{\text{Кл}}{\text{с}}$;
 - $\frac{\text{А} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$;
 - $\frac{\text{А}}{\text{м} \cdot \text{с}}$.

7. Три проводника, изготовленные из одного материала одинаковой длины, но разного диаметра: $d_2 = 2d_1$, $d_3 = 3d_1$, соединены параллельно. Силы токов в проводниках $I_1:I_2:I_3$ относятся как:
 1) 9 : 4 : 1; 3) 1 : 4 : 9; 5) 1 : 1 : 1.
 2) 3 : 2 : 1; 4) 1 : 2 : 3;
8. Тридцать одинаковых лампочек, соединенных параллельно, подключены к источнику тока напряжением $U = 220$ В. Сопротивление одной лампочки $R = 12$ кОм. Сила тока, потребляемого схемой, равна:
 1) 4,0 А; 3) 8,0 А; 5) 12 А.
 2) 5,5 А; 4) 10 А;
9. По приведенной электрической схеме (рис. 16.1) определите величину сопротивления R_3 . ($R_1 = 6,0$ Ом, $R_2 = 4,0$ Ом, $I_2 = 3,0$ А, $I_1 = 9,0$ А.)
 1) 2,0 Ом; 4) 4,0 Ом;
 2) 12 Ом; 5) 1,5 Ом.
 3) 3,0 Ом;
10. Общее сопротивление двух последовательно соединенных проводников $R_{\text{пос}} = 50$ Ом, параллельно соединенных — $R_{\text{пар}} = 12$ Ом. Сопротивления проводников равны:
 1) 10 и 40 Ом; 3) 18 и 32 Ом; 5) 16 и 34 Ом.
 2) 15 и 35 Ом; 4) 20 и 30 Ом;

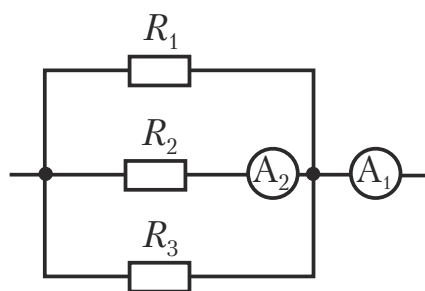


Рис. 16.1

Тест А2

1. Сопротивление R_{AB} цепи между точками A и B (рис. 16.2), если цепь составлена из одинаковых резисторов, сопротивление каждого из которых $R = 10$ Ом, равно:
 1) 5,0 Ом; 4) 20 Ом;
 2) 10 Ом; 5) 40 Ом.
 3) 15 Ом;

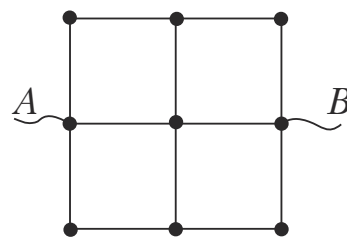


Рис. 16.2

2. Четыре проводника имеют одинаковую длину и изготовлены из одного материала. Диаметры проводников соответственно равны d_1 , $2d_1$, $3d_1$ и $4d_1$. Проводники соединены последовательно и подключены к источнику напряжением $U = 0,30$ кВ. Напряжение на каждом проводнике соответственно равно:
 1) 30 В, 60 В, 90 В, 0,12 кВ;
 2) 10 В, 40 В, 90 В, 0,16 кВ;

- 3) 0,12 В, 90 В, 60 В, 30 В;
 4) 0,16 кВ, 90 В, 40 В, 10 В;
 5) 0,21 кВ, 53 В, 23 В, 13 В.
3. К участку цепи, состоящему из n параллельно соединенных проводников, добавили параллельно еще один такой же проводник. Напряжение на участке цепи осталось прежним. Сила тока, подводимого к участку цепи:
- 1) увеличилась в $(n+1)$ раз;
 - 2) увеличилась в $\frac{n+1}{n}$ раз;
 - 3) уменьшилась в $\frac{n+1}{n}$ раз;
 - 4) уменьшилась в $(n+1)$ раз;
 - 5) не изменилась.
4. Показания амперметра в приведенной электрической схеме (рис. 16.3) $I = 1,0$ А, а вольтметра $U = 40$ В. Сопротивление резистора $R = 50$ Ом. Сопротивление вольтметра равно:
- 1) 50 Ом;
 - 2) 0,10 кОм;
 - 3) 0,15 кОм;
 - 4) 0,20 кОм;
 - 5) 0,30 кОм.
5. Сопротивление резисторов R в приведенной схеме (рис. 16.4) и ток I известны. Напряжение между точками A и B равно:
- 1) $0,92IR$;
 - 2) $0,83IR$;
 - 3) $0,74IR$;
 - 4) $0,62IR$;
 - 5) $0,55IR$.

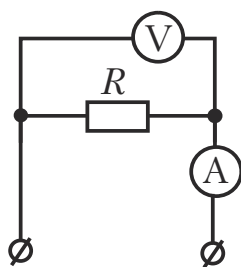


Рис. 16.3

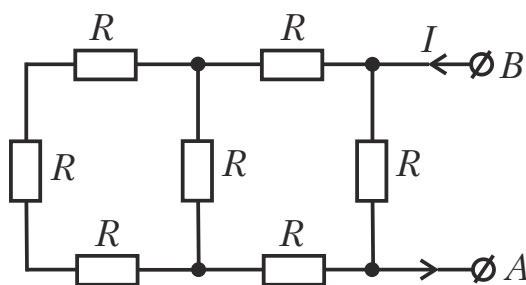


Рис. 16.4

6. Участок цепи состоит из резисторов $R_1 = 9,0$ Ом и $R_2 = 6,0$ Ом, соединенных параллельно, и резистора $R_3 = 12$ Ом, включенного последовательно. Подведенное напряжение $U = 24$ В. Сила тока в резисторе $R_1 = 9,0$ Ом равна:
- 1) 0,15 А;
 - 2) 0,24 А;
 - 3) 0,28 А;
 - 4) 0,31 А;
 - 5) 0,62 А.

7. В электрической схеме (рис. 16.5) сопротивление резисторов $R_1 = 2,0$ Ом, $R_2 = 6,0$ Ом, $R_3 = 4,0$ Ом, $R_4 = 8,0$ Ом, $R_5 = 5,0$ Ом. Напряжение на клеммах $U_{ab} = 98$ В. Напряжение на сопротивлении R_1 равно:

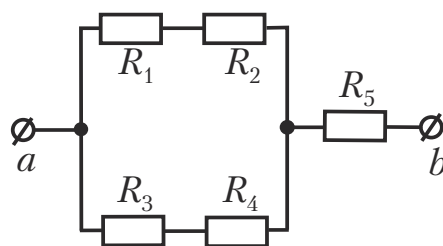


Рис. 16.5

8. Показание амперметра в приведенной электрической схеме (рис. 16.6) $I = 2,0$ А, сопротивление вольтметра $R_V = 100$ Ом, сопротивление резисторов — по $R = 50$ Ом. Показание вольтметра равно:

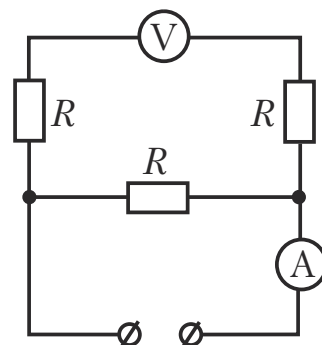


Рис. 16.6

9. Какой шунт и как необходимо подключить к амперметру с внутренним сопротивлением $R_A = 0,090$ Ом, чтобы расширить его пределы измерения в 10 раз?
- 1) 0,010 Ом параллельно;
 - 2) 0,010 Ом последовательно;
 - 3) 0,10 Ом параллельно;
 - 4) 0,10 Ом последовательно;
 - 5) 0,11 Ом последовательно.
10. При последовательном подключении к вольтметру с внутренним сопротивлением $r = 2,0$ кОм дополнительного резистора сопротивлением $R = 20$ кОм показания вольтметра:
- 1) увеличиваются в 10 раз;
 - 2) уменьшаются в 10 раз;
 - 3) увеличиваются в 11 раз;
 - 4) уменьшаются в 11 раз;
 - 5) не изменятся.

Тест В1

1. Сила тока в проводнике изменяется по закону $I = 3,0 + 2,0t$ (А). За время от $t_1 = 3,0$ с до $t_2 = 6,0$ с через поперечное сечение проводника пройдет число электронов, равное ... (полученное значение умножьте на 10^{-19}).

- В представленной схеме (рис. 16.7) $U = 15$ В, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 5$ Ом. Сила тока, который протекает через идеальный амперметр, равна ... А.
- Сопротивление (рис. 16.8) $R = 10$ Ом. Чтобы суммарное сопротивление цепи R_1 составило 11 Ом, сопротивление r должно быть равно ... Ом.
- Сила подводимого тока $I = 2,0$ А, сопротивление $R = 6,0$ Ом. Подведенное напряжение U к участку цепи, представленному на рисунке 16.9, равно ... В.

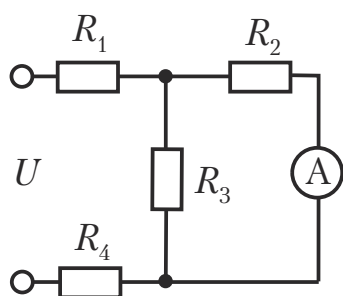


Рис. 16.7

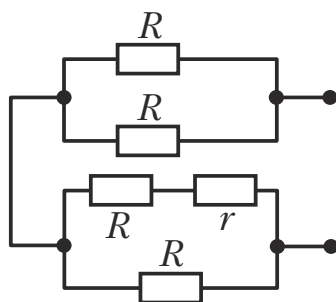


Рис. 16.8

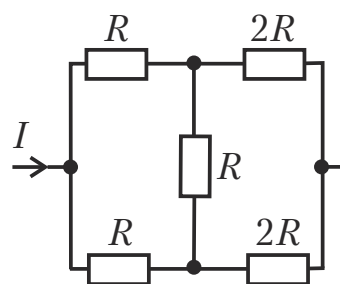


Рис. 16.9

- Сопротивление каждого резистора $R = 30$ Ом. Сопротивление участка цепи ab (рис. 16.10) равно ... Ом.
- Между клеммой A и движком C потенциометра AB , имеющего сопротивление $R_1 = 120$ Ом, подключена электрическая лампочка (рис. 16.11) сопротивлением $R_2 = 30$ Ом. Если на потенциометр подано напряжение $U_1 = 120$ В, а движок установлен на середине потенциометра, то напряжение U_2 на лампочке равно ... В.

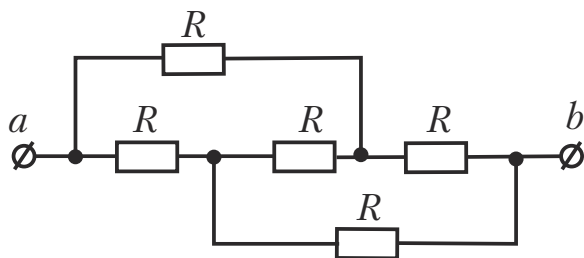


Рис. 16.10

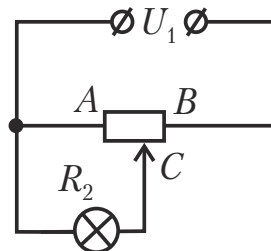


Рис. 16.11

- Четыре лампы, рассчитанные на напряжение $U = 120$ В и силу тока $I = 0,50$ А каждая, включены параллельно. Лампы нужно питать от сети напряжением $U_1 = 220$ В. Сопротивление R , которое нужно включить дополнительно, чтобы схема работала, составляет ... Ом.

8. К сети напряжением $U = 120$ В подключены два резистора. При их последовательном соединении общий ток $I_{\text{пос}} = 3,0$ А, а при параллельном — $I_{\text{пар}} = 16$ А. Большее значение сопротивления резистора равно ... Ом.
9. Сопротивление, которое необходимо подключить, чтобы гальванометр, рассчитанный на измерение силы тока до $I = 15$ мА и напряжение до $U = 750$ мВ, превратить в амперметр, который сможет измерять силу тока до $I = 25$ А, равно ... мОм.
10. Шкала гальванометра, внутреннее сопротивление которого $r = 20$ Ом, рассчитана на силу тока $I = 0,0060$ А. Сопротивление R , которое необходимо последовательно подключить к гальванометру, чтобы с его помощью можно было измерять напряжение до $3,0$ В, равно ... кОм.

Тест В2

1. При подключении неизвестного сопротивления к вольтметру предел измерения вольтметра увеличился в 20 раз и стал $U = 20$ В. Предел измерения вольтметра, если его зашунтировать этим сопротивлением, станет равен ... В.
2. Шкала гальванометра имеет 20 делений. Напряжение, при котором стрелка прибора отклоняется на одно деление, $1,50 \cdot 10^{-2}$ В/дел. Сопротивление прибора $R = 2,80$ Ом. Прибор предполагают использовать как вольтметр с пределом измерений $U = 20,0$ В. Добавочное сопротивление к вольтметру должно быть равно ... Ом.
- 3*. Плоский конденсатор с площадью квадратных пластин $S = 400$ см² и расстоянием между ними $d = 2,0$ мм подключен к источнику постоянного напряжения $U = 120$ В. Если в пространство между обкладками конденсатора со скоростью, модуль которой $v = 10$ см/с, вдвигают пластину с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,0$, полностью заполняющую пространство между обкладками конденсатора, то сила электрического тока в цепи составит ... нА.
4. Добавочное сопротивление, присоединенное к вольтметру, увеличивает предел измерения прибора в $k_1 = 2,5$ раза. Другое добавочное сопротивление увеличивает предел измерения в $k_2 = 4$ раза. Если оба эти сопротивления соединить параллельно и подключить к вольтметру последовательно, то предел измерения вольтметра увеличится в ... раз (раза).
5. Электрическая цепь представляет собой ромб с двумя диагоналями, изготовленный из одинаковых проволок (рис. 16.12). Ост-

рый угол между сторонами ромба $\alpha = 60^\circ$. Цепь между точками A и D подключена к источнику напряжением $U = 220$ В. Сопротивление стороны ромба $R = 420$ Ом. Сила тока в приведенной схеме равна ... А.

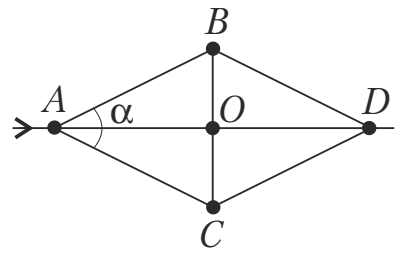


Рис. 16.12

- 6*. Каждое ребро куба представляет резистор с сопротивлением $R = 10$ Ом. Разность потенциалов между точками A и B (рис. 16.13), если по ребру CD протекает ток $I = 0,60$ А, равна ... В.
- 7*. В приведенной схеме $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2,0$ Ом, $R_5 = 6,0$ Ом (рис. 16.14). Напряжение между точками a и b $U_{ab} = 6,0$ В. Сила тока через сопротивление R_1 равна ... А.
8. К источнику тока напряжением $U = 12$ В подключены две лампочки (рис. 16.15). Сопротивления резисторов $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1,5$ Ом. Сопротивления лампочек $R_1 = R_2 = 3,0$ Ом. Напряжение на лампочке L_2 равно ... В.

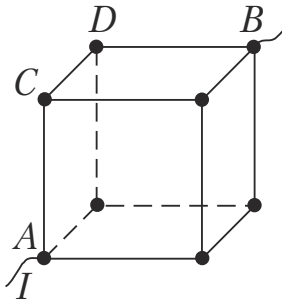


Рис. 16.13

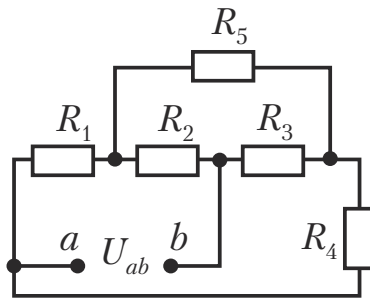


Рис. 16.14

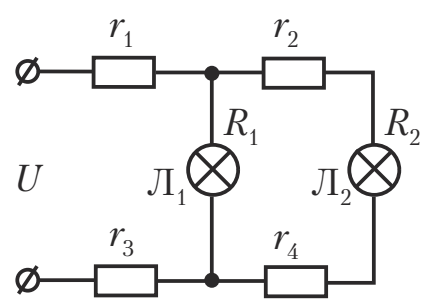


Рис. 16.15

- 9*. Конденсаторы емкостями $C_1 = 12$ мкФ и $C_2 = 18$ мкФ и резисторы сопротивлениями $R_1 = 6,0$ кОм, $R_2 = 4,0$ кОм и $R_3 = 10$ кОм включены, как показано на рисунке 16.16. К схеме подведена разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = 12$ В. Напряжение на конденсаторе C_1 равно ... В.

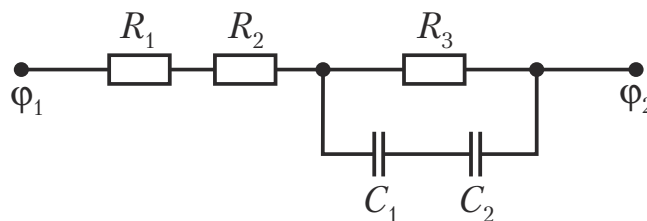


Рис. 16.16

10*. В приведенной схеме (рис. 16.17) $R_1 = 10$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 40$ Ом, $R_5 = 50$ Ом. Чтобы разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ между точками A и B была равна нулю, величина сопротивления R_2 должна составить ... Ом.

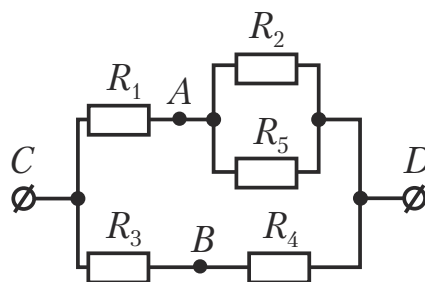


Рис. 16.17

§ 17. Закон Ома для замкнутой цепи

Закон Ома для замкнутой электрической цепи (рис. 17.1), состоящей из источника тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r и внешнего сопротивления R :

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

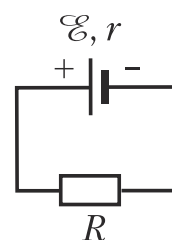


Рис. 17.1

Если замкнутая электрическая цепь содержит n последовательно соединенных источников с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r каждый, то сила тока

$$I = \frac{n\mathcal{E}}{R + nr}.$$

При параллельном соединении n одинаковых источников тока

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{n}}.$$

При коротком замыкании источника тока ($R \rightarrow 0$) сила тока максимальна: $I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$.

Для неоднородного участка цепи (в составе участка имеется источник ЭДС), например, при зарядке аккумулятора, сила тока $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 - \mathcal{E}}{r}$, где $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи (рис. 17.2).

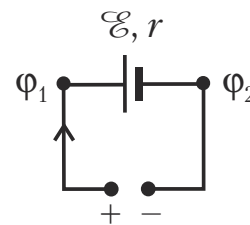


Рис. 17.2

Тест А1

1. Под ЭДС источника тока, действующей в замкнутой цепи, понимают:
 - 1) работу, совершаемую силами электростатического поля при перемещении заряда вдоль замкнутой цепи;

2) отношение работы, совершаемой силами электростатического поля по перемещению заряда вдоль замкнутой цепи, к величине перемещаемого заряда;

3) напряжение в цепи;

4) работу, совершаемую сторонними силами при перемещении заряда вдоль всей замкнутой цепи;

5) отношение работы, совершаемой сторонними силами при перемещении заряда по замкнутой цепи, к величине этого заряда.

2. Единица электродвижущей силы \mathcal{E} источника тока в СИ может быть выражена следующим образом:

1) $\frac{\text{Дж}}{\text{В}}$; 3) Н; 5) А·м.

2) $\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$; 4) $\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$;

3. Если ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 8 \text{ В}$, его внутреннее сопротивление $r = 1 \text{ Ом}$ и к источнику подключены последовательно два сопротивления $R_1 = 3 \text{ Ом}$ и $R_2 = 4 \text{ Ом}$, то сила тока в цепи равна:

1) 9 А; 4) 2 А;

2) 8 А; 5) 1 А.

3) 4 А;

4. Как изменятся показания амперметра и вольтметра (рис. 17.3), если замкнуть ключ К?

1) Показания амперметра и вольтметра уменьшатся;

2) показания амперметра и вольтметра увеличатся;

3) показания амперметра увеличатся, а вольтметра уменьшатся;

4) показания амперметра уменьшатся, а вольтметра увеличатся;

5) показания не изменятся.

5. Если перегорит лампочка (рис. 17.4), то идеальные амперметр и вольтметр покажут (\mathcal{E} — ЭДС источника, $I_{\text{кз}}$ — сила тока короткого замыкания):

1) $U = 0, I = 0$;

2) $U = \mathcal{E}, I = 0$;

3) $U = \mathcal{E}, I = I_{\text{кз}}$;

4) $U = 0,5\mathcal{E}, I = 0,5I_{\text{кз}}$;

5) $U = 0, I = I_{\text{кз}}$.

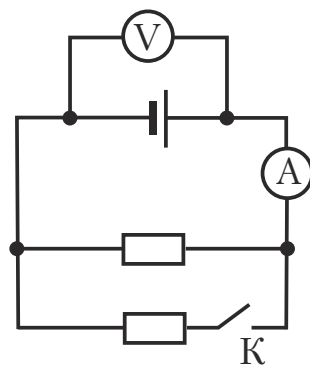


Рис. 17.3

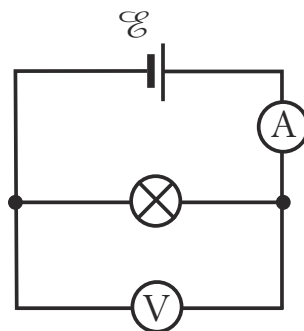


Рис. 17.4

6. Движок реостата (рис. 17.5) двигают влево. Показания амперметра и вольтметра:
- 1) возрастают;
 - 2) уменьшаются;
 - 3) амперметра возрастают, а вольтметра уменьшаются;
 - 4) амперметра уменьшаются, а вольтметра возрастают;
 - 5) не изменяются.

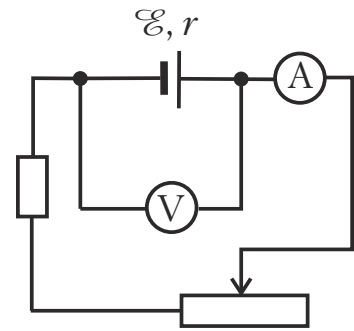


Рис. 17.5

7. Напряжение на клеммах источника тока $U = 10$ В. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 5,0$ Ом. Внешняя цепь состоит из резистора сопротивлением $R = 10$ Ом. ЭДС источника тока равна:
- 1) 10 В;
 - 2) 15 В;
 - 3) 25 В;
 - 4) 50 В;
 - 5) 60 В.
8. Если к источнику тока подключить сопротивление R , то напряжение на его зажимах станет $U_1 = 12$ В, если к источнику подключить сопротивление $3R$, то напряжение станет $U_2 = 18$ В. ЭДС источника равна:
- 1) 20 В;
 - 2) 24 В;
 - 3) 30 В;
 - 4) 36 В;
 - 5) 48 В.
9. В электрической цепи с источником тока с ЭДС $\mathcal{E} = 15$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом сила тока короткого замыкания равна:
- 1) 30 А;
 - 2) 7,5 А;
 - 3) 5,0 А;
 - 4) 3,0 А;
 - 5) 2,0 А.
10. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 1,8$ В. При замыкании на нагрузку сопротивлением $R = 4$ Ом напряжение на клеммах батареи становится $U = 0,8$ В. Внутреннее сопротивление батареи составляет:
- 1) 2 Ом;
 - 2) 3 Ом;
 - 3) 4 Ом;
 - 4) 5 Ом;
 - 5) 6 Ом.

Тест А2

1. Разность потенциалов $\Delta\phi$ на клеммах замкнутого на резистор $R = 5,0$ Ом источника тока равна 4,0 В. Внутреннее сопротивление источника $r = 2,5$ Ом. ЭДС источника равна:
- 1) 4,0 В;
 - 2) 6,0 В;
 - 3) 8,0 В;
 - 4) 10 В;
 - 5) 12 В.

2. Зависимость напряжения на зажимах источника тока от внешнего сопротивления цепи (рис. 17.6) представлена на графике (1–5):

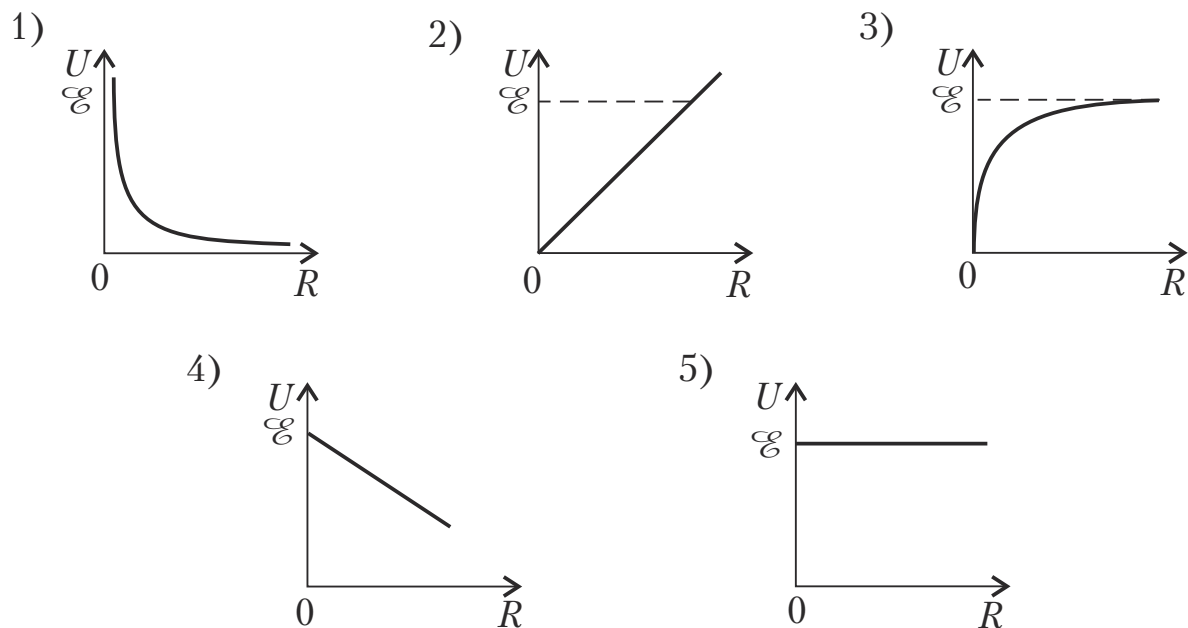


Рис. 17.6

3. Электрическая цепь состоит из источника с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r и резистора сопротивлением R . Если увеличить внутреннее сопротивление в 2 раза, то напряжение на резисторе R :

- 1) увеличится в $\frac{R+2r}{R+r}$ раз;
 - 2) уменьшится в $\frac{R+r}{R+2r}$ раз;
 - 3) увеличится в $\frac{R-2r}{R+r}$ раз;
 - 4) уменьшится в $\frac{R-r}{R+r}$ раз;
 - 5) не изменится.
4. ЭДС и внутреннее сопротивление (рис. 17.7) одного из трех одинаковых источников тока в батарее $\mathcal{E} = 3,0$ В и $r = 0,40$ Ом. Сопротивление $R_1 = 3,6$ Ом, а сила тока через это сопротивление $I = 1,0$ А. Сопротивление R_2 равно:
- 1) 1,0 Ом;
 - 2) 1,2 Ом;
 - 3) 1,3 Ом;
 - 4) 1,6 Ом;
 - 5) 1,8 Ом.

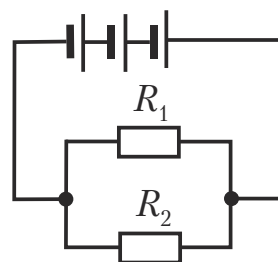


Рис. 17.7

5. Батарея из четырех параллельно соединенных одинаковых элементов с ЭДС $\mathcal{E} = 2,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,80$ Ом каждый подключена к резистору сопротивлением $R = 4,8$ Ом. Сила тока в цепи будет равна:

- 1) 2,5 А; 4) 0,4 А;
2) 1,4 А; 5) 0,2 А.
3) 1,0 А;

6. Шесть одинаковых гальванических элементов с ЭДС $\mathcal{E} = 3$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,5$ Ом каждый подключены к цепи, представленной на рисунке 17.8. Амперметр покажет ток, равный:

- 1) 6 А; 4) 2 А;
2) 4 А; 5) 1 А.
3) 3 А;

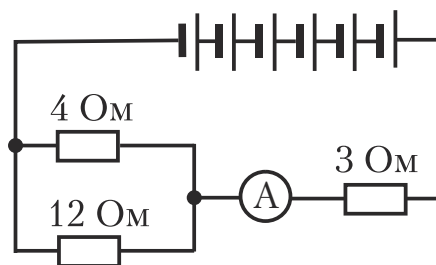


Рис. 17.8

7. Источник с ЭДС $\mathcal{E} = 240$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,50$ Ом замкнут на внешнюю цепь, состоящую из двадцати параллельно соединенных одинаковых ламп сопротивлением $R_{л} = 400$ Ом каждая. Сопротивление подводящих проводов $R_{пр} = 7,50$ Ом. Напряжение на лампах равно:

- 1) 220 В; 3) 180 В; 5) 120 В.
2) 200 В; 4) 160 В;

8. При замыкании источника тока на внешнее сопротивление $R_1 = 8$ Ом в цепи возникает ток $I_1 = 1$ А, а при замыкании на сопротивление $R_2 = 4$ Ом возникает ток $I_2 = 1,6$ А. Ток короткого замыкания этого источника равен:

- 1) 2 А; 3) 4 А; 5) 6 А.
2) 3 А; 4) 5 А;

9. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 0,50$ Ом. Идеальный вольтметр, подключенный к источнику, показывает напряжение $U = 3,0$ В. Если источник тока замкнуть на резистор сопротивлением $R = 1,0$ Ом, то вольтметр покажет:

- 1) 1,0 В; 4) 2,4 В;
2) 2,0 В; 5) 2,5 В.
3) 2,2 В;

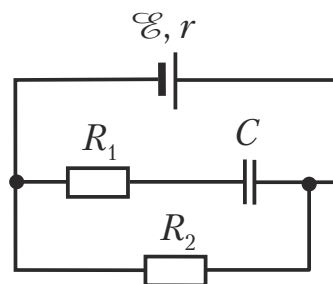


Рис. 17.9

10. Если в электрической цепи, представленной на схеме (рис. 17.9), известны величины R_1 ,

R_2 , ЭДС \mathcal{E} элемента и его внутреннее сопротивление r , то заряд на конденсаторе C равен:

- 1) $\frac{C\mathcal{E}R_2}{r+R_2}$; 3) $C\mathcal{E}$; 5) $\frac{C\mathcal{E}R_2r}{r+R_1+R_2}$.
- 2) $\frac{C\mathcal{E}R_1R_2}{r+R_1+R_2}$; 4) $\frac{C\mathcal{E}R_1r}{r+R_1+R_2}$;

Тест В1

1. ЭДС и внутреннее сопротивление каждого элемента батареи равны 1,5 В, 0,50 Ом. Сопротивления резисторов R_1 и R_2 (рис. 17.10) равны 4,0 Ом и 12 Ом. Сила тока через сопротивление R_1 равна ... А.

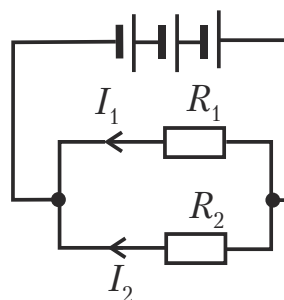


Рис. 17.10

2. Источник тока замкнут проводником, сопротивление которого $R_1 = 10$ Ом. Напряжение на проводнике $U_1 = 12$ В. Если этот проводник заменить другим, сопротивление которого $R_2 = 5,0$ Ом, то сила тока в цепи окажется $I_2 = 2,0$ А. ЭДС источника тока равна ... В.
3. К полюсам батареи из двух источников тока с ЭДС по $\mathcal{E} = 50$ В и внутренним сопротивлением по $r = 4,0$ Ом подведено через резисторы $R = 8,0$ Ом каждое напряжение к лампочкам 1 и 2 (рис. 17.11). Сопротивление каждой лампочки $R_{\text{л}} = 16$ Ом. Ток в лампочке 2 равен ... А.
4. К полюсам батареи из двух источников с ЭДС по $\mathcal{E} = 50,0$ В и внутренним сопротивлением по $r = 4,00$ Ом подведено через резисторы $R = 8,00$ Ом каждое напряжение к лампочкам 1 и 2 (рис. 17.12). Сопротивление каждой лампочки $R_{\text{л}} = 16,0$ Ом. Напряжение на второй лампочке равно ... В.

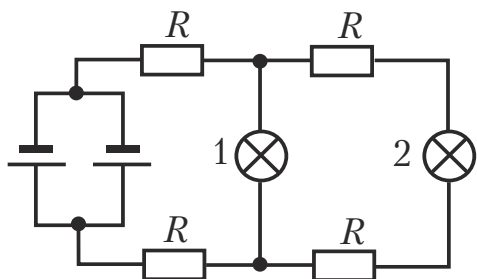


Рис. 17.11

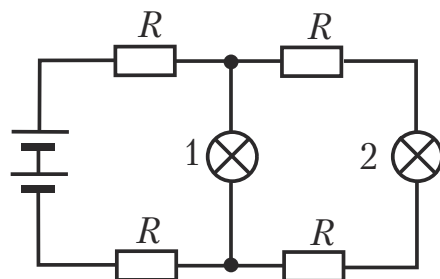


Рис. 17.12

5. Батарея элементов с внутренним сопротивлением $r = 3$ Ом замкнута на два одинаковых параллельно соединенных резистора. Идеальный вольтметр, подключенный к зажимам батареи, показывает напряжение $U_1 = 4$ В. Если один из резисторов отключить, то показание вольтметра возрастет до $U_2 = 6$ В. Сопротивление резистора равно ... Ом.
6. Амперметр, присоединенный к батарейке с ЭДС $\mathcal{E} = 12,5$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,0$ Ом, показывает ток $I = 10$ А. Сила тока, которую покажет амперметр, если его зашунтировать сопротивлением $R_{\text{ш}} = 0,050$ Ом, равна ... А.
7. Подключенный к аккумулятору амперметр с сопротивлением $R_A = 2,0$ Ом показывает ток $I = 5,0$ А. Если к аккумулятору подключить вольтметр с сопротивлением $R_V = 0,15$ кОм, то его показания $U = 12$ В. Ток короткого замыкания аккумулятора равен ... А.
8. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 100$ В, внутреннее сопротивление $r = 5,0$ Ом, сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10$ Ом (рис. 17.13). Емкость конденсатора $C = 1,0$ мкФ. Величина заряда конденсатора равна ... мкКл.
9. В электрической схеме, изображенной на рисунке 17.14, $\mathcal{E} = 4$ В, $r = 0$, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 4$ мкФ. Заряд q_1 на обкладках конденсатора C_1 равен ... мкКл.

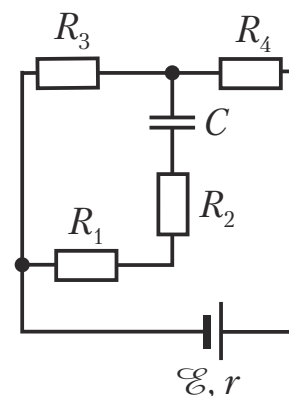


Рис. 17.13

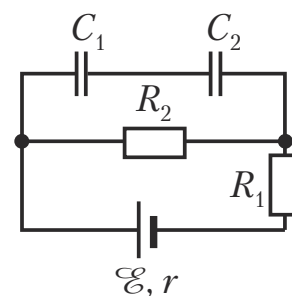


Рис. 17.14

- 10*. Для накала лампочки от карманного фонаря необходима сила тока $I = 0,28$ А. Сопротивление нити накала лампочки при $t_1 = 0$ °С составляет $R_0 = 4,0$ Ом. Температура накала нити $t_2 = 425$ °С, температурный коэффициент сопротивления материала нити $\alpha = 0,0050$ 1/К, сопротивление подводящих проводов $R = 2,5$ Ом. Внутреннее сопротивление подключенного к цепи источника тока $r = 1,0$ Ом. ЭДС источника тока равна ... В.

Тест В2

1. Цепь состоит из аккумулятора и нагрузки сопротивлением $R_{\text{н}} = 400$ Ом. Вольтметр сопротивлением $R_V = 800$ Ом, подключенный последовательно, а затем параллельно к сопротивлению, пока-

зывает одинаковое напряжение. Внутреннее сопротивление аккумулятора равно ... Ом.

- Два вольтметра, подключенные последовательно к ненагруженной батарее, показывают соответственно $U_1 = 5,00$ В и $U_2 = 15,0$ В. Если к батарее подключить только первый вольтметр, он покажет $U_3 = 19,0$ В. ЭДС батареи равна ... В.
- Если в приведенной схеме $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 24$ Ом, $\mathcal{E} = 36$ В, $r = 1$ Ом, то амперметр (рис. 17.15) покажет ток силой, равной ... А.
- В электрической схеме, изображенной на рисунке 17.16, $\mathcal{E} = 15$ В, $R_1 = 4,2$ Ом, $R_2 = 8,0$ Ом, $R_3 = 12$ Ом. Внутренние сопротивления амперметра и источника тока пренебрежимо малы. Если амперметр и источник ЭДС поменять местами, то показания амперметра составят ... А.
- В электрической схеме, изображенной на рисунке 17.17, ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 5,00$ В, внутреннее сопротивление $r = 500$ мОм, расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора $d = 2,00$ мм. Чтобы модуль напряженности электростатического поля в конденсаторе был $E = 2,25$ кВ/м, сопротивление резистора R должно быть равно ... Ом.

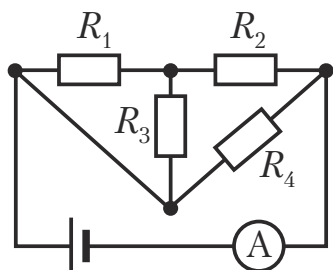


Рис. 17.15

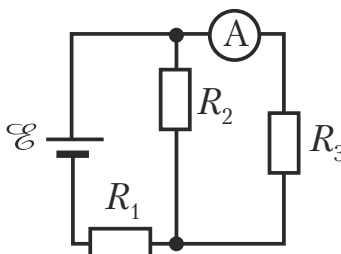


Рис. 17.16

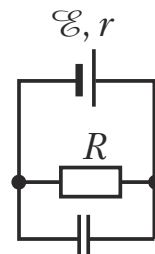


Рис. 17.17

- Два одинаковых вольтметра, соединенных последовательно, при подключении к источнику тока показывают напряжение $U_1 = 4,50$ В каждый. Один вольтметр, подключенный к тому же источнику, показывает напряжение $U_2 = 8,00$ В. ЭДС источника равна ... В.
- Конденсаторы емкостями $C_1 = 4,0$ мкФ и $C_2 = 6,0$ мкФ и резисторы сопротивлениями $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, $R_3 = 18$ Ом и $R_4 = 20$ Ом соединены, как показано на схеме (рис. 17.18),

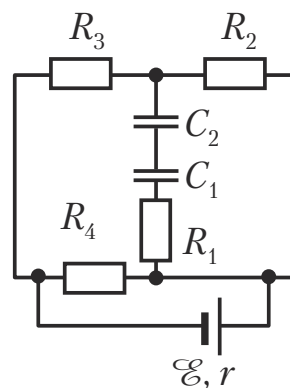


Рис. 17.18

и подключены к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 15$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом. Напряжение на конденсаторе C_1 равно ... В.

8. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 20$ В, внутреннее сопротивление $r = 2,0$ Ом. Резисторы сопротивлениями $R_1 = 2,0$ Ом, $R_2 = 6,0$ Ом, $R_3 = 4,0$ Ом, $R_4 = 3,0$ Ом включены по приведенной схеме (рис. 17.19). Модуль разности потенциалов между точками a и b равен ... В.

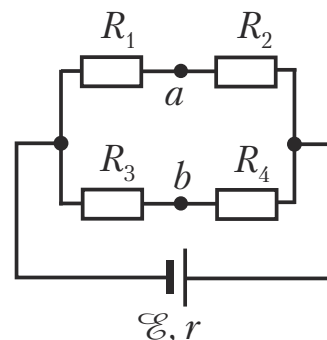


Рис. 17.19

9. Два сопротивления $R_1 = R_2 = 80,0$ Ом соединены параллельно. Последовательно к ним присоединен резистор $R_3 = 160$ Ом. К концам параллельно соединенных резисторов подключен конденсатор емкостью $C = 20,0$ мкФ. Схема питается от источника тока, внутренним сопротивлением которого можно пренебречь. Заряд на конденсаторе $q = 0,500$ мКл. ЭДС источника равна ... В.

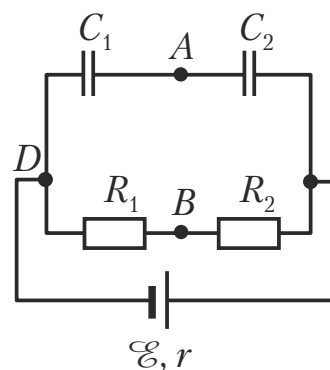


Рис. 17.20

10*. В приведенной на рисунке 17.20 схеме ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутреннее сопротивление источника тока $r = 4,0$ Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 6,0$ Ом, $R_2 = 14$ Ом. Емкости конденсаторов $C_1 = 4,0$ мкФ, $C_2 = 6,0$ мкФ. Разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ между точками A и B составляет ... В.

§ 18. Работа и мощность тока

Работа по перемещению заряда q на однородном участке цепи сопротивлением R за время t

$$A = qU = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t,$$

где U — напряжение на концах участка; I — сила тока.

$$[A] = 1\text{А} \cdot 1\text{В} \cdot 1\text{С} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}.$$

Если на участке не совершается механическая работа и не происходят химические реакции, то электрическая энергия превращается во внутреннюю и количество теплоты Q , которое выделяется в проводнике за время t , определяется законом Джоуля—Ленца:

$$Q = I^2Rt.$$

Мощность P_1 , которая выделяется при прохождении электрического тока на внешнем участке замкнутой цепи:

$$P_1 = I^2 R = \frac{U^2}{R} = IU = I(\mathcal{E} - Ir).$$

Мощность, выделяемая электрическим током в замкнутой цепи:

$$P = I^2 (R + r) = I\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}, [P] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ Вт (ватт)}.$$

$$\text{КПД источника тока: } \eta = \frac{P_1}{P} \cdot 100\% = \frac{R}{R + r} \cdot 100\%.$$

Для данного источника тока мощность P_1 , выделяемая во внешней цепи, максимальна при $R = r$, и $P_{1\text{max}} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$.

Тест А1

- Лампочка, рассчитанная на напряжение $U = 110 \text{ В}$, имеет мощность $P = 40,0 \text{ Вт}$. Сопротивление лампочки равно:
 - 1) 1200 Ом;
 - 2) 750 Ом;
 - 3) 600 Ом;
 - 4) 430 Ом;
 - 5) 303 Ом.
- При ремонте электрического нагревателя спираль укоротили на четверть длины. Мощность нагревателя:
 - 1) увеличилась на четверть;
 - 2) уменьшилась на четверть;
 - 3) увеличилась на треть;
 - 4) уменьшилась на треть;
 - 5) не изменилась.
- Если три проводника одинакового сечения и длины с удельными сопротивлениями $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ соединить параллельно и подключить к источнику тока, то сильнее нагреется проводник:
 - 1) 1;
 - 2) 3;
 - 3) 2;
 - 4) нагреются одинаково;
 - 5) это зависит от времени нагревания.
- Если три проводника одинакового сечения и длины, удельные сопротивления которых $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$, соединены последовательно и подключены к источнику тока, то сильнее нагреется проводник:
 - 1) 1;
 - 2) 2;
 - 3) 3;
 - 4) это зависит от времени нагревания;
 - 5) нагреются одинаково.

5. Количество теплоты, выделяемое током в проволоке за одну секунду, можно удвоить, не меняя напряжения, за счет:
- 1) увеличения длины проволоки в 2 раза;
 - 2) увеличения радиуса проволоки в 2 раза;
 - 3) увеличения и радиуса и длины проволоки в 2 раза;
 - 4) уменьшения и радиуса и длины проволоки в 2 раза;
 - 5) уменьшения радиуса проволоки в 2 раза.
6. Если две лампы рассчитаны на одинаковое напряжение и имеют мощности $P_1 = 40$ Вт и $P_2 = 100$ Вт, то отношение сопротивлений их спиралей $\frac{R_1}{R_2}$ соответственно будет равно:
- 1) 6,3;
 - 2) 2,5;
 - 3) 1,0;
 - 4) 0,40;
 - 5) 0,25.
7. Гирлянда из пятнадцати электрических лампочек, соединенных последовательно, подключена к источнику постоянного напряжения. Как изменится расход электроэнергии, если количество ламп сократить до десяти?
- 1) Уменьшится в 1,5 раза;
 - 2) уменьшится в 2,25 раза;
 - 3) увеличится в 1,5 раза;
 - 4) увеличится в 2,25 раза;
 - 5) не изменится.
8. Электрическая цепь, состоящая из резисторов R_1 , $\frac{R_1}{2}$ и $\frac{R_1}{3}$, включенных последовательно, подсоединена к электрической сети. Если эти резисторы подключить параллельно друг другу и подсоединить к той же сети, то расход электроэнергии:
- 1) уменьшится в 6 раз;
 - 2) увеличится в 11 раз;
 - 3) увеличится в 6 раз;
 - 4) уменьшится в 11 раз;
 - 5) не изменится.
9. К сети напряжением $U = 120$ В параллельно подключены три лампы мощностью $P_1 = P_2 = P_3 = 40$ Вт каждая и холодильник, потребляющий ток $I_x = 2$ А. Сила тока в подводящих проводах равна:
- 1) 2 А;
 - 2) 3 А;
 - 3) 4 А;
 - 4) 8 А;
 - 5) 9 А.
10. При увеличении внешнего сопротивления от $R_1 = 3,0$ Ом до $R_2 = 10,5$ Ом КПД источника увеличивается вдвое. Внутреннее сопротивление источника равно:
- 1) 3,5 Ом;
 - 2) 5,0 Ом;
 - 3) 7,0 Ом;
 - 4) 14 Ом;
 - 5) 16 Ом.

Тест А2

1. Электрический утюг, рассчитанный на напряжение $U = 220$ В, имеет мощность $P = 400$ Вт. При включении утюга в сеть напряжение в розетке падает от 220 В до 212 В. Сопротивление подводящих проводов равно:

1) 4,20 Ом; 3) 10,4 Ом; 5) 14,2 Ом.
 2) 4,57 Ом; 4) 12,2 Ом;

2. В каком из резисторов (рис. 18.1) выделится большее количество теплоты, если $R_1 = R_3 = R_5 = 4$ Ом, $R_2 = 1$ Ом, $R_4 = 2$ Ом, $R_6 = 3$ Ом?

1) R_1 ;
 2) R_3 ;
 3) R_5 ;
 4) R_6 ;
 5) одинаковое в R_1, R_3 и R_5 .

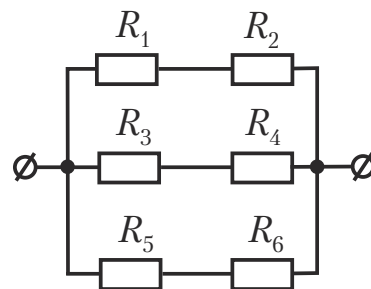


Рис. 18.1

3. Электронагреватель имеет две одинаковые секции нагревательного элемента. Если эти секции соединить последовательно и включить в сеть, то на них выделится мощность $P_1 = 300$ Вт. Если эти секции соединить параллельно и уменьшить сетевое напряжение в 2 раза, то на них выделится мощность, равная:

1) 150 Вт; 3) 450 Вт; 5) 750 Вт.
 2) 300 Вт; 4) 600 Вт;

4. Участок электрической цепи состоит из четырех резисторов с номиналами $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 4$ Ом (рис. 18.2). Наибольшее количество теплоты за одно и то же время выделится в резисторе:

1) R_1 ;
 2) R_3 ;
 3) R_4 ;
 4) R_2 ;
 5) одинаковое количество теплоты во всех резисторах.

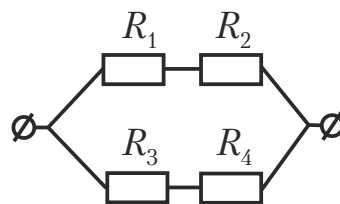


Рис. 18.2

5. Две лампочки имеют маркировку 100 Вт, 220 В и 60 Вт, 220 В. Лампочки соединены последовательно и включены в сеть напряжением $U = 220$ В. Мощность, выделяемая в каждой лампочке, соответственно равна:

1) 30 и 42 Вт; 3) 14 и 23 Вт; 5) 20 и 26 Вт.
 2) 34 и 46 Вт; 4) 18 и 26 Вт;

6. При силе тока $I_1 = 2,0$ А во внешней цепи выделяется мощность $P_1 = 24$ Вт, а при силе тока $I_2 = 5,0$ А — мощность $P_2 = 30$ Вт. ЭДС источника тока равна:
- 1) 8,0 В; 3) 12 В; 5) 16 В.
 2) 10 В; 4) 14 В;
7. Две электрические лампы мощностью $P_1 = 100$ Вт и $P_2 = 200$ Вт, рассчитанные на напряжение $U = 220$ В каждая, соединены последовательно. Если к ним приложить напряжение $U_0 = 440$ В, то:
- 1) обе лампы перегорят;
 2) обе лампы будут светить;
 3) перегорит лампа меньшей мощности;
 4) перегорит лампа большей мощности;
 5) лампы не перегорят, но светить будут гораздо слабее.
8. При подключении к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 200$ В двух последовательно соединенных резисторов, сопротивления которых $R_1 = 10,0$ Ом и $R_2 = 20,0$ Ом, во внешней цепи выделилась мощность $P = 50,0$ Вт. Мощность источника в этом случае равна:
- 1) 117 Вт; 3) 145 Вт; 5) 630 Вт.
 2) 132 Вт; 4) 258 Вт;
9. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12$ В. Ток короткого замыкания $I_{\text{кз}} = 6,0$ А. Если к источнику тока подключить резистор $R = 3,0$ Ом, то КПД такой цепи будет равен:
- 1) 40 %; 3) 60 %; 5) 90 %.
 2) 55 %; 4) 80 %;
10. На резисторе сопротивлением R_1 , подключенном к источнику тока, выделилась мощность P . При замене резистора R_1 на резистор R_2 ($R_2 \neq R_1$) значение мощности не изменилось. ЭДС источника тока равна:
- 1) $\sqrt{P} \left(\frac{R_1 + R_2}{\sqrt{R_1}} \right)$; 3) $\sqrt{P(R_1 + R_2)}$; 5) $\sqrt{P} \left(\frac{R_1 + R_2}{\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}} \right)$.
 2) $\sqrt{P}(R_1 + R_2)$; 4) $\sqrt{P}(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})$;

Тест В1

1. Максимальная мощность, выделяемая гальваническим элементом во внешней цепи, $P = 12$ Вт. В этом случае сила тока $I = 2,0$. ЭДС источника тока равна ... В.

2. Три лампочки мощностью $P_1 = 50$ Вт, $P_2 = 25$ Вт и $P_3 = 50$ Вт, рассчитанные на напряжение $U_1 = 110$ В каждая, соединены, как показано на схеме (рис. 18.3), и включены в сеть напряжением $U_2 = 220$ В. Мощность, выделяемая на лампочке 1, составляет ... Вт.

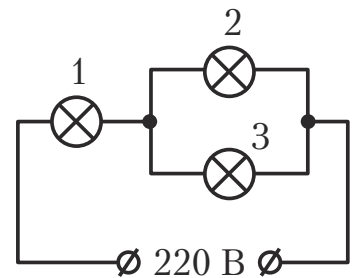


Рис. 18.3

3. Четыре одинаковых аккумулятора с ЭДС $\mathcal{E} = 2,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,50$ Ом соединены по два параллельно в группы. Параллельные группы соединены последовательно и замкнуты на резистор сопротивлением $R = 2,0$ Ом. Во внешней цепи выделяется мощность ... Вт.
4. Батарея состоит из пяти параллельно соединенных элементов с одинаковым внутренним сопротивлением, ЭДС каждого из которых $\mathcal{E} = 5,5$ В. Когда во внешней цепи проходит ток $I = 2$ А, полезная мощность батареи $P_{\text{пол}} = 7$ Вт. Внутреннее сопротивление элемента равно ... Ом.
5. При последовательном и параллельном соединении двух одинаковых источников тока на резисторе выделяется одинаковая мощность $P = 0,16$ кВт. Мощность, которая будет выделяться на резисторе, если замкнуть на него только один источник тока, равна ... Вт.
6. Источник тока замыкается проводником. При сопротивлениях проводника $R_1 = 4$ Ом и $R_2 = 9$ Ом количество теплоты, выделяющееся в проводниках за одно и то же время, одинаковое. Внутреннее сопротивление источника тока равно ... Ом.
7. Два одинаковых резистора, сопротивления которых $R_1 = R_2 = 10$ Ом, подключены к источнику тока. Мощность P , которая выделяется во внешней цепи, равна 20 Вт и одинакова при последовательном и параллельном соединениях резисторов. ЭДС источника тока равна ... В.
8. На участке пути электровоз развивает силу тяги, модуль которой $F = 20$ кН. Сила тока в двигателе электровоза $I = 400$ А, напряжение $U = 800$ В. КПД двигателя $\eta = 0,75$. Модуль скорости движения электровоза равен ... м/с.
9. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением $U = 380$ В. Сила тока в его обмотке $I = 20$ А. Если груз массой $m = 1,0$ т кран поднимает равномерно на высоту $h = 19$ м за время $t = 50$ с, то КПД крана равен ... %.

10. Электродвигатель постоянного тока включен в сеть напряжением $U = 220$ В. Сопротивление обмотки двигателя $R = 2,0$ Ом. Двигатель потребляет ток $I = 15$ А. Механическая мощность двигателя равна ... кВт.

Тест В2

1. Электронагреватель имеет две секции нагревательного элемента, сопротивления которых различны. При включении одной из них вода закипает за время $t_1 = 15$ мин, вторая нагревает эту же воду до кипения за время $t_2 = 30$ мин. Если включить эти секции параллельно, то вода закипит через ... мин.
2. Резистор сопротивлением R_1 при напряжении $U = 220$ В потребляет мощность $P_1 = 484$ Вт, а резистор сопротивлением R_2 — мощность $P_2 = 121$ Вт. Если сопротивления R_1 и R_2 поочередно включить последовательно с неизвестным сопротивлением R , то потребляемая ими мощность P в обоих случаях оказывается одинаковой. Величина сопротивления R составляет ... Ом.
3. Как при последовательном, так и при параллельном соединении двух одинаковых источников тока на внешнем сопротивлении выделяется мощность $P = 80$ Вт. Если на то же сопротивление замкнуть только один источник, то на нем выделится мощность, равная ... Вт.
4. Два нагревателя мощностью $P_1 = 100$ Вт и $P_2 = 50$ Вт нагревают воду за время $t = 60$ мин. Через $\Delta t = 16$ мин после включения нагреватель мощностью $P_2 = 50$ Вт перегорел. Время нагревания воды увеличится при этом на ... мин.
5. К аккумулятору с внутренним сопротивлением r подключен резистор сопротивлением $R_1 = 9,4$ Ом. Мощность, которая выделяется на резисторе R_1 , $P_1 = 12$ Вт. Если вместо резистора R_1 включить резистор $R_2 = 7,0$ Ом, то на нем выделится мощность $P_2 = 13$ Вт. ЭДС аккумулятора равна ... В.
6. Если одинаковые источники ЭДС в количестве $n = 6$ с внутренним сопротивлением $r = 7,6$ Ом каждый соединить последовательно и замкнуть на резистор R , а затем соединить параллельно и замкнуть на этот же резистор, то выделившаяся на резисторе мощность уменьшится в $k = 4$ раза. Сопротивление R резистора равно ... Ом.
7. На резисторе, присоединенном к аккумулятору, выделяется тепловая мощность $P_1 = 10$ Вт. При подключении второго аккумулятора

- параллельно этому резистору выделяемая на нем мощность $P_2 = 20$ Вт. Если параллельно этому резистору подключить третий аккумулятор, то мощность P_3 , выделяемая на резисторе, будет равна ... Вт.
8. Электропоезд идет по горизонтальному пути со скоростью, модуль которой v_1 , а затем со скоростью, равной по модулю v_2 , преодолевая подъем с уклоном $k = 0,040$. Потребляемая сила тока на горизонтальном участке $I_1 = 240$ А, а на подъеме $I_2 = 450$ А. Если коэффициент сопротивления движению $\mu = 0,020$, то v_1 больше v_2 на ... %. (Уклон пути — это $\sin \alpha$, где α — угол подъема.)
9. Двигатель троллейбуса развивает силу тяги, модуль которой $F = 4000$ Н. Коэффициент полезного действия двигателя $\eta = 70,0$ %. Напряжение, подводимое к двигателю, $U = 380$ В. Сила тока I в обмотке двигателя при модуле скорости движения $v = 54,0$ км/ч равна ... кА.
- 10*. Конденсатор емкостью $C = 60$ мкФ, заряженный до напряжения $U = 400$ В, подключают к параллельно соединенным сопротивлениям $R_1 = 16$ Ом и $R_2 = 24$ Ом. Количество теплоты, которое выделится в первом резисторе, равно ... Дж.

§ 19. Электрический ток в металлах, газах, вакууме, полупроводниках и электролитах

■ Электрический ток в металлах

В металлах имеется большое количество свободных электронов (концентрация электронов $n \sim 10^{28} \frac{1}{\text{м}^3}$). При наличии внешнего электростатического поля электроны упорядоченно двигаются и модуль скорости упорядоченного движения $\langle v_{\text{уп}} \rangle \sim 10^{-4}$ м/с. Это движение и есть **электрический ток в металлах**. Модуль *плотности тока* в металлах

$$j = en \langle v_{\text{уп}} \rangle,$$

где e — элементарный электрический заряд.

С повышением температуры сопротивление металлов растет по формуле

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta t),$$

где R_0 — сопротивление металла при 0 °С; α — температурный коэффициент сопротивления; $\Delta t = t - t_0$, где $t_0 = 0$ °С, а t — температура металла.

■ Электрический ток в газах и вакууме

Прохождение электрического тока через газы называют **разрядом**. Если разряд происходит под действием внешнего ионизатора, его называют *несамостоятельным газовым разрядом*. Разряд, происходящий без действия внешнего ионизатора, называют *самостоятельным газовым разрядом*. На рисунке 19.1 приведена вольтамперная характеристика (ВАХ) газового разряда. Участок OA соответствует несамостоятельному разряду, AB — ток насыщения, BC — самостоятельный газовый разряд.

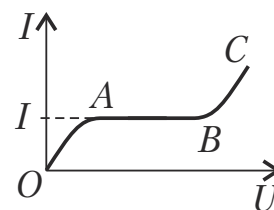


Рис. 19.1

Основные физические процессы:

- 1) *ударная ионизация* — отрыв электронов от атомов при ударе частиц между собой;
- 2) *фотоионизация* — отрыв электронов от атомов под действием излучения;
- 3) *термоионизация* — ионизация атома под действием высокой температуры;
- 4) *вторичная электронная эмиссия* — вылет электронов из катода при бомбардировке его ионами.

Типы самостоятельного разряда: *тлеющий разряд*; *искровой разряд*; *коронный разряд*; *дуговой разряд*.

Плазма — агрегатное состояние вещества, характеризующееся высокой степенью ионизации его частиц.

В вакууме свободных носителей зарядов нет и проводимость обеспечивается термоэлектронной эмиссией — испусканием электронов нагретым катодом и созданием внешнего электростатического поля.

■ Электрический ток в жидкости и электролитах

Электрическим током в жидкости называется направленное движение положительных ионов к катоду, а отрицательных ионов — к аноду под действием приложенного электростатического поля.

Если в растворитель ввести неорганические соли, кислоты и щелочи, то возникает **электролитическая диссоциация** — распад молекул на ионы. Под действием подведенного электростатического поля на электродах происходит **электролиз** — выделение вещества, который описывается законами Фарадея.

I. Масса вещества, выделяющаяся на электроде, прямо пропорциональна заряду q , прошедшему через электролит:

$$m = kq,$$

где k — электрохимический эквивалент вещества, $[k] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$.

II. Электрохимический эквивалент вещества пропорционален его химическому эквиваленту (химический эквивалент $\frac{M}{Z}$):

$$K = \frac{1}{F} \frac{M}{Z},$$

где M — молярная масса; Z — валентность; F — постоянная Фарадея, $F = 96\,500$ Кл/моль.

■ Электрический ток в полупроводниках

В полупроводниках собственная проводимость обусловлена наличием небольшого количества свободных электронов и положительно заряженных дырок. Проводимость полупроводника очень сильно зависит от наличия примесей. При введении акцепторной примеси один из электронов атома полупроводника переходит к атому примеси и возникает дырочная проводимость (p -типа). В случае донорной примеси освобождаются электроны и возникает электронная проводимость (n -типа). При контакте полупроводников p - и n -типа возникает *двойной электрический слой*, который характеризуется односторонней проводимостью.

Тест А1

- Согласно классической электронной теории проводимости металлов по формуле $\frac{j}{en}$ можно рассчитать:
 - удельное сопротивление ρ ;
 - удельную проводимость σ ;
 - среднюю скорость направленного движения электронов $\langle v \rangle$;
 - силу тока I на участке цепи;
 - сопротивление R участка цепи.
- При силе тока $I = 16$ мкА через поперечное сечение металлического проводника за время $t = 1,0$ мкс проходит число электронов, равное:
 - $1,0 \cdot 10^5$;
 - $1,0 \cdot 10^6$;
 - $1,0 \cdot 10^7$;
 - $1,0 \cdot 10^8$;
 - $1,0 \cdot 10^9$.
- Под действием внешнего ионизатора происходит ионизация газа. При этом происходит следующий физический процесс:
 - отрыв электронной оболочки от атома;
 - распад молекул газа на положительные и отрицательные ионы;
 - вырывание из атомов одного или нескольких электронов;

- 4) распад ядер атомов на протоны и нейтроны;
 5) испускание электронов из катода разрядной трубки.
4. Под тлеющим разрядом понимают:
- 1) прохождение тока через газы под действием внешнего ионизатора;
 - 2) пробой воздушного промежутка при высоком напряжении между электродами;
 - 3) прохождение электрического тока через разреженные газы;
 - 4) свечение газа под действием электростатического поля, созданного в газе;
 - 5) испускание электронов нагретым катодом.
5. Причиной вылета электронов из катода вакуумной лампы — диода является:
- 1) фотоэффект;
 - 2) электростатическое поле между катодом и анодом;
 - 3) химическая реакция окисления катода;
 - 4) термоэлектронная эмиссия;
 - 5) радиоактивный бета-распад.
6. Какой из графиков 1—5 (рис. 19.2) соответствует вольтамперной характеристике вакуумного диода?

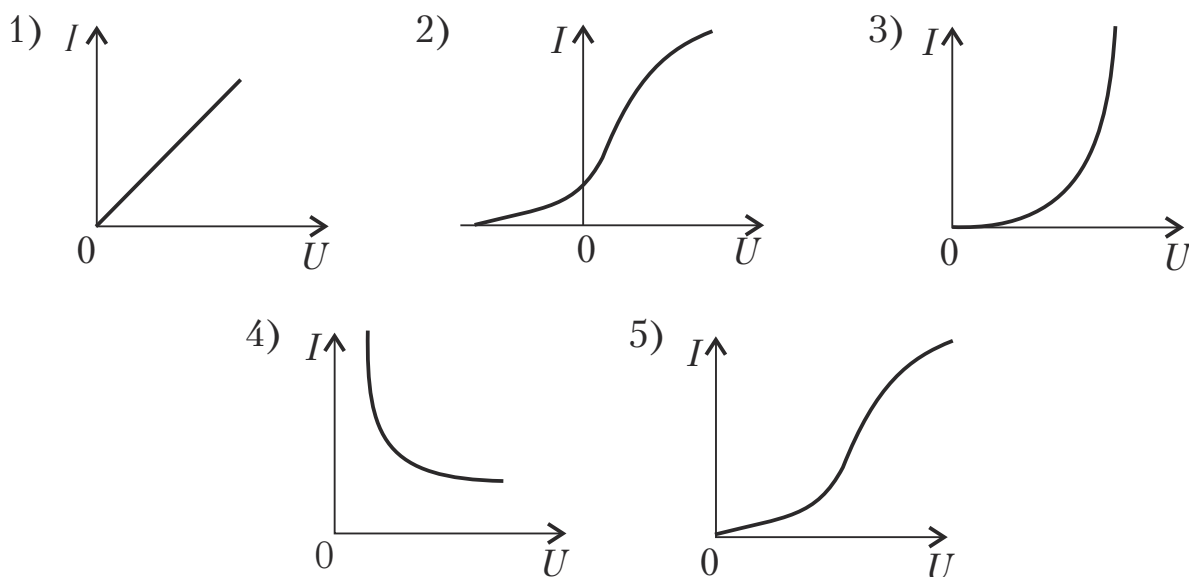


Рис. 19.2

7. Если за время $t = 2,0$ с на анод радиолампы попадают электроны в количестве $N = 1,5 \cdot 10^{17}$, то сила анодного тока в радиолампе равна:
- 1) 1,2 мА;
 - 2) 2,4 мА;
 - 3) 12 мА;
 - 4) 24 мА;
 - 5) 0,12 А.

8. При прохождении электрического тока через электролит он нагревается. Сопротивление электролита при этом:
- 1) уменьшается;
 - 2) увеличивается;
 - 3) не изменяется;
 - 4) ответ зависит от вида электролита;
 - 5) зависит от концентрации, а не от температуры электролита.
9. Под электролитической диссоциацией понимают процесс:
- 1) прохождения электрического тока через электролиты;
 - 2) распада молекул растворяемого вещества в электролите на ионы и электроны;
 - 3) распада растворяемого вещества на ионы;
 - 4) выделения составных частей вещества электролита на электродах при прохождении тока;
 - 5) нагревания электролита при прохождении электрического тока.
10. К электродам, погруженным в электролит, сопротивление которого R , подведено постоянное напряжение U . Если электрохимический эквивалент вещества, осаждаемого на электроде, k , валентность вещества Z , то масса m вещества, выделенного на электроде, равна:
- 1) $\frac{kU}{ZR}t$;
 - 2) $k\frac{U}{R}t$;
 - 3) $k\frac{U^2}{R^2}t$;
 - 4) kUt ;
 - 5) $\frac{kU}{RZ}t$.

Тест А2

1. Температурный коэффициент сопротивления проводника равен α . Чтобы повысить удельное сопротивление в k раз, его необходимо нагреть от температуры t_1 до t_2 , где t_2 равно:
- 1) kt_1 ;
 - 2) $k\left(t_1 + \frac{1}{\alpha}\right)$;
 - 3) $kt_1 + \frac{k-1}{\alpha}$;
 - 4) $(k-1)\left(t_1 + \frac{1}{\alpha}\right)$;
 - 5) $(k+1)\left(t_1 + \frac{1}{\alpha}\right)$.
2. Если по проводнику сечением $S = 5,0 \text{ мм}^2$ проходит ток $I = 9,0 \text{ А}$, а скорость направленного движения электронов $\langle v \rangle = 0,282 \text{ мм/с}$, то концентрация электронов в проводнике равна:
- 1) $4,0 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;
 - 2) $2,0 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;
 - 3) $1,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;
 - 4) $2,8 \cdot 10^{27} \frac{1}{\text{м}^3}$;
 - 5) $4,0 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{м}^3}$.

3. Известно, что пробой воздуха при нормальном атмосферном давлении происходит при напряженности поля, модуль которой $E = 3,0$ МВ/м. Расстояние между электродами плоского конденсатора, на который подано напряжение $U = 15$ кВ, необходимое для пробоя, равно:
- 1) 2,7 мм; 3) 5,0 мм; 5) 7,6 мм.
 2) 3,6 мм; 4) 6,7 мм;
4. При облучении ультрафиолетовым излучением воздушного промежутка между электродами сила тока насыщения $I_{\text{нас}} = 0,40$ А. Число пар одновалентных ионов, образованных ионизатором за одну секунду, составило:
- 1) $5,0 \cdot 10^{18}$; 3) $1,3 \cdot 10^{18}$; 5) $2,5 \cdot 10^{17}$.
 2) $2,5 \cdot 10^{18}$; 4) $5,0 \cdot 10^{17}$;
5. Через двухэлектродную электронную лампу (диод) проходит ток силой I . На анод лампы за время t мин попадает число электронов, равное (модуль заряда электрона равен e):
- 1) $\frac{It}{e}$; 2) Iet ; 3) $60Iet$; 4) $\frac{60It}{e}$; 5) $\frac{It}{60e}$.
6. Требуется увеличить скорость электронов, падающих на анод электронно-лучевой трубки, в 9 раз. Для этого следует повысить напряжение между катодом и анодом трубки:
- 1) в $\sqrt{3}$ раз; 3) в $3\sqrt{3}$ раз; 5) в 81 раз.
 2) в 3 раза; 4) в 9 раз;
7. Электрический ток пропускают через электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса. Как изменится количество меди, выделенное за 1 мин, если: а) увеличить напряжение; б) заменить угольный анод медным такой же формы и объема; в) долить электролит той же концентрации; г) сблизить электроды?
- 1) а, в — увеличится; г, е — не изменится;
 2) б — не изменится; а, в, г — увеличится;
 3) а, г — не изменится; б — уменьшится; в — увеличится;
 4) а, б, в, г — увеличится;
 5) б — не изменится; а, г — увеличится; в — уменьшится.
8. Для наращивания слоя меди в электролитической ванне (электрохимический эквивалент k , плотность меди ρ) на толщину h м при плотности тока j А/м² потребуется время, равное:
- 1) $\frac{\rho h}{kj}$; 2) $\frac{\rho j}{kh}$; 3) $\frac{\rho k}{hj}$; 4) ρjkh ; 5) $\frac{\rho hj}{k}$.

9. Две электролитические ванны с различной концентрацией одного и того же электролита соединены параллельно. Масса вещества, выделившегося за одно и то же время на электродах ванны с электролитом большей концентрации по сравнению с ванной с электролитом меньшей концентрации, будет:
- 1) больше;
 - 2) такой же;
 - 3) меньше;
 - 4) это зависит от силы тока;
 - 5) недостаточно данных для решения.
10. Две ванны с электролитами, содержащими ионы одного и того же элемента, но различной валентности, соединены последовательно. Отношение массы выделившегося на электроде вещества с большей валентностью к массе выделившегося вещества с меньшей валентностью:
- 1) больше 1;
 - 2) меньше 1;
 - 3) равно 1;
 - 4) ответ зависит от приложенного напряжения;
 - 5) это зависит от электролита.

Тест В1

1. Плотность тока в проводнике $j = 6,0 \cdot 10^5$ А/м². Если концентрация свободных электронов в проводнике $n = 1,6 \cdot 10^{28}$ 1/м³, то средняя скорость упорядоченного движения электронов равна ... мм/с.
2. Чтобы сопротивление медного проводника, взятого при $t_1 = 0$ °С, увеличилось при нагревании в $k = 2$ раза (температурный коэффициент сопротивления меди $\alpha = 0,00430$ 1/К), его необходимо нагреть на ... °С.
3. Потенциал ионизации атомов неона $\phi = 21,5$ В. Движущийся ион неона сталкивается с неподвижным нейтральным атомом неона. Чтобы ион мог ионизировать атом, его минимальная кинетическая энергия должна составлять ... эВ.
4. Расстояние между анодом и катодом вакуумного диода $l = 10$ мм. Если считать движение электрона в диоде равноускоренным с нулевой начальной скоростью, то при анодном напряжении $U_a = 440$ В электрон достигает анода через время, равное ... нс.

5. Чтобы при длине свободного пробега $\lambda = 0,50$ мкм (длина свободного пробега — это расстояние, проходимое частицей от удара до удара) электрон смог ионизировать атом газа с энергией ионизации $W_i = 15$ эВ, модуль напряженности электрического поля должен быть равен ... МВ/м.
6. На электронную пушку подано напряжение $U = 3,0$ кВ. Модуль скорости электронов после электронной пушки равен ... Мм/с.
- 7*. В плоский конденсатор направлен поток электронов, модуль скорости которых $v = 1,0 \cdot 10^5$ м/с. Число электронов в единице объема (концентрация) $n_0 = 2,1 \cdot 10^{10}$ 1/м³. Ширина пластин $b = 10$ мм, расстояние между пластинами $d = 3,0$ мм. Сила тока в конденсаторе, если приложенное напряжение между обкладками конденсатора такое, что за время движения электронов в конденсаторе все электроны потока успевают дойти до верхней пластины, составляет ... нА.
8. Плотность тока при меднении $j = 40$ А/м². Продолжался электролиз в течение времени $t = 4,0$ ч. Толщина слоя меди при электролизе (электрохимический эквивалент меди $k = 0,329$ мг/Кл, плотность меди $\rho = 8900$ кг/м³) составляет ... мкм.
9. При электролизе раствора азотнокислого серебра (AgNO_3) выделилось серебро в количестве $m = 500$ мг. Напряжение на электродах $U = 4,0$ В, электрохимический эквивалент серебра $k = 1,1 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. Если КПД установки $\eta = 70$ %, то для получения серебра затрачена энергия, равная ... кДж.
10. Масса m алюминия, выделившегося на катоде за время $t = 10$ ч при электролизе $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, если в течение этого времени ток через электролит равномерно убывает от $I_1 = 1,5$ А до $I_2 = 0,5$ А, составляет ... г.

Тест В2

- 1*. Угольный стержень соединен последовательно с железным стержнем такой же толщины. Температурные коэффициенты сопротивления угля и железа $\alpha_1 = -0,0011 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ и $\alpha_2 = 6,2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$. Удельные сопротивления $\rho_1 = 6,2 \cdot 10^{-5}$ Ом·м, $\rho_2 = 9,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Соотношение длин $\frac{l_1}{l_2}$, при котором сопротивление этой комбинации не зависит от температуры, составляет ... (полученное значение умножьте на 10^3).

2. Напряжение на концах проволоки длиной $l = 500$ см $U = 4,2$ В. При температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ее удельное сопротивление $\rho = 2,0 \cdot 10^{-7}$ Ом·м, а температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 6,0 \cdot 10^{-3}$ К $^{-1}$. Плотность тока в проволоке при температуре $t = 120$ °С составит ... МА/м 2 .
- 3*. К электродам разрядной трубки, расстояние между которыми $l = 10$ см, приложено напряжение $U = 15$ В. Подвижность ионов (величина, равная модулю скорости положительных v_+ и отрицательных v_- ионов при модуле напряженности поля 1 В/м) $U_+ = U_- = 1,0 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$. Число пар ионов в 1 см 3 $n = 100$ 1/см 3 . Плотность тока в трубке равна ... А/м 2 (полученное значение умножьте на 10^{14}).
- 4*. Площадь каждого плоского электрода в газоразрядной трубке $S = 1,5$ дм 2 , расстояние между электродами $d = 5,0$ мм. Если сила тока насыщения $I_n = 2,5 \cdot 10^{-7}$ мА, то под действием ионизатора в объеме $V = 1,0$ см 3 ежесекундно возникает число ионов ... 1/см 3 (полученное значение умножьте на 10^{-7}).
- 5*. Сила тока, характеризующая поток электронов в электронно-лучевой трубке, $I = 571$ мкА, ускоряющее напряжение $U = 10$ кВ, отношение заряда к массе электрона $\gamma = 1,7 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Если все электроны поглощаются экраном, то модуль силы давления электронного луча на экран трубки составляет ... мкН.
6. Работа выхода электрона из металла $A = 7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Чтобы покинуть поверхность катода со скоростью, модуль которой не меньше $v_0 = 1,0 \cdot 10^6$ м/с, электрон в металле должен обладать скоростью v , модуль которой равен ... Мм/с.
7. Сила тока в электронно-лучевой трубке $I = 15$ мкА. Электроны вылетают из катода с нулевой начальной скоростью и ускоряются в электрическом поле при напряжении между катодом и анодом $U = 10$ кВ. Если сечение пучка электронов $S = 1,0$ мм 2 , то концентрация электронов в электронном пучке вблизи анода равна ... 1/м 3 (полученное значение умножьте на 10^{-12}).
8. Никелирование металлического изделия с площадью поверхности $S = 120$ см 2 продолжалось в течение времени $t = 5,0$ ч при силе тока $I = 0,30$ А. Валентность никеля $Z = 2$, плотность $\rho = 9,0$ г/см 3 . Толщина нанесенного слоя никеля равна ... мкм.
9. Если при электролизе за время $t = 100$ с сила тока равномерно возрастала от $I_1 = 1,0$ А до $I_2 = 3,0$ А, а электролитом являлся CuSO_4 , то масса меди, выделившейся на катоде, составит ... мг.

10. Батарея, составленная из соединенных последовательно элементов в количестве $n = 12$ с ЭДС $\mathcal{E} = 1,85$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,300$ Ом каждый, подключена к электродам двух ванн с азотно-кислым серебром и хлорным золотом. Ванны соединены между собой последовательно и имеют сопротивления $R_1 = 12$ Ом и $R_2 = 18$ Ом соответственно. Если молярная масса серебра $M = 108 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, а валентность $Z = 1$, то на катоде первой ванны за время работы $t = 10$ ч выделится масса серебра ... г.

Обобщающий тест № 5

1. Определите эквивалентное сопротивление цепи, изображенной на рисунке 1.

- 1) $0,2R$;
- 2) $0,4R$;
- 3) $0,5R$;
- 4) $0,8R$;
- 5) R .

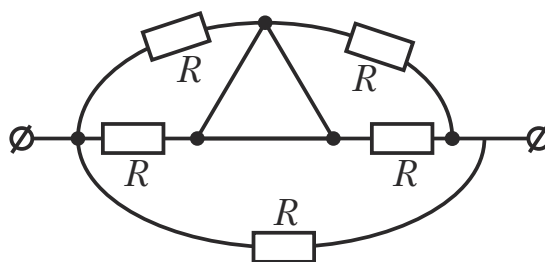


Рис. 1

2. К концам цепи, изображенной на рисунке 2, подведено напряжение 240 В. Падение напряжения на участке AB составляет:

- 1) 40 В;
- 2) 80 В;
- 3) 120 В;
- 4) 180 В;
- 5) 200 В.

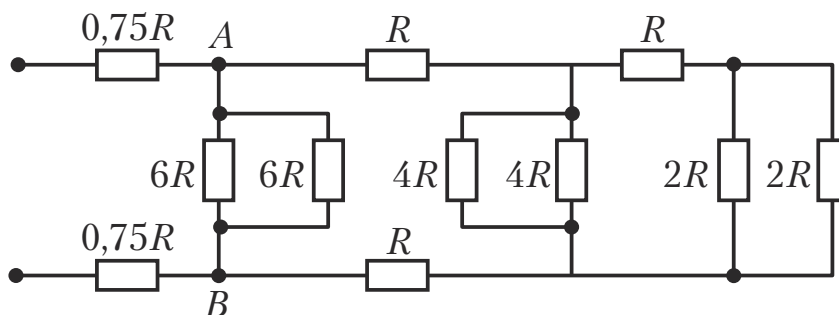


Рис. 2

3. Если четыре лампы накаливания сопротивлением $R = 0,10$ кОм каждая включить в сеть напряжением $U = 220$ В, как показано на рисунке 3, то сила тока в каждой лампе будет равна:

- 1) 0,55 А;
- 2) 1,1 А;
- 3) 1,5 А;
- 4) 2,0 А;
- 5) 2,2 А.

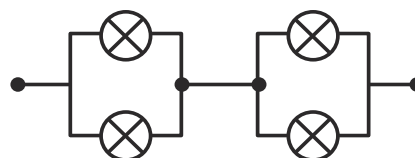


Рис. 3

4. В электрической цепи, изображенной на рисунке 4, сопротивления резисторов $R_1 = 5,0 \text{ Ом}$, $R_2 = 6,0 \text{ Ом}$, $R_3 = 3,0 \text{ Ом}$. Сопротивлением амперметра и проводящих проводов можно пренебречь. Показание вольтметра $U = 2,1 \text{ В}$. Показание амперметра в этой цепи равно:

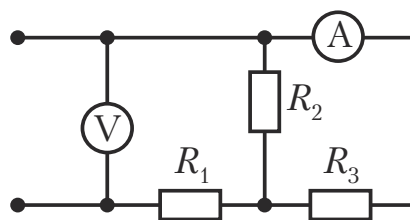


Рис. 4

- 1) 0,10 А; 3) 0,30 А; 5) 1,0 А.
2) 0,20 А; 4) 0,50 А;
5. Батарея аккумуляторов с общей ЭДС $\mathcal{E} = 6,0 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1,40 \text{ м}$ питает внешнюю цепь, состоящую из двух параллельных резисторов сопротивлениями $R_1 = 2,0 \text{ Ом}$ и $R_2 = 8,0 \text{ Ом}$. Напряжение на зажимах батареи равно:

- 1) 1,6 В; 3) 4,0 В; 5) 5,2 В.
2) 3,2 В; 4) 4,8 В;
6. В электрическую цепь (рис. 5) включены резисторы, сопротивления которых $R_2 = 60 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 20 \text{ Ом}$, $R_5 = 20 \text{ Ом}$. Разность потенциалов между точками A и B в приведенной схеме равна нулю. Сопротивление R_1 равно:

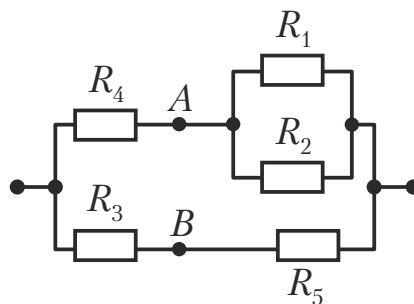


Рис. 5

- 1) 60 Ом; 4) 0,18 кОм;
2) 0,10 кОм; 5) 0,30 кОм.
3) 0,12 кОм;
7. Электрическая цепь состоит из источника тока с внутренним сопротивлением $r = 2,0 \text{ Ом}$ и потребителя сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$. Если сила тока в цепи $I = 6,0 \text{ А}$, то ЭДС источника тока равна:

- 1) 12 В; 3) 60 В; 5) 84 В.
2) 36 В; 4) 72 В;
8. Источник тока с электродвижущей силой $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 2,0 \text{ Ом}$ питает схему, изображенную на рисунке 6. Сопротивление резистора $R = 30 \text{ Ом}$. Емкость конденсатора $C = 10 \text{ мкФ}$. Заряд конденсатора в приведенной схеме равен:

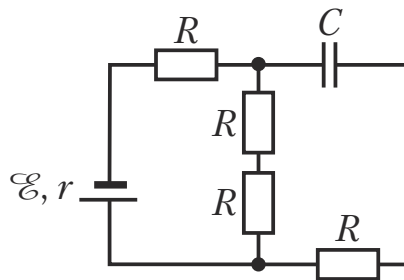


Рис. 6

- 1) 16 мкКл; 4) 52 мкКл;
2) 26 мкКл; 5) 78 мкКл.
3) 38 мкКл;

9. К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 24$ В подключили резистор сопротивлением $R = 12$ Ом. При этом напряжение на резисторе оказалось $U = 20$ В. Сила тока короткого замыкания источника равна:
- 1) 5,0 А; 3) 20 А; 5) 50 А.
2) 10 А; 4) 30 А;
10. Лампа накаливания, мощность которой $P = 100$ Вт, рассчитанная на напряжение $U = 220$ В, имеет сопротивление, равное:
- 1) 484 Ом; 3) 100 Ом; 5) 22 Ом.
2) 229 Ом; 4) 50 Ом;
11. Гирлянда из 12 электрических ламп, соединенных последовательно, подключена к источнику постоянного напряжения. Если количество ламп сократить до 10, то расход электроэнергии:
- 1) уменьшится в 1,44 раза;
2) увеличится в 1,44 раза;
3) увеличится в 1,2 раза;
4) уменьшится в 1,2 раза;
5) не изменится.
12. Источник постоянного тока замкнут на сопротивление $R = 2,0$ Ом. Мощность, выделяемая во внешней цепи, не изменяется, если параллельно сопротивлению R подключить еще одно такое же сопротивление. Внутреннее сопротивление этого источника тока равно:
- 1) 0,60 Ом; 3) 1,0 Ом; 5) 2,6 Ом.
2) 0,80 Ом; 4) 1,4 Ом;

13. В электроплитке сопротивления (спирали) соединены в схему, показанную на рисунке 7. Электроплитка включается в сеть точками 1 и 2. При этом за некоторое время удается довести до кипения воду массой $m_1 = 0,50$ кг. Сколько воды можно довести до кипения за то же время, если электроплитку включить в сеть точками 1 и 3? Начальная температура воды в обоих случаях одна и та же. Тепловыми потерями можно пренебречь.

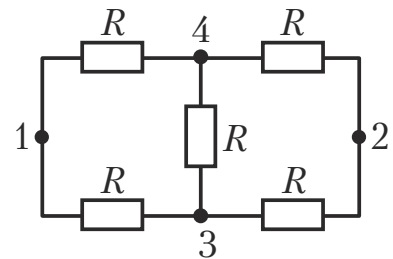


Рис. 7

- 1) 0,60 кг; 3) 1,0 кг; 5) 1,8 кг.
2) 0,80 кг; 4) 1,2 кг;
14. От генератора потребителю передается мощность. Напряжение на зажимах генератора $U_0 = 133$ В, у потребителя $U = 127$ В. Проводка от генератора к потребителю выполнена алюминиевым проводом общей длиной $l = 150$ м и сечением $S = 15$ мм². Удельное сопротив-

ление алюминия $\rho = 29 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Мощность, которую можно передать потребителю, равна:

- 1) 1,2 кВт; 3) 3,2 кВт; 5) 8,0 кВт.
2) 2,6 кВт; 4) 4,5 кВт;

15. Три лампочки сопротивлением R , $2R$ и $2R$ подсоединены к источнику постоянного напряжения, как показано на схеме (рис. 8). Мощность, потребляемая одной из лампочек сопротивлением $2R$ при замыкании ключа K (сопротивлением проводов пренебречь):

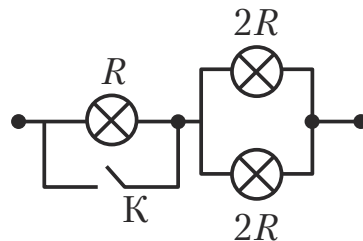


Рис. 8

- 1) увеличится в 2 раза; 4) увеличится в 4 раза;
2) уменьшится в 2 раза; 5) увеличится в 5 раз.
3) уменьшится в 4 раза;

16. Электропоезд движется равномерно со скоростью, по модулю равной $v = 72$ км/ч, развивая силу тяги, модуль которой $F = 60$ кН. Если приложенное напряжение $U = 6000$ В, а КПД электродвигателя $\eta = 80\%$, то сила тока равна:

- 1) 74 А; 3) 0,18 кА; 5) 0,25 кА.
2) 0,15 кА; 4) 0,20 кА;

17. Если за время $t = 2,0$ с на анод вакуумного диода попадают электроны в количестве $N = 1,5 \cdot 10^{17}$, то сила анодного тока в диоде составляет:

- 1) 6,0 мА; 3) 10 мА; 5) 20 мА.
2) 8,2 мА; 4) 12 мА;

18. В плоский конденсатор направлен поток электронов, модуль скорости которых $v = 1,0 \cdot 10^6$ м/с. Число электронов в единице объема $n_0 = 1,0 \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{м}^3}$. Ширина пластин $b = 10$ см, расстояние между пластинами $d = 3,0$ мм. К обкладкам конденсатора приложили такую разность потенциалов, что за время движения электронов в конденсаторе все электроны успевают дойти до верхней пластины. Сила тока в конденсаторе равна:

- 1) 0,12 мкА; 3) 0,36 мкА; 5) 0,80 мкА.
2) 0,24 мкА; 4) 0,48 мкА;

19. Электрохимический эквивалент никеля $k = 3,0 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. Если при силе тока $I = 2,0$ А на изделии осел слой никеля массой $m = 1,8$ г, то процесс электролиза длился:

- 1) 10 мин; 3) 30 мин; 5) 50 мин.
2) 20 мин; 4) 40 мин;

20. Деталь покрывают никелем. Площадь поверхности детали $S = 1,4 \text{ м}^2$. Время электролиза $t = 4,0 \text{ ч}$ при силе тока $I = 0,50 \text{ А}$. Если валентность никеля $Z = 2$, плотность $\rho = 8800 \text{ кг/м}^3$, постоянная Фарадея $F = 96500 \text{ Кл/моль}$, молярная масса никеля $M = 58,7 \text{ г/моль}$, то толщина покрытия детали равна:

- 1) 0,18 мкм; 3) 1,8 мкм; 5) 36 мкм.
2) 0,36 мкм; 4) 18 мкм;

Глава 6. Магнитное поле

§ 20. Индукция магнитного поля. Сила Ампера

На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила Ампера \vec{F}_A , модуль которой $F_A = BIl \sin \alpha$, где l — длина проводника, находящегося в магнитном поле; α — угол между вектором \vec{B} и направлением тока в проводнике.

Индукция магнитного поля \vec{B} — векторная физическая величина, численно равная отношению максимального значения силы Ампера, действующей на проводник, к длине проводника и силе тока в нем:

$$B = \frac{F_{\max}}{Il}; [B] = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}} = 1 \text{ Тл (тесла)}.$$

Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки, а направление линий магнитной индукции — по правилу буравчика, или правой руки.

Модуль индукции магнитного поля, образованного бесконечно длинным прямолинейным проводником с силой тока I на расстоянии r от его оси, $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$, где μ_0 — магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$.

В центре тонкого кругового витка радиусом R с током I модуль магнитной индукции

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Модуль индукции магнитного поля длинного соленоида с током

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l},$$

где N — число витков обмотки соленоида; l — длина соленоида; I — сила тока в нем.

Если магнитное поле создается несколькими проводниками с током, то согласно принципу суперпозиции вектор магнитной индукции результирующего поля

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i,$$

где B_i — индукция магнитного поля, созданного i -м проводником.

На рамку с током, закрепленную на гибком подвесе, в магнитном поле действует вращающий момент. Модуль вращающего момента $M = BIS \sin \alpha$, где α — угол между направлением нормали к рамке и вектором магнитной индукции; I — сила тока в рамке; S — площадь рамки.

Тест А1

1. Вектор индукции магнитного поля прямолинейного тока I в точке M (рис. 20.1) направлен по:

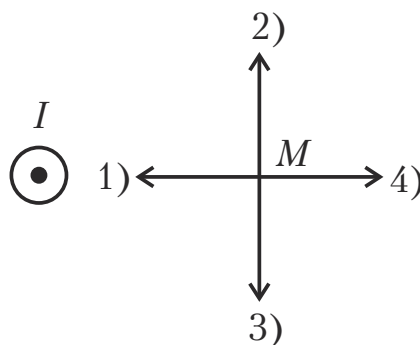


Рис. 20.1

- 5) в точке M магнитное поле не возникает.
2. Направлению силы Ампера, действующей на проводник с током, соответствует (рис. 20.2):

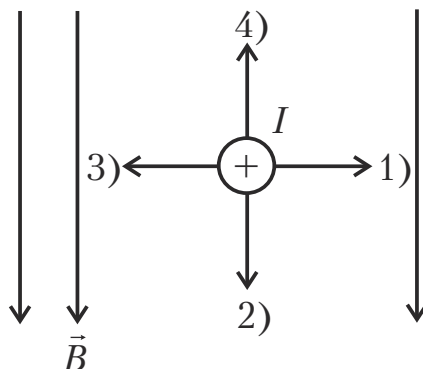


Рис. 20.2

3. Круглый проводящий виток с током, направленным против часовой стрелки, свободно висит на подводящих проводах (рис. 20.3). Если перед витком поместить полосовой магнит, северный полюс которого обращен к витку, то виток:

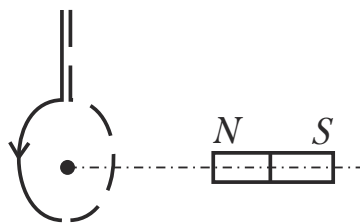


Рис. 20.3

- 1) оттолкнется от магнита;
- 2) притянется к магниту;
- 3) повернется по часовой стрелке;
- 4) повернется против часовой стрелки;
- 5) останется неподвижным.

4. Силовые линии магнитного поля в зазоре электромагнита 1, 2 направлены (рис. 20.4):

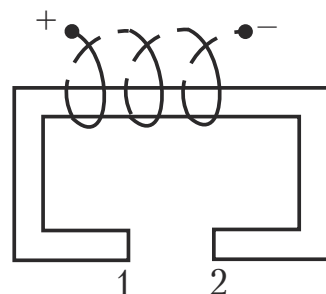


Рис. 20.4

- 1) влево;
- 2) вправо;
- 3) от нас;
- 4) к нам;
- 5) магнитное поле в зазоре не возникает.

5. На горизонтально расположенный проводник с током действует сила Ампера, направленная вверх (рис. 20.5). Правильное положение полюсов магнита показано в случае:

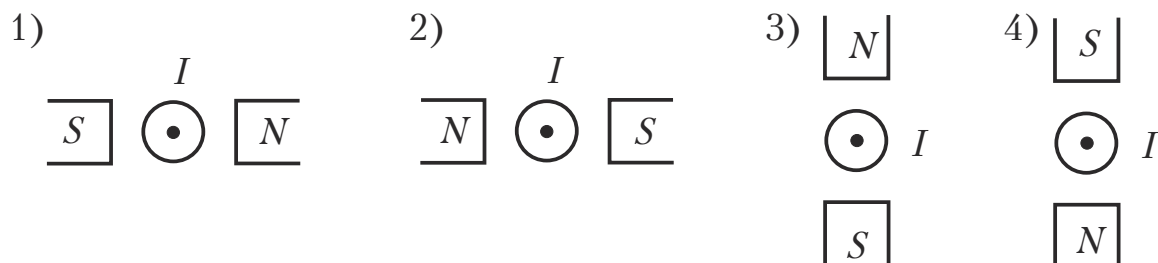


Рис. 20.5

- 5) среди ответов нет правильного.

6. По проволоке длиной $l = 1$ м проходит ток $I = 20$ А. Проволока расположена под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению линий однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. Модуль силы, действующей на проволоку, равен:

- 1) 0,5 Н;
- 2) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ Н;
- 3) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ Н;
- 4) $\sqrt{3}$ Н;
- 5) $2\sqrt{3}$ Н.

7. В однородном магнитном поле, модуль магнитной индукции которого $B = 0,10$ Тл, под углом $\alpha = 30^\circ$ к силовым линиям расположен прямолинейный проводник длиной $l = 2,0$ м. Модуль силы Ампера F_A , действующей на проводник, равен $0,50$ Н. Сила тока в проводнике равна:
- 1) 1,0 А; 3) 5,0 А; 5) 50 А.
2) 2,0 А; 4) 10 А;
8. Направление тока в круговой витке изменили на противоположное. Вектор магнитной индукции витка с током повернулся на:
- 1) 0° ; 3) 180° ; 5) 360° .
2) 90° ; 4) 270° ;
9. Два однородных магнитных поля, силовые линии которых взаимно перпендикулярны, имеют модули векторов магнитной индукции $B_1 = 0,80$ Тл и $B_2 = 0,60$ Тл. Модуль вектора магнитной индукции после наложения полей равен:
- 1) 0,20 Тл; 3) 1,0 Тл; 5) 1,4 Тл.
2) 0,90 Тл; 4) 1,2 Тл;
10. На изолированный проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера, модуль которой $F_A = 1,2$ Н. Если проводник сложить вдвое при том же токе, то модуль силы, действующей на проводник, будет равен:
- 1) 3,6 Н; 3) 0,60 Н; 5) 0.
2) 1,8 Н; 4) 0,40 Н;

Тест А2

1. Единица измерения магнитной индукции в основных единицах СИ равна:
- 1) $\frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}$; 3) $\frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$; 5) $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{м}}$.
2) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$; 4) $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{А}}$;
2. Между полюсами электромагнита расположен прямолинейный проводник с током (рис. 20.6), на который действует сила \vec{F} . Каково направление тока в обмотке электромагнита?
- 1) По часовой стрелке;
2) против часовой стрелки;

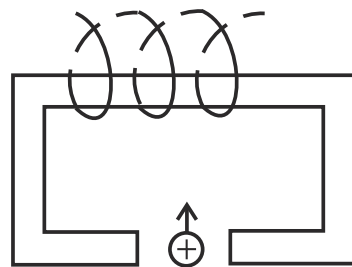


Рис. 20.6

- 3) при любом направлении тока в обмотке сила \vec{F} будет направлена так, как на рисунке;
- 4) на прямолинейный проводник с током в воздушном зазоре сила \vec{F} не действует;
- 5) сила \vec{F} не может быть направлена к обмотке.
3. Прямой проводник с током помещен в однородное магнитное поле. Угол между проводником и силовыми линиями вектора магнитной индукции изменяют с $\alpha_1 = 60^\circ$ до $\alpha_2 = 30^\circ$. Модуль силы F , действующей на проводник:
- 1) увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
 - 2) уменьшится в $\sqrt{3}$ раз;
 - 3) увеличится в $\sqrt{3}$ раз;
 - 4) уменьшится в $\sqrt{2}$ раз;
 - 5) не изменится.
4. Модуль вектора магнитной индукции в точке M максимален в случае (рис. 20.7):

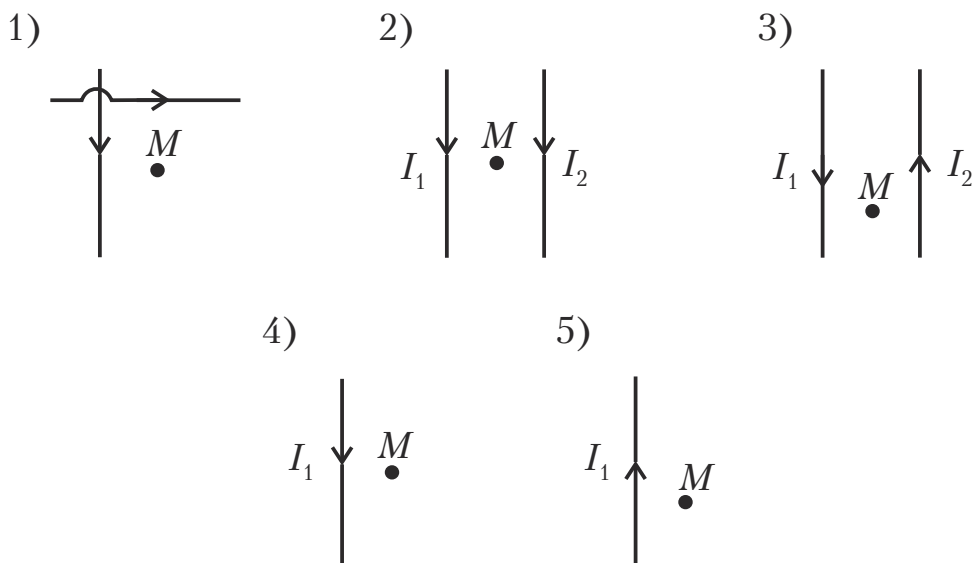


Рис. 20.7

5. Горизонтальный проводник длиной $l = 0,5$ м и массой $m = 0,02$ кг, по которому течет ток силой $I = 10$ А, неподвижно висит в магнитном поле. Минимальная величина модуля индукции магнитного поля, при котором проводник невесом, равна:
- 1) 0,02 Тл;
 - 2) 0,04 Тл;
 - 3) 0,08 Тл;
 - 4) 0,1 Тл;
 - 5) 0,4 Тл.
6. По двум круговым виткам с одинаковыми радиусами течет ток одинаковой величины. Витки имеют общий центр, а их плоскости пер-

пендикулярны друг другу. Для каждого из них модуль магнитной индукции равен B . Модуль вектора магнитной индукции результирующего поля равен:

- 1) 0; 3) $\frac{B}{\sqrt{2}}$; 5) $B\sqrt{3}$.
 2) $B\sqrt{2}$; 4) $2B$;

7. Прямой проводник длиной $l = 0,50$ м и массой $m = 5,0$ г подвешен на двух невесомых нитях в однородном магнитном поле с модулем индукции $B = 0,20$ Тл, направленной перпендикулярно проводнику. Нить разрывается при нагрузке, модуль которой превышает $F = 250$ мН. Чтобы нить разорвалась, через проводник нужно пропустить минимальный ток:

- 1) 1,5 А; 3) 4,5 А; 5) 9,0 А.
 2) 3,0 А; 4) 6,0 А;

8. Металлический стержень массой $m = 1,0$ кг лежит перпендикулярно горизонтальным рельсам, расстояние между которыми $l = 50$ см, в вертикальном магнитном поле. Сила тока, проходящего по стержню, $I = 40$ А. Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,50$. Модуль индукции поля, при котором проводник начнет двигаться, равен:

- 1) 0,50 Тл; 3) 0,25 Тл; 5) 0,040 Тл.
 2) 0,40 Тл; 4) 0,16 Тл;

- 9*. Два прямолинейных длинных проводника расположены в вакууме на расстоянии $l = 100$ см друг от друга. Сила тока в первом проводнике $I_1 = 8,00$ А, во втором — $I_2 = 20,0$ А. Модуль магнитной индукции в точке, расположенной посередине между проводниками, если токи направлены в противоположные стороны, равен:

- 1) 11,2 мкТл; 3) 6,80 мкТл; 5) 3,20 мкТл.
 2) 8,20 мкТл; 4) 5,60 мкТл;

- 10*. К кольцу из медной проволоки, удельное сопротивление которой ρ , а площадь сечения S , приложено напряжение U . Сила тока, текущего по кольцу, оказалась равной I . Модуль индукции магнитного поля в центре кольца в вакууме равен:

- 1) $\frac{\pi \rho I^2}{US}$; 3) $\frac{\mu_0 \pi \rho I^2}{US}$; 5) $\frac{\mu_0 S \pi \rho I^2}{U}$.
 2) $\frac{\mu_0 \pi \rho I}{US}$; 4) $\frac{\mu_0 \rho I^2}{US}$;

Тест В1

1. Прямолинейный проводник длиной $l = 20$ см, по которому проходит ток $I = 3,0$ А, помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. Модуль силы, действующей на проводник, если направление тока составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением вектора индукции магнитного поля, равен ... мН.
2. В магнитном поле, модуль вектора индукции которого $B = 6,0 \cdot 10^{-4}$ Тл, перпендикулярно полю подвешен проводник длиной $l = 80$ см. И проводник, и силовые линии направлены горизонтально и перпендикулярно друг другу. Если по проводнику пропустить ток силой $I = 10$ А, то модуль силы натяжения каждой нити изменится на ... мН.
3. Прямолинейный проводник, по которому протекает постоянный ток, находится в однородном магнитном поле и расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции. Модуль силы Ампера, действующей на проводник, равен F_1 . Если этот проводник повернуть так, чтобы он располагался под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции, то отношение модулей сил Ампера $\frac{F_1}{F_2}$, действующих на проводник, равно
4. Два длинных параллельных прямолинейных проводника расположены на расстоянии $d = 1$ м друг от друга в вакууме. Если сила тока в проводниках $I = 1$ А, то модуль силы магнитного взаимодействия на $l = 1$ м длины проводников равен ... мкН.
5. Прямой проводник длиной $l = 20$ см и массой $m = 105$ г подвешен горизонтально на двух легких нитях в однородном вертикальном магнитном поле. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,20$ Тл. Если по проводнику пропустить ток $I = 5,0$ А, то нити, поддерживающие проводник, отклонятся от вертикали на угол α , равный ... град.
6. Прямолинейный горизонтально расположенный проводник находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. По проводнику протекает ток $I = 1,8$ А, причем сила тяжести полностью уравновешивается силой, действующей на проводник со стороны поля. Если плотность материала проводника $\rho = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, то площадь его поперечного сечения равна ... мм².

7. Электромагнитный ускоритель представляет собой два провода, расположенные в горизонтальной плоскости на расстоянии $l = 20$ см друг от друга, по которым может скользить без трения металлическая перемычка ac (рис. 20.8) массой $m = 2,0$ кг. Магнитное поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ Тл, перпендикулярно плоскости движения перемычки. Чтобы перемычка, пройдя путь $s = 2,0$ м, приобрела скорость, модуль которой $v = 10$ м/с, сила тока, проходящего по перемычке, должна быть равна ... кА.

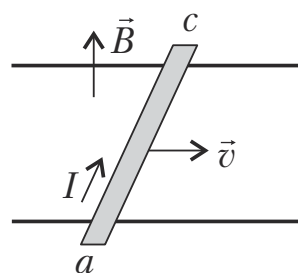


Рис. 20.8

8. Проводник длиной $l = 0,5$ м с током $I = 10$ А расположен перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,1$ Тл. Проводник равномерно перемещают на расстояние $l_1 = 20$ см в направлении, противоположном действию силы Ампера. Работа внешней силы при этом равна ... Дж.
- 9*. Соленоид длиной $l = 80$ см содержит витки проволоки сопротивлением $R = 100$ Ом в количестве $n = 20\,000$. К соленоиду приложено напряжение $U = 12$ В. Модуль вектора магнитной индукции внутри соленоида равен ... мТл.
- 10*. Модуль максимального момента сил, действующих на прямоугольную рамку с током силой $I = 20$ А, $M = 0,50$ Н·м. Площадь рамки $S = 10$ см². Рамка состоит из витков в количестве $n = 50$. Модуль индукции магнитного поля равен ... Тл.

Тест В2

1. В вертикальном однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ Тл, на двух равных легких нитях подвешен горизонтальный проводник длиной $l = 0,80$ м и массой $m = 50$ г. В магнитном поле проводник отклонился на угол $\alpha = 30^\circ$. Сила тока в проводнике равна ... А.
2. Вертикальное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 2,0$ Тл, перпендикулярно горизонтальной плоскости, в которой расположены две медные шины. По шинам, расположенным на расстоянии $l = 40$ см друг от друга, может скользить медная перемычка массой $m = 100$ г. Модуль скорости, которой достигнет перемычка через промежуток времени $\Delta t = 0,10$ с, если по ней пропустить ток $I = 20$ А, составляет ... м/с.

3. Медный брусок массой $m = 0,5$ кг лежит симметрично на параллельных друг другу токопроводящих шинах, образующих с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$ и отстоящих друг от друга на расстоянии $l = 20$ см. Система находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,5$ Тл, а направление перпендикулярно плоскости шин. Для равномерного перемещения бруска вверх по шинам через него пропускают ток $I = 10,0$ А. Если разомкнуть электрическую цепь, то брусок будет соскальзывать вниз с ускорением, модуль которого равен ... м/с².
- 4*. В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, начинает движение по горизонтальным рельсам проводящий стержень длиной $l = 20$ см и массой $m = 12$ г. Сила тока в стержне $I = 2,0$ А. Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,10$. Скорость движения стержня направлена перпендикулярно вертикальному магнитному полю. Работа по перемещению стержня за промежуток времени $\Delta t = 3,0$ с составляет ... Дж.
5. Прямолинейный проводник массой $m = 0,10$ кг, по которому протекает ток $I = 10$ А, поднимается вертикально вверх в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл, а вектор \vec{B} составляет с проводником угол $\alpha = 60^\circ$. Через время $t = 2,0$ с после начала движения проводник достигает скорости, модуль которой $v = 8,0$ м/с. Длина проводника равна ... дм.
6. Стержень массой $m = 50$ г и длиной $l = 30$ см находится на наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Стержень расположен горизонтально. По нему пропускают постоянный ток силой $I = 9,6$ А. Модуль вектора магнитной индукции, силовые линии которого направлены вертикально, при котором стержень будет находиться в равновесии, составляет ... Тл.
7. Проводник массой $m = 100$ г и длиной $l = 50,0$ см лежит на горизонтальных рельсах (рис. 20.9), расположенных в горизонтальном магнитном поле с индукцией, модуль которой $B = 100$ мТл. Сила тока, проходящего по проводнику в указанном на рисунке направлении, $I_1 = 4,00$ А. Чтобы сдвинуть проводник влево, требуется приложить силу, модуль которой $F_1 = 160$ мН. Модуль силы, необходимый для этого, при изменении направления тока на противоположное равен ... мН.

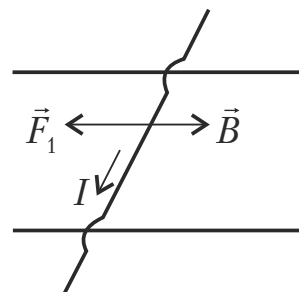


Рис. 20.9

8. Проводник длиной $l = 60$ см с током силой $I = 5,0$ А расположен под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции. Проводник под действием внешних сил перемещают на расстояние $d = 100$ см перпендикулярно магнитному полю, модуль индукции которого $B = 1,2$ мТл. Величина совершенной работы равна ... мДж.
- 9*. По жесткому кольцу из медной проволоки течет ток $I = 5,0$ А. Кольцо расположено в перпендикулярном его плоскости магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл. Сила Ампера стремится растянуть кольцо. Если радиус кольца $R = 50$ мм, а площадь сечения проволоки $S = 3,0$ мм², то механическое напряжение в проволоке составляет ... кПа.
- 10*. Металлический стержень длиной $L = 20$ см и массой $m = 10$ г подвешен на двух легких проводах длиной $l = 10$ см в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ Тл, а силовые линии индукции направлены вертикально вниз. К точкам крепления проводов подключен конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ, заряженный до напряжения $U = 100$ В. Сопротивление стержня и проводов можно не учитывать. Максимальный угол φ отклонения стержня после разрядки конденсатора, если она происходит за очень малое время, составит ... град.

§ 21. Сила Лоренца

На заряд q , движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца, модуль которой $F_{\text{л}} = Bqv \sin \alpha$, где B — модуль индукции магнитного поля; v — модуль скорости движения заряда; α — угол между векторами \vec{B} и \vec{v} . Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки.

Если магнитное поле однородное и скорость \vec{v} заряженной частицы перпендикулярна линиям индукции, то траекторией частицы является окружность радиусом $R = \frac{mv}{qB}$, период обращения по которой $T = \frac{2\pi m}{qB}$.

Если скорость частицы направлена под острым углом α к линиям магнитной индукции, то траекторией частицы является винтовая спираль радиусом

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

и шагом

$$h = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{qB}.$$

Тест А1

1. Отрицательный заряд влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям поля (рис. 21.1, а). Сила, действующая на этот заряд, направлена по (рис. 21.1, б):

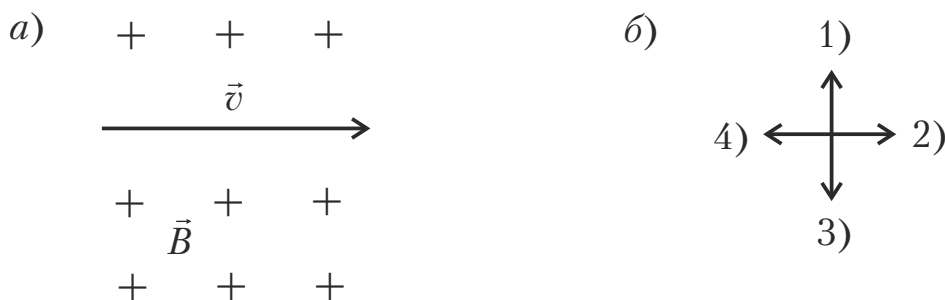


Рис. 21.1

5) при таком направлении движения частицы сила Лоренца равна нулю.

2. Силовые линии векторов напряженности \vec{E} и индукции \vec{B} однородных электростатического и магнитного полей совпадают по направлению. Электрон, движущийся в том же направлении, будет:

- 1) отклоняться влево;
- 2) отклоняться вправо;
- 3) увеличивать свою скорость;
- 4) уменьшать свою скорость;
- 5) скорость электрона останется неизменной по величине и направлению.

3. Протон, нейтрон и электрон с одинаковыми скоростями влетают в однородное магнитное поле. На рисунке 21.2 траектории частиц:

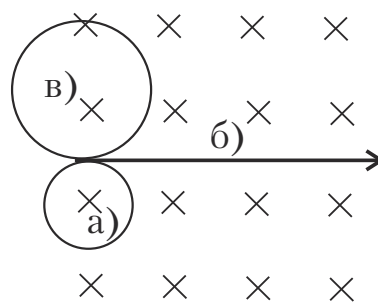


Рис. 21.2

- 1) а — протона, б — нейтрона, в — электрона;
 - 2) а — нейтрона, б — электрона, в — протона;
 - 3) а — электрона, б — нейтрона, в — протона;
 - 4) а — электрона, б — протона, в — нейтрона;
 - 5) а — электрона, в — протона и нейтрона.
4. Если протон и электрон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям с равными скоростями, то силы,

действующие на эти частицы (отношение масс протона и электрона $\frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{эл}}} = 1836$):

- 1) одинаково направлены и различаются в 1836 раз;
 - 2) противоположно направлены и различаются в 1836 раз;
 - 3) противоположно направлены и равны по величине;
 - 4) одинаково направлены и равны по величине;
 - 5) не возникают.
5. Два электрона с различными кинетическими энергиями $W_{\text{к1}}$ и $9W_{\text{к1}}$ движутся по окружностям в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной линиям индукции. Отношение их периодов вращения $\frac{T_1}{T_2}$ равно:
- 1) 3;
 - 2) $\frac{1}{3}$;
 - 3) $\sqrt{3}$;
 - 4) $\frac{1}{\sqrt{3}}$;
 - 5) 1.
6. Электрон, ускоренный разностью потенциалов U , влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению его движения. Масса электрона m , заряд q , модуль индукции магнитного поля равен B . Период обращения электрона равен:
- 1) $\frac{2\pi m\sqrt{U}}{Bq}$;
 - 2) $\frac{2\pi m}{BqU}$;
 - 3) $\frac{2\pi U}{Bm}$;
 - 4) $\frac{2\pi m}{Bq}$;
 - 5) $\frac{2\pi BU}{qm}$.
7. Протон и электрон массами $m_{\text{пр}}$ и $m_{\text{эл}}$, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле в направлении, перпендикулярном силовым линиям. Радиус кривизны траектории протона относится к радиусу кривизны траектории электрона как:
- 1) $\frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{эл}}}$;
 - 2) $\sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{эл}}}}$;
 - 3) $\sqrt{\frac{m_{\text{эл}}}{m_{\text{пр}}}}$;
 - 4) $\left(\frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{эл}}}\right)^2$;
 - 5) $\frac{m_{\text{эл}}}{m_{\text{пр}}}$.
8. Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле и начинает двигаться в нем по окружности радиусом R . Если начальную

энергию частицы увеличить в k раз, то радиус окружности станет равным:

- 1) kR ; 3) $\frac{R}{\sqrt{k}}$; 5) Rk^2 .
 2) $R\sqrt{k}$; 4) $\frac{R}{k}$;

9. Протон и α -частица, заряд которой в $k_1 = 2$ раза, а масса в $k_2 = 4$ раза больше, чем у протона, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям. Кинетические энергии частиц одинаковы. Из следующих утверждений справедливо:

- 1) α -частица движется по окружности меньшего радиуса, чем протон;
 2) α -частица закручивается в другую сторону относительно протона;
 3) α -частица движется по окружности большего радиуса, чем протон;
 4) радиусы траекторий обеих частиц одинаковы;
 5) обе частицы двигаются по прямолинейным траекториям.

10. Электрон движется по окружности радиусом R в однородном магнитном поле. Модуль вектора магнитной индукции B , заряд электрона q , масса m . Кинетическая энергия электрона равна:

- 1) $\frac{B|q|R}{2m}$; 3) $\frac{B^2 q^2 R^2}{2m^2}$; 5) $\frac{B^2 q^2}{2mR^2}$.
 2) $\frac{B^2 q^2 R^2}{2m}$; 4) $\frac{m^2 B^2 q^2}{2R}$;

Тест А2

1. Электрон и протон (массы m_1 и m_2), ускоренные разностью потенциалов U_1 и U_2 соответственно, движутся по окружностям в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной вектору магнитной индукции. Отношение частот вращения $\frac{v_1}{v_2}$ равно:

- 1) $\sqrt{\frac{U_1 m_1}{U_2 m_2}}$; 3) $\sqrt{\frac{U_1 m_2}{U_2 m_1}}$; 5) $\frac{m_2}{m_1}$.
 2) $\frac{m_1}{m_2} \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}$; 4) $\frac{m_2}{m_1} \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}$;

2. Электрон движется в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0 \cdot 10^{-4}$ Тл, по окружности радиусом $R = 1,0$ см. Модуль импульса частицы равен:

$$1) 1,5 \cdot 10^{-24} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}; \quad 3) 1,8 \cdot 10^{-26} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}; \quad 5) 1,6 \cdot 10^{-26} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}.$$

$$2) 1,6 \cdot 10^{-25} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}; \quad 4) 1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}};$$

3. Электрон, ускоренный разностью потенциалов U , влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению его движения. Модуль индукции магнитного поля равен B . Масса электрона m , элементарный электрический заряд e . Радиус кривизны траектории электрона равен:

$$1) \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}; \quad 3) \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2U}{me}}; \quad 5) \sqrt{\frac{2mU}{eB}}.$$

$$2) \sqrt{\frac{2mU}{e}}; \quad 4) \sqrt{\frac{mU}{e}};$$

4. α -частица массой m движется в однородном магнитном поле, модуль вектора магнитной индукции которого $B = 0,20$ Тл, перпендикулярно силовым линиям. Модуль силы, действующей на α -частицу, $F = 3,2 \cdot 10^{-14}$ Н. Модуль импульса α -частицы равен:

$$1) 6,6 \cdot 10^{-21} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}; \quad 4) 2,3 \cdot 10^{-21} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}};$$

$$2) 3,3 \cdot 10^{-21} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}; \quad 5) 1,6 \cdot 10^{-21} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}}.$$

$$3) 4,7 \cdot 10^{-21} \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{с}};$$

5. Электроны, начальная скорость которых $\vec{v} = \vec{0}$, ускоряются электростатическим полем и, пройдя напряжение U , попадают в магнитное поле с модулем индукции B . Магнитное поле закручивает частицы. Известен диаметр d окружности, которую описывает частица. Отношение заряда электрона к его массе равно:

$$1) \frac{U}{Bd}; \quad 3) \frac{2U}{B^2 d^2}; \quad 5) \frac{4U}{Bd}.$$

$$2) \frac{4U}{B^2 d^2}; \quad 4) \frac{8U}{B^2 d^2};$$

6. Две частицы с нулевой начальной скоростью и одинаковыми зарядами ускоряются одинаковой разностью потенциалов, после чего попадают в однородное магнитное поле и двигаются в нем по кру-

говым траекториям. Если отношение масс этих частиц $\frac{m_1}{m_2}$ равно 4,

то отношение радиусов их траекторий $\frac{R_1}{R_2}$ равно:

- 1) 0,25; 2) 0,5; 3) 1; 4) 2; 5) 4.

7. В однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,16$ Тл, влетела α -частица под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям индукции магнитного поля. Модуль скорости α -частицы $v = 1,6 \cdot 10^4$ м/с. Если масса α -частицы $m_\alpha = 6,6 \cdot 10^{-27}$ кг, а заряд $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, то модуль силы Лоренца, действующей на частицу, равен:

- 1) $2,0 \cdot 10^{-16}$ Н; 3) $8,2 \cdot 10^{-16}$ Н; 5) $1,4 \cdot 10^{-14}$ Н.
2) $4,1 \cdot 10^{-16}$ Н; 4) $2,0 \cdot 10^{-15}$ Н;

8. Электрон описывает в магнитном поле окружность радиусом $r = 4,8$ мм. Если модуль магнитной индукции поля $B = 3,8$ мТл, то модуль скорости электрона равен:

- 1) $1,6 \cdot 10^6$ м/с; 3) $6,4 \cdot 10^6$ м/с; 5) $1,6 \cdot 10^7$ м/с.
2) $3,2 \cdot 10^6$ м/с; 4) $1,0 \cdot 10^7$ м/с;

9. Однородные электростатическое и магнитное поля расположены взаимно перпендикулярно (рис. 21.3). Напряженность электростатического поля \vec{E} , а индукция магнитного поля — \vec{B} . Направление скорости электрона, чтобы движение его было равномерным и прямолинейным, в обоих полях соответствует случаю:

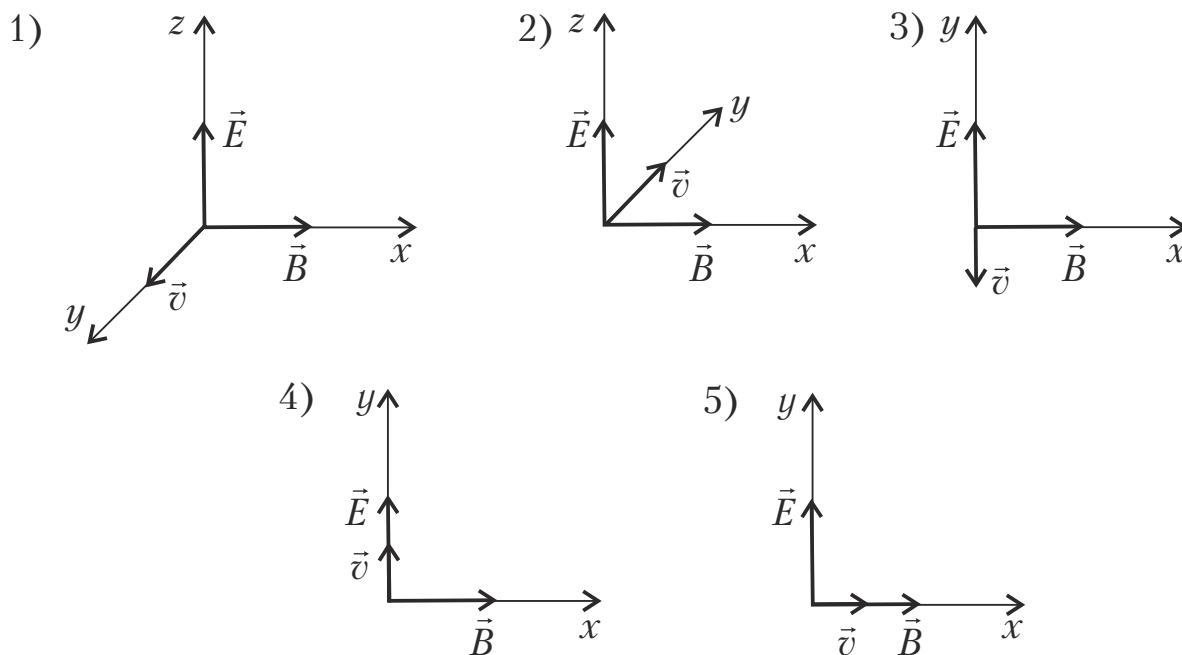


Рис. 21.3

10. α -частица движется в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,20$ Тл, параллельно силовым линиям. Если модуль скорости α -частицы $v = 1000$ м/с, то модуль силы, действующей на нее, равен:
- 1) $6,4 \cdot 10^{-17}$ Н; 3) 0; 5) $3,2 \cdot 10^{-16}$ Н.
 2) $3,2 \cdot 10^{-17}$ Н; 4) $6,4 \cdot 10^{-16}$ Н;

Тест В1

1. Если в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 80$ мТл, электрон движется со скоростью, модуль которой $8,4 \cdot 10^6$ м/с, по окружности радиусом $0,60$ мм, то угловая скорость вращения электрона равна ... рад/с (полученное значение умножьте на 10^{-10}).
2. Электрон движется в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 50$ мТл, по дуге окружности радиусом $R = 10$ мм. Затем электрон попадает в однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 10$ кВ/м, и движется по направлению силовой линии. Расстояние, которое пройдет электрон до тех пор, пока его скорость не станет равной нулю, составляет ... м.
3. Электрон влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 89,3$ мТл, перпендикулярно силовым линиям поля. Модуль скорости электрона $v = 1,0 \cdot 10^6$ м/с. Изменение скорости электрона за промежуток времени $\Delta t = 1,0 \cdot 10^{-10}$ с равно ... Мм/с.
4. Однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 10,0$ мТл, создано между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми $l = 1,00$ см. Модуль минимальной скорости, который должен иметь электрон (рис. 21.4), чтобы он мог пройти данную область, составляет ... Мм/с.
5. Два иона с одинаковыми зарядами, но разными массами, пройдя одинаковую ускоряющую разность потенциалов, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Если первый ион массой m_1 описал в магнитном поле окружность радиусом $R_1 = 2,4$ см, а второй массой m_2 — окружность радиусом $R_2 = 9,6$ см, то отношение масс этих ионов $\frac{m_2}{m_1}$ равно ...

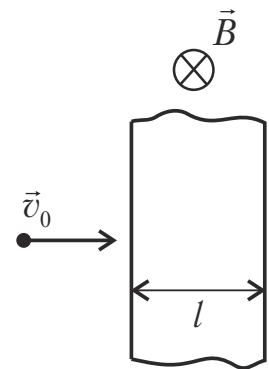


Рис. 21.4

6. В однородном магнитном поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к линиям магнитной индукции влетает электрон, кинетическая энергия которого $W_k = 10$ кэВ. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,010$ Тл. Радиус винтовой линии, по которой движется электрон, равен ... см.
7. Силовые линии электростатического и магнитного полей взаимно перпендикулярны. Заряженная частица движется прямолинейно со скоростью, модуль которой $v = 25$ м/с, перпендикулярно обоим полям. Отношение модуля вектора магнитной индукции к модулю вектора напряженности электростатического поля равно ... с/м.
8. Если в некоторой области пространства, где созданы однородные электростатическое и магнитное поля с напряженностью и магнитной индукцией модулями $E = 10$ кВ/м и $B = 0,024$ Тл соответственно, электрон движется равномерно и прямолинейно, то модуль скорости электрона равен ... Мм/с.
9. Однородные электростатическое и магнитное поля направлены взаимно перпендикулярно. Модуль напряженности электростатического поля $E = 10$ кВ/м, а магнитного — $B = 10$ мТл. Траектория движения электрона оказалась прямолинейной. Кинетическая энергия электрона равна ... эВ.
10. Электрон в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, описывает окружность. Сила тока, создаваемая движущимся электроном, равна ... нА.

Тест В2

1. Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией, модуль которой $B = 1,2 \cdot 10^{-4}$ Тл, со скоростью, модуль которой $v_0 = 1,6 \cdot 10^7$ м/с. Магнитное поле создано в области пространства шириной $h = 38$ см. Если скорость электрона перпендикулярна границе области магнитного поля и линиям индукции, то он вылетит из области поля под углом α к начальному направлению своего движения ... град.
- 2*. Заряженная частица движется по окружности радиусом $R = 10$ мм в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. Параллельно магнитному полю возбуждено электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 100$ В/м. Для того чтобы кинетическая энергия частицы увеличилась в 2 раза, электростатическое поле должно действовать на нее в течение времени, которое равно ... мкс.

3. Электрон движется в однородном магнитном поле по винтовой линии радиусом $R = 10$ мм с шагом $h = 7,8$ см. По отношению к линиям магнитной индукции электрон движется под углом, равным ... град.
4. Электрон влетает в область пространства, где силовые линии электростатического и магнитного полей совпадают по направлению и перпендикулярны начальной скорости электрона \vec{v}_0 , модуль которой $v_0 = 2,0$ Мм/с. Модули напряженности электростатического поля $E = 6,0$ кВ/м и индукции магнитного поля $B = 1,4$ мТл. Модуль ускорения электрона в момент вхождения в эту область пространства равен ... м/с² (полученное значение умножьте на 10^{-15}).
- 5*. Протон, модуль скорости которого $v = 60$ км/с, влетает в пространство с электростатическим и магнитным полями, направления силовых линий которых совпадают, перпендикулярно этим полям. Если модуль индукции магнитного поля $B = 0,10$ Тл, а модуль начального ускорения протона, вызванного действием этих полей, $a = 1,0 \cdot 10^{12}$ м/с², то модуль напряженности E электростатического поля составляет ... кВ/м.

- 6*. Небольшое заряженное тело массой $m = 1,0$ г с зарядом $q = 100$ мкКл скользит по наклонной плоскости, угол наклона которой к горизонту $\alpha = 30^\circ$, в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл. Силовые линии магнитной индукции направлены параллельно наклонной плоскости (рис. 21.5). Модуль максимальной скорости, которую разовьет тело при коэффициенте трения $\mu = 0,50$, составит ... м/с.

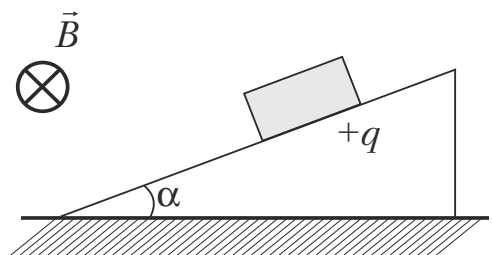


Рис. 21.5

7. Электрон, модуль скорости которого $v = 2,1 \cdot 10^6$ м/с, влетает в область однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 2,2$ мТл. Направление скорости электрона составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с границей области и перпендикулярно линиям индукции поля. Максимальная глубина проникновения электрона в область магнитного поля составляет ... мм.
8. Ускоряющая разность потенциалов $|\phi_1 - \phi_2|$, которую должен пройти электрон с начальной скоростью модулем $v_0 = 1000$ км/с в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,24$ мТл, а силовые линии перпендикулярны скорости частицы, чтобы радиус траектории электрона был $R = 3,6$ см, составляет ... В.

9*. Электрон, модуль начальной скорости которого $v_0 = 8,0 \cdot 10^6$ м/с, ускоренный разностью потенциалов $U = 100$ В, под углом $\alpha = 60^\circ$ к магнитным линиям влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,15$ Тл (рис. 21.6). Шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон, равен ... мм.

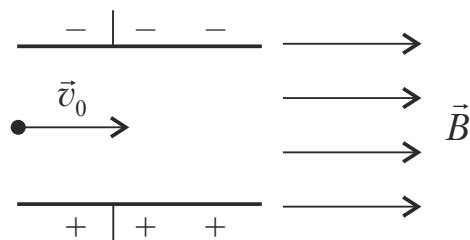


Рис. 21.6

10*. Через плоский незаряженный конденсатор, помещенный в магнитное поле, модуль индукции которого $B = 12$ мТл, пропускают поток электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов $U = 100$ В. Пластины конденсатора параллельны линиям индукции. Площадь обкладок конденсатора $S = 100$ см². Направление движения электронов перпендикулярно линиям индукции \vec{B} . Заряд q , который накопится на пластине конденсатора, равен ... нКл.

§ 22. Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции

Магнитный поток Φ через поверхность площадью S равен произведению модуля вектора магнитной индукции B на площадь и косинус угла α между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} к поверхности:

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

Единицей магнитного потока является вебер ($1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$).

Работа внешней силы по перемещению проводника с током I в магнитном поле

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

При изменении магнитного потока, пронизывающего плоскость контура, возникает **ЭДС индукции \mathcal{E}_i** , и это явление называется **электромагнитной индукцией**.

Электродвижущая сила индукции в контуре прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока (закон Фарадея):

$$\mathcal{E}_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Индукционный ток в контуре всегда направлен так, что создаваемый им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром,

стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызывающего этот ток (правило Ленца):

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где N — число витков в контуре.

В проводнике длиной l , движущемся со скоростью, модуль которой v , в однородном магнитном поле, модуль индукции которого B , ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_i = Blv \sin \alpha,$$

где α — угол между \vec{B} и \vec{v} .

Направление индукционного тока в движущемся проводнике определяется **правилом правой руки**.

Тест А1

1. Магнит перемещают относительно замкнутого проводящего контура, как показано на рисунке 22.1. Как будет направлен индукционный ток, возникающий в контуре?

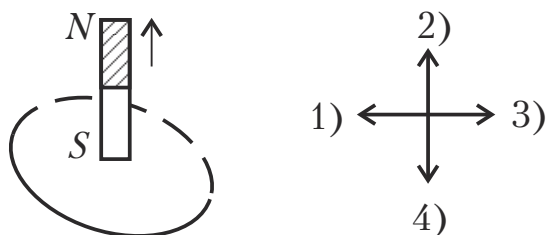


Рис. 22.1

- 1) По часовой стрелке;
- 2) против часовой стрелки;
- 3) индукционный ток направлен произвольным образом;
- 4) индукционный ток вообще не возникает, но контур отталкивается от магнита;
- 5) индукционный ток вообще не возникает, но контур притягивается к магниту.

2. Контур B удаляется от контура A (рис. 22.2). Как будет направлен индукционный ток, возникающий в контуре B ?

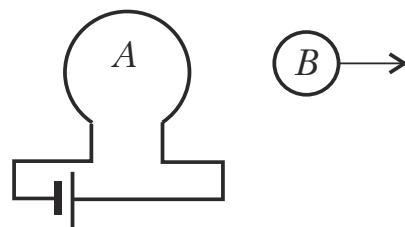


Рис. 22.2

- 1) По часовой стрелке;
- 2) против часовой стрелки;
- 3) произвольным образом;
- 4) индукционный ток вообще не возникнет, но контуры будут притягиваться;
- 5) индукционный ток вообще не возникнет, но контуры будут отталкиваться.

3. В каком направлении относительно замкнутого проводника необходимо двигать магнит, чтобы в проводнике возник электрический ток указанного направления (рис. 22.3)?

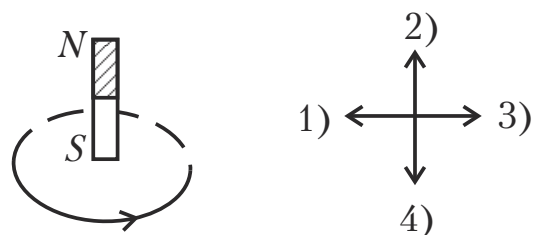


Рис. 22.3

- 5) на указанной схеме ток не возникает.

4. Как будет направлен ток в контуре 2 (рис. 22.4) при размыкании цепи в контуре 1?

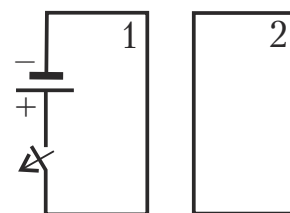


Рис. 22.4

- 1) По часовой стрелке;
2) против часовой стрелки;
3) ток в контуре 2 вообще не возникнет;
4) контуры будут притягиваться, но ток не

возникнет;

- 5) контуры будут отталкиваться, но ток не возникнет.

5. Медное кольцо прикреплено к вертикальной стене. Как будет направлен индукционный ток в кольце, если к кольцу подносить северный полюс полосового магнита?

- 1) По часовой стрелке;
2) против часовой стрелки;
3) равен нулю, если кольцо не намагничено;
4) индукционный ток не может возникнуть в медном кольце

в принципе;

- 5) произвольным образом.

6. Размерность какой из перечисленных физических величин выражается через основные единицы измерения в СИ как $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$?

- 1) Сопротивление;
2) напряжение;
3) индукция магнитного поля;
4) магнитный поток;
5) индуктивность.

7. Ось падающего линейного магнита совпадает с осью медного кольца. При прохождении кольца модуль ускорения магнита:

- 1) больше модуля ускорения свободного падения;
2) меньше модуля ускорения свободного падения;
3) равен модулю ускорения свободного падения;

4) сначала больше, потом меньше модуля ускорения свободного падения;

5) сначала меньше, потом больше модуля ускорения свободного падения.

8. В магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,50$ Тл, перемещается проводник длиной $l = 0,80$ м под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции. ЭДС индукции, которая возбуждается в проводнике, $\mathcal{E}_i = 1,0$ В. Модуль скорости перемещения проводника в магнитном поле равен:

- 1) 1 м/с; 3) 5 м/с; 5) 9 м/с.
2) 3 м/с; 4) 7 м/с;

9. Нормаль к плоскости квадратной рамки со стороной $a = 20$ см составляет с линиями индукции магнитного поля угол $\alpha = 60^\circ$. В рамке 10 витков. При выключении магнитного поля в течение времени $t = 0,010$ с индуцируется ЭДС $\mathcal{E}_i = 0,10$ В. Модуль магнитной индукции равен:

- 1) $2,5 \cdot 10^{-4}$ Тл; 3) $1,0 \cdot 10^{-3}$ Тл; 5) $2,5 \cdot 10^{-3}$ Тл.
2) $5 \cdot 10^{-4}$ Тл; 4) $5,0 \cdot 10^{-3}$ Тл;

10. В вертикальном однородном магнитном поле по П-образному металлическому проводнику, расположенному в горизонтальной плоскости, равномерно со скоростью, модуль которой v , движется перемычка (рис. 22.5, а). Какой из графиков (1–5) описывает зависимость силы тока от времени (рис. 22.5, б)?

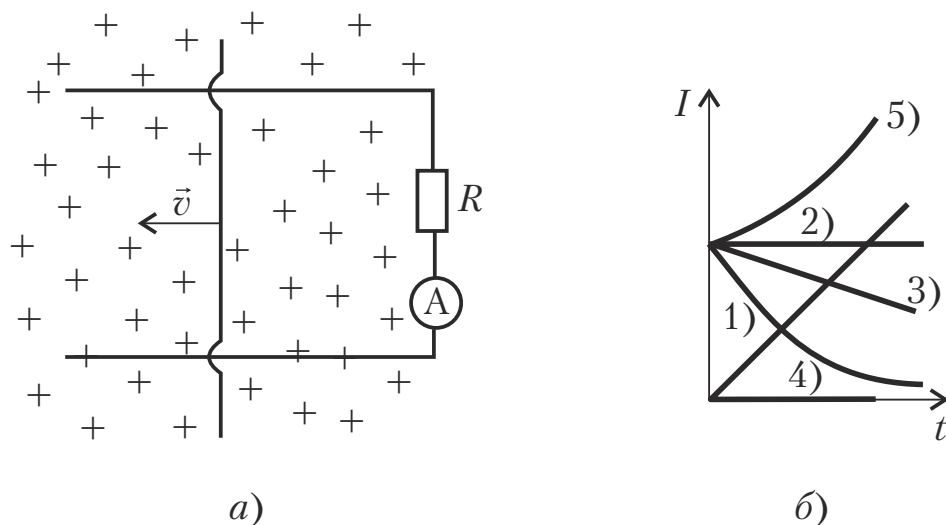


Рис. 22.5

Тест А2

1. Как будет направлен индукционный ток в контуре B , если контур B удалять от контура A (рис. 22.6)?

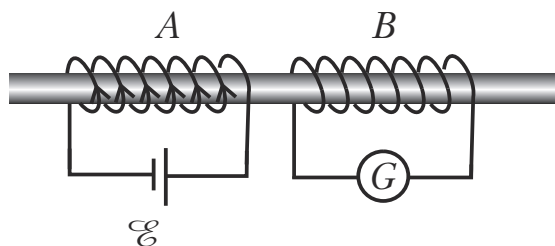


Рис. 22.6

- 1) Так же, как в контуре A ;
- 2) противоположно току в контуре A ;
- 3) направление тока зависит от модуля скорости перемещения;
- 4) направление и величина тока зависят от модуля скорости перемещения;
- 5) произвольным образом.

2. Размерность какой из перечисленных физических величин выражается через основные единицы измерения в СИ как $\frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$?

- 1) Сопротивление;
- 2) напряжение;
- 3) индукция магнитного поля;
- 4) магнитный поток;
- 5) индуктивность.

3. Проводник длиной $l = 1,2$ м движется в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл, перпендикулярно направлению линий магнитной индукции. Разность потенциалов на концах проводника $\Delta\varphi = 0,24$ В. Модуль скорости движения проводника равен:

- 1) 1,0 м/с;
- 2) 2,0 м/с;
- 3) 3,0 м/с;
- 4) 5,0 м/с;
- 5) 10 м/с.

4. Проводящий виток радиусом $R = 5,0$ см расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, модуль индукции которого изменяется согласно графику (рис. 22.7). В момент времени $t = 4$ с ЭДС индукции в витке равна:

- 1) 1 мВ;
- 2) 4 мВ;
- 3) 6 мВ;
- 4) 8 мВ;
- 5) 9 мВ.

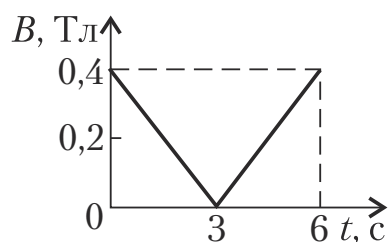


Рис. 22.7

5. На графике (рис. 22.8, а) показана зависимость магнитного потока, пронизывающего контур, от времени. ЭДС индукции, возникающая в этом контуре, представлена на графике (1–5) (рис. 22.8, б):

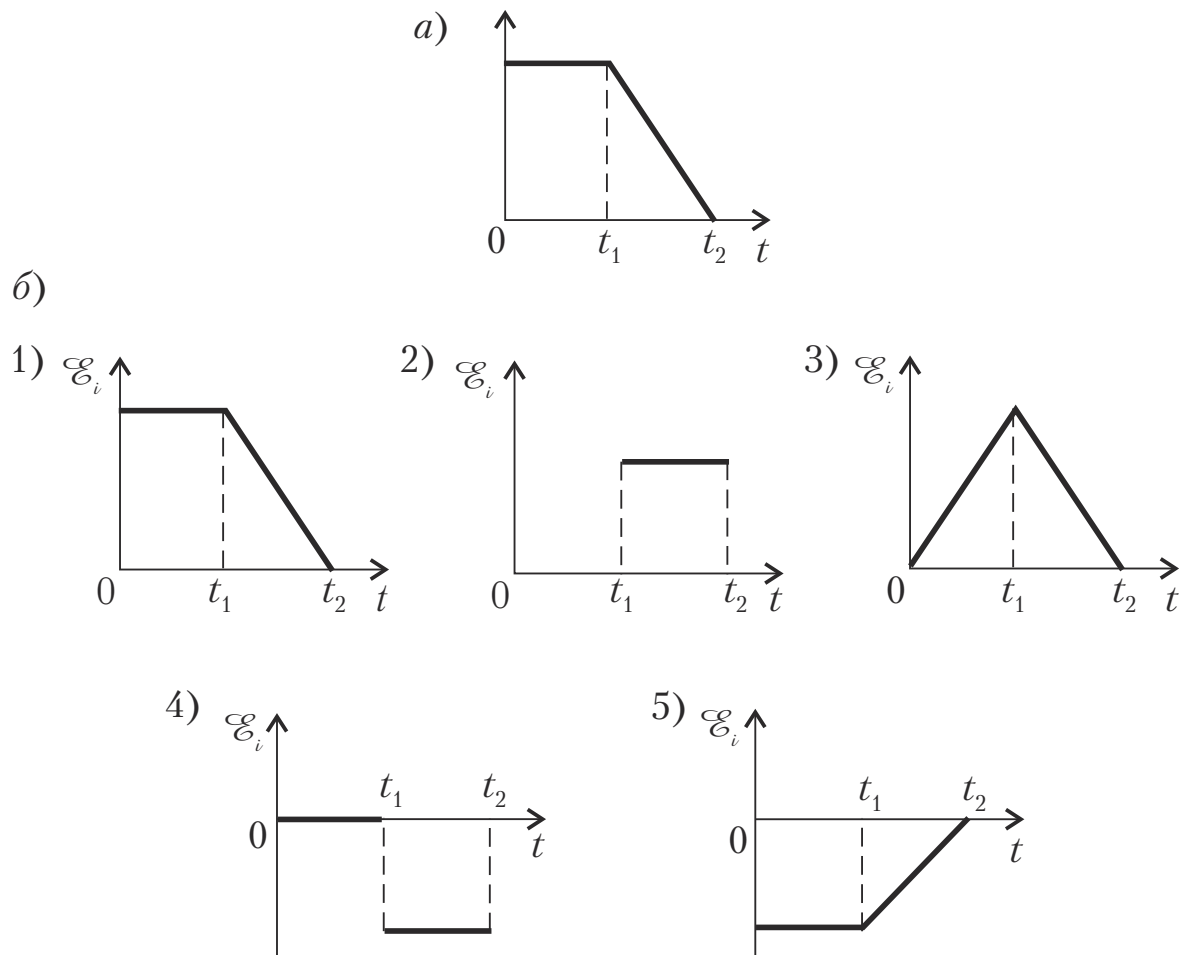


Рис. 22.8

6. Замкнутый проводник сопротивлением $R = 1$ Ом находится в однородном магнитном поле. Поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, уменьшили на $\Delta\Phi = 0,01$ Вб. Заряд q , проходящий через поперечное сечение проводника, при этом равен:
- 1) 10 Кл; 3) 1 Кл; 5) 0,01 Кл.
 2) 5 Кл; 4) 0,1 Кл;
7. Рамка площадью $S = 400$ см² расположена параллельно силовым линиям магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. Число витков в рамке $N = 10$. Рамка за промежуток времени $\Delta t = 5,0 \cdot 10^{-3}$ с повернулась так, что ее плоскость стала перпендикулярной силовым линиям. Средняя величина ЭДС индукции, возникающей при движении рамки, равна:
- 1) 2,0 В; 2) 4,0 В; 3) 8,0 В; 4) 20 В; 5) 80 В.

8. Соленоид, содержащий витки провода в количестве $N = 1000$, находится во внешнем магнитном поле. Сопротивление провода соленоида $R = 30$ Ом. При изменении магнитного потока, пронизывающего соленоид, возбуждается индукционный ток силой $I = 6,0$ А. Скорость изменения магнитного потока равна:
- 1) 0,12 Вб/с; 3) 0,36 Вб/с; 5) 3,6 Вб/с.
2) 0,18 Вб/с; 4) 0,72 Вб/с;
9. В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 64$ мТл, расположен виток из провода, замкнутый на гальванометр. Плоскость витка перпендикулярна линиям магнитной индукции. Площадь витка $S = 4,0 \cdot 10^3$ см². Виток повернули на угол $\varphi = 60^\circ$. Если сопротивление витка $R = 0,40$ Ом, то заряд, прошедший через гальванометр, равен:
- 1) 16 мКл; 3) 48 мКл; 5) 96 мКл.
2) 32 мКл; 4) 64 мКл;
10. Прямой проводник длиной $l = 60$ см с током $I = 6,0$ А, находящийся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 84$ мТл, расположен перпендикулярно линиям индукции. Под действием поля проводник переместился на расстояние $d = 12$ см. Работа сил поля по перемещению проводника равна:
- 1) 12 мДж; 3) 36 мДж; 5) 60 мДж.
2) 24 мДж; 4) 48 мДж;

Тест В1

1. Квадратная рамка помещена в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 80$ мТл. Перпендикуляр к плоскости рамки составляет с направлением магнитных линий угол $\alpha = 30^\circ$. При равномерном уменьшении магнитной индукции поля до нуля за время $\Delta t = 20$ мс в рамке индуцируется ЭДС $\mathcal{E}_i = 0,11$ В. Длина a стороны рамки составляет ... см.
2. В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,51$ Тл, расположена катушка, содержащая витки в количестве $N = 200$, перпендикулярные линиям магнитной индукции. Радиус витка $r = 5,0$ см. Сопротивление катушки $R = 4,0$ Ом. Концы катушки присоединены к гальванометру. Угол, на который нужно повернуть катушку, чтобы через гальванометр прошел заряд $q = 0,10$ Кл, равен ... град.
3. Поезд со скоростью, модуль которой $v = 72$ км/ч, приближается к гальванометру, присоединенному к железнодорожным рельсам. Модуль вертикальной составляющей магнитного поля Земли

$B = 5,0 \cdot 10^{-5}$ Тл. Сопротивление гальванометра $R = 100$ Ом. Расстояние между рельсами $l = 1,2$ м. Гальванометр покажет силу тока ... мкА.

4. Круговой виток радиусом $r = 60$ мм и сопротивлением $R = 0,36$ Ом находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ мТл. Плоскость витка перпендикулярна силовым линиям вектора магнитной индукции. Магнитное поле выключают. Величина заряда, который пройдет через виток, при этом равна ... мкКл.
5. Катушка имеет витки в количестве $N = 100$. Величина магнитного потока внешнего магнитного поля, пронизывающего катушку, $\Phi = 5 \cdot 10^{-4}$ Вб. Магнитное поле выключают. Средняя ЭДС индукции \mathcal{E}_i , возникшая в катушке, равна $0,1$ В. Время выключения тока равно ... с.
6. Тонкий медный провод массой $m = 4$ г согнут в виде квадрата и помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,3$ Тл, так, что силовые линии перпендикулярны плоскости квадрата. Если потянуть квадрат за противоположные вершины и вытянуть его в линию, то по проводнику пройдет заряд, равный ... Кл.
7. В вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,5$ Тл, находится горизонтальный проводник AB , который подключен к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 2$ В и может скользить по направляющим (рис. 22.9). Длина проводника $l = 1$ м. Модуль скорости, с которой надо перемещать проводник, чтобы сила тока в проводнике была равна нулю, составляет ... м/с.

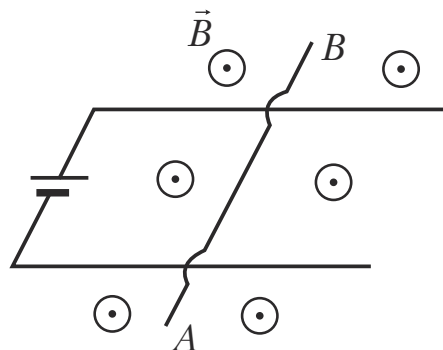


Рис. 22.9

8. Прямолинейный проводник длиной $l = 1,0$ м перемещают в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ Тл, с ускорением, модуль которого $a = 2,0$ м/с². Начальная скорость проводника равна нулю. Вектор индукции магнитного поля, скорость проводника и сам проводник взаимно перпендикулярны. ЭДС индукции на концах проводника к окончанию пятой секунды равна ... В.
9. Металлическое кольцо радиусом $r = 60$ мм расположено горизонтально и находится между полюсами вертикально расположенного магнита. Магнитное поле можно считать однородным, модуль индукции его $B = 3,6$ мТл. Сопротивление кольца $R = 1,8$ Ом. Заряд, ко-

торый пройдет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую, равен ... мкКл.

- 10*. Квадратную рамку, сторона которой $a = 10$ мм, перемещают с постоянной скоростью $v = 0,50$ м/с через область однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,35$ Тл (рис. 22.10). Сопротивление проводника рамки $R = 0,10$ Ом. Количество теплоты, выделяющееся в рамке при прохождении области магнитного поля шириной $l = 20$ см, составляет ... мкДж.

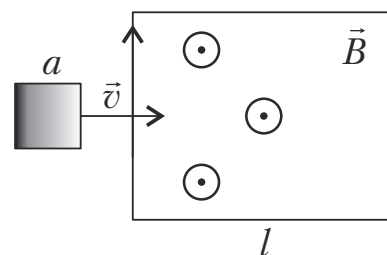


Рис. 22.10

Тест В2

- Виток проводника площадью $S = 100$ см² разрезан в некоторой точке и в разрез включен конденсатор емкостью $c = 10$ мкФ. Виток помещен в магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен плоскости витка. Модуль скорости изменения вектора магнитной индукции $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 10$ Тл/с. Заряд на конденсаторе равен ... мкКл.
- Металлический стержень массой $m = 10$ г и длиной $l = 10$ см подвешен за середину к пружине жесткостью $k = 400$ Н/м. Стержень совершает гармонические колебания с амплитудой $A = 20$ мм в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ мТл. Силовые линии индукции поля направлены перпендикулярно плоскости колебаний. Максимальная разность потенциалов, возникающая на концах стержня, равна ... мВ.
- Проводящий контур представляет собой вертикальную П-образную конструкцию, по которой скользит проводник длиной $l = 1,0$ м и массой $m = 16$ г в однородном горизонтальном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 1,0$ Тл (рис. 22.11). Сопротивление контура $R = 2,0$ Ом. Модуль установившейся скорости движения проводника ... см/с.
- Кольцо радиусом $r = 5,0$ см из медной проволоки, диаметр которой $d = 2,0$ мм, а удельное сопротивление $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, находится в магнитном поле. Модуль магнитной индукции линейно возрастает

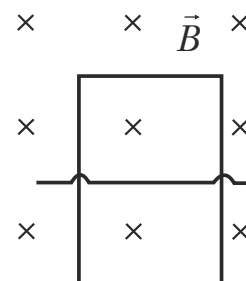


Рис. 22.11

от $\frac{B}{2}$ до B , где $B = 20$ мТл, за время $t_1 = 16$ мс, а затем линейно убывает от B до $\frac{B}{3}$ за время $t_2 = 18$ мс. Количество теплоты, которое выделится в кольце, равно ... мДж.

5. Прямолинейный проводник длиной $l = 50$ см перемещают в однородном магнитном поле с индукцией, модуль которой $B = 0,20$ Тл. Вектор индукции магнитного поля, сам проводник и его скорость взаимно перпендикулярны (рис. 22.12). ЭДС индукции \mathcal{E}_i на концах проводника возрастает так, как это показано на рисунке. Модуль ускорения, с которым движется проводник, равен ... м/с².

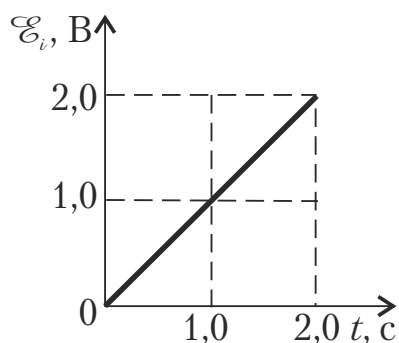


Рис. 22.12

6. По горизонтальным рельсам, расположенным в вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ мТл, скользит проводник (рис. 22.13) с сопротивлением $R = 2,0$ Ом и длиной $l = 100$ см с постоянной скоростью, модуль которой $v = 10$ м/с. Сопротивлением рельсов можно пренебречь. Количество теплоты, которое выделится в резисторе за время $t = 4,0$ с, равно ... мДж.
- 7*. Две параллельные шины, подключенные к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E}_0 = 3,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом, находятся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 2,0$ Тл. Шины замкнуты проводником длиной $l = 2,0$ м и сопротивлением $R = 8,0$ Ом, который перемещается по шинам без нарушения контакта перпендикулярно полю со скоростью, модуль которой $v = 0,50$ м/с (рис. 22.14). Если пренебречь сопротивлением шин, то величина мощности тепловых потерь, выделяемая на проводнике, составит ... мВт.

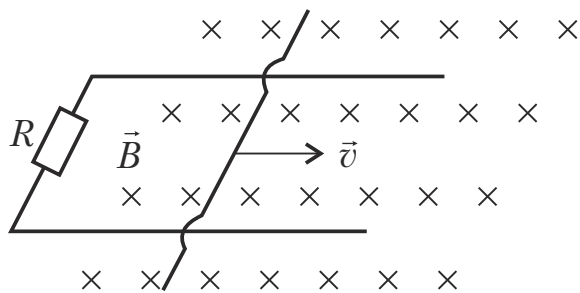


Рис. 22.13

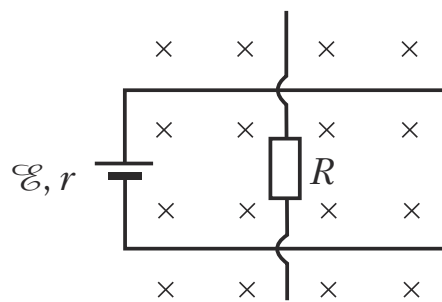


Рис. 22.14

8. Однослойная катушка диаметром $d = 20$ мм содержит витки в количестве $N = 1000$. К концам катушки подключен конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ. Если катушку поместить в однородное магнитное поле, параллельное ее оси, индукция которого изменяется со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 5,0$ мТл/с, то энергия электрического поля конденсатора составит ... пДж.
- 9*. Два замкнутых накоротко прямых проводника, образующие угол $\alpha = 30^\circ$, находятся в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,30$ Тл. По проводникам с постоянным ускорением, модуль которого $a = 2,5$ м/с², скользит проводящая перемычка, перпендикулярная биссектрисе угла. Линии индукции перпендикулярны плоскости, в которой лежит угол. Первоначально перемычка находилась в вершине угла, ее скорость в начальный момент времени равна нулю, вектор ускорения перпендикулярен перемычке и параллелен биссектрисе угла α . ЭДС индукции в образовавшемся замкнутом контуре через время $\Delta t = 0,40$ с после начала движения составит ... мВ.
- 10*. Два параллельных проводящих стержня, расположенные в горизонтальной плоскости на расстоянии $l = 0,1$ м друг от друга, помещены в вертикальное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,1$ Тл, и замкнуты симметрично лежащей на них перемычкой массой $m = 0,1$ кг. При подключении к стержням батареи с внутренним сопротивлением $r = 0,1$ Ом перемычка начинает скользить вдоль стержней, трогаясь с места с ускорением, модуль которого $a_0 = 10$ см/с². Сопротивлениями стержней и перемычки можно пренебречь. Модуль максимальной скорости, с которой сможет двигаться перемычка, составит ... м/с.

§ 23. Явление самоиндукции. Индуктивность

При изменении силы тока в контуре изменяется и магнитный поток, пронизывающий контур. Возникает ЭДС индукции. Это явление называется *самоиндукцией*.

Магнитный поток, «сцепленный» с контуром, пропорционален силе тока в контуре:

$$\Phi = LI, \quad L = \frac{[\Phi]}{[I]} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ А}} = 1 \text{ Гн (генри)},$$

где L — индуктивность контура.

Индуктивность длинного соленоида с числом витков N

$$L = \mu_0 n_0^2 V = \mu_0 \frac{N^2}{l} S,$$

где $n_0 = \frac{N}{l}$ — число витков на единицу длины; $V = lS$ — объем соленоида, l — длина соленоида, S — площадь поперечного сечения соленоида.

Если изменяется сила тока в соленоиде или индуктивность соленоида, то в контуре возникает ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_{si} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(LI)}{\Delta t}.$$

Энергия, которой обладает магнитное поле, «сцепленное» с соленоидом индуктивностью L ,

$$W = \frac{LI^2}{2} = N \frac{\Phi I}{2}.$$

Под объемной плотностью w энергии магнитного поля понимают энергию W , приходящуюся на единицу объема V , занятого полем:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0},$$

где B — модуль магнитной индукции; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная.

Тест А1

- Укажите неверное утверждение. Явление самоиндукции проявляет себя следующим образом:
 - при изменении внешнего магнитного поля и/или перемещении проводящего контура;
 - при изменении тока в проводящем контуре и/или изменении геометрии контура;
 - при включении и выключении тока в любых электрических цепях;
 - ЭДС самоиндукции подчиняется закону электромагнитной индукции Фарадея;
 - в цепи, питаемой переменным током.
- Сопrotивление участка цепи 1 равно сопротивлению участка цепи 2 (рис. 23.1). Какой из амперметров покажет больший ток при замыкании цепи?

- 1) A_1 ;
- 2) A_2 ;
- 3) амперметры покажут одинаковый ток;
- 4) ответ зависит от полярности источника ЭДС;
- 5) сила тока при замыкании цепи — величина случайная.

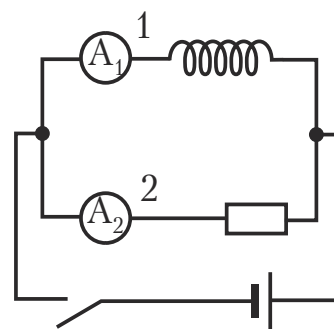


Рис. 23.1

3. Скорость изменения силы тока в контуре $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 2$ А/с. При этом в контуре возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si} = 4$ В. Индуктивность L контура равна:
- 1) 8 Гн;
 - 2) 4 Гн;
 - 3) 2 Гн;
 - 4) 0,5 Гн;
 - 5) 0,05 Гн.

4. Длинный прямоугольный проводник, подключенный к источнику постоянного тока, свернули в спираль. Ток в спирали:
- 1) не изменился, но в процессе деформации изменялся;
 - 2) все время оставался неизменным;
 - 3) увеличился;
 - 4) уменьшился;
 - 5) всегда больше, чем в прямолинейном проводнике.

5. На рисунке 23.2 приведены зависимости силы тока от времени для трех катушек с различными индуктивностями и одинаковыми сопротивлениями при включении в цепь источника тока. Индуктивность какой катушки наибольшая?

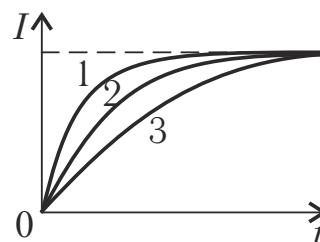


Рис. 23.2

- 1) 1;
 - 2) 2;
 - 3) 3;
 - 4) индуктивность всех катушек одинакова;
 - 5) сила тока в цепи от индуктивности не зависит.
6. С увеличением числа витков N в катушке при неизменной ее длине ЭДС самоиндукции:
- 1) растет пропорционально N ;
 - 2) растет пропорционально \sqrt{N} ;
 - 3) растет пропорционально N^2 ;
 - 4) не зависит от числа витков;
 - 5) растет пропорционально $N^{\frac{3}{2}}$.

7. Соленоид, индуктивность которого $L = 1$ Гн, содержит витки в количестве $N = 500$. Сила тока, протекающего по обмотке соленоида, $I = 4$ А. Магнитный поток Φ , возникающий в соленоиде, равен:
- 1) 2000 Вб; 3) 0,008 Вб; 5) 0,002 Вб.
 2) 4 Вб; 4) 0,004 Вб;
8. При изменении силы тока в катушке с $I_1 = 3$ А до $I_2 = 2$ А за время $\Delta t = 10^{-3}$ с в катушке возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si} = 5$ В. Индуктивность L катушки равна:
- 1) 5 Гн; 3) $5 \cdot 10^{-6}$ Гн; 5) $2 \cdot 10^{-3}$ Гн.
 2) $5 \cdot 10^{-3}$ Гн; 4) $3 \cdot 10^{-3}$ Гн;
9. Какой силы ток проходит через контур индуктивностью $L = 5,0 \cdot 10^{-3}$ Гн, если магнитный поток самоиндукции, пронизывающий плоскость контура, $\Phi = 0,015$ Вб?
- 1) 7,5 А; 3) 0,30 А; 5) $7,6 \cdot 10^{-3}$ А.
 2) 3,0 А; 4) 0,015 А;
10. На рисунке 23.3 приведен график зависимости силы тока I в соленоиде от времени t . Индуктивность катушки $L = 0,50$ Гн. ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке, равна:
- 1) 3 В;
 2) 5 В;
 3) 6 В;
 4) 8 В;
 5) 9 В.

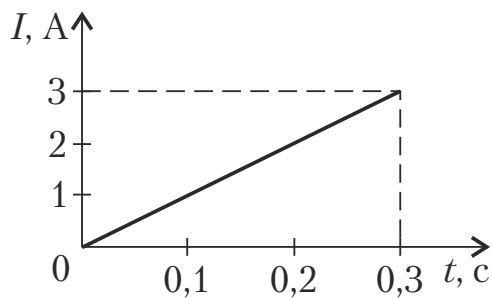


Рис. 23.3

Тест А2

1. Катушка с длинным сердечником расположена горизонтально. По сердечнику без трения может скользить металлическое кольцо (рис. 23.4). Что происходит с кольцом в момент подключения катушки к источнику тока?
- 1) Втягивается в сердечник;
 2) выталкивается из сердечника;
 3) остается неподвижным;
 4) ответ зависит от скорости увеличения поля;
 5) ответ зависит от полярности источника.

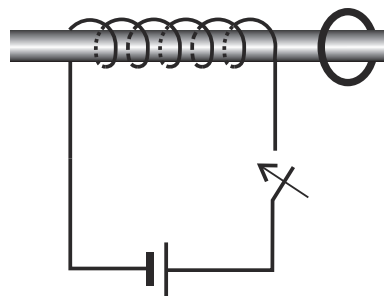


Рис. 23.4

2. Если силу тока I в катушке увеличить в 2 раза, а количество витков N длинного соленоида уменьшить в 4 раза, то энергия магнитного поля соленоида:
- 1) уменьшится в 2 раза;
 - 2) уменьшится в 4 раза;
 - 3) не изменится;
 - 4) увеличится в 2 раза;
 - 5) увеличится в 4 раза.
3. Размерность какой из физических величин выражается через основные единицы измерения в СИ как $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А}^2 \cdot \text{с}^2}$?
- 1) Напряжение;
 - 2) вектор магнитной индукции;
 - 3) индуктивность контура;
 - 4) магнитный поток;
 - 5) энергия.
4. Размерность какой из перечисленных физических величин выражается через основные единицы измерения в СИ как $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$?
- 1) Напряжение;
 - 2) вектор магнитной индукции;
 - 3) индуктивность контура;
 - 4) магнитный поток;
 - 5) энергия.
5. При протекании тока $I = 8$ А энергия магнитного поля $W = 4$ Дж. Магнитный поток, пронизывающий витки катушки, равен:
- 1) 1 Вб;
 - 2) 2 Вб;
 - 3) 4 Вб;
 - 4) 6 Вб;
 - 5) 8 Вб.
6. В соленоиде насчитывается N витков. При силе тока I магнитный поток через соленоид равен Φ . Энергия магнитного поля соленоида равна:
- 1) ΦIN ;
 - 2) $\frac{\Phi^2}{2I}$;
 - 3) $\frac{\Phi IN}{2}$;
 - 4) $\frac{\Phi I^2}{2}$;
 - 5) $\frac{\Phi I}{2}$.
7. При замыкании цепи сила тока в катушке с индуктивностью $L = 2,0$ Гн изменяется от времени по закону $I = 0,40t$. Величина ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке, равна:
- 1) 0,20 В;
 - 2) 0,32 В;

- 3) 0,80 В;
4) 0,16 В;
5) величина ЭДС изменяется от 0 до 2,0 В.
8. При изменении силы тока в соленоиде с $I_1 = 12$ А до $I_2 = 8,0$ А энергия магнитного поля уменьшилась на $\Delta W = 4,0$ Дж. Индуктивность соленоида равна:
1) 0,10 Гн; 3) 16 Гн; 5) 0,050 Гн.
2) 1,0 Гн; 4) 0,16 Гн;
9. На рисунке 23.5 приведен график зависимости силы тока в контуре от времени. Индуктивность контура $L = 0,60$ Гн. Величина максимальной ЭДС самоиндукции, которая возникнет в контуре, равна:
1) 12 В; 4) 2,4 В;
2) 24 В; 5) 6,0 В.
3) 30 В;

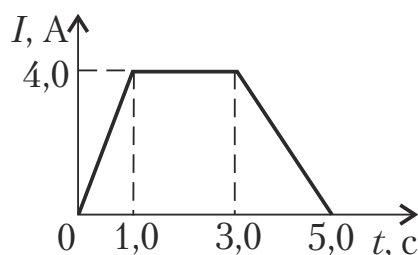


Рис. 23.5

10. Соленоид индуктивностью L и сопротивлением R подключен к источнику постоянного напряжения U . Источник отключают. Количество энергии, которое выделится в соленоиде, будет равно:
1) $\frac{LU^2}{2R^2}$; 3) $\frac{LU^2}{R^2}$; 5) $\frac{LU}{2R}$.
2) $L\frac{U}{R}$; 4) $\frac{LU^2}{2R}$;

Тест В1

1. На рисунке 23.6 приведен график зависимости силы тока I в замкнутой катушке от времени t . Индуктивность катушки $L = 180$ мГн. Максимальная ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке, равна ... В.

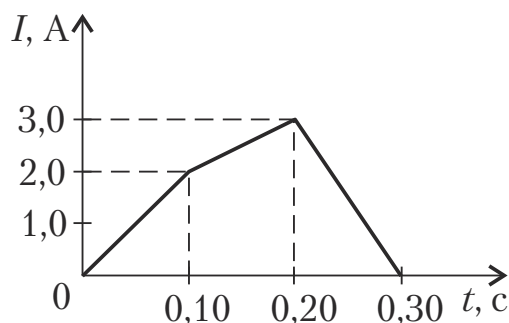


Рис. 23.6

2. При помощи реостата равномерно увеличивают силу тока в катушке, индуктивность которой $L = 5,2$ мГн. Увеличение силы тока происходит в течение времени $\Delta t = 12$ мс. Средняя ЭДС самоиндукции в катушке $\langle \mathcal{E}_{si} \rangle = 1,21$ В. Если начальная сила тока в катушке $I_0 = 0,23$ А, то через время Δt она будет равна ... А.

3. Соленоид с площадью сердечника $S = 20 \text{ см}^2$ содержит витки в количестве $N = 600$. По обмотке соленоида течет ток, создающий магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,10 \text{ Тл}$. ЭДС самоиндукции, возникающая в соленоиде при равномерном уменьшении силы тока до нуля за время $\Delta t = 200 \text{ мкс}$, равна ... кВ.
4. Сила тока в катушке $I = 10 \text{ А}$. Индуктивность катушки изменяется по закону $L = (0,8 - 0,3t^2) \text{ Гн}$, где t — время в секундах. ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке в момент времени $t = 0,5 \text{ с}$, равна ... В.
5. В катушке индуктивности сила тока $I = 1,0 \text{ А}$. Энергию W магнитного поля катушки уменьшают в 10 раз. Сила тока в этой катушке будет равна ... А.
6. Индуктивность катушки длиной $l = 60 \text{ см}$ и площадью поперечного сечения $S = 16 \text{ см}^2$ $L = 0,46 \text{ Гн}$. Сила тока, проходящего через катушку, $I = 8,2 \text{ А}$. Энергия единицы объема магнитного поля внутри катушки равна ... кДж/м³.
7. Магнитный поток, пронизывающий соленоид при токе $I = 12 \text{ А}$, $\Phi = 5,0 \text{ мВб}$. Число витков в соленоиде $N = 1000$. Энергия магнитного поля в соленоиде равна ... Дж.
8. Индукция однородного магнитного поля внутри длинного соленоида $B = 0,10 \text{ Тл}$. Энергия магнитного поля, сосредоточенного в объеме $V = 0,20 \text{ м}^3$, равна ... кДж.
9. Энергия магнитного поля, «сцепленного» с катушкой с током, $W = 1,6 \text{ Дж}$. Если магнитный поток через катушку, содержащую витки в количестве $N = 100$, намотанные в один слой, $\Phi = 0,14 \text{ Вб}$, то индуктивность катушки равна ... Гн.
10. В катушке индуктивности за время $\Delta t = 0,20 \text{ с}$ сила тока уменьшилась с $I_1 = 12 \text{ А}$ до $I_2 = 4,0 \text{ А}$. Если при этом возникла ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si} = 12 \text{ В}$, то изменение энергии магнитного поля катушки составило ... Дж.

Тест В2

- 1*. Длина активной части соленоида $l = 80 \text{ см}$, площадь его поперечного сечения $S = 20 \text{ см}^2$. Соленоид содержит витки в количестве $N = 2000$, намотанные в один слой. Магнитный поток внутри соленоида при силе тока $I = 5,0 \text{ А}$ равен ... мкВб.

2. Соленоид длиной $l = 50,0$ см и радиусом $r = 3,00$ см содержит витки проволоки в количестве $N = 1000$ сопротивлением $R = 50,0$ Ом. К соленоиду приложено напряжение $U = 10,0$ В. Источник тока отключают. Время отключения $t = 10,0$ мс. Среднее значение ЭДС самоиндукции составляет ... мкВ.
3. Ток в соленоиде за время $\Delta t = 0,05$ с увеличился с $I_1 = 2$ А до $I_2 = 10$ А. ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_{si} , которая возникла в катушке при увеличении силы тока, равна 20 В. Энергия магнитного поля в соленоиде за это время увеличилась на ... Дж.
- 4*. При силе тока $I = 10$ А энергия магнитного поля в соленоиде $W = 18$ Дж. Сопротивление обмотки $R = 12$ Ом. При размыкании цепи сила тока I в соленоиде за некоторое время равномерно уменьшается в 3 раза. Электрический заряд, который пройдет по виткам соленоида, равен ... Кл.
5. Через поперечное сечение катушки с индуктивностью $L = 121$ мГн проходит заряд $q = 60$ мКл за каждые $\Delta t = 10$ мс в течение времени размыкания. Если магнитный поток уменьшается до нуля за $\Delta t_2 = 50$ мс, то ЭДС самоиндукции, возникающая в момент размыкания цепи, составит ... В.
- 6*. В некоторой цепи имеется участок, состоящий из последовательно соединенных резистора с сопротивлением $R = 0,20$ Ом и катушки с индуктивностью $L = 0,020$ Гн. Если сила тока в цепи изменяется по закону $I = 3,0 \cdot t$, то напряжение на концах участка в момент времени $t = 0,10$ с составит ... В.
- 7*. Ток в короткозамкнутом сверхпроводящем соленоиде изменяется вследствие нарушения контакта. Создаваемое этим соленоидом магнитное поле уменьшается на 2 % в час. Если индуктивность соленоида $L = 1,0$ Гн, то сопротивление контакта равно ... мкОм.
- 8*. Соленоид сопротивлением $R = 10$ Ом и индуктивностью $L = 10$ мГн подключен к источнику постоянного напряжения. При размыкании цепи в соленоиде выделилось $Q = 2,0$ Дж теплоты. Напряжение, которое подавалось от источника к соленоиду, равно ... кВ.
- 9*. Катушка индуктивностью $L = 0,30$ Гн, намотанная толстым медным проводом, соединена параллельно с резистором сопротивлением $R = 2,0$ Ом и подключена к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 4,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 2,0$ Ом. Если отключить источник тока, то в цепи (катушка и резистор) выделится количество теплоты ... Дж.

- 10*. Соленоид с индуктивностью $L = 4,0 \cdot 10^{-2}$ Гн, сопротивление которого $R = 30$ Ом, находится в переменном магнитном поле. Если магнитный поток этого поля увеличить на $\Delta\Phi = 2,0 \cdot 10^{-3}$ Вб, то сила тока в соленоиде возрастет на $\Delta I = 0,020$ А. Заряд, который пройдет по виткам соленоида за это время, равен ... мкКл.

Обобщающий тест № 6

1. По двум проводникам, изображенным на рисунке 1, проходят одинаковые токи. В каком направлении начнет двигаться второй проводник в магнитном поле первого проводника? (Силой трения и силой тяжести пренебречь.)

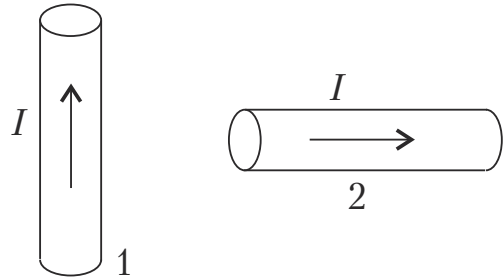


Рис. 1

- 1) ↓; 4) ←;
 2) ↑; 5) ⊙.
 3) →;

2. Если в некоторой области пространства накладываются два однородных магнитных поля, модули индукции которых соответственно $B_1 = 0,40$ Тл и $B_2 = 0,50$ Тл, так, что силовые линии полей взаимно перпендикулярны, то модуль магнитной индукции результирующего поля равен:

- 1) 0,16 Тл; 3) 0,50 Тл; 5) 0,72 Тл;
 2) 0,28 Тл; 4) 0,64 Тл.

3. На гладкой горизонтальной плоскости находится цилиндрический проводник, плотность материала которого $\rho = 2000$ кг/м³. При пропускании по нему тока, плотность которого $j = 1,5$ А/мм², и включении вертикального магнитного поля он начинает двигаться с ускорением, модуль которого $a = 300$ см/с². Модуль вектора магнитной индукции равен:

- 1) 0,23 мТл; 3) 40 мТл; 5) 0,40 Тл.
 2) 4,0 мТл; 4) 0,10 Тл;

4. Если через прямолинейный проводник длиной $l = 100$ см, подвешенный горизонтально на двух тонких нитях перпендикулярно горизонтальному однородному магнитному полю, модуль индукции которого $B = 20$ мТл, пропустить ток силой $I = 10$ А, то модуль натяжения каждой из нитей изменится на:

- 1) 5,0 мН; 3) 50 мН; 5) 0,50 Н.
 2) 25 мН; 4) 0,10 Н;

5. Прямой проводник длиной $l = 20$ см и массой $m = 100$ г подвешен горизонтально на двух легких нитях в однородном вертикальном магнитном поле. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,10$ Тл. Если по проводнику пропустить ток $I = 29$ А, то нити, поддерживающие проводник, отклонятся от вертикали на угол α , равный:
- 1) 15° ; 3) 45° ; 5) 90° .
 2) 30° ; 4) 60° ;

6. Проводящий стержень массой $m = 1,00$ кг и длиной $l = 50,0$ см расположен перпендикулярно рельсам, которые составляют угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом (рис. 2). Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,60$. Минимальный модуль индукции магнитного поля, перпендикулярного плоскости рельсов, чтобы стержень начал двигаться вверх, если по нему пропустить ток силой $I = 40$ А, составляет:

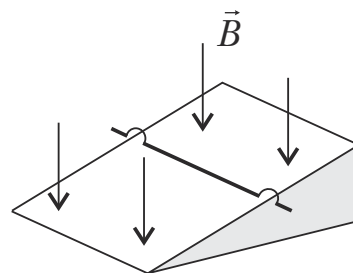


Рис. 2

- 1) 0,21 Тл; 3) 0,51 Тл; 5) 2,0 Тл.
 2) 0,36 Тл; 4) 1,0 Тл;
7. Если электрон, влетевший в область однородного магнитного поля, движется по траектории, изображенной на рисунке 3, то вектор магнитной индукции поля направлен:
- 1) вверх;
 2) вниз;
 3) перпендикулярно чертежу на нас;
 4) перпендикулярно чертежу от нас;
 5) влево.

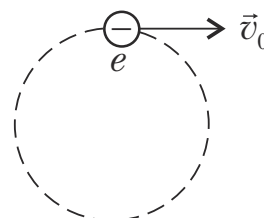


Рис. 3

8. Электрон движется по окружности радиусом $R = 12$ мм. Если модуль импульса электрона $p = 9,1 \cdot 10^{-24}$ кг \cdot $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, то модуль индукции магнитного поля равен:
- 1) 2,4 мТл; 3) 6,8 мТл; 5) 24 мТл.
 2) 4,7 мТл; 4) 12 мТл;

9. Пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 6000$ В, электрон влетает в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 10,0$ мТл, перпендикулярно линиям индукции и движется по окружности радиусом $R = 2,61$ см. Каково отношение заряда элек-

трона к его массе (в ответе укажите полученное число, умноженное на 10^{-9})?

- 1) 48,3 Кл/кг; 3) 112 Кл/кг; 5) 236 Кл/кг.
2) 68,0 Кл/кг; 4) 176 Кл/кг;

10. Альфа-частица (масса альфа-частицы $m = 6,5 \cdot 10^{-27}$ кг, заряд $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл), ускоренная разностью потенциалов $U = 1,2$ кВ, пролетает поперечное однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 50$ мТл (рис. 4). Толщина области магнитного поля $d = 10$ см. Угол φ отклонения альфа-частицы от начального направления движения равен:

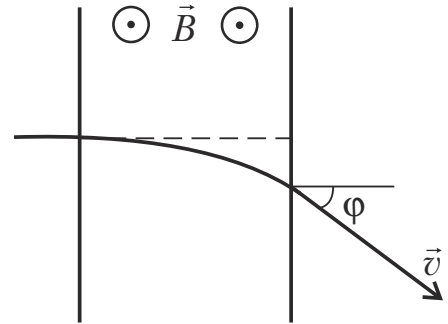


Рис. 4

- 1) 16° ; 2) 30° ; 3) 46° ; 4) 54° ; 5) 60° .

11. Электрон влетает в магнитное поле под углом 30° к линии магнитной индукции и движется по спирали радиусом $0,50$ см. Перемещение электрона вдоль линий магнитной индукции за три полных оборота равно:

- 1) 5,1 мм; 3) 54 см; 5) 1,6 м.
2) 16 см; 4) 1,5 м;

12. В два круговых витка, расположенных так, как показано на рисунке 5, вдвигают магнит. В каком из ответов правильно указаны направления возникающих токов?

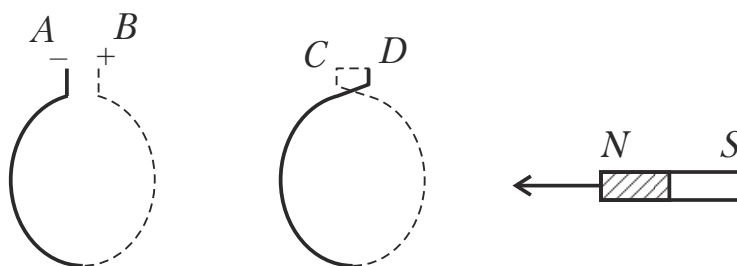


Рис. 5

- 1) От A к B и от C к D ;
2) от B к A и от C к D ;
3) от B к A и от D к C ;
4) от A к B и от D к C ;
5) недостаточно информации для ответа.

13. Квадратная рамка с длиной стороны $a = 10$ см помещена в однородное магнитное поле, вектор индукции которого составляет угол

$\alpha = 60^\circ$ с направлением нормали к рамке. Модуль индукции B (мТл) магнитного поля, если известно, что при его равномерном исчезновении за время $t = 20$ мс в рамке индуцируется ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = 10$ мВ, составляет:

- 1) 10 мТл; 3) 30 мТл; 5) 60 мТл.
2) 20 мТл; 4) 40 мТл;

14. Если магнитный поток Φ , пронизывающий контур с сопротивлением $R = 10$ Ом, изменяется с течением времени t , как показано на рисунке 6, то сила тока I в витке в интервале времени 2–4 с равна:

- 1) 0 А; 4) 0,4 А;
2) 0,1 А; 5) 2 А.
3) 0,2 А;

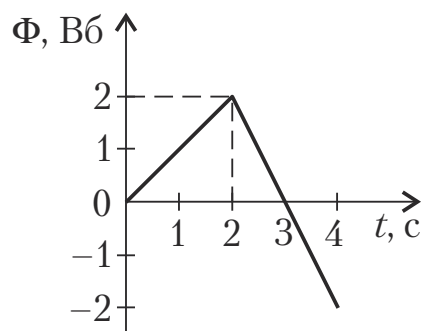


Рис. 6

15. Тонкое металлическое кольцо находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. За промежуток времени $\Delta t = 0,50$ мс модуль индукции поля изменился на $\Delta B = 0,60$ Тл. Если при этом в кольце возбудилось ЭДС индукции, среднее значение которой $\langle \mathcal{E}_i \rangle = 2,1$ В, то радиус кольца равен:

- 1) 6,2 см 3) 3,6 см; 5) 1,8 см.
2) 4,8 см; 4) 2,4 см;

16. Разность потенциалов на концах прямого проводника длиной $l = 2,0$ м, движущегося с постоянной по модулю скоростью $v = 5,0$ м/с перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B = 0,20$ Тл, равна:

- 1) 2,0 В; 3) 10 В; 5) 50 В.
2) 5,0 В; 4) 20 В;

17. Собственный магнитный поток, пронизывающий замкнутый контур, $\Phi = 2$ Вб при силе тока в контуре $I = 6$ А. Индуктивность контура равна:

- 1) 4 Гн; 3) 0,3 Гн; 5) 0,1 Гн.
2) 2 Гн; 4) 0,2 Гн;

18. Число витков в соленоиде $N = 200$. При силе тока $I = 5,0$ А магнитный поток через соленоид $\Phi = 5,0 \cdot 10^{-3}$ Вб. Энергия магнитного поля в соленоиде равна:

- 1) 0,10 Дж; 3) 1,0 Дж; 5) 10 Дж.
2) 0,25 Дж; 4) 2,5 Дж;

19. Сила тока I , протекающего по катушке с сердечником, индуктивность которой $L = 20$ Гн, составляет $I = 10$ А. Если при разрыве цепи сила тока равномерно спадает до нуля за время $\Delta t = 0,10$ с, то в катушке возникает ЭДС самоиндукции, равная:
- 1) 0,10 кВ; 3) 1,0 кВ; 5) 5,0 кВ.
2) 0,20 кВ; 4) 2,0 кВ;
20. Энергия магнитного поля соленоида, в котором при силе тока $I = 10$ А возникает магнитный поток $\Phi = 10$ мВб, $W = 5,0$ Дж. Число витков в соленоиде составляет:
- 1) 10; 3) 50; 5) $2,0 \cdot 10^2$.
2) 20; 4) $1,0 \cdot 10^2$;

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

§ 24. Механические колебания и волны

Колебания, происходящие по закону

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \text{ или } x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

называются *гармоническими*. Здесь x — **смещение** колеблющейся точки от положения равновесия в момент времени t , A — **амплитуда** колебаний, ω — **циклическая частота**, т. е. число колебаний за 2π с

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu,$$

где T — **период** колебаний; ν — **частота колебаний**; $\omega t + \varphi_0$ — **фаза** колебаний, φ_0 — начальная фаза.

Если при $t = 0$ колеблющаяся точка находится в положении равновесия ($x = 0$), то закон колебаний $x = A \sin \omega t$, если при $t = 0$ точка в крайнем положении ($x = A$), то закон колебаний $x = A \cos \omega t$.

Модуль скорости тела при гармонических колебаниях

$$v_x = x'_t = \begin{cases} -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0), \\ A\omega \cos(\omega t + \varphi_0). \end{cases}$$

Амплитудное значение модуля скорости $v_m = \omega A$.

$$\text{Модуль ускорения тела } a_x = v'_t = \begin{cases} -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0), \\ -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0). \end{cases} \text{ Амплитудное}$$

значение модуля ускорения $a_m = \omega^2 A$.

Полная энергия колеблющегося тела $W = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$ и состоит из кинетической энергии $W_k = \frac{mv^2}{2}$ и потенциальной энергии $W_{\text{п}} = W - W_k$.

Период колебаний пружинного маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, где m — масса маятника; k — жесткость пружины.

Период колебаний математического маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, где l — длина нити маятника; g — ускорение свободного падения.

Если точка подвеса маятника движется с ускорением \vec{a} , то период колебаний маятника можно рассчитывать по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$, где $\vec{g}' = \vec{g} + (-\vec{a})$ — «эффективное» ускорение маятника в неинерциальной системе отсчета.

Для маятника, поднимающегося (опускающегося) вертикально,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g \pm a}};$$

для маятника, движущегося в вагоне горизонтально с ускорением, модуль которого a ,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}}.$$

Механической волной называется процесс распространения колебаний в упругой среде, сопровождающийся переносом энергии.

Длина волны λ — расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе:

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu},$$

где v — скорость распространения волны. Различают волны *поперечные*, в которых колебания частиц происходят перпендикулярно направлению распространения, и *продольные*. Поперечные волны распространяются только в твердом теле, а продольные волны — в твердом теле, жидкости и газе. Типичными продольными волнами являются звуковые волны.

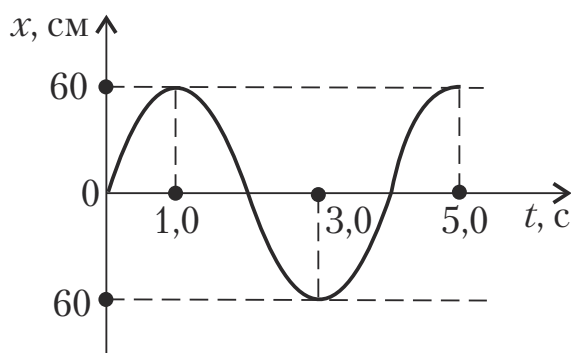
Тест А1

- Если амплитуда гармонических колебаний материальной точки $A = 20$ см, то модуль перемещения колеблющейся точки за один период колебаний равен:

1) 80 см;	3) 40 см;	5) 0 см.
2) 60 см;	4) 20 см;	
- Точка, совершающая гармонические колебания, проходит за два полных колебания путь $s = 100$ см. Амплитуда колебаний точки равна:

1) 6,30 см;	3) 25,0 см;	5) 100 см.
2) 12,5 см;	4) 50,0 см;	

3. На рисунке 24.1 приведен график зависимости координаты x колеблющейся точки от времени. Уравнение гармонических колебаний имеет вид:



- 1) $x = 0,60 \sin \pi t$ (м);
- 2) $x = 0,60 \sin 0,5 \pi t$ (м);
- 3) $x = 1,2 \sin 0,5 \pi t$ (м);
- 4) $x = 1,2 \sin \pi t$ (м);
- 5) $x = 0,60 \sin \left(0,5 \pi t + \frac{\pi}{2} \right)$ (м).

Рис. 24.1

4. В начальный момент времени колеблющееся тело находится в положении максимального отклонения. Амплитуда колебаний $A = 0,2$ м, период колебаний $T = 0,1$ с. Уравнение колебаний имеет вид:

- 1) $y = 0,2 \cos 20 \pi t$;
- 2) $y = 0,2 \sin 20 \pi t$;
- 3) $y = 0,2 \sin 2 \pi t$;
- 4) $y = 0,2 \cos 2 \pi t$;
- 5) $y = 0,2 \cos \left(20 \pi t + \frac{\pi}{2} \right)$.

5. Тело совершает гармонические синусоидальные колебания с амплитудой $A = 20$ см и начальной фазой $\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$. Смещение x_0 тела от положения равновесия в начальный момент времени $t = 0$ с равно:

- 1) 0 см;
- 2) 5,0 см;
- 3) 10 см;
- 4) 15 см;
- 5) 20 см.

6. Гармонически колеблющееся тело имеет период колебаний $T = 0,10$ с и амплитуду $A = 0,20$ м. Модуль максимальной скорости колеблющегося тела равен:

- 1) 2,0 см/с;
- 2) 2,0 м/с;
- 3) π м/с;
- 4) 2π м/с;
- 5) 4π м/с.

7. Тело совершает гармонические колебания по закону $x = 20 \sin 8 \pi t$ (см). Период и частота колебаний равны:

- 1) 4 с; $\frac{1}{4}$ с⁻¹;
- 2) $\frac{1}{4}$ с; 4 с⁻¹;
- 3) 4π с; $\frac{1}{4\pi}$ с⁻¹;
- 4) $\frac{1}{4\pi}$ с; 4π с⁻¹;
- 5) $\frac{1}{8\pi}$ с; 8π с⁻¹.

8. Период колебаний тела на пружине равен T_0 . Если две такие пружины соединить последовательно и подвесить то же тело, то период колебаний будет равен:

- 1) $2T_0$; 3) T_0 ; 5) $\frac{T_0}{2}$.
 2) $T_0\sqrt{2}$; 4) $\frac{T_0}{\sqrt{2}}$;

9. Период колебаний маятника на пружине равен T_0 . Если две такие пружины соединить, как показано на рисунке 24.2, то период колебаний станет равным (опора гладкая):

- 1) $2T_0$; 4) $\frac{T_0}{\sqrt{2}}$;
 2) $T_0\sqrt{2}$; 5) $\frac{T_0}{2}$.

3) T_0 ;

10. В каком направлении движется поперечная волна, если частица в точке B (рис. 24.3) смещается вверх?

- 1) Вправо;
 2) вверх;
 3) влево;
 4) вниз;
 5) зависит от длины волны.

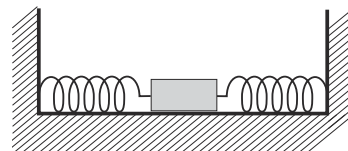


Рис. 24.2

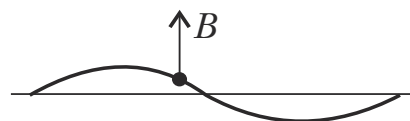


Рис. 24.3

Тест А2

1. Пренебрегая потерями механической энергии и временем соударения, определите период колебаний упругого мяча, падающего с высоты $h = 4,9$ м на твердую горизонтальную поверхность:

- 1) 4,0 с; 3) 1,0 с; 5) 0,25 с.
 2) 2,0 с; 4) 0,50 с;

2. Модуль ускорения гармонически колеблющегося тела изменяется по закону $a = 0,36\cos 3t$ (м/с²). Амплитуда колебаний тела равна:

- 1) 1,1 м; 4) 0,040 м;
 2) 0,36 м; 5) 0,020 м.
 3) 0,12 м;

3. На рисунке 24.4 приведен график зависимости смещения колеблющейся точки от времени. Проекция на ось x скорости гармонически колеблющейся точки от времени описывается уравнением:

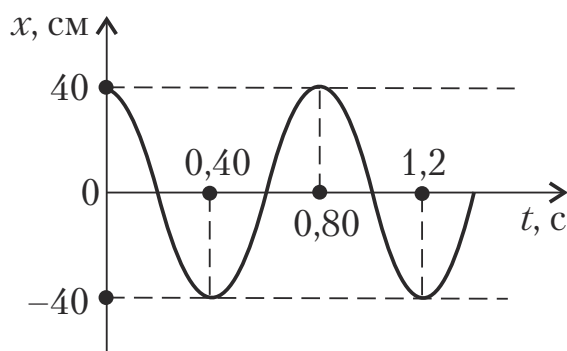


Рис. 24.4

- 1) $v = \pi \cos 2,5\pi t$;
 - 2) $v = -\pi \cos 2,5\pi t$;
 - 3) $v = \pi \sin 2,5\pi t$;
 - 4) $v = -\pi \sin 2,5\pi t$;
 - 5) $v = -\pi \sin 5\pi t$.
4. Полная энергия гармонически колеблющегося тела равна W_0 , модуль максимальной силы, действующей на тело, равен F_0 . Период колебаний тела T , начальная фаза колебаний φ_0 . Уравнение гармонических колебаний можно записать следующим образом:

- 1) $x = \frac{W_0}{F_0} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$;
- 2) $x = \frac{F_0}{W_0} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$;
- 3) $x = \frac{F_0}{2W_0} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$;
- 4) $x = \frac{2W_0}{F_0} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$;
- 5) $x = \frac{W_0}{2F_0} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$.

5. Модуль максимальной скорости материальной точки, движение которой описывается уравнением $x = 2,0 \cos\left(5,0t - \frac{\pi}{4}\right)$ (см), равен:

- 1) 1,0 см/с;
- 2) 2,0 см/с;
- 3) 4,0 см/с;
- 4) 8,0 см/с;
- 5) 10 см/с.

6. Груз неподвижно висит на пружине, когда она растянута на x . Период свободных вертикальных колебаний такого маятника равен:

- 1) $2\pi\sqrt{gx}$;
- 2) $2\pi\sqrt{\frac{x}{g}}$;
- 3) $\frac{x}{g}$;
- 4) $\pi\sqrt{\frac{x}{g}}$;
- 5) $2\pi\frac{x}{g}$.

2. Материальная точка массой $m = 43$ г колеблется по закону $x = 0,060 \sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{3}\right)$ (м). В момент времени $t = 40$ с кинетическая энергия точки равна ... мкДж.
3. Модули максимального ускорения и максимальной скорости тела, совершающего гармонические колебания, $a_0 = 3,14$ м/с² и $v_0 = 1,0$ м/с. Период колебаний равен ... с.
4. Материальная точка массой $m = 5,0$ г колеблется по закону $x = 4,0 \sin 10\pi t$ (см). Модуль силы, действующей на точку в момент времени $t = \frac{1}{60}$ с, равен ... мН.
5. Период колебаний пружинного маятника $T = 1,00$ с. Пружинный маятник вывели из положения равновесия и отпустили. Промежуток времени, через который кинетическая энергия W_k колеблющегося тела будет равна потенциальной энергии W_p пружины, составит ... с.
6. Математический маятник длиной $l = 100$ см совершает колебания параллельно вертикальной стенке. Ниже подвеса на расстоянии $\frac{l}{2}$ в точке A в стенку забит тонкий гвоздь (рис. 24.6). Период колебаний такого маятника равен ... с.
7. К пружине, верхний конец которой закреплен, подвешен груз массой $m = 0,20$ кг. Коэффициент упругости пружины $k = 60$ Н/м. В начальный момент времени груз оттянули от положения равновесия вниз на расстояние $x = 10$ см и сообщили скорость, модуль которой $v = 3,0$ м/с, направленную вверх. Амплитуда возникших колебаний равна ... см.
8. Математический маятник длиной $l = 1,00$ м подвешен в вагоне, движущемся горизонтально с ускорением, модуль которого $a = 2,00$ м/с² (ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²). Период колебаний такого маятника равен ... с.
9. Звуковой генератор, погруженный в море, возбуждает волны длиной $\lambda = 2,50$ м и частотой $\nu = 580$ Гц. Модуль скорости этих волн в воде равен ... км/с.
10. В воде находится источник колебаний, который испускает волны с частотой $\nu = 28$ Гц. Модуль скорости звука в воде $v = 1400$ м/с. Расстояния от источника колебаний до точек A и B равны 80 м и 105 м.



Рис. 24.6

Отношение разности хода Δx звуковой волны в точках A и B к длине волны λ равно

Тест В2

- 1*. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону $x = 5,0 \sin 2t$ (м). Модуль возвращающей силы, действующей на точку, впервые достигнет значения $F = 5,0$ мН, а потенциальная энергия системы $W_{\text{п}} = 6,0$ мДж в момент времени, равный ... с.
2. Полная энергия гармонически колеблющегося тела $W = 3,0 \cdot 10^{-5}$ Дж, модуль максимальной силы, действующей на тело, $F = 1,5 \cdot 10^{-3}$ Н, и за одну минуту тело совершает полные колебания в количестве $N = 30$. Если начальная фаза $\varphi_0 = 30^\circ$, то смещение x тела от положения равновесия в момент времени $t = \frac{1}{6}$ с от начала колебаний равно ... см.
3. Шарик подвешен на длинной нити. Один раз его поднимают по вертикали до точки подвеса, другой раз — отклоняют на небольшой угол. Отношение времени возврата шарика к начальному положению в первом случае t_1 к t_2 во втором случае равно
- 4*. На рисунке 24.7 показано положение равновесия колебательной системы (математический маятник массой $m = 1000$ г длиной $l = 400$ мм с пружинной связью с жесткостью $k = 100$ Н/м). Период малых колебаний такой системы равен ... мс.
- 5*. Груз массой $m = 200$ г висит на пружине, жесткость которой $k = 60$ Н/м. От груза отвалилась часть массой $\Delta m = 50$ г. Модуль максимальной скорости колебаний оставшейся части будет равен ... см/с.
6. Коробка массой $M = 2$ кг стоит на горизонтальном столе. В коробке на пружине жесткостью $k = 2000$ Н/м подвешен груз массой $m = M$. Коробка начнет подпрыгивать на столе, если амплитуда колебаний груза составит ... см.
7. Платформа совершает гармонические колебания в горизонтальной плоскости с частотой $\nu = 1$ Гц. На платформе находится тело с коэффициентом трения скольжения по платформе $\mu = 0,2$. Минимальная амплитуда колебаний платформы, чтобы груз начал скользить, должна быть равна ... см.

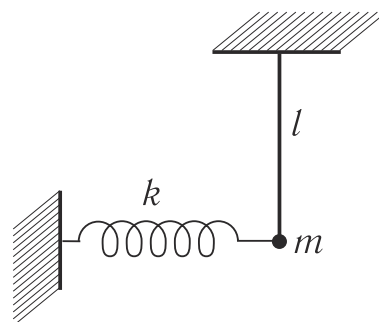


Рис. 24.7

- 8*. Два бруска массами $m_1 = 0,20$ кг и $m_2 = 0,40$ кг, соединенные легкой пружиной, жесткость которой $k = 21$ Н/м, удерживаются в сжатом состоянии нитью. Бруски находятся на гладкой горизонтальной поверхности. Если нить пережечь, то бруски приходят в гармоническое колебательное движение. Период гармонических колебаний бруска массой m_1 равен ... с.
9. Поплавок удочки качается на волнах, распространяющихся по воде с некоторой скоростью. Расстояние между ближайшими гребнями волны $\lambda = 5$ м. Период колебаний поплавок $T = 2,5$ с. Модуль скорости волн на воде равен ... м/с.
10. Точки, лежащие на одном луче и удаленные от источника звука на расстояния $l_1 = 14,0$ м и $l_2 = 14,2$ м, колеблются с разностью фаз $\frac{2}{3}\pi$. Модуль скорости звука в воздухе $v = 340$ м/с. Частота колебаний равна ... Гц.

§ 25. Электромагнитные колебания

Электромагнитные колебания — это периодические изменения со временем заряда $q(t)$, силы тока $I(t)$, напряжения $U(t)$, напряженности электрического поля $\vec{E}(t)$ и индукции магнитного поля $\vec{B}(t)$.

Период T свободных электромагнитных колебаний в идеальном контуре определяется формулой Томсона

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

где L — индуктивность контура; C — емкость его.

Зависимость заряда q и напряжения U на обкладках конденсатора от времени t имеют вид:

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$U = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где q_0 и U_0 — амплитудные значения заряда и напряжения на обкладках конденсатора. Сила тока в контуре

$$I = q'_t = -q_0 \omega \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $q_0 \omega = I_0$ — максимальная сила тока в контуре; $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — циклическая частота.

Энергия W в контуре состоит из энергии электростатического поля в конденсаторе $W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2}$ и энергии магнитного поля в катушке индуктивности $W_{\text{м}} = \frac{LI^2}{2}$:

$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}.$$

Часть энергии расходуется на излучение **электромагнитных волн** — электромагнитного поля, распространяющегося в пространстве с конечной скоростью

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

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость электромагнитной волны в вакууме; ϵ и μ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

Длина электромагнитной волны в вакууме $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$.

Тест А1

1. Зависимость силы тока I от времени t в колебательном контуре приведена на рисунке 25.1. Закон изменения силы тока от времени имеет вид:

- 1) $I = 0,1 \sin(100\pi t + \pi)$;
- 2) $I = 0,1 \sin(50\pi t + \pi)$;
- 3) $I = 0,1 \sin 100\pi t$;
- 4) $I = 0,1 \sin(200\pi t + \pi)$;
- 5) $I = 0,1 \sin 50\pi t$.

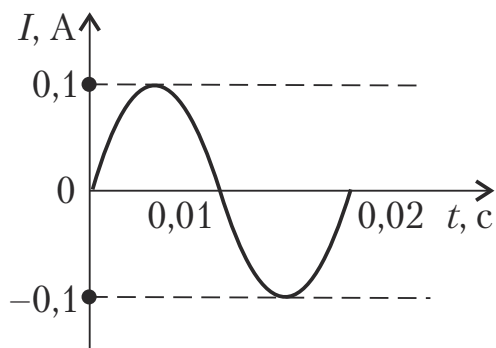


Рис. 25.1

2. Конденсатор емкостью C зарядили до напряжения U_0 , а затем замкнули на катушку индуктивностью L . Напряжение на конденсаторе через время, равное $\frac{1}{6}$ части периода электромагнитных колебаний в контуре, составит:

- 1) $\frac{1}{4}U_0$ В;
- 2) $\frac{U_0 \sqrt{3}}{3}$;
- 3) $\frac{1}{3}U_0$ В;
- 4) $\frac{U_0 \sqrt{2}}{2}$;
- 5) $\frac{U_0}{2}$.

3. Емкость конденсатора и индуктивность катушки колебательного контура $C = 5 \text{ мкФ}$ и $L = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$. Период электромагнитных колебаний в контуре равен:
- 1) $\pi \cdot 10^{-3} \text{ с}$; 3) 10^{-5} с ; 5) $5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$.
2) $\pi \cdot 10^{-5} \text{ с}$; 4) 10^{-6} с ;
4. Если в колебательном контуре емкость конденсатора увеличить в 25 раз, а индуктивность уменьшить в 16 раз, то частота собственных колебаний контура:
- 1) увеличится в 1,25 раза;
2) увеличится в $\frac{25}{16}$ раза;
3) уменьшится в 1,25 раза;
4) уменьшится в 20 раз;
5) увеличится в 20 раз.
5. Если увеличить расстояние между обкладками воздушного конденсатора колебательного контура в $k = 2$ раза и погрузить конденсатор в жидкость с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 8$, то частота колебаний в контуре:
- 1) уменьшится в 2 раза;
2) уменьшится в 4 раза;
3) увеличится в 2 раза;
4) увеличится в 4 раза;
5) не изменится.
6. Напряжение на конденсаторе колебательного контура изменяется по закону $U = 40,0 \cos(6\pi \cdot 10^6 t) \text{ В}$. Длина электромагнитной волны, на которую настроен контур, равна:
- 1) 628 м; 3) 100 м; 5) $\frac{100}{2\pi} \text{ м}$.
2) 314 м; 4) 80,0 м;
7. Чтобы перейти от длины волны λ к длине волны $\frac{\lambda}{4}$, в приемном колебательном контуре нужно емкость конденсатора:
- 1) увеличить в 4 раза;
2) уменьшить в 4 раза;
3) увеличить в 16 раз;
4) уменьшить в 16 раз;
5) уменьшить в 8 раз.

8. Морской сигнал бедствия SOS передается на длине волны $\lambda = 0,60$ км. Частота передаваемого сигнала равна:
- 1) $1,8 \cdot 10^{11}$ Гц; 3) 600 Гц; 5) $1,8 \cdot 10^6$ Гц.
 2) $2,0 \cdot 10^{-6}$ Гц; 4) $5,0 \cdot 10^5$ Гц;
9. Сила тока в колебательном контуре радиопередатчика изменяется по закону $I = 0,200 \cdot \sin(3\pi \cdot 10^6 t)$ А. Длина электромагнитной волны, излучаемая передатчиком, равна:
- 1) 200π м; 3) $\frac{200}{\pi}$ м; 5) 300 м.
 2) 200 м; 4) 400 м;
10. Если длину электромагнитной волны в вакууме увеличить в 3 раза, то скорость распространения электромагнитной волны:
- 1) увеличится в 3 раза;
 2) увеличится в $\sqrt{3}$ раз;
 3) увеличится в 9 раз;
 4) уменьшится в $\sqrt{9}$ раз;
 5) не изменится.

Тест А2

1. На графике (рис. 25.2) представлена зависимость от времени заряда $q(t)$ на обкладках конденсатора колебательного контура. Амплитудное значение силы тока I_0 равно:
- 1) 15,7 А; 3) 157 А; 5) 5,00 А.
 2) 1,57 А; 4) $\frac{15,7}{2\pi}$ А;

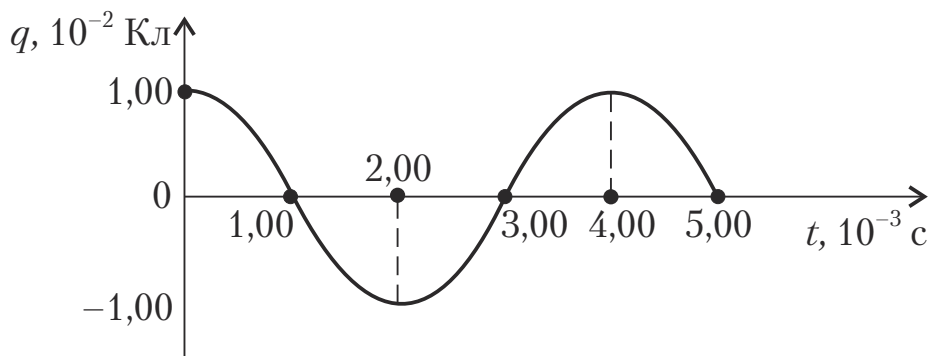


Рис. 25.2

2. Напряжение на конденсаторе U_0 . К конденсатору подключают катушку индуктивностью L . Частота возникших электромагнитных

колебаний в контуре равна v . Сила тока I в колебательном контуре изменяется по закону:

- 1) $\frac{U_0}{2\pi^2 v^2 L} \sin 2\pi vt$; 4) $-\frac{U_0}{2\pi v L} \cos 2\pi vt$;
 2) $\frac{U_0}{4\pi^2 v^2 L} \cos 2\pi vt$; 5) $\frac{U_0}{2\pi^2 v^2 L} \cos 2\pi vt$.
 3) $-\frac{U_0}{2\pi v L} \sin 2\pi vt$;

3. Колебательный контур состоит из индуктивности и двух конденсаторов одинаковой емкости, соединенных параллельно. Период электромагнитных колебаний в таком контуре $T = 9,0$ мкс. Если эти конденсаторы соединить последовательно, то период колебаний станет равным:

- 1) 4,5 мкс; 3) 18 мкс; 5) 3,0 мкс.
 2) 6,0 мкс; 4) $\sqrt{3,0}$ мкс;

4. Если сила тока в цепи идеального колебательного контура изменяется по закону $I = 10 \sin 10^4 t$ мА, а индуктивность катушки контура $L = 10$ мГн, то емкость конденсатора равна:

- 1) $2\pi \cdot 10^{-6}$ Ф; 4) $10 \cdot 10^{-7}$ Ф;
 2) $10 \cdot 10^{-6}$ Ф; 5) $10 \cdot 10^{-8}$ Ф.
 3) $\frac{1}{2\pi} \cdot 10^{-6}$ Ф;

5. В идеальном колебательном контуре емкость конденсатора $C = 2,0$ мкФ, а амплитуда напряжения на нем $U = 10$ В. Максимальная энергия магнитного поля катушки в таком контуре равна:

- 1) 0,10 мДж; 3) 20 мДж; 5) 1,0 Дж.
 2) 10 мДж; 4) 0,10 Дж;

6. В электрическом колебательном контуре индуктивность катушки $L = 4,0$ мГн, а максимальная сила тока в ней $I_0 = 100$ мА. В момент, когда сила тока в катушке $I = 50$ мА, энергия электрического поля конденсатора равна:

- 1) 15 мкДж; 3) 31 мкДж; 5) 54 мкДж.
 2) 25 мкДж; 4) 40 мкДж;

7. Приемный контур прибора состоит из катушки с индуктивностью $L = 4,00$ мкГн и конденсатора с емкостью $C = 100$ пФ. Контур лучше всего реагирует на электромагнитную волну длиной, равной:

- 1) 18,8 м; 3) 75,4 м; 5) 88,4 м.
 2) 37,7 м; 4) 60,0 м;

8. Емкость переменного конденсатора входного колебательного контура радиоприемника можно изменять в пределах от C до $16C$. При емкости конденсатора, равной $4C$, контур настроен на длину волны $\lambda = 28$ м. Диапазон длин волн, принимаемых приемником, равен:
- 1) от 7,0 до 112 м;
 - 2) от 14 до 112 м;
 - 3) от 14 до 56 м;
 - 4) от 7,0 до 56 м;
 - 5) от 7,0 до 28 м.
9. Передатчик работает на длине волны $\lambda = 60$ м. Индуктивность колебательного контура передатчика $L = 1,5$ мГн. Емкость колебательного контура равна:
- 1) 2,7 пФ;
 - 2) 1,4 пФ;
 - 3) 0,68 пФ;
 - 4) 0,34 пФ;
 - 5) 0,17 пФ.
10. Частота повторения импульсов радиолокатора $\nu = 1000$ Гц, длительностью самого импульса можно пренебречь. Максимальная дальность обнаружения цели локатором равна:
- 1) 30,0 км;
 - 2) 150 км;
 - 3) 300 км;
 - 4) $150 \cdot 10^3$ км;
 - 5) $3,00 \cdot 10^3$ км.

Тест В1

1. Кривая зависимости силы тока I от времени t в колебательном контуре приведена на рисунке 25.3. Сила тока в момент времени $t = 0,0117$ с равна ... мкА.
2. Частота колебаний в колебательном контуре $\nu = 10$ кГц. Амплитудное значение силы тока в контуре $I_0 = 0,10$ А. Максимальный заряд на обкладках конденсатора равен ... мкКл.
3. Заряд на обкладках конденсатора входного контура приемника изменяется по закону $q = 4,0 \cdot 10^{-6} \sin 6,25 \cdot 10^6 t$. Емкость входного контура приемника $C = 80$ пФ. Индуктивность входного контура приемника равна ... мГн.
4. В электрическом колебательном контуре индуктивность катушки $L = 5,0$ мкГн. Если частота электромагнитных колебаний в контуре $\nu = 50$ кГц, то емкость конденсатора в контуре равна ... мкФ.

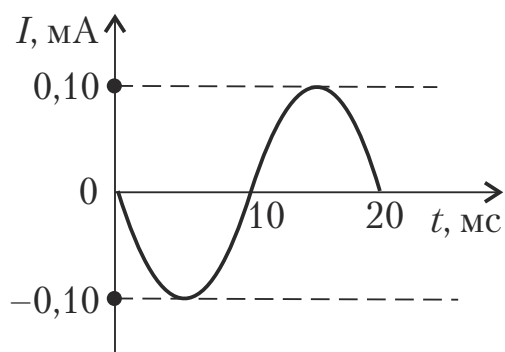


Рис. 25.3

5. Максимальная сила тока в идеальном колебательном контуре $I_0 = 1,0$ мА, а максимальный заряд на обкладке конденсатора в этом контуре $q_0 = \frac{10}{\pi}$ мкКл. Частота электромагнитных колебаний, происходящих в контуре, равна ... с⁻¹.
6. Энергия заряженного конденсатора в идеальном колебательном контуре через $\frac{1}{6}$ периода свободных колебаний после подключения конденсатора к катушке индуктивности уменьшится в ... раз (раза).
7. Энергия электромагнитных колебаний в колебательном контуре $W = 0,50$ мДж, частота колебаний $\nu = 400$ кГц. Если максимальный заряд на обкладках конденсатора $q_0 = 50$ нКл, то индуктивность катушки, включенной в контур, составляет ... мГн.
8. В начальный момент времени конденсатор полностью заряжен. Период электромагнитных колебаний $T = 0,0020$ с. Наименьший промежуток времени, через который энергия электромагнитных колебаний в контуре распределится поровну между катушкой и конденсатором, составляет ... мс.
9. В колебательном контуре радиоприемника происходят свободные электромагнитные колебания. Если максимальный заряд конденсатора $q = 10,0$ нКл, а максимальный ток $I = 0,100$ А, то длина волны, на которую настроен контур, равна ... м.
10. Локатор испускает импульсы частотой $\nu = 4,0$ кГц. Период электромагнитной волны $T = 2,0$ мкс. Максимальная и минимальная дальности обнаружения цели локатором равны ... км.

Тест В2

1. График зависимости силы тока I в колебательном контуре от времени t приведен на рисунке 25.4. Заряд на обкладках конденсатора в момент времени $t = 0,025$ с составляет ... мКл.
2. Катушка с индуктивностью $L = 31$ мГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин $S = 20$ см² и расстоянием между ними $d = 1$ см. Если амплитуда силы тока получив-

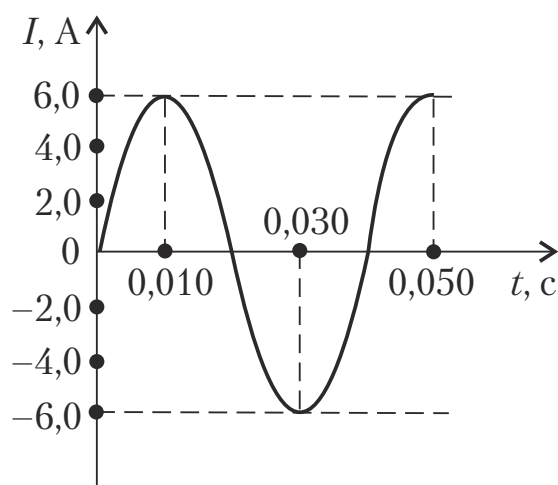


Рис. 25.4

шегося контура $I_0 = 0,2$ мА, а амплитуда напряжения $U_0 = 10$ В, то диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей конденсатор, составляет

3. Максимальное напряжение U в идеальном колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью $L = 6,00$ мкГн и конденсатора емкостью $C = 2600$ пФ, равно $12,0$ В. Число витков в катушке $N = 40$. Максимальное значение магнитного потока равно ... нВб.
4. В электрическом колебательном контуре сила тока изменяется по закону $I = 0,10 \cos 500t$. Емкость конденсатора в контуре $C = 4,0$ мкФ. Максимальное напряжение на обкладках конденсатора равно ... В.
5. Конденсатор подключили к источнику постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 10,0$ В. Затем его отсоединили от источника и подключили к идеальной катушке, индуктивность которой $L = 20$ мГн. В образовавшемся колебательном контуре возникли электромагнитные колебания с частотой $\nu = 660$ Гц. Максимальное значение силы тока в колебательном контуре равно ... А.
- 6*. В электрическом колебательном контуре напряжение на обкладках конденсатора и сила тока в катушке индуктивности изменяются по законам: $U = 3,0 \cos(6,0 \cdot 10^3 t)$ В и $I = 2,0 \sin(6,0 \cdot 10^3 t)$ А. Индуктивность катушки равна ... мГн.
7. Заряженный конденсатор замкнули на катушку индуктивности. Период электромагнитных колебаний в контуре $T = 0,12$ мс. Энергия магнитного поля в катушке будет в 3 раза больше энергии электрического поля в конденсаторе через время после подключения, равное ... мкс.
8. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 0,20$ Гн и конденсатора емкостью $C = 10$ мкФ. Конденсатор зарядили до напряжения $U_0 = 4,0$ В и он начал разряжаться. В момент, когда энергия контура поровну распределится между электрическим и магнитным полями, сила тока в контуре составит ... мА.
9. Длина волны, на которую настроен приемный контур с конденсатором, емкость которого $C = 6,0$ пФ, если в катушке контура при скорости изменения силы тока $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 4,0$ А/с возникает ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{si} = 0,30$ В, равна ... км.
- 10*. В колебательном контуре радиоприемника при резонансе отношение максимальных значений напряжения на конденсаторе к току в катушке индуктивности $k = 3,0$, а электроемкость конденсатора $C = 50$ нФ. Радиоприемник настроен на длину волны, равную ... км.

§ 26. Переменный электрический ток

Переменный ток получают при помощи генератора переменного тока, принцип действия которого состоит во вращении рамки в магнитном поле. Модуль ЭДС индукции \mathcal{E}_i в рамке из N витков, вращающейся в магнитном поле с модулем индукции B , определяется выражением

$$\mathcal{E}_i = BS\omega N \sin \omega t,$$

где S — площадь рамки; ω — угловая скорость вращения. Амплитуда (максимальное значение) ЭДС индукции $\mathcal{E}_0 = BS\omega N$.

Если концы рамки замкнуты на резистор сопротивлением R , то сила тока $I = \frac{BSN\omega}{R} \sin \omega t$; амплитуда силы тока $I_0 = \frac{BSN\omega}{R}$.

Под *действующим значением* I_d силы переменного тока (напряжения U_d) понимают силу (напряжение) такого постоянного тока, при прохождении которого в цепи выделялось бы за 1 с такое же количество теплоты, как при прохождении переменного тока:

$$I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

Средняя мощность переменного тока за длительный промежуток времени

$$\langle P \rangle = \frac{I_0^2 R}{2} = \frac{U_0^2}{2R} = \frac{I_0 U_0}{2} = I_d U_d = I_d^2 R = \frac{U_d^2}{R}.$$

Конденсатор и катушка индуктивности в цепи переменного тока ограничивают силу тока, оказывая сопротивление прохождению тока.

Емкостное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{\omega C},$$

где ω — циклическая частота переменного тока; C — емкость конденсатора. ***Индуктивное сопротивление*** $X_L = \omega L$, где L — индуктивность катушки.

Если в цепь переменного тока последовательно включить резистор сопротивлением R , конденсатор емкостью C и катушку индуктивностью L , то полное сопротивление цепи переменного тока

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

Сила тока в такой цепи $I_{\text{д}} = \frac{U_{\text{д}}}{Z}$.

Если $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$, то сопротивление цепи минимальное, а сила тока максимальная.

Это явление называется *резонансом напряжения*, а $\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — *резонансной частотой*.

Для преобразования напряжения и силы переменного тока служит **трансформатор**.

Отношение числа n_1 витков в первичной катушке к числу витков n_2 во вторичной катушке называется *коэффициентом трансформации*:

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_{\text{д1}}}{U_{\text{д2}}} = \frac{I_{\text{д2}}}{I_{\text{д1}}}.$$

Тест А1

- Циклическая частота переменного тока $\omega = 200\pi$ рад/с. Период переменного тока равен:
 - 0,020 с;
 - 0,010 с;
 - 0,0050 с;
 - 0,0025 с;
 - 0,0020 с.
- Напряжение зажигания неоновой лампы $U_3 = 280$ В. Вольтметр показывает, что в сети переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц напряжение $U = 220$ В. При таком напряжении происходит следующее:
 - лампа гореть не будет;
 - лампа будет гореть прерывисто;
 - лампа будет гореть непрерывно;
 - в сети переменного тока неоновая лампа вообще не горит;
 - недостаточно данных для решения.
- Рамка вращается в однородном магнитном поле. ЭДС индукции, возникающая в рамке, изменяется по закону $\mathcal{E} = 80 \sin 100\pi t$. Действующее значение напряжения $U_{\text{д}}$ и время T одного оборота рамки равны:
 - 80 В; 0,02 с;
 - $\frac{80}{\sqrt{2}}$ В; 100π с;
 - $\frac{80}{\sqrt{2}}$ В; 0,04 с;
 - $\frac{80}{\sqrt{2}}$ В; 0,02 с;
 - $\frac{80}{\sqrt{2}}$ В; 0,01 с.

4. Рамка из десяти проволочных витков вращается в однородном магнитном поле. Магнитный поток, пронизывающий рамку, изменяется по закону $\Phi = 0,020 \cos 100\pi t$. Зависимость модуля возникающей при этом ЭДС от времени имеет вид:
- 1) $6,3 \cos 100\pi t$; 3) $6,3 \sin 100\pi t$; 5) $98 \sin 100\pi t$.
 2) $63 \cos 100\pi t$; 4) $63 \sin 100\pi t$;
5. Начальная ЭДС индукции в рамке, вращающейся в магнитном поле, равна нулю. Если амплитудное значение ЭДС в рамке $\mathcal{E}_0 = 100$ В, то через промежуток времени $t = \frac{1}{12}T$, где T — период вращения, мгновенное значение ЭДС равно:
- 1) 100 В; 3) 70,7 В; 5) 41,4 В.
 2) 86,6 В; 4) 50,0 В;
6. Прямоугольная рамка площадью $S = 100$ см² имеет витки в количестве $N = 200$ и вращается в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,020$ Тл. Ось вращения рамки перпендикулярна силовым линиям магнитного поля. Амплитудное значение ЭДС индукции \mathcal{E}_{\max} , возникающей в рамке, равно 0,5 В. Частота вращения рамки равна:
- 1) 10 об/с; 3) 6 об/с; 5) 2 об/с.
 2) 8 об/с; 4) 4 об/с;
7. Напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_1 = 220$ В, сила тока $I_1 = 0,50$ А. На клеммах вторичной обмотки трансформатора напряжение $U_2 = 22$ В, сила тока во вторичной цепи $I_2 = 4,0$ А. КПД трансформатора равен:
- 1) 75 %; 3) 85 %; 5) 92 %.
 2) 80 %; 4) 90 %;
8. В сеть переменного тока частотой ν включены конденсатор емкостью C и катушка с индуктивностью L . Отношение индуктивного сопротивления к емкостному равно:
- 1) $2\pi\nu^2 LC$; 3) $\frac{\nu^2 LC}{4\pi^2}$; 5) $\frac{L}{C}$.
 2) $4\pi^2 \nu^2 LC$; 4) $\frac{\nu^2 LC}{2\pi^2}$;
9. Действующее значение напряжения на клеммах катушки индуктивностью $L = 1,2$ Гн $U_d = 220$ В. Частота переменного тока $\nu = 50$ Гц. Амплитудное значение силы тока в катушке равно:
- 1) 0,58 А; 3) 1,0 А; 5) 1,7 А.
 2) 0,83 А; 4) 1,2 А;

10. Трансформатор содержит в первичной обмотке витки в количестве $n_1 = 840$ и повышает напряжение от $U_1 = 220$ В до $U_2 = 660$ В. Число витков во вторичной обмотке равно:

- 1) 280; 3) $2,70 \cdot 10^3$; 5) $5,04 \cdot 10^3$.
 2) $2,52 \cdot 10^3$; 4) $2,80 \cdot 10^3$;

Тест А2

1. Рамка из двадцати витков площадью $S = 300$ см² каждый вращается в однородном магнитном поле с угловой скоростью $\omega = 31,4$ рад/с вокруг оси, перпендикулярной вектору индукции B магнитного поля, модуль которого $B = 0,100$ Тл. В начальный момент нормаль к плоскости рамки составляет $\alpha = 60^\circ$ с линиями магнитной индукции. ЭДС индукции на концах рамки зависит от времени по закону:

- 1) $\mathcal{E} = 1,88 \sin\left(3,14t + \frac{\pi}{6}\right)$ В; 4) $\mathcal{E} = 18,8 \sin\left(31,4t + \frac{\pi}{3}\right)$ В;
 2) $\mathcal{E} = 1,88 \sin\left(3,14t + \frac{\pi}{3}\right)$ В; 5) $\mathcal{E} = 18,8 \sin\left(31,4t + \frac{\pi}{6}\right)$ В.
 3) $\mathcal{E} = 1,88 \sin\left(31,4t + \frac{\pi}{3}\right)$ В;

2. Полагая, что напряжение в сети изменяется по закону синуса и начальная фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{12}$, определите мгновенное значение напряжения в момент времени $t = \frac{1}{1200}$ с. Действующее напряжение $U_d = 220$ В, частота $\nu = 50$ Гц.

- 1) 102,4 В; 3) 155,6 В; 5) $220\sqrt{2}$ В.
 2) 124,6 В; 4) 220 В;

3. В начальный момент времени напряжение на клеммах генератора переменного тока равно амплитудному, $U_0 = 100$ В. Частота переменного тока $\nu = 50$ Гц. Напряжение на клеммах генератора через $\Delta t = \frac{1}{300}$ с равно:

- 1) 40 В; 2) 60 В; 3) 87 В; 4) 50 В; 5) 71 В.

4. В сеть переменного тока напряжением $U = 220$ В и частотой $\nu = 50$ Гц включили конденсатор. Амплитудное значение силы тока в конденсаторе $I_0 = 0,20$ А. Емкость этого конденсатора равна:

- 1) 2,0 мкФ; 3) $9,1 \cdot 10^{-4}$ мкФ; 5) $5,0 \cdot 10^{-3}$ мкФ.
 2) 2,9 мкФ; 4) 7,8 мкФ;

5. Количество теплоты, которое выделяется за время $t = 10,0$ мин в кипятильнике сопротивлением $R = 110$ Ом, включенном в сеть переменного тока, напряжение в которой изменяется по закону $U = 311\sin 314t$, равно:
- 1) 264 кДж; 3) 373 кДж; 5) 460 кДж.
2) 528 кДж; 4) 412 кДж;
6. Соленоид, индуктивность которого $L = 100$ мГн, с активным сопротивлением обмотки $R = 25,0$ Ом включен вначале в сеть постоянного тока, а затем в сеть переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц. Действующее значение напряжения в сети переменного тока равно напряжению в сети постоянного тока. Отношение сил токов $\frac{I_1}{I_2}$ равно:
- 1) 1,26; 3) 1,48; 5) 2,23.
2) 1,41; 4) 1,61;
7. В первичной обмотке идеального трансформатора содержатся витки в количестве $N = 200$, ток в ней $I_1 = 0,50$ А и к ней подведена мощность $P = 1,0$ кВт. Напряжение на вторичной обмотке $U_2 = 200$ В. Число витков во вторичной обмотке равно:
- 1) 10; 3) 40; 5) $2,0 \cdot 10^3$.
2) 20; 4) 50;
8. Длина воздушной линии электропередачи $l = 600$ км. Частота передаваемого напряжения $\nu = 50$ Гц. Сдвиг по фазе напряжения в начале и конце линии равен:
- 1) 0,050 рад; 3) $0,2\pi$ рад; 5) $0,4\pi$ рад.
2) $0,1\pi$ рад; 4) $0,3\pi$ рад;
9. Отношение числа витков вторичной и первичной обмоток трансформатора составляет 12,5. Если сила тока в нагрузке $I_n = 2,0$ А, то сила тока в первичной обмотке идеального трансформатора равна:
- 1) 6,3 А; 3) 1,8 А; 5) 13 А.
2) 50 А; 4) 25 А;
10. Трансформатор с коэффициентом трансформации $k = 10$ понижает напряжение с $U_1 = 10$ кВ до $U_2 = 800$ В. Если действующее значение силы тока во вторичной обмотке $I_2 = 2$ А, то ее сопротивление R_2 равно:
- 1) 0,1 кОм; 3) 0,3 кОм; 5) 0,5 кОм.
2) 0,2 кОм; 4) 0,4 кОм;

Тест В1

1. Квадратная рамка со стороной $a = 10$ см вращается в однородном магнитном поле с угловой скоростью $\omega = 300$ рад/с. Модуль индукции магнитного поля $B = 20$ мТл. Сопротивление рамки $R = 10$ Ом, ось вращения рамки перпендикулярна к линиям магнитной индукции. Максимальная сила тока в рамке равна ... мА.
- 2*. К участку цепи переменного тока приложено напряжение $U_d = 220$ В. Сопротивления резисторов $R_1 = 1000$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, $R_3 = 500$ Ом. В цепь включен идеальный диод D (рис. 26.1). Средняя мощность, выделенная в такой цепи, равна ... Вт.
3. Сила переменного тока в цепи с активным сопротивлением R изменяется по закону $I = 8,6 \sin 100\pi t$ А. Если за период T на нагрузке выделилось количество теплоты $Q = 13,5$ Дж, то сопротивление R нагрузки равно ... Ом.
4. В цепь переменного тока частотой $\nu = 4000$ Гц включены последовательно соединенные конденсатор, резистор и катушка. Индуктивность катушки $L = 0,12$ Гн. Резонанс напряжений в такой цепи наблюдается, если емкость конденсатора равна ... нФ.
5. В сеть переменного тока с действующим напряжением $U = 220$ В и циклической частотой $\omega = 314$ рад/с последовательно включены резистор с сопротивлением $R = 200$ Ом, конденсатор емкостью $C = 22$ мкФ и катушка индуктивностью $L = 2,0$ Гн. Амплитуда тока в цепи равна ... А.
6. Цепь переменного тока состоит из последовательно соединенных резистора $R = 80,0$ Ом, индуктивного и емкостного сопротивления, величины которых $x_L = x_C = 800$ Ом. Напряжение в цепи переменного тока $U = 1000$ В. Падение напряжения на индуктивном и емкостном сопротивлениях равно ... кВ.
7. Конденсатор, подключенный к электрической цепи переменного тока с частотой $\nu_1 = 50$ Гц и действующим напряжением $U = 220$ В, имеет сопротивление $x_C = 800$ Ом. Если частоту увеличить до $\nu_2 = 400$ Гц, то максимальное значение силы тока через конденсатор составит ... А.

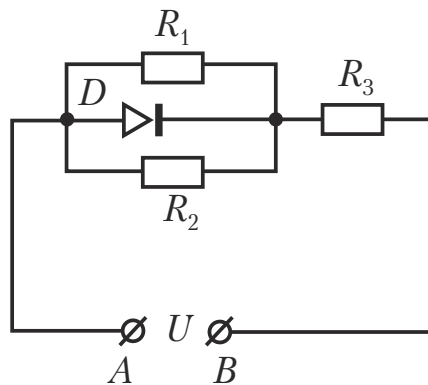


Рис. 26.1

- 8*. Неоновая лампа включена в сеть на время $t = 30$ мин. Лампа зажигается и гаснет, когда напряжение на ее электродах равно действующему. Такая лампа будет гореть ... мин.
9. Чтобы от электростанции мощностью $P = 5,00$ МВт было передано 99,5 % энергии, в линии электропередачи сопротивлением $R = 36$ Ом необходимо повысить напряжение до ... кВ.
10. Силовой трансформатор рассчитан на мощность $P = 10,0$ кВт. КПД трансформатора $\eta = 95,0$ %. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора $U_2 = 230$ В. Сила тока во вторичной обмотке трансформатора равна ... А.

Тест В2

1. В начальном положении нормаль к рамке совпадает с направлением силовых линий индукции магнитного поля. Рамка площадью $S = 100$ см² состоит из витков в количестве $N = 200$ и вращается в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10,0$ мТл, совершая 10 оборотов в секунду. ЭДС индукции \mathcal{E}_i в рамке через время $\Delta t = \frac{1}{120}$ с после начального положения рамки равна ... В.

2. В сеть переменного тока с действующим напряжением $U = 220$ В включена схема, состоящая из двух идеальных диодов и трех одинаковых резисторов сопротивлением $R = 5,0$ кОм каждый (рис. 26.2). Мощность, которая выделяется на резисторах, составляет ... Вт.

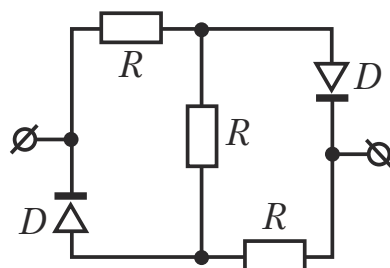


Рис. 26.2

- 3*. Резистор сопротивлением $R_2 = 240$ Ом включен в цепь переменного тока с действующим напряжением $U_d = 220$ В. Сопротивления резисторов в приведенной схеме (рис. 26.3) $R_1 = 120$ Ом, $R_3 = R_4 = 300$ Ом. В цепь включен идеальный диод D . Мощность, которая выделится на резисторе R_2 , равна ... Вт.

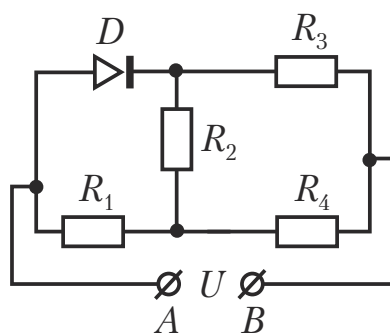


Рис. 26.3

4. Лампочку мощностью $P = 60$ Вт, рассчитанную на напряжение $U_{д1} = 127$ В, нужно включить в сеть переменного тока с действующим напряжением $U_{д2} = 220$ В. Индуктивность катушки, которую нужно включить по-

следовательно с лампочкой, чтобы лампочка горела полным накалом, составляет ... Гн. Частота переменного тока $\nu = 50$ Гц.

5. Лампочку мощностью $P = 60$ Вт, рассчитанную на напряжение $U_{д1} = 120$ В, нужно включить в сеть переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц и напряжением $U_{д2} = 220$ В. Для того чтобы лампочка горела полным накалом, нужно последовательно включить конденсатор емкостью ... мкФ.
6. В цепь последовательно включены резистор $R = 50$ Ом, катушка индуктивностью $L = 100$ мГн и конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ. Напряжение в цепи $U = 400$ В. Резонанс напряжений наступит при частоте переменного тока, равной ... кГц. При резонансе напряжений сила тока равна ... А.
7. Неоновая лампочка включена в электросеть. Лампочка загорается и гаснет при напряжении на ее электродах, в $n = 2$ раза меньшем амплитудного значения напряжения в сети. В этом случае продолжительность одной вспышки лампочки больше промежутка между вспышками в ... раз (раза).
8. Вольтметр, подключенный к электродвигателю переменного тока, показал $U = 220$ В, а амперметр $I = 12$ А. Ваттметр, подключенный к двигателю, показал мощность $P = 2400$ Вт. Сдвиг фаз между током и напряжением равен ... град.
9. В пункте A установлен повышающий трансформатор, в пункте B — понижающий. Сопротивление соединяющей их линии $R = 15$ Ом. Коэффициент трансформации понижающего трансформатора $k = 10$, в цепи его вторичной обмотки потребляется мощность $P = 9,5$ кВт при действующей силе тока $I = 80$ А. Действующее напряжение на вторичной обмотке повышающего трансформатора равно ... кВ.
10. От подстанции к потребителю передается мощность $P_1 = 62,0$ кВт. Электропередача осуществляется при напряжении $U_1 = 6200$ В. Мощность P_2 , которую получит потребитель, если сопротивление линии электропередачи $R = 5,00$ Ом, составляет ... кВт.

Обобщающий тест № 7

1. Если уравнение движения тела, совершающего гармонические колебания, имеет вид $x = 0,1 \sin\left(10\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ (м), то амплитуда и частота колебаний равны:
1) 0,1 м; 1 Гц; 3) 0,1 м; 5π Гц; 5) 0,1 м; 10 Гц.
2) 0,1 см; 5 Гц; 4) 0,1 м; 5 Гц;

2. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону $x = 0,20 \sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ (м). Модуль максимальной скорости равен:
- 1) $0,80\pi$ м/с; 3) $0,40\pi$ м/с; 5) $0,20$ м/с.
 2) $0,80$ м/с; 4) $0,40$ м/с;
3. Масса горизонтального пружинного маятника $m = 0,50$ кг, жесткость пружины $k = 100$ Н/м. Тело сместили из положения равновесия на величину $x_0 = 10$ см и толкнули, сообщив ему скорость $v_0 = 1,0$ м/с. Амплитуда колебаний такого маятника равна:
- 1) $6,0$ см; 3) 10 см; 5) 24 см.
 2) $9,0$ см; 4) 12 см;
4. Для того чтобы периоды колебаний одного и того же тела маятника длиной $l = 20$ см и пружинного маятника с жесткостью пружины $k = 30$ Н/м были одинаковы, масса колеблющегося тела должна быть равна:
- 1) $0,20$ кг; 3) $0,45$ кг; 5) $0,90$ кг.
 2) $0,30$ кг; 4) $0,60$ кг;
5. Вагон массой $m = 80$ т имеет четыре рессоры. Жесткость каждой рессоры $k = 203$ кН/м. Чтобы вагон сильно раскачивало, толчки от ударов о стыки рельсов должны повторяться через промежутки времени, равные:
- 1) $1,0$ с; 3) $2,0$ с; 5) $4,0$ с.
 2) $1,5$ с; 4) $2,5$ с;
6. Разность фаз колебаний точек, координаты которых $x_1 = 1,0$ м, $x_2 = 4,0$ м, в плоской поперечной волне (рис. 1), распространяющейся вдоль оси Ox (источник колебаний находится в точке O), равна:
- 1) $\frac{\pi}{2}$; 2) π ; 3) $\frac{3\pi}{2}$; 4) 2π ; 5) $\frac{5\pi}{2}$.
7. Разность фаз между двумя точками звуковой волны $\Delta\phi = 5\pi$ рад. Разность хода этих точек от источника колебаний $\Delta r = 25$ см. Если модуль скорости звуковой волны $v = 340$ м/с, то частота колебаний источника равна:
- 1) $1,2$ кГц; 3) $3,4$ кГц; 5) $6,8$ кГц.
 2) $2,4$ кГц; 4) $5,6$ кГц;

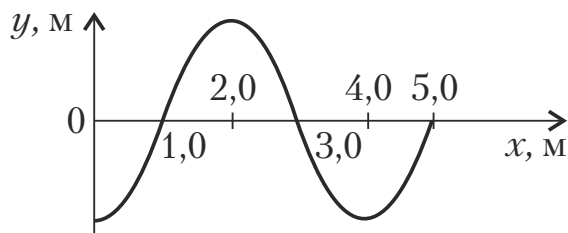


Рис. 1

8. При измерении глубины моря с помощью эхолота от посылки звукового сигнала до его возвращения прошло время $t = 1,8$ с. Если модуль скорости звука в воде $v = 5000$ м/с, то глубина моря равна:
- 1) 1,5 км; 3) 4,5 км; 5) 7,0 км.
2) 2,3 км; 4) 5,0 км;
9. Если емкость конденсатора $C = 5,0$ мкФ, а индуктивность катушки колебательного контура $L = 5,0 \cdot 10^{-6}$ Гн, то период электромагнитных колебаний в контуре составляет:
- 1) $3,1 \cdot 10^{-6}$ с; 3) $3,1 \cdot 10^{-5}$ с; 5) $3,1 \cdot 10^{-4}$ с.
2) $6,3 \cdot 10^{-6}$ с; 4) $6,3 \cdot 10^{-5}$ с;
10. В колебательном контуре напряжение на обкладках конденсатора и сила тока в катушке индуктивности изменяются по законам $U = 3,0 \cos 6,0 \cdot 10^3 t$ В и $I = 2,0 \sin 6,0 \cdot 10^3 t$ А. Индуктивность катушки равна:
- 1) 12 мкГн; 3) 0,25 мГн; 5) 1,1 мГн.
2) 0,12 мГн; 4) 0,42 мГн;
11. Максимальная сила тока в идеальном колебательном контуре $I_0 = 1,0$ мА, а максимальный заряд на обкладках конденсатора $q_0 = \frac{10}{\pi}$ мкКл. Частота электромагнитных колебаний, происходящих в контуре, равна:
- 1) 50 Гц; 3) 0,25 кГц; 5) 1,0 кГц.
2) 0,10 кГц; 4) 0,50 кГц;
12. Если сила тока в цепи идеального колебательного контура изменяется по закону $I = 1,0 \sin(10^4 t)$ (мА), а индуктивность катушки $L = 10$ мГн, то емкость конденсатора контура равна:
- 1) 0,50 мкФ; 3) 2,4 мкФ; 5) 10 мкФ.
2) 1,0 мкФ; 4) 5,2 мкФ;
13. Колебательный контур радиоприемника содержит катушку индуктивностью $L = 10,0$ мГн и два параллельно соединенных конденсатора емкостями $C_1 = 36,0$ нФ и $C_2 = 4,00$ нФ. Контур настроен на длину волны:
- 1) 56,5 км; 3) 2,52 км; 5) 360 м.
2) 37,7 км; 4) 1,67 км;
14. Максимальный заряд от пришедшей электромагнитной волны на конденсаторе колебательного контура $q_0 = 10,0$ нКл, а максималь-

- ная сила тока в контуре $I_0 = 0,100$ А. Длина волны, на которую настроен колебательный контур, составляет:
- 1) 64,5 м; 3) 188 м; 5) 834 м.
2) 129 м; 4) 236 м;
15. Емкость конденсатора колебательного контура $C_1 = 56$ нФ. Индуктивность, которую должен иметь колебательный контур, чтобы его можно было настроить на длину волны $\lambda_1 = 40$ м, составляет:
- 1) 2,0 нГн; 3) 5,6 нГн; 5) 12 нГн.
2) 2,8 нГн; 4) 8,0 нГн;
16. По международному соглашению длина радиоволны для экстренной связи $\lambda = 0,60$ км. Поэтому корабли передают сигнал бедствия SOS на частоте ν , равной:
- 1) 0,50 МГц; 3) 2,0 МГц; 5) 6,0 МГц.
2) 1,5 МГц; 4) 3,0 МГц;
17. Действующее значение напряжения в сети переменного тока $U_{\text{д}} = 220$ В. В начальный момент времени напряжение $U = 0$. Через $\frac{1}{8}$ периода напряжение в сети равно:
- 1) 110 В; 3) 156 В; 5) 220 В.
2) 141 В; 4) 169 В;
18. Рамка площадью $S = 200$ см² вращается в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. Число витков в рамке $N = 200$, а частота вращения $\nu = 10$ с⁻¹. Действующее значение ЭДС индукции, возникающей в рамке, равно:
- 1) 18 В; 3) 36 В; 5) 94 В.
2) 24 В; 4) 72 В;
19. Трансформатор включен в сеть с действующим напряжением $U_{\text{д1}} = 220$ В и обеспечивает в нагрузке действующее значение силы тока $I_{\text{д2}} = 6,0$ А. Отношение числа витков вторичной и первичной обмоток $\frac{n_2}{n_1} = 0,25$. Если потерями энергии в первичной обмотке можно пренебречь и сопротивление вторичной обмотки $R_2 = 3,00$ Ом, то действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора составляет:
- 1) 24 В; 3) 42 В; 5) 64 В.
2) 37 В; 4) 56 В;

20. В цепь к клеммам 1—2 приложено переменное напряжение, действующее значение которого $U_d = 220$ В. Сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = 0,20$ кОм, диод D — идеальный (рис. 2). Мощность, которая выделяется в данной цепи, равна:

- 1) 0,10 кВт; 3) 0,70 кВт;
2) 0,30 кВт; 4) 1,2 кВт;

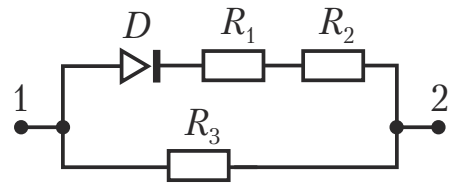


Рис. 2

- 5) 1,5 кВт.

ОПТИКА

§ 27. Световые волны. Интерференция и дифракция

Свет — это электромагнитные волны определенного диапазона (видимый свет $\lambda \sim 0,75 \div 0,4$ мкм).

Скорость распространения света в среде $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с —

скорость распространения света в вакууме; ϵ и μ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

Оптические свойства вещества характеризуются **абсолютным показателем преломления n** . Он показывает, во сколько раз скорость света в данном веществе меньше скорости света в вакууме: $n = \frac{c}{v}$.

Длина световой волны в вакууме $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$.

Интерференция света — пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении когерентных волн — волн, имеющих одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз для данной точки пространства.

Пусть два точечных когерентных источника S_1 и S_2 излучают свет и в точку наблюдения приходят две электромагнитные волны, прошедшие расстояния d_1 и d_2 в средах с показателями преломления n_1 и n_2 . Их **оптическая разность хода** $\Delta = n_2 d_2 - n_1 d_1$. Чтобы в точке наблюдения пришедшие волны усиливали друг друга, разность хода Δ должна быть равна четному числу длин полуволн: $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$.

Условия максимального ослабления света:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots).$$

В результате наблюдается интерференционная картина, характеризующаяся чередованием в пространстве областей с повышенной и пониженной интенсивностью света в виде темных и светлых полос.

Дифракция света — явление огибания волнами препятствий и проникновение их в область тени.

Дифракционная решетка — совокупность большого числа параллельных щелей равной ширины, разделенных непрозрачными промежутками. Если на дифракционную решетку падает нормально плоская монохроматическая волна, то на экране возникает интерференционная картина дифрагированных волн и максимумы света наблюдаются под углами φ , для которых $d \sin \varphi = m\lambda$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ — порядок максимумов (или порядок спектра); $d = a + b$ называется постоянной (или периодом) решетки, a — ширина щели, b — ширина непрозрачного участка между щелями; $d = \frac{l}{N}$, где l — длина дифракционной решетки, N — число щелей.

Тест А1

1. Диапазону длин волн от 400 нм до 750 нм соответствует:
 - 1) инфракрасное излучение;
 - 2) ультрафиолетовое излучение;
 - 3) радиоволны;
 - 4) видимый свет;
 - 5) рентгеновское излучение.
2. Длина волны света при переходе из среды с абсолютным показателем преломления 2 в среду с абсолютным показателем преломления 1,5:
 - 1) уменьшается в $\frac{4}{3}$ раза;
 - 2) уменьшается в 3 раза;
 - 3) увеличивается в $\frac{4}{3}$ раза;
 - 4) увеличивается в 3 раза;
 - 5) не изменяется.
3. Разность хода Δx в воздухе двух интерферирующих лучей монохроматического света составляет $0,3\lambda$. Соответствующая разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний равна:
 - 1) $0,9\pi$ рад;
 - 2) $0,3\pi$ рад;
 - 3) $1,2\pi$ рад;
 - 4) $0,36\pi$ рад;
 - 5) $0,6\pi$ рад.
4. Какой длины путь l_1 пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь $l_2 = 1,00$ м в воде? Абсолютный показатель преломления воды $n = 1,33$.
 - 1) 150 см;
 - 2) 167 см;
 - 3) 133 см;
 - 4) 100 см;
 - 5) 67,0 см.

5. На пути параллельных световых лучей помещена нормально к ним плоскопараллельная стеклянная пластинка (абсолютный показатель преломления стекла $n = 1,50$). Если толщина пластинки $h = 1,00$ мм, то оптическая разность хода, которую она вносит, составляет:
- 1) 100 мкм; 3) 250 мкм; 5) 500 мкм.
 2) 150 мкм; 4) 300 мкм;
6. Число длин волн, которое укладывается в оптическую разность хода двух когерентных волн с длиной волны $\lambda = 600$ нм в вакууме, если одна из них достигает экрана на время $\Delta t = 2 \cdot 10^{-15}$ с позже другой, равно:
- 1) 0,5; 2) 1; 3) 3; 4) 4; 5) 6.
7. Свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм нормально падает на тонкую пленку, нанесенную на стеклянную поверхность. Показатель преломления пленки меньше показателя преломления стекла. Вследствие интерференции отраженные от различных поверхностей пленки световые волны будут максимально усилены, если минимальная разность хода этих волн будет равна:
- 1) 125 нм; 3) 375 нм; 5) 750 нм.
 2) 250 нм; 4) 500 нм;
8. Если тонкая мыльная пленка освещается светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, то разности хода двух отраженных волн для светлой и следующей за ней темной интерференционных полос отличаются на:
- 1) 150 нм; 3) 300 нм; 5) 900 нм.
 2) 200 нм; 4) 600 нм;
9. Дифракционная решетка имеет щели в количестве $N = 200$ на длине $l = 1,0$ мм. Период решетки равен:
- 1) 0,2 мм; 3) $5 \cdot 10^{-5}$ м; 5) $5 \cdot 10^{-7}$ м.
 2) $5 \cdot 10^{-3}$ м; 4) $5 \cdot 10^{-6}$ м;
10. Угол φ с нормалью к плоскости дифракционной решетки, под которым наблюдается второй дифракционный максимум при освещении решетки светом с длиной волны λ , нормально падающим на решетку, равен (ширина щели решетки a , ширина непрозрачного участка b):
- 1) $\sin \varphi = \frac{\lambda}{2(a+b)}$; 3) $\sin \varphi = \frac{2\lambda}{a}$; 5) $\sin \varphi = \frac{2\lambda}{a+b}$.
 2) $\sin \varphi = \frac{\lambda}{2a}$; 4) $\sin \varphi = \frac{2(a+b)}{\lambda}$;

Тест А2

- Свет с частотой $\nu = 1,50 \cdot 10^{15}$ Гц распространяется в стекле с показателем преломления $n = 1,50$. Длина волны света в стекле составляет:
 - 1) 225 нм;
 - 2) 133 нм;
 - 3) 450 нм;
 - 4) 600 нм;
 - 5) 800 нм.
- В некоторую точку приходят световые волны от двух когерентных источников с одинаковой длиной волны $\lambda_1 = \lambda_2 = 520$ нм. Если геометрическая разность хода волн $\Delta d = 2,6$ мкм, то разность фаз колебаний в этой точке равна:
 - 1) 10π ;
 - 2) 8π ;
 - 3) 6π ;
 - 4) 4π ;
 - 5) 2π .
- Два параллельных монохроматических луча, расстояние между которыми $d = 2,0$ см, падают на прямоугольную стеклянную призму (абсолютный показатель преломления стекла $n = 1,5$) перпендикулярно ее боковой грани и выходят из нее (рис. 27.1). Если преломляющий угол призмы $\beta = 30^\circ$, то разность хода лучей при выходе из призмы составит:
 - 1) 9,0 мм;
 - 2) 12 мм;
 - 3) 33 мм;
 - 4) 17 мм;
 - 5) 51 мм.
- Пучок параллельных лучей с длиной волны $\lambda = 0,600$ мкм падает нормально на мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$. Отраженные лучи будут максимально ослаблены при минимальной толщине пленки:
 - 1) 500 нм;
 - 2) 266 нм;
 - 3) 225 нм;
 - 4) 125 нм;
 - 5) 60,0 нм.
- На мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$ нормально падает пучок белого света. Если в отраженном свете пленка кажется зеленой ($\lambda = 536$ нм), то наименьшая толщина пленки равна:
 - 1) 50,0 нм;
 - 2) 100 нм;
 - 3) 133 нм;
 - 4) 268 нм;
 - 5) 536 нм.
- Свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм нормально падает на тонкую пленку, нанесенную на стеклянную поверхность. Вследствие интерференции отраженные от различных поверхностей пленки световые волны будут гасить друг друга, если минимальная разность хода этих волн будет равна:
 - 1) 150 нм;
 - 2) 200 нм;
 - 3) 300 нм;
 - 4) 600 нм;
 - 5) 900 нм.

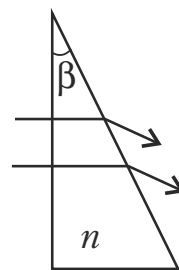


Рис. 27.1

7. Если при дифракции монохроматического света на дифракционной решетке с периодом d максимум первого порядка на экране, отстоящем от решетки на расстоянии L , отстоит от центрального на расстоянии x , то длина световой волны λ равна:

- 1) $\frac{dx}{L}$; 3) $\frac{dx}{\sqrt{L^2 + x^2}}$; 5) $\frac{d\sqrt{L^2 + x^2}}{x}$.
 2) $\frac{d\sqrt{L^2 + x^2}}{L}$; 4) $\frac{dL}{\sqrt{L^2 + x^2}}$;

8. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Если постоянная решетки $d = 2$ мкм, то максимальный порядок дифракционного спектра, который можно наблюдать с помощью этой решетки, составляет:

- 1) 3; 3) 5; 5) 9.
 2) 4; 4) 8;

9. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков частично перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая линия $\lambda = 400$ нм спектра третьего порядка?

- 1) 20,0 нм; 3) 300 нм; 5) 600 нм.
 2) 267 нм; 4) 500 нм;

10. Если первый дифракционный максимум при освещении дифракционной решетки с шириной щели a и шириной непрозрачного участка b светом, нормально падающим на решетку, наблюдается под углом φ с нормалью к плоскости дифракционной решетки, то длина волны λ падающего света равна:

- 1) $(a + b)\operatorname{tg} \varphi$; 3) $a \operatorname{tg} \varphi$; 5) $\frac{\pi}{2} a \sin \varphi$.
 2) $(a + b)\sin \varphi$; 4) $a \sin \varphi$;

Тест В1

1. Расстояние между двумя когерентными источниками света с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм $d = 0,1$ мм. Если расстояние между светлыми полосами на экране $l = 1$ см, то расстояние от источника до экрана равно ... м.
2. В опыте Юнга расстояние между двумя щелями $d = 1,00$ мм, от щели до экрана $L = 3,00$ м. Если расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране $\Delta l = 1,50$ мм, то длина световой волны, падающей на щели, составляет ... нм.

3. Оптическая разность хода двух монохроматических волн длиной $\lambda = 0,55$ мкм, образующих при прохождении света через дифракционную решетку максимум второго порядка, составляет ... мкм.
4. Максимум третьего порядка при дифракции света с длиной волны $\lambda = 600$ нм на дифракционной решетке, имеющей штрихи в количестве $N = 100$ на $l = 1,00$ мм длины, виден под углом ... град.
5. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 620$ нм. Дифракционная решетка содержит штрихи в количестве $N = 200$ на $l = 1,0$ мм. Число максимумов, которое можно наблюдать с помощью такой дифракционной решетки, равно
6. На дифракционную решетку с периодом $d = 2,00$ мкм падает нормально монохроматический свет. Если угол между главными максимумами второго порядка $\varphi_2 = 60^\circ$, то длина световой волны равна ... мкм.
7. Если второй дифракционный максимум находится на расстоянии $l_1 = 60$ мм от центра экрана, то при увеличении расстояния между дифракционной решеткой и экраном на $k = 50\%$ этот дифракционный максимум будет находиться на расстоянии от центра экрана, равном ... мм.
8. Если постоянная дифракционной решетки $d = 2$ мкм, то наибольший порядок дифракционного спектра для белого света (400—700 нм), который можно наблюдать с помощью этой решетки, равен
9. При нормальном падении на дифракционную решетку света с длиной волны $\lambda_1 = 600$ нм максимум второго порядка наблюдается под углом $\varphi_2 = 30^\circ$. Угол дифракции для длины волны $\lambda_2 = 400$ нм для максимума третьего порядка составляет ... град.
10. Для излучения некоторой длины волны дифракционный максимум первого порядка наблюдают под углом $\varphi_1 = 8,50^\circ$. Последнему максимуму для той же длины волны будет соответствовать угол дифракции, равный ... град.

Тест В2

1. На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников. Если расстояние между источниками, расстояние от их плоскости до экрана и длину волны света увеличить в 2 раза, то расстояние между интерференционными максимумами увеличится в ... раз (раза).

2. Два когерентных источника S_1 и S_2 испускают электромагнитные волны с длиной волны $\lambda = 1,0$ м и расположены на расстоянии $d = 2,0$ м друг от друга. Точка A находится на расстоянии l от источника S_1 (рис. 27.2). Если разность фаз $\Delta\phi$ излучения источников равна нулю, то интерференционный максимум в точке A наблюдается при минимальном значении l , равном ... м.

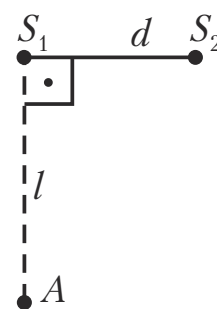


Рис. 27.2

- 3*. Точечный источник монохроматического света расположен на расстоянии $l = 1,0$ мм от большого плоского зеркала и на расстоянии $L = 4,0$ м от экрана, перпендикулярного зеркалу (рис. 27.3). Если длина волны света $\lambda = 600$ нм, то расстояние между соседними максимумами освещенности, наблюдаемыми на экране, составляет ... мм.

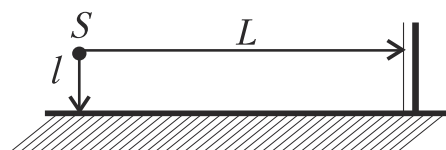


Рис. 27.3

- 4*. На стеклянный клин падает пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Если число наблюдаемых в результате интерференции полос, приходящихся на $l = 10$ мм, равно 10, то преломляющий угол клина составляет ... рад.
- 5*. Пучок параллельных лучей с длиной волны $\lambda = 0,600$ мкм падает под углом $\alpha = 30,0^\circ$ на мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$. Отраженные лучи будут максимально усилены при минимальной толщине пленки
6. Дифракционная решетка имеет штрихи в количестве $N = 200$ на $l = 1,00$ мм и расположена на расстоянии $L = 2,00$ м от экрана. Если решетка освещается белым светом с длинами волн, лежащими в диапазоне 400—780 нм, то ширина дифракционного спектра первого порядка составляет ... мм.
7. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 400$ нм падает на дифракционную решетку, постоянная которой $d = 0,010$ мм. Если расстояние между центральным и третьим максимумами на экране $l = 90$ мм, то решетка удалена от экрана на расстояние, равное ... см.
8. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает пучок лучей с длиной волны $\lambda = 0,50$ мкм. Постоянная решетки $d = 4,95$ мкм. Угол дифракции, соответствующий последнему максимуму, составляет ... град.

- 9*. Падающий нормально на дифракционную решетку свет состоит из двух спектральных линий с длинами волн $\lambda_1 = 490$ нм и $\lambda_2 = 600$ нм. Если первый дифракционный максимум для голубой линии наблюдается под углом $\varphi = 10,0^\circ$, то угловое расстояние между этими линиями в спектре второго порядка составляет ... град.
10. Свет с длиной волны $\lambda = 535$ нм падает нормально на дифракционную решетку. Если одному из максимумов соответствует угол дифракции $\varphi = 35^\circ$, а наибольший порядок спектра $k_{\max} = 5$, то период решетки составляет ... мкм.

§ 28. Прямолинейное распространение света. Отражение света

В прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно. На границе раздела двух сред свет испытывает отражение.

■ Законы отражения света

1. Луч падающий, отраженный и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.
2. Угол отражения β равен углу падения α : $\alpha = \beta$.

Различают *зеркальное* и *диффузное отражения*. Параллельный пучок света после отражения от зеркальной поверхности остается параллельным. При рассеянном отражении отраженный пучок расходится по всевозможным направлениям. Изображение в плоском зеркале — мнимое, прямое, равное по размерам предмету и симметричное относительно плоскости зеркала.

Тест А1

1. Изображение точечного предмета A в плоском зеркале расположено в точке (рис. 28.1):
- 1) 1;
 - 2) 2;
 - 3) 3;
 - 4) 4;
 - 5) изображение отсутствует.

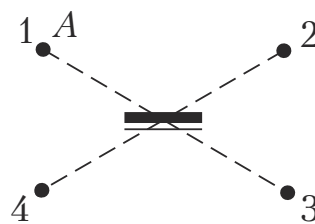


Рис. 28.1

2. В каком случае (1–4) правильно построено изображение предмета в плоском зеркале (рис. 28.2)?

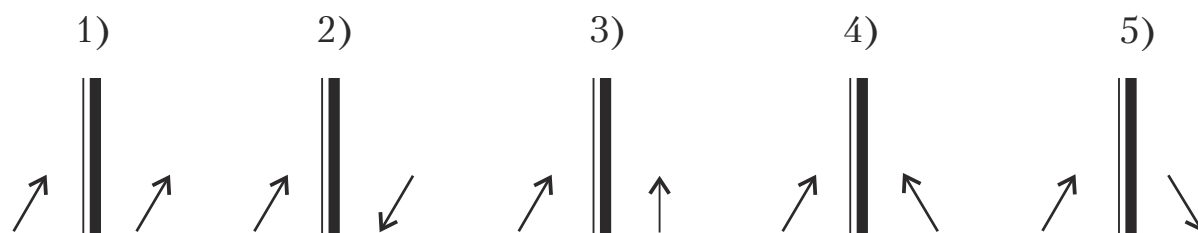


Рис. 28.2

3. Если угол падения α светового луча уменьшится на $\Delta\alpha = 10^\circ$, то угол φ между падающим и отраженным лучами уменьшится на:

- 1) 20° ; 4) $7,5^\circ$;
 2) 10° ; 5) не изменится.
 3) 50° ;

4. Тело приближается перпендикулярно к зеркалу со скоростью, модуль которой $v = 36$ км/ч. Модуль скорости сближения тела с его изображением в зеркале составляет:

- 1) 0; 3) 10 м/с; 5) 40 м/с.
 2) 5,0 м/с; 4) 20 м/с;

5. Плоское зеркало движется к точечному источнику света со скоростью, модуль которой $v = 1,5$ м/с. Чтобы его изображение в зеркале было неподвижным, источник должен двигаться со скоростью, модуль которой:

- 1) 1,5 м/с к зеркалу; 4) 3,0 м/с от зеркала;
 2) 1,5 м/с от зеркала; 5) 0,75 м/с к зеркалу.
 3) 3,0 м/с к зеркалу;

6. Высота солнца над горизонтом $\varphi = 46^\circ$. Чтобы отраженные от плоского зеркала солнечные лучи пошли вертикально вниз, угол падения световых лучей на зеркало должен быть равен:

- 1) 22° ; 3) 44° ; 5) 68° .
 2) 23° ; 4) 46° ;

7. Чтобы человек ростом $H = 1,8$ м мог увидеть себя в вертикальном зеркале в полный рост, минимальная высота зеркала должна составлять:

- 1) 45 см;
 2) 90 см;
 3) 360 см;
 4) 45 см;
 5) ответ зависит от расстояния между человеком и зеркалом.

8. Между двумя плоскими зеркалами, образующими прямой двугранный угол, расположен точечный источник света. Количество изображений источника в системе зеркал равно:
- 1) 1;
 - 2) 2;
 - 3) 3;
 - 4) 4;
 - 5) ответ зависит от положения источника относительно зеркал.
9. На расстоянии $d = 50$ см от точечного источника света расположен непрозрачный диск, за которым находится экран. Если радиус R_1 круговой тени на экране в $k = 3$ раза больше радиуса R_2 диска, то расстояние между диском и экраном составляет:
- 1) 0,25 м;
 - 2) 0,50 м;
 - 3) 1,0 м;
 - 4) 1,5 м;
 - 5) 2,0 м.
10. Два плоских зеркала образуют двугранный угол. Если точечный источник света и два его первых изображения в зеркалах расположены в вершинах равностороннего треугольника, то угол между зеркалами равен:
- 1) 30° ;
 - 2) 45° ;
 - 3) 60° ;
 - 4) 90° ;
 - 5) 120° .

Тест А2

1. На какой угол повернется луч, отраженный от плоского зеркала, при повороте последнего на угол α ?
- 1) 0;
 - 2) α ;
 - 3) 2α ;
 - 4) 4α ;
 - 5) 90° .
2. Чтобы после двух последовательных отражений от двух плоских зеркал при любом угле падения падающий и отраженный лучи оставались параллельными, угол между зеркалами должен составлять:
- 1) 180° ;
 - 2) 135° ;
 - 3) 90° ;
 - 4) 45° ;
 - 5) 0° .
3. Если на вращающееся с угловой скоростью ω плоское зеркало падает световой луч, то отраженный луч будет вращаться с угловой скоростью ω_1 , равной:
- 1) $0,5\omega$;
 - 2) $\frac{\omega}{\sqrt{2}}$;
 - 3) ω ;
 - 4) 2ω ;
 - 5) 4ω .
4. Луч света падает на систему, состоящую из двух взаимно перпендикулярных зеркал. Угол падения на первое зеркало $\alpha = 17^\circ$. Угол от-

- ражения луча от второго зеркала, на которое он падает, отражаясь от первого, составит:
- 1) 73° ; 3) 34° ; 5) $8,5^\circ$.
2) 37° ; 4) 17° ;
5. Посередине между двумя плоскими параллельными зеркалами помещен источник света. Чтобы первые изображения источника в зеркалах сближались со скоростью, модуль которой $v = 4$ м/с, зеркала нужно перемещать со скоростью, модуль которой равен:
- 1) 8 м/с; 3) 2 м/с; 5) 0,5 м/с.
2) 4 м/с; 4) 1 м/с;
6. На горизонтальном столе по прямой движется шарик. Под каким углом к плоскости стола следует установить плоское зеркало, чтобы при движении шарика к зеркалу его изображение двигалось по вертикали?
- 1) 0° ; 3) 45° ; 5) 90° .
2) 30° ; 4) 60° ;
7. Посередине между двумя параллельными плоскими зеркалами помещен точечный источник света. Если источник начнет двигаться в направлении, перпендикулярном зеркалам, со скоростью, модуль которой $v_1 = 2$ м/с, то модуль относительной скорости двух первых изображений в зеркалах составит:
- 1) 1 м/с; 3) 4 м/с; 5) 0.
2) 2 м/с; 4) 8 м/с;
8. Предмет расположен на расстоянии $d = 20$ см от плоского зеркала. Затем его передвинули на $\Delta d_1 = 30$ см перпендикулярно от зеркала и на $\Delta d_2 = 40$ см параллельно зеркалу. Расстояние между предметом и его изображением изменится на:
- 1) 20 см; 3) 10 см; 5) 60 см.
2) 130 см; 4) 50 см;
9. На середине перпендикуляра между точечным источником света и экраном расположен непрозрачный квадрат, плоскость которого параллельна экрану. Если источник удалить от квадрата на вдвое большее расстояние, то площадь тени на экране уменьшится:
- 1) в 0,5 раза; 3) в 2 раза; 5) в 4,5 раза.
2) в 1,78 раза; 4) в 2,5 раза;
10. Точечный источник света и два его первых изображения, полученные в системе двух плоских зеркал, образуют треугольник с углом $\alpha = 89,0^\circ$ у источника. Угол между зеркалами составляет:
- 1) 100° ; 3) $89,0^\circ$; 5) 179° .
2) $44,5^\circ$; 4) $91,0^\circ$;

Тест В1

1. Светящийся шар радиусом $R_1 = 4,00$ см расположен на расстоянии $d = 1,00$ м от экрана. Посередине на перпендикуляре между центром этого шара и экраном расположен другой шар радиусом $R_2 = 2,00$ см. Площадь тени на экране составляет ... см².
2. Посередине между точечным источником света и экраном расположен шарик диаметром $d = 4$ см. Максимальный радиус R второго шарика, который поместили посередине между первым шариком и экраном так, чтобы начальные размеры тени на экране не изменились, составляет ... см.
3. Диаметр источника света $D = 20$ см, расстояние от него до экрана $l = 2,0$ м. Чтобы мяч диаметром $d = 8,0$ см не отбрасывал на экране тени, а давал только полутень, его следует поместить на наименьшем расстоянии от экрана, равном ... см. Центры источника и мяча расположены на перпендикуляре к экрану.
4. Человек ростом $H = 175$ см стоит на расстоянии $s = 6,0$ м от столба высотой $h = 7,0$ м. Человек должен положить на землю маленькое плоское зеркало, чтобы увидеть в нем верхушку столба, на расстоянии от себя, равном ... м.
- 5*. В комнате длиной $L = 4,0$ м и высотой $H = 3,0$ м на стене висит плоское зеркало. Человек смотрит на него с расстояния $l = 1,6$ м. Чтобы человек мог видеть в зеркале противоположную стену во всю высоту, минимальная высота зеркала должна составлять ... см.
6. От закрепленного на потолке точечного источника света с помощью круглого зеркала радиусом $R = 3,0$ см, лежащего на полу, получают «зайчик» на потолке. Диаметр «зайчика» составит ... см.
7. Если вертикально стоящий шест высотой $h = 110$ см, освещенный солнцем, отбрасывает на горизонтальную поверхность земли тень длиной $l = 130$ см, а длина тени L от телеграфного столба на $\Delta l = 520$ см больше, то высота столба равна ... м.
8. В середине плоского экрана находится точечный источник света. Параллельно экрану расположено плоское зеркало, имеющее форму равностороннего треугольника со стороной $a = 10,0$ см. Площадь «зайчика» от зеркала на экране будет равна ... см².
9. Человек идет со скоростью $v = 100$ см/с по направлению к уличному фонарю, висящему на высоте $h = 8,50$ м. В некоторый момент времени тень человека имела длину $d = 1,80$ м, а через $\Delta t = 2$ с стала $D = 1,30$ м. Рост человека равен ... см.

10. Светящаяся точка равномерно движется по прямой, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с плоскостью зеркала, со скоростью, модуль которой $v_1 = 20$ см/с. Расстояние между точкой и ее изображением изменяется со скоростью, модуль которой равен ... см/с.

Тест В2

1. Два плоских зеркала образуют двугранный угол 60° . В плоскости, делящей угол пополам, находится точечный источник света. Если источник будет приближаться к линии пересечения зеркал (рис. 28.3) со скоростью, модуль которой $v = 1,73$ м/с, то первые изображения источника будут сближаться со скоростью, модуль которой равен ... м/с.

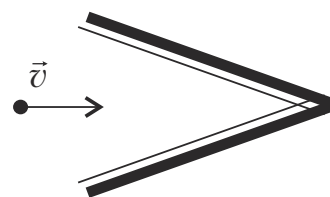


Рис. 28.3

2. Два точечных источника света расположены на одном и том же расстоянии $a = 20$ см от поверхности плоского зеркала. Если расстояние от одного из источников до изображения другого $b = 50$ см, то расстояние между источниками равно ... см.
3. Человек ростом $H = 1,8$ м видит Луну под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Чтобы увидеть отражение Луны, человек должен положить на землю маленькое зеркало на расстоянии от глаз, равном ... м.
4. Светящийся шар радиусом $R = 40,0$ мм расположен на расстоянии $s = 100$ см от экрана. Посередине на перпендикуляре между центром этого шара и экраном расположен другой шар радиусом $r = 20,0$ мм. Площадь полутени на экране составляет ... см^2 .
5. Маленькое плоское зеркало расположено параллельно стене. Свет от укрепленного на стене источника падает на зеркало и, отражаясь, дает на стене «зайчик». Если зеркало передвигать параллельно стене со скоростью $v = 2$ м/с, то модуль скорости перемещения «зайчика» составит ... м/с.

6. Точка S движется между двумя плоскими зеркалами со скоростью, модуль которой $v = 1,5$ см/с, как показано на рисунке 28.4. Если положение точки в начальный момент времени определяется координатами $x_0 = 1,5$ см, $y_0 = 2,5$ см, то расстояние между двумя первыми ее изображениями через время $t = 3,0$ с после начала движения составит ... см.

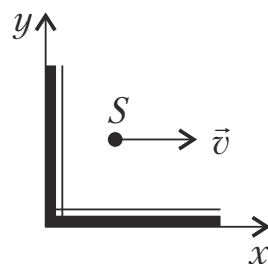


Рис. 28.4

7. Точка A движется со скоростью, модуль которой $v_A = 3,0$ см/с, зеркало — со скоростью, модуль которой $v = 2,0$ см/с, перпендикулярно точке, как это изображено на рисунке 28.5. Изображение точки движется со скоростью, модуль которой равен ... см/с.

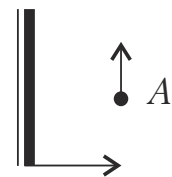


Рис. 28.5

8. Круглый бассейн радиусом $R = 4,0$ м заполнен водой до краев. На краю бассейна на высоте $H = 3,0$ м от поверхности воды висит лампа. Диаметрально к лампе на другом краю бассейна находится человек. Чтобы увидеть отражение лампы в воде, человек должен отойти от края бассейна на расстояние, которое не больше $l = 4,8$ м. Рост человека равен ... м.
- 9*. Уличный светильник расположен на высоте $H = 7,5$ м над уровнем поверхности дороги. Мальчик ростом $h = 1,5$ м идет по направлению к светильнику. В некоторый момент времени длина его тени $l_1 = 2,0$ м, а через промежуток времени $\Delta t = 4,0$ с длина тени $l_2 = 1,0$ м. Модуль скорости движения мальчика равен ... м/с.
10. Два источника S_1 и S_2 расположены на расстоянии $l = 105$ см друг от друга. Два плоских зеркала — одно на расстоянии $a_1 = 60,0$ см от источника S_1 , другое — на расстоянии $a_2 = 37,5$ см от источника S_2 — расположены так, что изображения источников совпадают. Угол между зеркалами равен ... град.

§ 29. Преломление света

■ Законы преломления света

1. Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.

2. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β для данных двух сред есть величина постоянная, называемая **относительным показателем преломления второй среды относительно первой**:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{v_1}{v_2},$$

где $n_1 = \frac{c}{v_1}$ и $n_2 = \frac{c}{v_2}$ — абсолютные показатели преломления первой и второй сред; v_1 и v_2 — модули скоростей света в средах 1 и 2.

Если луч света переходит из оптически более плотной среды n_1 в оптически менее плотную среду n_2 ($n_1 > n_2$), то при некотором угле падения происходит полное отражение света.

Угол падения α_0 , при котором угол преломления $\beta = 90^\circ$, называется **предельным углом полного отражения**.

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \text{ и } \alpha_0 = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right).$$

Тест А1

- При переходе света из первой среды во вторую угол падения $\alpha = 30^\circ$, а угол преломления $\beta = 60^\circ$. Относительный показатель преломления n_{12} первой среды относительно второй равен:

1) 0,5;	3) 1;	5) 2.
2) $\frac{1}{\sqrt{3}}$;	4) $\sqrt{3}$;	
- Световой луч проходит в вакууме расстояние $s_1 = 24$ см, а в оптически прозрачной среде за то же время — путь $s_2 = 12$ см. Показатель преломления среды равен:

1) 1,5;	3) 3,0;	5) 0,50.
2) 2,0;	4) 4,0;	
- В дно водоема глубиной $h = 2,0$ м вбита свая на $a = 0,75$ м, выступающая из воды. Если высота Солнца над горизонтом $\alpha = 45^\circ$, то длина тени от сваи на дне водоема составит:

1) 0,75;	3) 1,5;	
2) 1,0;	4) 2,0;	5) 2,8.
- Взаимно перпендикулярные лучи переходят из воздуха в жидкость. Если один луч преломляется под углом $\beta_1 = 36^\circ$, а другой — под углом $\beta_2 = 20^\circ$, то показатель преломления жидкости составляет:

1) 1,2;	3) 1,7;	5) 2,2.
2) 1,5;	4) 1,8;	
- Относительный показатель преломления второй среды относительно первой $n_{21} = 1,73$. Если угол между отраженным и преломленным лучами $\varphi = 90^\circ$, то угол падения луча равен:

1) 0° ;	3) 30° ;	5) 60° .
2) 15° ;	4) 45° ;	

6. Луч света падает на стеклянную пластинку толщиной $d = 3,0$ см под углом $\alpha = 60^\circ$. Показатель преломления стекла $n = 1,33$. Длина пути луча света в пластинке составляет ... см.
- 1) 1,8; 3) 3,9; 5) 4,8.
2) 2,6; 4) 4,4;
7. Если при угле падения $\alpha = 54,0^\circ$ угол преломления света в слюде $\beta = 30,0^\circ$, то модуль скорости света в слюде составляет:
- 1) $1,85 \cdot 10^8$ м/с; 3) $2,76 \cdot 10^8$ м/с; 5) $3,00 \cdot 10^8$ м/с.
2) $2,64 \cdot 10^8$ м/с; 4) $2,80 \cdot 10^8$ м/с;
8. Абсолютные показатели преломления воздуха, воды и стекла $n_1 = 1,0$, $n_2 = 1,3$, $n_3 = 1,5$. Явление полного внутреннего отражения может наблюдаться при переходе света: а) из воды в стекло; б) из стекла в воздух; в) из стекла в воду; г) из воды в воздух; д) через границу раздела любых сред. Правильными ответами являются:
- 1) все; 3) б, г; 5) б, в, г.
2) д; 4) а, в;
9. Относительный показатель преломления двух сред $n_{12} = 1,41$. Предельный угол полного отражения для этих сред равен:
- 1) $75,0^\circ$; 3) $45,0^\circ$; 5) $20,0^\circ$.
2) $60,0^\circ$; 4) $30,0^\circ$;
10. В жидкость с показателем преломления $n = 1,8$ помещен точечный источник света. На каком максимальном расстоянии над источником необходимо поместить диск диаметром $d = 2,0$ см, чтобы свет не выходил из жидкости в воздух?
- 1) 1,2 см; 3) 1,8 см; 5) 3,0 см.
2) 1,5 см; 4) 2,4 см;

Тест А2

1. Луч падает на поверхность воды с показателем преломления $n_1 = 1,3$ под углом $\alpha = 48^\circ$. Под каким углом он должен падать на поверхность стекла с показателем преломления $n_2 = 1,5$, чтобы угол преломления остался прежним?
- 1) 50° ; 3) 60° ; 5) 78° .
2) 59° ; 4) 67° ;
2. Под каким углом должен падать луч света из вакуума на поверхность материала с показателем преломления $n = 1,73$, чтобы угол преломления был в 2 раза меньше угла падения?
- 1) $30,0^\circ$; 3) $60,0^\circ$; 5) $88,0^\circ$.
2) $45,0^\circ$; 4) $75,0^\circ$;

3. При падении светового луча на границу раздела двух сред с абсолютными показателями преломления $n_1 = 1,33$ и $n_2 = 1,5$ луч частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения отраженный луч будет перпендикулярен преломленному?
1) 36° ; 2) 48° ; 3) 54° ; 4) 69° ; 5) 74° .
4. При переходе из первой среды во вторую угол преломления $\beta_{12} = 45^\circ$, а из первой в третью — $\beta_{13} = 30^\circ$ (при том же угле падения α). Предельный угол полного отражения для луча, падающего из третьей среды во вторую, составляет:
1) 30° ; 2) 38° ; 3) 45° ; 4) 52° ; 5) 60° .
5. Если на пути $a = 10$ мкм в стекле укладывается $N = 40$ длин волн монохроматического света с длиной волны в вакууме $\lambda = 0,40$ мкм, то показатель преломления стекла равен:
1) 1,5; 2) 1,6; 3) 1,7; 4) 1,8; 5) 2,1.
6. У призмы с преломляющим углом $\beta = 30^\circ$ одна грань посеребрена. Луч, падающий на другую грань под углом $\alpha = 60^\circ$, после преломления и отражения от посеребренной грани вернулся назад по прежнему направлению. Показатель преломления материала призмы равен:
1) 1,3; 2) 1,5; 3) 1,7; 4) 1,9; 5) 2,4.
7. Показатель преломления воды $n = 1,3$. На поверхности водоема глубиной $h = 2,0$ м находится круглый плот радиусом $R_1 = 8,0$ м. Если поверхность водоема освещается рассеянным светом, то радиус полной тени от плота на дне составляет:
1) 2,8 м; 2) 4,0 м; 3) 5,0 м; 4) 5,6 м; 5) 8,0 м.
8. В жидкость с показателем преломления $n = 1,8$ помещен источник света. На каком максимальном расстоянии над источником следует поместить диск диаметром $d = 4$ см, чтобы свет не вышел из жидкости?
1) 2 см; 3) 4 см; 5) 8 см.
2) 3 см; 4) 6 см;
9. На плоскопараллельную пластинку под углом $\alpha = 60^\circ$ падают два параллельных световых луча, расстояние между которыми $d = 3,0$ см. Расстояние между точками, в которых эти лучи выходят из пластинки, равно:
1) 1,5 см; 3) 4,5 см; 5) 7,5 см.
2) 3,0 см; 4) 6,0 см;
10. На дне реки лежит камень. Если человеку, смотрящему перпендикулярно на ее поверхность, камень кажется расположенным на глу-

бине $h = 100$ м, то истинная глубина реки составляет (показатель преломления воды $n = 1,33$):

- 1) 1,00 м; 3) 1,50 м; 5) 2,00 м.
 2) 1,33 м; 4) 1,67 м;

Тест В1

1. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом $\alpha = 45^\circ$, образует на нем светлое пятно. Если на бумагу положить стеклянную пластинку толщиной $a = 20$ мм, то пятно сместится на расстояние ... мм.
2. Луч белого света падает на поверхность воды под углом $\alpha = 60,0^\circ$. Угол между крайними красными и фиолетовыми лучами в воде (если их показатели преломления равны соответственно $n_1 = 1,329$ и $n_2 = 1,344$) составляет ... град.
3. Человек, находясь в бассейне, смотрит из-под воды на лампу на потолке, расположенную на расстоянии $d = 4,0$ м от поверхности воды. Кажущееся расстояние от поверхности воды до лампы составляет ... м.
4. В воздухе длина волны монохроматического света $\lambda_{\text{в}} = 600$ нм, в стекле — $\lambda_{\text{с}} = 420$ нм. Угол, под которым падает свет на плоскую границу раздела «воздух—стекло», если отраженный и преломленный лучи образуют угол $\varphi = 90^\circ$, равен ... град.
5. Луч света проходит последовательно через алмазную и стеклянную пластинки (показатели преломления $n_1 = 2,42$ и $n_2 = 1,57$). Чтобы время распространения света в них было одинаковым, отношение толщин этих пластинок $\frac{d_2}{d_1}$ должно составлять
6. Луч падает на плоскопараллельную пластинку из флинта ($n = 1,76$) под углом $\alpha = 45^\circ$. Если луч при выходе из нее сместился на $\Delta d = 20$ мм, то толщина пластинки составляет ... мм.
7. В воду опущен прямоугольный стеклянный клин ($n = 1,465$). Луч света, падающий нормально на верхнюю горизонтальную грань клина (рис. 29.1), испытает полное внутреннее отражение, если минимальное значение угла составит ... град.
8. На шар радиусом $R = 20$ мм, изготовленный из материала с показателем преломления $n_2 = 1,2$, меньшим, чем показатель преломления $n_1 = 1,5$ окру-

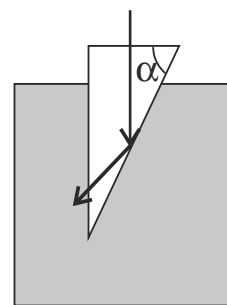


Рис. 29.1

жающей среды, падает пучок параллельных лучей. Радиус светового пучка, который может проникнуть в шар, составляет ... мм.

9. Световод представляет собой сплошной цилиндр из прозрачного материала, показатель преломления которого относительно воздуха $n = 1,3$. Луч света падает из воздуха на центр входного основания световода (рис. 29.2).

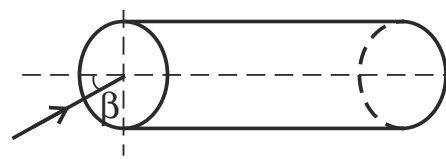


Рис. 29.2

Минимальное значение угла, при котором луч не выйдет за пределы световода, составляет ... град.

10. На стеклянную призму, сечение которой представляет равносторонний треугольник, падает перпендикулярно луч света. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Угол между направлениями падающего и вышедшего из призмы лучей составляет ... град.

Тест В2

- 1*. Узкий цилиндрический пучок света падает на сферический пузырек воздуха, находящийся в некоторой жидкости, так, что ось пучка проходит через центр пузырька. Если площадь сечения пучка на выходе из пузырька в $k = 4$ раза больше, чем на входе, то показатель преломления жидкости равен

2. Нижняя поверхность плоскопараллельной стеклянной пластины с показателем преломления $n = 1,56$ посеребрена. На пластину сверху падает луч света; в результате от нее отражаются два параллельных луча, идущие на расстоянии $a = 20$ мм друг от друга. Если угол падения луча $\alpha = 60^\circ$, то толщина пластины составляет ... мм.

3. Два параллельных световых луча падают на боковую поверхность прозрачного цилиндра параллельно его основанию (рис. 29.3). Расстояние между лучами равно радиусу цилиндра. Если лучи пересекаются на поверхности цилиндра, то показатель преломления n его материала равен

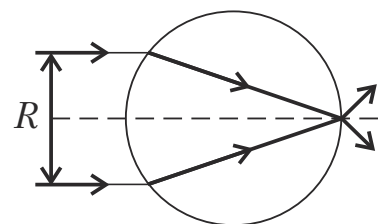


Рис. 29.3

4. На дне сосуда, заполненного водой, лежит плоское зеркало. Человек, наклонившийся над сосудом, видит изображение своего лица в зеркале на расстоянии $a_1 = 25$ см, если расстояние от лица до поверхности воды $a_2 = 5,0$ см. Если показатель преломления воды относительно воздуха $n = 1,33$, то глубина сосуда равна ... см.

- 5*. В сосуд налиты две несмешивающиеся жидкости с показателями преломления $n_1 = 1,3$ (сверху) и $n_2 = 1,5$ (снизу). Толщина верхнего слоя $a_1 = 3,0$ см, нижнего — $a_2 = 5,0$ см. Если на дно сосуда смотреть сверху через обе жидкости, то оно будет казаться расположенным на расстоянии от поверхности верхней жидкости, равном ... мм.
- 6*. Луч света входит в стеклянную призму под углом 2α , где $\alpha = 30^\circ$, и выходит из нее под углом α . Если преломляющий угол призмы равен $\frac{\alpha}{2}$, то угол отклонения луча призмой составляет ... град.
7. Световод изготовлен из материала, показатель преломления которого относительно воздуха $n = 1,12$. Луч света падает из воздуха на центр входного торца световода под углом α (рис. 29.4). Минимальное значение α , при котором луч будет идти внутри световода, не выходя за его пределы, составляет ... град.
8. На боковую грань призмы с преломляющим углом $\varphi = 45^\circ$, изготовленной из материала с показателем преломления $n = 2,0$, падает луч света. Наибольшее значение угла падения, при котором луч не выйдет из призмы, составляет ... град.
9. На плоскую поверхность стеклянного полушара падает нормально к ней монохроматический световой поток. Лучи, прошедшие через полушар, преломляются на сферической поверхности. Если показатель преломления стекла $n = 1,5$ и расстояние от сферической поверхности полушара до точки пересечения крайних лучей, преломленных на этой поверхности, $l = 4,1$ см, то радиус сферической поверхности равен ... см.
10. Точечный источник света отрывается от круглого пласта радиусом $R = 2,0$ м и падает вниз с ускорением, модуль которого $a = 16$ см/с². Абсолютный показатель преломления воды $n = 1,33$. Лучи света начнут выходить из воды в воздух через промежуток времени от начала падения, равный ... с.

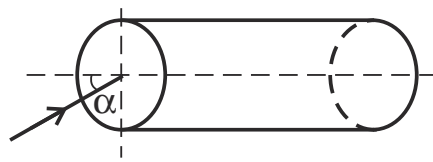


Рис. 29.4

§ 30. Линзы. Оптические приборы

Сферической линзой называется прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими поверхностями.

Формула тонкой линзы $\pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F}$, где d и f — расстояния от предмета до линзы и от линзы до изображения; F — фокусное расстояние линзы.

Знак «+» ставится, если d , f и F — расстояния от соответствующих действительных точек до линзы, знак «-» — для расстояний от линзы до соответствующих мнимых точек.

Под **линейным увеличением Γ линзы** понимают отношение линейного размера изображения H к линейному размеру предмета h :

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

Величина, обратная фокусному расстоянию, называется **оптической силой линзы** $D = \frac{1}{F}$ и измеряется в СИ в диоптриях (1 дптр); $1 \text{ дптр} = \frac{1}{F}$, 1 дптр соответствует оптической силе линзы с фокусным расстоянием 1 м.

Оптическая сила собирающей линзы $D > 1$, а рассеивающей $D < 1$.

Оптическая сила D системы двух линз, плотно прилегающих друг к другу: $D = D_1 + D_2$.

На рисунке 30.1 приведены два случая построения изображений предмета в собирающей линзе (а и б) и построение изображения в рассеивающей линзе (в).

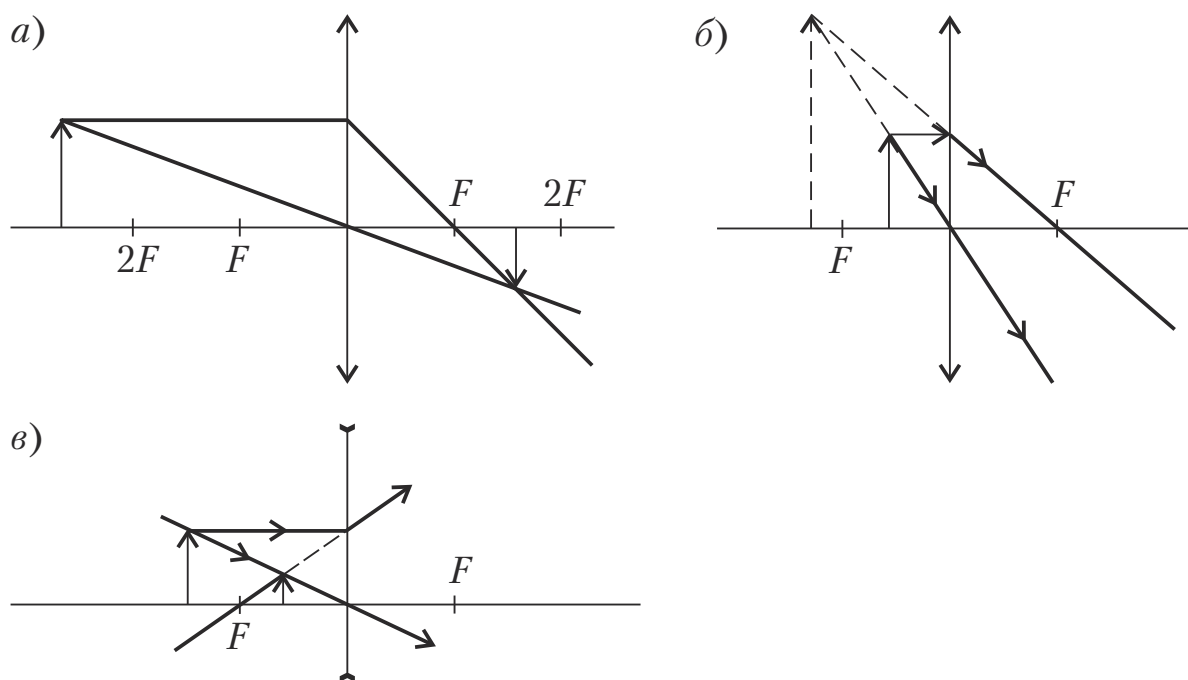


Рис. 30.1

Возможные варианты изображений предметов и их применение в оптических приборах приведены в таблице.

№	d	f	Γ	Применение
1	$d > 2F$	$F < f < 2F$	$\Gamma < 1$	Фотоаппарат
2	$d = 2F$	$f = 2F$	$\Gamma = 1$	
3	$F < d < 2F$	$f > 2F$	$\Gamma > 1$	Проектор
4	$d < F$	$ f > F$	$\Gamma > 1$	Лупа, микроскоп
5	Рассеивающая линза	$ f < F$	$\Gamma < 1$	

Тест А1

- Укажите правильные утверждения, касающиеся предмета и его изображения, полученного с помощью линзы:
 - мнимое изображение всегда прямое;
 - действительное изображение может быть и прямым, и перевернутым;
 - действительное изображение всегда перевернутое;
 - с помощью рассеивающей линзы можно получить только мнимое изображение;
 - с помощью собирающей линзы можно получить только действительное изображение.
 - а, в, г;
 - а, г, д;
 - в, г;
 - а, г;
 - б, в, д.
- Пучок лучей, параллельных главной оптической оси, после преломления в линзе расходится. Если продолжения лучей пересекаются на расстоянии $l = 16$ см от линзы, то ее оптическая сила составляет:
 - $-4,0$ дптр;
 - $-6,3$ дптр;
 - -32 дптр;
 - $+0,16$ дптр;
 - $+2,5$ дптр.
- Если изображение предмета, помещенного на расстоянии $d = 10$ см от собирающей линзы, получается на расстоянии $f = 20$ см от нее, то увеличение линзы равно:
 - 1,0;
 - 2,0;
 - 2,5;
 - 3,0;
 - 4,0.

Тест А2

1. На тонкую собирающую линзу падает сходящийся пучок лучей. Продолжения лучей пересекаются за линзой на расстоянии $l_1 = 50$ см, а преломленные лучи — на расстоянии $l_2 = 25$ см. Если обе точки лежат на главной оптической оси линзы, то ее фокусное расстояние составляет:
1) 25 см; 3) 50 см; 5) 100 см.
2) 33 см; 4) 75 см;
2. Если расстояние l от предмета до его изображения в $k = 5$ раз больше, чем расстояние d от предмета до линзы, то ее увеличение составляет:
1) 2; 2) 3; 3) 4; 4) 5; 5) 10.
3. Предмет расположен на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 20$ см от нее. Если действительное изображение предмета получено на расстоянии $4F$ от линзы (F — фокусное расстояние), то величина F равна:
1) 5,0 см; 3) 15 см; 5) 40 см.
2) 10 см; 4) 20 см;
4. С помощью линзы на экране получено изображение предмета, в 4 раза по площади большее, чем сам предмет. Если предмет расположен на расстоянии $d = 30$ см от линзы, то фокусное расстояние линзы равно:
1) 7,5 см; 3) 20 см; 5) 120 см.
2) 15 см; 4) 60 см;
5. Если мнимое изображение предмета, расположенного на расстоянии $d = 15$ см от собирающей линзы, получается на расстоянии $f = 30$ см от нее, то оптическая сила линзы равна:
1) 1,0 дптр; 3) 3,3 дптр; 5) 10 дптр.
2) 2,3 дптр; 4) 6,6 дптр;
6. Линейный размер H действительного изображения предмета в 2 раза больше предмета. Если расстояние от предмета до линзы $d = 40$ см, то расстояние от линзы до изображения равно:
1) 10 см; 3) 40 см; 5) 1,6 м.
2) 20 см; 4) 80 см;
7. Предмет расположен на расстоянии $d = 50$ см от линзы с оптической силой $D = 2,5$ дптр. Если предмет приблизить к линзе на $\Delta d = 5,0$ см, то его изображение увеличится:
1) в 0,50 раза; 3) в 1,4 раза; 5) в 2,0 раза.
2) в 1,1 раза; 4) в 1,8 раза;

8. Источник света расположен на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d_1 = 20$ см от нее, а его мнимое изображение — на расстоянии $f_1 = 30$ см. Если источник будет находиться на расстоянии $d_2 = 10$ см от линзы, то расстояние от его изображения до линзы составит:
- 1) 6,0 см; 3) 12 см; 5) 45 см.
2) 6,7 см; 4) 15 см;
9. Рассеивающую линзу с оптической силой $D = -0,5$ дптр перемещают вдоль главной оптической оси относительно предмета. Перемещение, при котором линейное увеличение возрастет от $\Gamma_1 = 0,2$ до $\Gamma_2 = 0,5$, составляет:
- 1) 2 м; 3) 6 м; 5) 9 м.
2) 4 м; 4) 8 м;
10. Фокусное расстояние собирающей линзы $F = 10$ см, расстояние от предмета до переднего фокуса $l = 5$ см. Если линейный размер предмета $h = 2$ см, то размер его действительного изображения равен:
- 1) 1 см; 3) 3 см; 5) 5 см.
2) 2 см; 4) 4 см;

Тест В1

1. Ось X прямоугольной системы координат $(x; y)$ совпадает с главной оптической осью линзы. Если источнику света, расположенному в точке с координатами $(10 \text{ м}; 5,0 \text{ м})$, соответствует изображение с координатами $(40 \text{ м}; -10 \text{ м})$, то оптическая сила линзы составляет ... дптр.
2. Ось X прямоугольной системы координат $(x; y)$ совпадает с главной оптической осью линзы. Если источнику света, расположенному в точке с координатами $(10 \text{ м}; 5,0 \text{ м})$, соответствует изображение с координатами $(50 \text{ м}; -15 \text{ м})$, то x — координата оптического центра линзы составляет ... м.
3. Если изображение предмета, помещенного перед линзой на расстоянии $d = 50$ см, мнимое и уменьшенное в $k = 3$ раза, то оптическая сила линзы будет равна ... дптр.
4. Собирающая линза дает прямое увеличенное изображение предмета, перпендикулярного главной оптической оси. Расстояние между изображением и предметом $l = 90$ см. Фокусное расстояние линзы, если линейное увеличение предмета при этом $\Gamma = 4$, составляет ... см.

5. На пути сходящегося пучка поставили собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 10$ см, в результате чего лучи сошлись на расстоянии $l_1 = 5,0$ см от линзы. Если линзу убрать, то расстояние от места, где она стояла, до точки схождения лучей в этом случае составит ... см.
6. На тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 50$ см падает сходящийся пучок лучей так, что их продолжения пересекаются в заднем фокусе. При этом преломленные лучи пересекутся на расстоянии от линзы, равном ... см.
7. Узкий параллельный пучок лучей пересекает оптический центр линзы под углом $\alpha = 30^\circ$ к главной оптической оси. Если точка пересечения лучей за линзой расположена на расстоянии $l = 1,0$ м от оптического центра, то фокусное расстояние линзы составляет ... см.
- 8*. На экране получено два четких изображения одного предмета при двух разных положениях линзы между предметом и экраном. Если высота одного изображения $H_1 = 2$ см, а другого — $H_2 = 8$ см, то высота предмета составляет ... см.
9. Для того чтобы весь фасад здания уместился на кадре пленки размером $H_1 \times H_2 = 24 \times 36$ мм, здание длиной $l = 50$ м надо фотографировать с минимального расстояния ... м. Фокусное расстояние объектива $F = 50$ мм.
10. Диапозитив имеет размеры $h_1 \times h_2 = 8,0 \times 8,0$ см. Расстояние от объектива проектора до экрана $f = 4,0$ м. На экране наблюдают резкое изображение диапозитива. Размер изображения $2,0$ м \times $2,0$ м. Оптическая сила объектива проектора равна ... дптр.

Тест В2

1. Если предмет расположен на расстоянии $l_1 = 10$ см от переднего фокуса собирающей линзы, а экран, на котором получается изображение предмета, расположен на расстоянии $l_2 = 40$ см от заднего фокуса линзы, то фокусное расстояние линзы равно ... см.
- 2*. С помощью тонкой линзы получают двукратно увеличенное действительное изображение предмета. Затем линзу передвигают на расстояние $l = 10$ см и получают мнимое изображение такого же размера. Фокусное расстояние линзы составляет ... см.
3. Точечный источник света описывает окружность в плоскости, перпендикулярной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 7$ см. Изображение источника наблюдается на экране, расположенном на расстоянии $f = 0,35$ м от линзы.

Модули ускорений, с которыми движутся изображение и источник, различаются в ... раз (раза).

- 4*. Расстояние l между двумя точечными источниками света, расположенными на главной оптической оси линзы, 24 см. Фокусное расстояние линзы $F = 9,0$ см. Если изображения обоих источников наблюдаются в одной точке, то расстояние от линзы до одного из источников составляет ... см.
- 5*. Точечный источник света расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии $a = 30$ см от линзы. На экране, расположенном перпендикулярно главной оптической оси на расстоянии $l_1 = 10$ см от линзы, наблюдается светлое пятно. Размеры пятна не изменяются, если экран расположить на расстоянии $l_2 = 20$ см от линзы. Фокусное расстояние линзы равно ... см.
6. Линза формирует действительное изображение, увеличенное в 3 раза. Если при неизменном расстоянии между предметом и линзой ее оптическую силу D уменьшить вдвое, то увеличение Γ составит ...
7. Расстояние между предметом и экраном $l = 3,0$ м. Линза, помещенная между ними, дает четкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми $\Delta l = 1,0$ м. Фокусное расстояние линзы равно ... см.
8. Съемка чертежа размером $h_1 \times h_2 = 30$ см \times 40 см производится фотоаппаратом, фокусное расстояние объектива которого $F_1 = 20$ см. Расстояние от объектива до чертежа $d = 1,6$ м. Чтобы изображение чертежа точно уложилось на фотопластинку размером $H_1 \times H_2 = 9,0$ см \times 12 см, фокусное расстояние насадочной линзы должно быть ... см.
9. Расстояние наилучшего зрения человека $d = 10$ см. Оптическая сила очков, которые нужны человеку для исправления близорукости, составляет ... дптр.
10. Расстояние наилучшего зрения человека $d = 50$ см. Оптическая сила очков, которые нужны человеку для исправления дальзорукости, составляет ... дптр.

Обобщающий тест № 8

1. В воздухе интерферируют когерентные световые волны с частотой $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц. Если разность хода двух световых волн, пришедших в некоторую точку, $\Delta x = 2,4$ мкм, то в этой точке будет наблюдаться:

- 1) ослабление света, так как разность хода равна четному числу полуволен;
 - 2) ослабление света, так как разность хода равна нечетному числу полуволен;
 - 3) усиление света, так как разность хода равна нечетному числу полуволен;
 - 4) усиление света, так как разность хода равна четному числу полуволен;
 - 5) при данных численных значениях интерференция наблюдаться не будет.
2. На дифракционную решетку с периодом $d = 1,0$ мкм перпендикулярно к ней падает световая волна. Если угол между первыми симметричными главными максимумами $\alpha = 60^\circ$, то длина световой волны равна:
- 1) 0,20 мкм;
 - 2) 0,40 мкм;
 - 3) 0,50 мкм;
 - 4) 0,60 мкм;
 - 5) 0,70 мкм.
3. На дифракционную решетку, имеющую штрихи в количестве $N = 200$ на $l = 1,00$ мм, падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Расстояние от решетки до экрана $L = 1,0$ м. Расстояние от центрального до первого максимума равно:
- 1) 2,0 см;
 - 2) 4,5 см;
 - 3) 6,0 см;
 - 4) 8,2 см;
 - 5) 10 см.
4. Период дифракционной решетки $d = 5,0$ мкм. Общее число дифракционных максимумов для желтой линии Na с длиной волны $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7}$ м равно:
- 1) 7;
 - 2) 11;
 - 3) 13;
 - 4) 15;
 - 5) 17.
5. Высота Солнца над горизонтом $\varphi = 50^\circ$. Чтобы отразившиеся от плоского зеркала солнечные лучи распространялись вертикально вверх, угол падения лучей на зеркало должен быть равен:
- 1) 54° ;
 - 2) 42° ;
 - 3) 36° ;
 - 4) 25° ;
 - 5) 20° .
6. При переходе луча света из первой среды во вторую угол падения $\alpha = 30^\circ$, а угол преломления $\beta = 60^\circ$. Относительный показатель преломления первой среды относительно второй равен:
- 1) 0,5;
 - 2) $\frac{1}{\sqrt{3}}$;
 - 3) 1;
 - 4) $\sqrt{3}$;
 - 5) 2.

7. Луч света распространяется в оптическом волокне в течение времени $\Delta t = 2,0$ мкс. Если предельный угол полного отражения для границы «волокно—воздух» $\alpha = 60^\circ$, то длина волокна равна:
 1) 0,52 км; 3) 0,39 км; 5) 0,26 км.
 2) 0,46 км; 4) 0,33 км;
8. На плоскопараллельную стеклянную пластинку из воздуха падает световой луч. Угол падения луча $\alpha = 30^\circ$. Толщина стеклянной пластинки, если показатель преломления стекла $n = 1,5$, а время распространения света в пластинке $\Delta t = 0,025$ нс, составляет:
 1) 1,6 мм; 3) 4,7 мм; 5) 7,6 мм.
 2) 3,2 мм; 4) 6,2 мм;
9. Предельный угол полного отражения для стекла $\alpha_0 = 45^\circ$. Модуль скорости света в стекле равен:
 1) $\frac{c}{2}$; 2) $\frac{c\sqrt{2}}{2}$; 3) $\frac{c\sqrt{3}}{2}$; 4) $\frac{3}{4}c$; 5) $\frac{2c}{\sqrt{2}}$.
10. В дно озера вбита свая высотой $H = 4,0$ м, выступающая из воды на высоту $h = 1,0$ м. Лучи Солнца падают на поверхность воды под углом $\alpha = 45^\circ$. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$. Длина тени сваи на дне озера равна:
 1) 1,6 м; 3) 2,4 м; 5) 3,6 м.
 2) 1,9 м; 4) 2,9 м;
11. Луч света падает на плоскопараллельную пластинку с коэффициентом преломления $n = 1,5$ под углом $\alpha = 60^\circ$. Если при выходе из пластинки луч смещается на расстояние $d = 2,0$ см, то толщина пластинки равна:
 1) 12 мм; 3) 32 мм; 5) 65 мм.
 2) 24 мм; 4) 39 мм;
12. На дне озера лежит камень. Истинная глубина h реки, если человеку, смотрящему перпендикулярно ее поверхности, она кажется равной 3 м, составляет (показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$):
 1) 2 м; 3) 5 м; 5) 7 м.
 2) 4 м; 4) 6 м;
13. Если изображение предмета, помещенного на расстоянии $d = 15$ см от собирающей линзы, получается на расстоянии $f = 30$ см от нее, то увеличение линзы равно:
 1) 20; 3) 2,0; 5) 0,20.
 2) 4,5; 4) 0,45;

14. Чтобы изображение предмета было мнимым и увеличенным в $n = 4$ раза, его надо расположить на расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см, равном:
- 1) 80 см;
 - 2) 15 см;
 - 3) 10 см;
 - 4) 5,0 см;
 - 5) для собирающей линзы изображение не может быть мнимым.
15. С помощью линзы получают двукратно увеличенное действительное изображение предмета. Затем линзу перемещают на расстояние $a = 10$ см и получают мнимое изображение такого же размера. Фокусное расстояние линзы равно:
- 1) 2,0 см;
 - 2) 5,0 см;
 - 3) 7,0 см;
 - 4) 10 см;
 - 5) 13 см.
16. Известно, что изображение предмета, помещенного перед линзой на расстоянии $d = 0,5$ м, мнимое и уменьшенное в $k = 3$ раза. Оптическая сила линзы равна:
- 1) -4 дптр;
 - 2) -2 дптр;
 - 3) 2 дптр;
 - 4) 4 дптр;
 - 5) 8 дптр.
17. Роговая оболочка глаза имеет оптическую силу $D_1 \approx 40$ дптр, а хрусталик $D_2 \approx 20$ дптр. Фокусное расстояние глаза равно:
- 1) 1,1 см;
 - 2) 1,2 см;
 - 3) 1,4 см;
 - 4) 1,5 см;
 - 5) 1,7 см.
18. Лупа позволяет получить пятикратное увеличение. Оптическая сила этой лупы равна:
- 1) 5 дптр;
 - 2) 10 дптр;
 - 3) 20 дптр;
 - 4) 25 дптр;
 - 5) -10 дптр.
19. Расстояние, с которого надо фотографировать здание длиной $l = 50$ м, чтобы весь фасад здания уместился на кадре пленки размером $H_1 \times H_2 = 24$ мм \times 36 мм при фокусном расстоянии объектива $F = 50$ мм, составляет:
- 1) 36 м;
 - 2) 42 м;
 - 3) 54 м;
 - 4) 69 м;
 - 5) 86 м.
20. Расстояние наилучшего зрения для дальновзоркого человека $d = 50$ см. Для исправления дальновзоркости человеку необходимо приобрести очки с оптической силой:
- 1) 1,5;
 - 2) 2,0;
 - 3) 2,5;
 - 4) 3,0;
 - 5) 3,5.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

§ 31. Постулаты специальной теории относительности (СТО)

1. В инерциальных системах отсчета (ИСО) все физические явления при одинаковых начальных условиях протекают одинаково.
2. Скорость света в вакууме во всех ИСО одинакова и не зависит от скорости движения источника света и приемника света.

■ Следствия из постулатов теории относительности

1. Преобразования координат и времени (преобразование Лоренца).

Система отсчета $K'(x', y', z', t')$ движется относительно системы отсчета $K(x, y, z, t)$ со скоростью, модуль которой v вдоль оси Ox . Если в начальный момент времени $t = t' = 0$ оси обеих систем совпадают, то:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

2. Релятивистское сокращение длины.

Если в движущейся системе отсчета K' длина тела равна l_0 (собственная длина), то в системе отсчета K длина тела

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

3. Релятивистское замедление времени.

Если интервал времени, измеренный по часам в системе отсчета K' , равен τ_0 (собственное время), то в системе отсчета K этот интервал времени

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

4. Релятивистский закон сложения скоростей.

Если в системе отсчета K' тело движется со скоростью \vec{v}_1 , а сама система отсчета K' движется относительно системы отсчета K со скоростью \vec{v}_2 , параллельной \vec{v}_1 , то в системе отсчета K модуль скорости тела

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

5. Релятивистский импульс тела.

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m — масса тела; v — модуль скорости движущегося тела.

6. Закон взаимосвязи массы и энергии.

Если масса покоящегося тела в системе отсчета, в которой оно покоится, m , то энергия покоя $W_0 = mc^2$.

Полная энергия тела $W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$

Кинетическая энергия тела $W_{\text{к}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2.$

7. Второй закон Ньютона.

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F},$$

где $\Delta \vec{p}$ — изменение релятивистского импульса за время Δt ; \vec{F} — равнодействующая сила, действующая на тело.

Тест А1

1. Два фотона движутся навстречу друг другу в вакууме. Относительная скорость сближения частиц равна:

- 1) c ; 3) $c\sqrt{2}$; 5) $c\sqrt{3}$.
 2) $2c$; 4) $\frac{c\sqrt{3}}{2}$;

2. На нейтральную частицу действует постоянная сила, направленная вдоль ее скорости. Согласно теории относительности модуль ускорения частицы должен:
- 1) оставаться постоянным;
 - 2) постепенно уменьшаться;
 - 3) постепенно увеличиваться;
 - 4) сначала уменьшаться, а затем оставаться постоянным;
 - 5) определенный ответ дать нельзя.
3. Космический корабль движется в инерциальной системе отсчета со скоростью, модуль которой $v = 0,800c$. Если собственная длина корабля $l_0 = 300$ м, то длина корабля в этой системе отсчета равна:
- 1) 180 м;
 - 2) 250 м;
 - 3) 300 м;
 - 4) 360 м;
 - 5) 400 м.
4. Если нестабильная частица движется со скоростью, модуль которой $k = 99\%$ модуля скорости света, то продолжительность ее существования (по часам неподвижного наблюдателя) увеличивается:
- 1) в 3,0 раза;
 - 2) в 3,5 раза;
 - 3) в 7,1 раза;
 - 4) в 8,5 раза;
 - 5) в 9,5 раза.
5. Протон с массой покоя m_0 в ускорителе приобрел скорость, модуль которой $v = 0,999c$. Импульс движущегося протона стал равен:
- 1) $1,00m_0c$;
 - 2) $7,10m_0c$;
 - 3) $22,3m_0c$;
 - 4) $31,6m_0c$;
 - 5) $44,8m_0c$.
6. Если кинетическая энергия частицы $W_k = 0,50mc^2$, то модуль ее скорости равен:
- 1) $0,25c$;
 - 2) $0,50c$;
 - 3) $0,75c$;
 - 4) $0,80c$;
 - 5) $0,90c$.
7. Для того чтобы импульс релятивистского электрона был втрое больше импульса электрона, рассчитанного по формуле классической физики, электрон должен двигаться со скоростью, модуль которой:
- 1) $\frac{1}{\sqrt{3}}c$;
 - 2) $\frac{\sqrt{2}}{3}c$;
 - 3) $\frac{2\sqrt{2}}{3}c$;
 - 4) $\frac{\sqrt{2}}{2}c$;
 - 5) $\frac{\sqrt{3}}{2}c$.
8. Масса тела $m = 10$ г. Энергия покоя этого тела равна:
- 1) $3,0 \cdot 10^5$ Дж;
 - 2) $3,0 \cdot 10^5$ кВт·ч;
 - 3) $3,0 \cdot 10^8$ Дж;
 - 4) $2,5 \cdot 10^7$ кВт·ч;
 - 5) $13 \cdot 10^7$ кВт·ч.

9. Закон взаимосвязи массы m и энергии W в теории относительности имеет вид (m_0 — масса покоя, m — масса движущейся частицы, v — модуль скорости движущейся частицы, p — релятивистский импульс):

$$1) W = m_0 c^2 + \frac{mv^2}{2}; \quad 3) p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad 5) W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

$$2) W = hv; \quad 4) W = \frac{mc^2}{2};$$

10. При слиянии двух частиц одинаковой массы покоя m_0 выделяется энергия W . Масса покоя получившейся в результате слияния частицы равна:

$$1) 2m_0 + \frac{W}{c^2}; \quad 3) 2m_0 c^2 + W; \quad 5) 2m_0 c^2 - W.$$

$$2) 2m_0 - \frac{W}{c^2}; \quad 4) 2m_0 - Wc^2;$$

Тест А2

1. Две частицы движутся вдоль общей прямой со скоростями, модули которых $u_1 = 0,60c$ и $u_2 = 0,80c$, навстречу друг другу. Модуль относительной скорости сближения частиц равен:

$$1) 1,4c; \quad 3) 0,95c; \quad 5) 0,87c.$$

$$2) 1,2c; \quad 4) 0,90c;$$

2. Модуль скорости движения тела, при котором его продольные размеры сокращаются в $k = 5$ раз, составляет:

$$1) 0,5c; \quad 3) 0,9c; \quad 5) 0,98c.$$

$$2) 0,75c; \quad 4) 0,92c;$$

3. При каком модуле скорости движения стержня релятивистское сокращение его длины $\frac{\Delta l}{l_0}$ составит 50 %?

$$1) 0,5c; \quad 3) 0,87c; \quad 5) 0,95c.$$

$$2) 0,75c; \quad 4) 0,9c;$$

4. Мюон, родившийся в верхних слоях атмосферы, движется со скоростью, модуль которой $v = 0,99c$. Собственное время жизни мюона $t = 2,33 \cdot 10^{-6}$ с. С точки зрения земного наблюдателя, время жизни мюона равно:

$$1) 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ с}; \quad 3) 1,66 \cdot 10^{-6} \text{ с}; \quad 5) 4,82 \cdot 10^{-7} \text{ с}.$$

$$2) 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ с}; \quad 4) 3,20 \cdot 10^{-7} \text{ с};$$

5. Электрон движется со скоростью, модуль которой $v = 0,80c$. Модуль импульса этого электрона равен (m_0 — масса покоя электрона):
 1) $0,80m_0c$; 3) $1,33m_0c$; 5) $1,67m_0c$.
 2) m_0c ; 4) $1,46m_0c$;
6. Частица движется со скоростью, модуль которой $v = 0,600c$. Во сколько раз релятивистская масса m частицы больше массы покоя m_0 ?
 1) В 1,10 раза; 3) в 1,40 раза; 5) в 1,67 раза.
 2) в 1,25 раза; 4) в 1,50 раза;
7. Объем воды в озере $V = 2,00 \cdot 10^3$ км³. Температура воды в озере повысилась на $\Delta t = 2,00$ °С. Масса воды в озере увеличилась на:
 1) 2,00 кг; 3) 20,2 кг; 5) 187 кг.
 2) 2,43 кг; 4) 24,5 кг;
8. Электрон движется со скоростью, модуль которой $v = 0,800c$. Релятивистская энергия такого электрона равна:
 1) $1,20mc^2$; 3) $1,67mc^2$; 5) $3,00mc^2$.
 2) $1,50mc^2$; 4) $2,00mc^2$;
9. Электрон движется со скоростью, модуль которой $v = 0,90c$. Кинетическая энергия электрона равна:
 1) 0,33 МэВ; 3) 0,61 МэВ; 5) 0,75 МэВ.
 2) 0,51 МэВ; 4) 0,66 МэВ;
10. Модуль скорости движения частицы, при котором кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя, составляет:
 1) $\frac{1}{2}c$; 3) $\frac{c\sqrt{3}}{2}$; 5) $0,9c$.
 2) $\frac{c}{\sqrt{2}}$; 4) $0,8c$;

Тест В1

1. Относительно Земли со скоростью, модуль которой $v = \frac{c}{3}$, движется космический корабль. Внутри корабля в направлении его движения перемещается тело, модуль скорости которого $v = \frac{2}{3}c$ относительно корабля. С точки зрения земного наблюдателя, модуль скорости этого тела равен ... м/с.
2. К прямоугольнику, длина сторон которого $a = 100$ м и $b = 200$ м, в направлении, параллельном длинной стороне, движется наблю-

датель со скоростью, модуль которой $v = 0,6c$. Площадь прямоугольника в системе наблюдателя равна ... м².

3. В верхних слоях атмосферы рождаются мюоны, модуль скорости движения которых $v = 0,992c$. До распада эти частицы по оценке земных наблюдателей успели пройти путь $s = 3000$ м. Путь, пройденный мюоном в его собственной системе координат, равен ... м.
4. На спутнике, движущемся по околоземной орбите, находятся часы, синхронизированные до полета с земными. По часам, находящимся на спутнике, прошло время $t = 365$ дней. Эти часы отстали от часов земного наблюдателя на время ... с.
5. Тело движется со скоростью, модуль которой $v = 0,900c$. Плотность тела при таком движении увеличилась в ... раз (раза).
6. Общая мощность излучения Солнца составляет $P = 3,84 \cdot 10^{26}$ Вт. За счет излучения масса Солнца уменьшается за время $\Delta t = 100$ с на ... кг.
7. Тело теплоемкостью $C = 1,0$ МДж нагрели на температуру $\Delta t = 2000$ °С. Масса тела увеличилась на ... мкг.
8. Отношение модуля скорости движения частицы к модулю скорости света в вакууме, при котором кинетическая энергия частицы в $k = 2$ раз больше ее энергии покоя, составляет
9. Чтобы полная энергия электрона стала в $n = 9,0$ раза больше энергии покоя $W_0 = 0,511$ МэВ, частица должна пройти ускоряющую разность потенциалов, равную ... МВ.
10. Электрон (без начальной скорости) прошел в электрическом поле разность потенциалов $\Delta\phi = 1,00$ МВ. Модуль скорости электрона стал равен ... м/с.

Тест В2

- 1*. Космический корабль движется относительно одной инерциальной системы отсчета со скоростью, модуль которой $v = 0,8c$, а относительно другой инерциальной системы отсчета — со скоростью, модуль которой $v' = 0,5$ с. Отношение модулей скорости одной инерциальной системы отсчета относительно другой к скорости света в вакууме равно
2. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость, модуль которой $u = 0,60$ с. Радиоактивное ядро в направлении своего движения испустило β -частицу с модулем скорости $v = 0,80c$ относительно

- ускорителя. Отношение модуля скорости β -частицы к модулю скорости света в вакууме равно
- 3*. Чтобы продольные размеры электрона уменьшились в $k = 2$ раза, электрон должен пройти ускоряющую разность потенциалов, равную ... кВ.
 - 4*. Скорость v релятивистской частицы меньше скорости света в вакууме на $k = 0,20\%$. За время Δt своей жизни (от рождения до распада) частица пролетела расстояние $s = 600$ м. Собственное время жизни частицы равно ... мкс.
 5. Радиус окружности, по которой движется электрон в магнитном поле, модуль индукции которого $B = 120$ мТл, $R = 120$ мм. Отношение модулей скорости электрона и скорости света в вакууме равно
 6. Электрон, модуль скорости которого $v = 0,800c$, движется по окружности в магнитном поле, модуль индукции которого B . Радиус r окружности, по которой движется релятивистский электрон, больше радиуса R окружности электрона, рассчитанной по классическим формулам, в ... раз (раза).
 7. Если кусок льда, находящийся при температуре $\Delta t = 0$ °С, расплавить, полученную воду нагреть до температуры кипения при нормальном атмосферном давлении, а затем превратить в пар, то процентное изменение массы, умноженное на 10^9 , будет равно
 8. Масса Солнца $M = 1,97 \cdot 10^{30}$ кг. Каждую минуту Солнце излучает энергию в количестве $W = 6,50 \cdot 10^{21}$ кВт·ч. Считая, что излучение Солнца не изменяется, Солнце потеряет 20 % массы через ... лет.
 9. Покоящийся электрон поглотил γ -фотон с длиной волны $\lambda = 8,1 \times 10^{-12}$ м. Отношение массы электрона после реакции к массе покоящегося электрона равно
 10. Величина ускоряющего напряжения, необходимого для увеличения модуля скорости электрона от $v_1 = 0,50c$ до $v_2 = 0,90c$, равна ... МВ.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

§ 32. Квантовая физика. Фотоэффект. Давление света

Свет испускается, распространяется и поглощается квантами, энергия которых $W_{\phi} = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$, где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка; ν — частота света; λ — длина волны.

Фотоны (кванты) не имеют массы покоя. Масса движущегося фотона $m = \frac{h}{c\lambda}$; модуль импульса фотона $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} = \frac{W_{\phi}}{c}$.

При попадании фотонов на вещество происходит взаимодействие фотонов с электронами. Если энергия фотонов достаточно велика, то возникает фотоэффект и энергия фотонов передается электронам вещества. При внешнем фотоэффекте электроны при облучении вылетают из вещества.

Экспериментально установлены следующие законы фотоэффекта.

1. Максимальное число фотоэлектронов, вырываемых из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности падающего излучения.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего излучения, а линейно зависит от частоты света.
3. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта — минимальная частота падающего света, при котором электроны еще вылетают из металла.

Согласно А. Эйнштейну, квант света полностью передает свою энергию $h\nu$ электрону, и эта энергия расходуется на работу выхода $A_{\text{вых}}$ электронов из вещества и на сообщение электрону кинетической энергии:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}.$$

Если на анод подать отрицательный потенциал, а на катод — положительный, то фотоэлектроны будут тормозиться и задерживающее напряжение U_3 , при котором электроны не будут достигать анода, определяется из уравнения $eU_3 = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$, где e — заряд электрона.

$$\text{Красная граница фотоэффекта } \nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}.$$

Так как фотоны обладают импульсом, то при попадании на вещество передают его телу, оказывая световое давление. Для полностью поглощающей поверхности давление

$$p_1 = \frac{W}{cSt},$$

где W — энергия излучения, падающего нормально к поверхности площадью S в течение t секунд.

$$\text{Для зеркальной поверхности } p_2 = \frac{2W}{cSt}.$$

Тест А1

- Энергия фотона $W_{\text{ф}} = 2,00$ эВ. Длина волны фотона равна:
 - 690 нм;
 - 620 нм;
 - 400 нм;
 - 380 нм;
 - 200 нм.
- Имеется два фотона с различными энергиями. Известно, что энергия первого фотона меньше энергии второго фотона в $k = 2$ раза. Длина волны первого фотона:
 - больше длины волны второго фотона на 50 %;
 - меньше длины волны второго фотона на 50 %;
 - больше длины волны второго фотона на 67 %;
 - больше длины волны второго фотона на 100 %;
 - длины волн обоих фотонов одинаковы.
- Имеется два фотона с различными импульсами. Известно, что модуль импульса первого фотона больше модуля импульса второго в 1,5 раза. Длина волны первого фотона:
 - меньше длины волны второго фотона на 33 %;
 - больше длины волны второго фотона на 100 %;
 - меньше длины волны второго фотона на 50 %;
 - меньше длины волны второго фотона на 100 %;
 - длины волн обоих фотонов одинаковы.
- Длина волны фотона λ . Если h — постоянная Планка, c — скорость света в вакууме, то энергия W и импульс фотона равны:
 - $\frac{h\lambda}{c}, \frac{h}{c}$;
 - $\frac{hc}{\lambda}, \frac{h}{\lambda}$;
 - $\frac{h}{\lambda c}, \frac{\lambda}{h}$;
 - $\frac{c}{h\lambda}, \frac{h\lambda}{c}$;
 - $\frac{\lambda c}{h}, \frac{h}{\lambda c}$.

5. Если h — постоянная Планка, c — модуль скорости света в вакууме и источник света испускает за время $t = 1$ с n_0 фотонов с частотой ν , то энергия W , излучаемая источником света за t с, равна:

- 1) $h\nu n_0$; 3) $\frac{hn_0 t}{\nu c}$; 5) $h\nu c n_0 t$.
 2) $h\nu n_0 t$; 4) $\frac{h\nu^2 n_0 t}{c}$;

6. Для вольфрама красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} = 280$ нм. Работа выхода электронов из вольфрама равна:

- 1) 5,5 эВ; 3) 3,5 эВ; 5) 1,5 эВ.
 2) 4,4 эВ; 4) 2,5 эВ;

7. Длина волны красной границы фотоэффекта для железа, если работа выхода железа $A_{\text{ж}} = 4,40$ эВ, составляет:

- 1) 451 нм; 3) 282 нм; 5) 71,0 нм.
 2) 446 нм; 4) 141 нм;

8. Если при облучении катода электронной трубки светом с энергией фотона $W = 10$ эВ оказалось, что задерживающая разность потенциалов $U_{\text{з}} = 8,0$ В, то работа выхода электронов из катода равна:

- 1) 2,0 эВ; 3) 8,0 эВ; 5) 18 эВ.
 2) 4,0 эВ; 4) 12 эВ;

9. На рисунке 32.1 представлены зависимости задерживающей разности потенциалов $U_{\text{з}}$ от частоты ν падающего света для трех различных фотокатодов. Наименьшая работа выхода у металла:

- 1) 1;
 2) 2;
 3) 3;
 4) работы выхода для всех трех фотокатодов одинаковы;

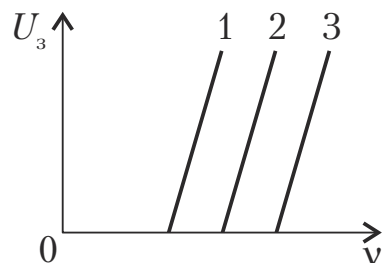


Рис. 32.1

5) задерживающая разность потенциалов не зависит от металла фотокатода.

10. Поверхность металла освещается ультрафиолетовым монохроматическим светом с длиной волны λ . Работа выхода электронов из металла A . Минимальная разность потенциалов $U_{\text{мин}}$, которая требуется, чтобы прекратить фототок, равна:

- 1) $\frac{hc}{\lambda|e|}$; 3) $\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)\frac{1}{|e|}$; 5) $\frac{Ahc}{\lambda|e|}$.
 2) $\left(\frac{hc}{\lambda} + A\right)\frac{1}{|e|}$; 4) $\frac{A}{|e|}$;

Тест А2

1. Чувствительность сетчатки глаза к желтому свету с длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм $W = 1,7 \cdot 10^{-17}$ Дж. Минимальное число фотонов, необходимых для восприятия светового импульса, равно:
 - 1) 20;
 - 2) 42;
 - 3) 51;
 - 4) 82;
 - 5) 98.
2. Источник света мощностью $P = 25$ Вт излучает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 490$ нм. Коэффициент полезного действия источника равен 0,10 %. Число фотонов, излучаемых источником света за время $t = 1,0$ с, равно:
 - 1) $6,2 \cdot 10^{16}$;
 - 2) $9,1 \cdot 10^{16}$;
 - 3) $2,1 \cdot 10^{17}$;
 - 4) $3,1 \cdot 10^{17}$;
 - 5) $2,1 \cdot 10^{18}$.
3. Длительность лазерного импульса t . В импульсе испускается N фотонов с длиной волны λ . Постоянная Планка h . Средняя мощность излучения лазера равна:
 - 1) $\frac{hc}{t} N$;
 - 2) $\frac{hc}{\lambda t} N$;
 - 3) $\frac{h\lambda}{ct} N$;
 - 4) $\frac{hN\lambda}{c}$;
 - 5) $\frac{hcN\lambda}{t}$.
4. Если модуль импульса фотона равен модулю импульса электрона, прошедшего разность потенциалов $U = 8,2$ В, то частота фотона равна:
 - 1) $3,2 \cdot 10^{17}$ Гц;
 - 2) $4,1 \cdot 10^{17}$ Гц;
 - 3) $6,4 \cdot 10^{17}$ Гц;
 - 4) $7,0 \cdot 10^{17}$ Гц;
 - 5) $8,4 \cdot 10^{17}$ Гц.
5. Гелий-неоновый лазер, работающий в непрерывном режиме на длине волны $\lambda = 630$ нм, за время $\Delta t = 1,00$ с излучает фотоны в количестве $N = 100 \cdot 10^{18}$. Мощность, которую развивает этот лазер, равна:
 - 1) 160 мВт;
 - 2) 320 мВт;
 - 3) 640 мВт;
 - 4) 1,28 Вт;
 - 5) 2,56 Вт.
6. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна $\lambda_{кр}$. Фотон с длиной волны λ_1 выбивает из металла электрон с некоторой кинетической энергией. Чтобы кинетическая энергия вылетающих электронов увеличилась в 2 раза, длина волны λ_2 света, падающего на металл, должна быть равна:
 - 1) $\frac{\lambda_1 \lambda_{кр}}{2\lambda_{кр} - \lambda_1}$;
 - 2) $\frac{\lambda_1 \lambda_{кр}}{\lambda_1 - 2\lambda_{кр}}$;
 - 3) $\frac{\lambda_1 \lambda_{кр}}{2\lambda_1 - \lambda_{кр}}$;
 - 4) $\frac{\lambda_1 \lambda_{кр}}{\lambda_1 - \lambda_{кр}}$;
 - 5) $\frac{\lambda_1 \lambda_{кр}}{2(\lambda_{кр} - \lambda_1)}$.

7. Частота света, падающего на металл, увеличилась в 2 раза. Максимальная кинетическая энергия выбитых фотоэлектронов увеличится:
- 1) в 2 раза;
 - 2) более чем в 2 раза;
 - 3) менее чем в 2 раза;
 - 4) не изменится;
 - 5) в 4 раза.
8. Для некоторого металла красная граница фотоэффекта равна $\lambda_{\text{кр}}$. Известно задерживающее напряжение U_3 . Модуль импульса p фотона излучения, вызывающего фотоэффект, равен:
- 1) $\frac{h}{\lambda_{\text{кр}}} - eU_3$;
 - 2) $\frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} - \frac{eU_3}{c}$;
 - 3) $\frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{eU_3}{c}$;
 - 4) $\frac{h}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{eU_3}{c}$;
 - 5) $\frac{h}{\lambda_{\text{кр}}} - \frac{eU_3}{c}$.
9. На фотокатод падает поток излучения с длиной волны $\lambda = 80$ нм. Фототок прекращается, если подать задерживающую разность потенциалов $U_3 = 8,0$ В. Работа выхода электронов из металла равна:
- 1) 3,6 эВ;
 - 2) 4,9 эВ;
 - 3) 6,4 эВ;
 - 4) 7,5 эВ;
 - 5) 8,2 эВ.
10. На поверхность металла падает свет с длиной волны λ . Работа выхода электронов из этого металла равна A . Энергия электронов у поверхности металла равна:
- 1) $\frac{hc}{\lambda} - A$;
 - 2) $\frac{hc}{\lambda}$;
 - 3) $\frac{hc}{\lambda} + A$;
 - 4) $A - \frac{hc}{\lambda}$;
 - 5) $\frac{h}{\lambda} + A$.

Тест В1

1. Энергия фотона равна кинетической энергии электрона, модуль скорости которого составляет 80 % скорости света в вакууме. Длина волны такого фотона равна ... пм.
2. На каплю воды объемом $V = 0,50$ мм³ каждую секунду падают и полностью поглощаются каплей фотоны в количестве $N = 1,0 \cdot 10^{15}$ с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Каждую секунду капля воды нагревается на ... град.
3. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов в 2 раза меньше работы выхода электронов из материала катода $A = 6,0$ эВ. Модуль импульса фотона, вызывающего фотоэффект в этом случае, равен ... $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

4. Катод фотоэлемента освещается монохроматическим светом с длиной волны λ . При отрицательном потенциале на аноде $|\varphi_1| = 1,6$ В ток в цепи прекращается. При изменении длины волны света в 1,5 раза для прекращения тока на анод необходимо подать отрицательный потенциал $|\varphi_2| = 3,0$ В. Работа выхода электронов из материала катода равна ... эВ.
5. Работа выхода электронов с поверхности цезия $A_{\text{вых}} = 2,00$ эВ. Модуль скорости, с которой вылетают электроны из цезия, если поверхность его освещать светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, составляет ... км/с.
6. Работа выхода электронов из кадмия $A_{\text{вых}} = 4,08$ эВ. Чтобы при фотоэффекте модуль максимальной скорости вылетающих электронов был $v = 7,20 \cdot 10^5$ м/с, длина волны света, падающего на кадмий, должна быть равна ... нм.
7. Поверхность катода фотодиода освещают светом с длиной волны $\lambda = 210$ нм. Работа выхода электронов из металла $A_{\text{вых}} = 4,1$ эВ. Минимальная разность потенциалов, которую нужно приложить между электродами фотодиода, чтобы прекратить фототок, равна ... В.
8. Катод фотоэлемента освещают светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм. Мощность излучения, падающего на катод, $P = 0,10$ Вт. В цепи фотоэлемента при этом возникает ток силой $I = 2,0$ мА. Отношение числа фотонов, падающих на фотокатод, к числу выбитых электронов равно
9. На каждые $n = 12$ фотонов, падающих на катод фотоэлемента, приходится один выбитый электрон. Длина волны падающего монохроматического излучения $\lambda = 400$ нм. Мощность падающего светового потока $P = 50$ мВт. Сила тока в цепи фотоэлемента равна ... мА.
10. На поверхность площадью $s = 100$ см² ежеминутно падает световая энергия в количестве $W = 63$ Дж. Если поверхность полностью поглощает падающие на нее лучи, то световое давление равно ... мкПа.

Тест В2

- 1*. Точечный источник монохроматического света ($\lambda = 600$ нм) излучает световой поток мощностью $P = 10$ мВт. Нижний предел мощности излучения, при котором возникает зрительное ощущение, соответствует попаданию в глаз примерно 50 фотонов. Максимальное расстояние, на котором можно увидеть этот световой источник, если диаметр зрачка $d = 5,0$ мм, равно ... км.

2. В однородном магнитном поле индукцией $B = 1,2$ мТл находится проводящая пластина, которую облучают светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Электроны, вылетающие с поверхности пластины, описывают в магнитном поле окружности радиусом $R = 3,3$ мм. Работа выхода электронов из металла пластины равна ... эВ.
3. Изолированный металлический шар емкостью $C = 0,28$ мкФ освещают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 220$ нм. Работа выхода электронов из металла шара $A_{\text{вых}} = 3,6$ эВ. Заряд, который получит шар при длительном освещении, равен ... мкКл.
- 4*. Ускоренный поток быстрых электронов бомбардирует металлическую пластину, создавая рентгеновское излучение. Если модуль скорости электронов $v = 0,40c$, то длина волны рентгеновских лучей равна ... пм.
- 5*. Уединенный шарик радиусом $R = 6,4$ см длительное время облучают светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм ($\lambda < \lambda_{\text{кр}}$, где $\lambda_{\text{кр}}$ — красная граница фотоэффекта). Если шарик дополнительно облучить светом с длиной волны $\lambda = 200$ нм, то заряд q шарика изменится на величину, равную ... пКл.
- 6*. Радиоактивный препарат испускает γ -лучи. Модуль максимальной скорости фотоэлектронов, вырванных с поверхности вольфрама γ -квантом, $v = 0,80c$, где c — скорость света в вакууме. Длина волны γ -кванта, если работа выхода электронов с поверхности вольфрама $A_{\text{вых}} = 7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж, равна ... пм.
7. Напряжение, подаваемое на рентгеновскую трубку, $U = 42$ кВ при силе тока $I = 0,12$ мА. Длина волны рентгеновских лучей, если трубка излучает фотоны в количестве $N = 5,8 \cdot 10^{13}$ за время $t = 1,00$ с и на энергию рентгеновского излучения приходится $\eta = 0,12\%$ подведенной электрической энергии, равна ... нм.
- 8*. На катод фотоэлемента в течение времени $\Delta t = 1,00$ мкс нормально к его поверхности падает монохроматический световой поток с энергией кванта $W = 4,90$ эВ. Мощность светового потока $P = 1,20$ мкВт. Модуль импульса, полученный катодом за это время, умноженный на 10^{21} , если на каждые $n_1 = 100$ фотонов, попадающих на катод, приходится $n_2 = 12$ выбитых электронов, равен ... кг · м/с. Работа выхода электронов $A = 3,50$ эВ.
- 9*. Кусочек зачерненной фольги массой $m = 0,10$ мг, подвешенной на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 10$ см, поглощает лазерный импульс с энергией $W = 2,5$ Дж, распространяющийся в горизонтальном направлении. Угол отклонения нити в этом случае равен ... град.

10. Луч лазера мощностью $N = 40$ Вт падает нормально к поверхности пластинки. Пластинка поглощает 30 % энергии, отражает 40 % энергии и пропускает 30 % энергии. Модуль силы светового давления на пластинку равен ... мкН.

§ 33. Ядерная модель атома. Квантовые постулаты Бора

Опыты по рассеиванию α -частиц, испускаемых радиоактивным веществом и направляемых на золотую фольгу, позволили Резерфорду предложить ядерную модель атома. В центре атома расположено ядро размером $\sim 10^{-14}$ м, в котором сосредоточена почти вся масса атома и весь его положительный заряд. Вокруг ядра по замкнутым орбитам движутся электроны. Ядерная модель атома не могла объяснить устойчивость атомов и дискретность линейчатых спектров, а также экспериментальные закономерности, обнаруженные в спектрах излучения и поглощения атома водорода. Для преодоления противоречий между ядерной моделью атома Резерфорда и законами классической электродинамики Нильс Бор предложил квантовую модель атома, в основе которой лежат следующие постулаты.

I. Электрон в атоме может находиться только в особых стационарных (квантовых) состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия. Когда электрон находится в стационарном состоянии, атом не излучает.

II. Электрон в атоме может «скачком» переходить из одного стационарного состояния (k -го) в другое (n -е). При этом переходе испускается или поглощается квант электромагнитного поля с частотой ν_{kn} , определяемой разностью энергий электрона в атоме в данных состояниях:

$$W_{kn} = h\nu_{kn} = W_k - W_n,$$

где W_k и W_n — энергия электрона в атоме в k -м и n -м состояниях; h — постоянная Планка.

Постулаты Бор дополнил квантовым условием: стационарные (разрешенные) электронные орбиты в атоме находятся из условия:

$$mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

где m — масса электрона; r_n , v_n — радиус n -й орбиты электрона в атоме водорода и скорость его на этой орбите.

$$r_n = r_1 n^2,$$

где $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м — радиус первой орбиты в атоме водорода; n — номер электронной орбиты.

Энергия электрона на n -й орбите $W_n = \frac{W_1}{n^2}$, где $W_1 = -13,55$ эВ — энергия электрона на первой орбите.

Энергия излучаемого фотона при переходе электрона с n -й более дальней от ядра орбиты на k -ю более близкую орбиту определяется формулой

$$W_{kn} = W_n \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где $W_n = 13,55$ эВ — энергия ионизации атома водорода.

Длина волны излучаемого (поглощаемого) атомом водорода кванта электромагнитного излучения определяется формулой

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

где R — постоянная Ридберга, $R = 1,1 \cdot 10^7$ 1/м.

При $k = 1, n = 2, 3, 4 \dots$ длины волн находятся в ультрафиолетовой области (серия Лаймана); при $k = 2, n = 3, 4, 5, 6 \dots$ — в видимой области (серия Бальмера); при $k = 3, n = 4, 5, 6 \dots$ — в инфракрасной области (серия Пашена).

Тест А1

1. В опытах Резерфорда, в которых изучалось строение атома, исследовалось:
 - 1) отклонение α -частиц электрическим и магнитным полем;
 - 2) прохождение α -частиц через тонкие слои вещества;
 - 3) явление радиоактивности;
 - 4) столкновения α -частиц с ядрами атомов;
 - 5) столкновения α -частиц с электронами.
2. Планетарная модель атома, предложенная Резерфордом, противоречит законам классической электродинамики, так как:
 - 1) угловая скорость электрона, вращающегося по орбите, слишком велика;
 - 2) на электрон действует сила Кулона, и поэтому он должен упасть на ядро;
 - 3) электрон, вращающийся вокруг ядра, должен излучать электромагнитные волны;

4) на электрон, вращающийся вокруг ядра, действует сила сопротивления и он должен остановиться;

5) сила притяжения к ядру слишком мала.

3. На какие стационарные орбиты переходит электрон в атоме водорода при испускании ультрафиолетового света?

1) С крайних орбит на первую, вторую и т. д.;

2) с крайних орбит на первую;

3) с крайних орбит на вторую;

4) с крайних орбит на третью, четвертую и т. д.;

5) с третьей орбиты на первую и вторую.

4. На какие стационарные орбиты переходит электрон в атоме водорода при испускании инфракрасного света?

1) С крайних орбит на первую, вторую и т. д.;

2) с крайних орбит на первую;

3) с крайних орбит на вторую;

4) с крайних орбит на третью, четвертую и т. д.;

5) с третьей орбиты на первую и вторую.

5. На рисунке 33.1 представлены первые четыре энергетических уровня атома водорода. Какой из переходов соответствует поглощению фотона максимальной энергии?

1) $1 \rightarrow 2$;

2) $4 \rightarrow 1$;

3) $1 \rightarrow 4$;

4) $2 \rightarrow 1$;

5) $2 \rightarrow 3$.

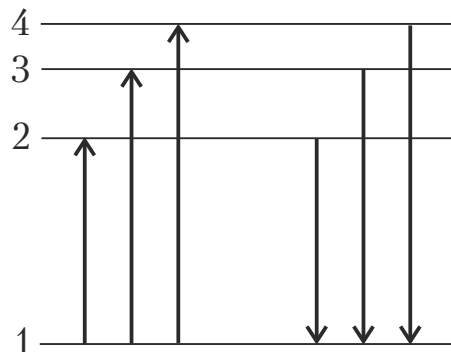


Рис. 33.1

6. Электрон в атоме водорода находится на третьей орбите. Сколько квантов различной энергии может излучить атом водорода при этом?

1) 2;

3) 3;

5) ни одного кванта.

2) 1;

4) 4;

7. Электрон в атоме водорода перешел с одного энергетического уровня на другой. При этом был излучен квант света с частотой $\nu = 4,6 \cdot 10^{14}$ Гц. Энергия атома при этом:

1) увеличилась на $3,0 \cdot 10^{-19}$ Дж;

2) увеличилась на $6,0 \cdot 10^{-19}$ Дж;

3) уменьшилась на $3,0 \cdot 10^{-19}$ Дж;

4) уменьшилась на $6,0 \cdot 10^{-19}$ Дж;

5) не изменилась.

8. Электрон в атоме водорода перешел из состояния с энергией $W_1 = -0,545$ эВ в состояние с энергией $W_2 = -0,846$ эВ. В результате такого перехода:
- 1) излучается квант с энергией 0,300 эВ;
 - 2) поглощается квант с энергией 0,300 эВ;
 - 3) излучается квант с энергией 0,846 эВ;
 - 4) поглощается квант с энергией 0,846 эВ;
 - 5) излучается квант с энергией 0,545 эВ.
9. Полная энергия электрона на n -й орбите по теории Бора определяется соотношением $W = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ. Какую наименьшую энергию нужно сообщить электрону, находящемуся на второй орбите, чтобы ионизировать атом водорода?
- 1) $-13,6$ эВ;
 - 2) $-6,80$ эВ;
 - 3) $-3,40$ эВ;
 - 4) $13,6$ эВ;
 - 5) $3,40$ эВ.
10. Атом водорода из основного состояния с энергией W_0 перешел в возбужденное состояние с энергией W_1 . Длина волны фотона, вызвавшего этот переход, равна:
- 1) $\frac{hc}{W_0 - W_1}$;
 - 2) $\frac{hc}{W_1 - W_0}$;
 - 3) $\frac{hc}{W_1 + W_0}$;
 - 4) $\frac{hc}{W_1}$;
 - 5) $\frac{hc}{W_0}$.

Тест А2

1. На рисунке 33.2 представлены первые четыре энергетических уровня атома водорода. Какой из переходов соответствует излучению фотона максимальной энергии?

- 1) $1 \rightarrow 2$;
- 2) $4 \rightarrow 1$;
- 3) $1 \rightarrow 4$;
- 4) $2 \rightarrow 1$;
- 5) $2 \rightarrow 3$.

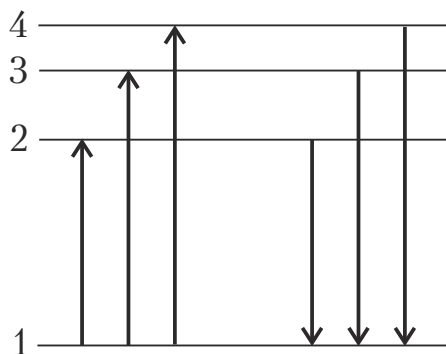


Рис. 33.2

2. Электрон в атоме водорода находится на четвертой орбите. Сколько квантов различной энергии может излучить такой атом при переходе электрона на другие орбиты?

- 1) 3;
- 2) 5;
- 3) 4;
- 4) 6;
- 5) 8.

3. Отношение самой большой длины волны λ_{\max} к самой малой длине волны λ_{\min} в спектре излучения атома водорода для видимой области спектра (серия Бальмера) равно:
1) 4; 2) 3; 3) 2,5; 4) 1,8; 5) 1,6.
4. Длина волны λ первой яркой линии в видимой области спектра излучения атома водорода равна:
1) 655 нм; 3) 600 нм; 5) 542 нм.
2) 624 нм; 4) 570 нм;
5. Отношение самой большой длины волны λ_{\max} к самой малой длине волны λ_{\min} в спектре излучения атома водорода для инфракрасной области спектра (серия Пашена) равно:
1) 9; 2) 3; 3) 1,9; 4) $\frac{16}{7}$; 5) $\frac{14}{9}$.
6. Спектральные линии серии Бальмера в спектре излучения атома водорода продолжают в ультрафиолетовой области. Самая малая длина волны λ_{\min} для линий серии Бальмера равна:
1) 180 нм; 3) 275 нм; 5) 364 нм.
2) 226 нм; 4) 320 нм;
7. Пары ртути бомбардируют электронами. Энергия атома ртути при этом увеличилась на $W = 4,90$ эВ. При переходе в невозбужденное состояние ртуть излучает свет, длина волны которого равна:
1) 180 нм; 3) 254 нм; 5) 420 нм.
2) 225 нм; 4) 300 нм;
8. Электрон в невозбужденном атоме водорода получил энергию $W = 12$ эВ. Этот электрон перешел на энергетический уровень с номером, равным:
1) 2; 2) 3; 3) 4; 4) 5; 5) 6.
9. Электрон в атоме водорода перешел с шестого энергетического уровня на второй. Частота излучения в этом случае равна:
1) $1,2 \cdot 10^{14}$ Гц; 3) $7,3 \cdot 10^{14}$ Гц; 5) $4,6 \cdot 10^{15}$ Гц.
2) $4,6 \cdot 10^{14}$ Гц; 4) $9,4 \cdot 10^{14}$ Гц;
10. Полная энергия электрона на n -й орбите по теории Бора определяется соотношением $W = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ. Какую энергию нужно сообщить электрону, находящемуся в основном состоянии, чтобы спектр излучения водорода содержал только три спектральные линии?
1) $-1,51$ эВ; 3) $1,51$ эВ; 5) $13,6$ эВ.
2) $-12,1$ эВ; 4) $12,1$ эВ;

Тест В1

1. Минимальная длина волны λ_{\min} , возникающая в спектре излучения атома водорода для серии Бальмера, равна ... нм.
2. Отношение максимальной длины волны λ_{\max} к минимальной длине волны λ_{\min} в спектре излучения атома водорода для ультрафиолетовой области (серия Лаймана) составляет
3. Полная энергия W электрона на n -й орбите по теории Бора определяется соотношением $W = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ. Наименьшая энергия, которую нужно сообщить электрону, находящемуся в основном состоянии, чтобы спектр излучения водорода содержал только шесть спектральных линий, составляет ... эВ.
4. Невозбужденный атом водорода с потенциалом ионизации $\phi = 13,6$ В облучается электромагнитным излучением. Минимальная частота излучения, при которой возможна ионизация атома водорода, составляет ... Гц.
5. Электрон выбит из атома водорода, находящегося в основном состоянии, фотоном, энергия которого $W = 17,7$ эВ. Модуль скорости электрона за пределами атома равен ... км/с.
6. Угловая скорость вращения ω электрона на первой боровской орбите атома водорода равна ... рад/с.
7. Электрон в атоме водорода перешел с первой орбиты на третью. Период T обращения электрона в атоме при этом увеличился в ... раз (раза).
8. Радиус первой боровской орбиты в атоме водорода $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Модуль скорости вращения электрона на первой орбите равен ... км/с (полученное значение разделите на 1000).
9. Атом водорода, находясь в основном состоянии, поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 122$ нм. Радиус электронной орбиты возбужденного атома равен ... нм.
10. Электрон в атоме водорода находится на четвертом энергетическом уровне. Частота излучения в серии Лаймана при этом равна ... Гц.

Тест В2

1. Атомарный водород облучают монохроматическим светом с энергией фотонов $W = 12,75$ эВ. Фотон, поглощенный атомом водорода,

- находящимся в основном состоянии, переводит его в возбужденное состояние с номером орбиты n , равным
2. Диапазон видимого света $0,40 \text{ мкм} < \lambda < 0,75 \text{ мкм}$. Минимальная температура, при которой атомы водорода в результате столкновений начнут излучать ультрафиолетовый свет, умноженная на 10^{-3} , равна ... К.
 - 3*. От разрядной трубки, наполненной атомарным водородом, свет падает на дифракционную решетку, число щелей в которой $N = 500 \text{ мм}^{-1}$. Одна из ультрафиолетовых линий серии Лаймана соответствует максимуму $m = 3$ порядка, наблюдаемому под углом $\varphi = 10,5^\circ$. Номер энергетического уровня, с которого электрон переходит на основной уровень, равен
 4. Работа, которую нужно совершить, чтобы удалить электрон со второй боровской орбиты атома водорода за пределы притяжения его ядром, равна ... Дж.
 5. Электрон находится на первой боровской орбите атома водорода. Потенциальная энергия электрона равна ... эВ.
 6. Электрон в атоме водорода вращается на первой боровской орбите. Сила тока I , эквивалентная этому вращению электрона, равна ... мА.
 - 7*. Нейтрон, модуль скорости которого $v_1 = 40 \text{ км/с}$, сталкивается с неподвижным атомом гелия. После удара нейтрон отскакивает назад со скоростью, модуль которой $v_2 = \frac{v_1}{2}$, а атом гелия переходит в возбужденное состояние. Длина волны света, излучаемого атомом гелия при переходе в невозбужденное состояние, если массу m атома водорода и нейтрона можно считать одинаковой и равной $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, составляет ... нм.
 8. Электрон в атоме водорода на основной орбите имеет энергию $W_1 = -13,55 \text{ эВ}$. Чтобы радиус электронной орбиты увеличился в 9 раз, электрон должен поглотить энергию ... эВ.
 - 9*. Минимальная температура T атомов водорода, чтобы при столкновениях они стали испускать инфракрасный свет максимальной длины волны в серии Пашена, равна ... град.
 - 10*. Позитроний — атомоподобная система, состоящая из позитрона и электрона, вращающихся относительно общего центра масс. Если применить теорию Бора, то радиус (минимальные размеры) подобной системы равен ... пм.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

§ 34. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

В основе молекулярно-кинетической теории (МКТ) лежат три положения:

1) все вещества состоят из молекул (атомов); молекула — наименьшая частица данного вещества, обладающая его основными химическими свойствами;

2) молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении;

3) между молекулами действуют силы притяжения и силы отталкивания.

Относительной атомной массой $M_{\text{ч}}$ (массовым числом) называют отношение массы m_0 атома к атомной единице массы (а. е. м.):

$$M_{\text{ч}} = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0\text{C}}},$$

где 1 а. е. м. = $\frac{1}{12}m_{0\text{C}} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_{0\text{C}}$ — масса атома изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$.

Число атомов $N_{\text{А}} = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ в 12 г углерода называют **постоянной Авогадро**.

Количество вещества ν — отношение числа частиц N в веществе к постоянной Авогадро:

$$\nu = \frac{N}{N_{\text{А}}}.$$

■ Экспериментальные законы

1) **Закон Авогадро**: равные объемы газа при одинаковом давлении и температуре содержат равное число молекул.

2) **Закон Дальтона**: давление смеси химически не взаимодействующих газов равно сумме парциальных давлений отдельных газов смеси:

$$p = p_1 + p_2 + \dots$$

Единицей количества вещества в СИ является **моль** — такое количество вещества, в котором содержится столько же молекул (или атомов), сколько атомов содержится в 0,012 кг углерода.

Молярная масса M — это масса вещества, взятого в количестве $\nu = 1$ моль:

$$M = m_0 N_A.$$

Масса вещества $m = m_0 N = m_0 \nu N_A = \nu M$.

В МКТ пользуются моделью вещества — **идеальным газом**, для которого:

1) можно пренебречь объемом атомов и молекул по сравнению с объемом сосуда;

2) силы взаимодействия не учитываются, а силы отталкивания возникают только при соударении.

Внутренняя энергия идеального газа — это кинетическая энергия хаотического движения молекул.

Основное уравнение МКТ:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle = \frac{2}{3} n \langle W_k \rangle,$$

где p — давление газа; n — концентрация молекул; $\langle v^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2$ — среднее значение квадрата скорости частицы; ρ — плотность газа; $\langle W_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия хаотического поступательного движения молекулы.

Абсолютная температура T связана с $\langle W_k \rangle$ уравнением

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

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана. Тогда основное уравнение МКТ:

$$P = nkT.$$

Для расчета **средней квадратичной скорости** движения молекул применяют формулы:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

где $R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ — **универсальная газовая постоянная**.

Тест А1

- Количеством вещества называется физическая величина, численно равная числу:
 - молекул в данной порции вещества;
 - молей в данной порции вещества;
 - молекул в 1 кг вещества;
 - молей в 1 кг вещества;
 - молей в 0,012 кг углерода.
- По формуле $x = \frac{3}{2} \frac{p}{\langle W_k \rangle}$, где p — давление газа, а $\langle W_k \rangle$ — средняя кинетическая энергия молекулы, можно определить следующий параметр x идеального газа:
 - объем;
 - давление;
 - концентрацию молекул газа;
 - среднюю квадратичную скорость молекул газа;
 - температуру.
- В объеме $V = 22,4 \text{ дм}^3$ при нормальных условиях содержится количество молекул газа:
 - $1 \cdot 10^{23}$;
 - $2 \cdot 10^{23}$;
 - $6 \cdot 10^{23}$;
 - $6 \cdot 10^{26}$;
 - необходимо знать молярную массу газа.
- Если объем одноатомного идеального газа уменьшить в $n = 2$ раза, а среднюю кинетическую энергию его молекул увеличить в $k = 4$ раза, то давление газа:
 - увеличится в 8 раз;
 - увеличится в 2 раза;
 - уменьшится в 8 раз;
 - уменьшится в 2 раза;
 - увеличится в 4 раза.
- Масса водорода, содержащего молекулы в количестве $N = 1,4 \cdot 10^{22}$, составляет:
 - 21 мг;
 - 28 мг;
 - 46 мг;
 - 56 мг;
 - 85 мг.
- Число молекул газа, содержащихся в сосуде объемом $V = 480 \text{ см}^3$ при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $p = 250 \text{ кПа}$, составляет:
 - $1,0 \cdot 10^{22}$;
 - $2,0 \cdot 10^{22}$;
 - $3,0 \cdot 10^{22}$;
 - $6,0 \cdot 10^{22}$;
 - $8,0 \cdot 10^{22}$.

7. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Если средняя квадратичная скорость его молекул увеличится на $\eta = 20\%$, то давление газа увеличится на:
- 1) 44 %; 3) 20 %; 5) 4,5 %.
 2) 40 %; 4) 10 %;
8. Если температура гелия $t = 27^\circ\text{C}$, а средняя кинетическая энергия движения его молекул $\langle W_k \rangle = 10$ Дж, то число молекул гелия составляет:
- 1) $1,6 \cdot 10^{20}$; 3) $1,6 \cdot 10^{21}$; 5) $1,6 \cdot 10^{22}$.
 2) $0,80 \cdot 10^{21}$; 4) $3,2 \cdot 10^{21}$;
9. Во сколько раз число Авогадро больше числа атомов в алюминии массой $m = 9,0$ г ($M = 0,027$ кг/моль)?
- 1) 1,0; 3) 9,0; 5) 81.
 2) 3,0; 4) 27;
10. Если молекулы азота (N_2 ; $M = 28$ кг/кмоль) заменить таким же количеством молекул водяного пара (H_2O ; $M = 18$ кг/кмоль) при сохранении средней кинетической энергии молекул, то давление воздуха:
- 1) уменьшится;
 2) увеличится;
 3) не изменится;
 4) ответ зависит от размеров молекул азота и воды;
 5) недостаточно данных для решения задачи.

Тест А2

1. Число Авогадро характеризует:
- 1) количество частиц в 1 кг вещества;
 2) количество частиц в одном моле вещества;
 3) количество молей в 1 кг вещества;
 4) массу одного моля вещества;
 5) количество молей в данном веществе.
2. Среднюю квадратичную скорость движения молекул идеального газа можно определить по формуле:
- 1) $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{m_0}}$; 3) $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$; 5) $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$.
 2) $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{M}}$; 4) $\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$;

3. Средняя квадратичная скорость молекул кислорода ($M = 32,0$ г/моль) $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 500$ м/с при температуре:
- 1) 27,0 °С; 3) 64,0 °С; 5) 320 °С.
2) 48,0 °С; 4) 160 °С;
4. В закрытом сосуде находится один моль некоторого идеального газа. Если известно, что отношение давления этого газа к его температуре составляет $\frac{p}{T} = 371$ Па/К, то объем сосуда равен:
- 1) $4,50 \cdot 10^{-3}$ м³; 3) $2,24 \cdot 10^{-2}$ м³; 5) $5,38 \cdot 10^{-2}$ м³.
2) $1,12 \cdot 10^{-2}$ м³; 4) $3,35 \cdot 10^{-2}$ м³;
5. Если средняя кинетическая энергия движения атомов гелия, содержащегося в сосуде при начальной температуре $T_0 = 400$ К, уменьшилась в $n = 1,20$ раза, то его температура изменилась на:
- 1) 22,4 К; 3) 40,0 К; 5) 132,8 К.
2) 33,3 К; 4) 66,7 К;
6. При некоторой температуре средняя квадратичная скорость движения молекул кислорода ($M = 32,0$ г/моль) $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 460$ м/с. При этой же температуре средняя квадратичная скорость молекул азота ($M = 28,0$ г/моль) составит:
- 1) 525 м/с; 3) 492 м/с; 5) 428 м/с.
2) 502 м/с; 4) 457 м/с;
7. В сосуде объемом $V = 0,10$ м³ содержатся молекулы некоторого газа с плотностью $\rho = 0,090$ кг/м³ в количестве $N = 2,7 \cdot 10^{24}$. Этим газом является ($M_{\text{O}_2} = 32$ г/моль, $M_{\text{N}_2} = 29$ г/моль, $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18$ г/моль, $M_{\text{H}_2} = 2$ г/моль, $M_{\text{CO}_2} = 44$ г/моль):
- 1) кислород; 4) водород;
2) азот; 5) углекислый газ.
3) пары воды;
8. Если молекулы азота (N_2 ; $M = 28$ кг/кмоль) заменить таким же количеством молекул водяного пара (H_2O ; $M = 18$ кг/кмоль) при сохранении средней квадратичной скорости молекул, то давление воздуха:
- 1) уменьшится;
2) увеличится;
3) не изменится;
4) ответ зависит от размеров молекул азота и воды;
5) недостаточно данных для решения задачи.

9. На рисунке 34.1 представлена зависимость давления p трех различных идеальных газов, находящихся в различных сосудах, от их средней кинетической энергии. В каком из нижеприведенных соотношений находятся между собой концентрации этих газов? (Сосуды находятся в состоянии теплового равновесия.)

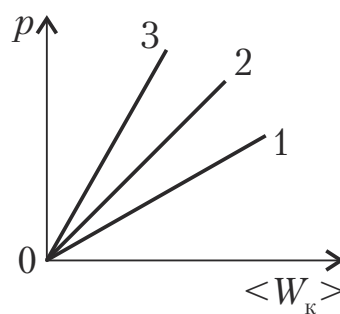


Рис. 34.1

- 1) $n_1 > n_2 > n_3$; 4) $n_1 < n_3 < n_2$;
 2) $n_1 < n_2 < n_3$; 5) $n_1 = n_2 = n_3$.
 3) $n_1 > n_3 > n_2$;
10. Если среднее значение квадрата скорости молекул уменьшилось в два раза, то абсолютная температура идеального газа увеличилась:
- 1) в 0,2 раза; 3) в 2 раза; 5) в $\sqrt{2}$ раз.
 2) в 0,5 раза; 4) в 2 раза;

Тест В1

- Если температуры одинаковы, то средняя квадратичная скорость молекул кислорода меньше средней квадратичной скорости молекул водорода в ... раз (раза).
- Если число молекул водорода в сосуде вдвое больше, чем число Авогадро, а объем сосуда $V = 40,0$ л, то плотность водорода составляет ... г/м³.
- В сосуде объемом $V = 10$ л находятся молекулы кислорода в количестве $N = 12 \cdot 10^{23}$ при давлении $p = 4,0 \cdot 10^5$ Па. При тех же условиях в этом сосуде количество атомов гелия, которое он может содержать, составит ... (полученное значение умножьте на 10^{-23}).
- При повышении температуры идеального газа на $\Delta T = 150$ К средняя квадратичная скорость его молекул увеличилась от $\langle v_{\text{кв}} \rangle_1 = 400$ м/с до $\langle v_{\text{кв}} \rangle_2 = 500$ м/с. Чтобы увеличить среднюю квадратичную скорость молекул газа от $\langle v_{\text{кв}} \rangle_2 = 500$ м/с до $\langle v_{\text{кв}} \rangle_3 = 600$ м/с, его нужно нагреть на ... К.
- Если объем газа уменьшить в $n = 6$ раз, а среднюю кинетическую энергию движения его молекул уменьшить в $k = 2$ раза, то давление газа изменится в ... раз (раза).
- *. Два одинаковых сосуда, содержащих одинаковое число молекул азота, соединены краном. В первом сосуде средняя квадратичная ско-

рость молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle_1 = 400$ м/с, во втором — $\langle v_{\text{кв}} \rangle_2 = 500$ м/с. Если открыть кран, соединяющий сосуды, то модуль скорости молекул в них составит ... м/с.

7. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 480$ м/с при температуре $T = 296$ К. В массе $m = 10$ г этого газа содержится число молекул, равное ... (полученное значение умножьте на 10^{-22}).
8. Если скорость молекулы азота равна средней квадратичной скорости при температуре $T = 300$ К, то импульс молекулы азота равен ... (полученное значение умножьте на $10^{24} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$).
9. Кинетическая энергия атомов гелия в количестве $N = 1,0 \cdot 10^5$ при температуре $t = 47$ °С составляет ... (полученное значение умножьте на 10^{17} Дж).
- 10*. Среднее расстояние между молекулами идеального газа при нормальных условиях составляет ... нм.

Тест В2

1. В сосуде содержится кислород массой $m = 48$ г, треть молекул которого находится в диссоциированном состоянии. Количество вещества в сосуде составляет ... моль.
2. В сосуде при температуре $t = 0$ °С содержится идеальный газ плотностью $\rho = 5,95$ кг/м³. Если масса одной молекулы газа $m_0 = 7,3 \cdot 10^{-26}$ кг, то молярная масса газа равна ... г/моль.
3. Если средняя квадратичная скорость молекул азота $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 500$ м/с, а его плотность $\rho = 1,35$ кг/м³, то давление азота составляет ... кПа.
4. Если объем газа уменьшить в $n = 4$ раза, а средняя квадратичная скорость движения его молекул уменьшится в $a = 2$ раза, то давление газа изменится в ... раз (раза).
5. В баллоне емкостью $V = 50$ л находится одноатомный газ в количестве $\nu = 120$ моль при давлении $p = 6,0$ МПа. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы газа равна ... (полученное значение умножьте на 10^{22} Дж).
6. Если температуру водяного пара повысить от $t_1 = 37$ до $t_2 = 40$ °С, то средняя квадратичная скорость движения его молекул увеличится на ... % (полученное значение умножьте на 10^2).

7. Плотность натрия $\rho = 970 \text{ кг/м}^3$. Если на один атом натрия ($M = 23 \text{ г/моль}$) приходится один свободный электрон, то концентрация свободных электронов в нем составляет ... (полученное значение умножьте на 10^{-27} м^3).
8. В баллоне находится двухатомный идеальный газ. Если при постоянной температуре половина молекул газа распадется на атомы, то его давление возрастет в ... раз (раза).
9. При давлении $p = 100 \text{ кПа}$ плотность воздуха $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$. Средняя квадратичная скорость его молекул при этом составляет ... м/с.
10. Если при постоянном давлении температуру газа увеличить в $n = 4,0$ раза, то среднее расстояние между его молекулами изменится на ... %.

§ 35. Газовые законы.

Уравнение Клапейрона—Менделеева

Состояние газа описывается при помощи **макропараметров**: давления p , объема V и температуры T .

При переходе газа из одного состояния в другое параметры изменяются.

Процессы, происходящие при постоянном значении количества газа и одного из параметров, называются **изопроцессами**.

Изотермический процесс — процесс, происходящий при постоянной температуре ($T = \text{const}$). Описывается законом Бойля—Мариотта: при постоянной температуре объем данной массы газа обратно пропорционален его давлению:

$$V = \frac{\text{const}}{p} \quad \text{или} \quad pV = \text{const} \quad (\text{при } T = \text{const}, m = \text{const}, M = \text{const}).$$

Изобарный процесс — процесс, происходящий при постоянном давлении ($p = \text{const}$). Описывается законом Шарля: если давление данной массы газа не изменяется, то отношение объема газа к температуре постоянно:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad (\text{при } p = \text{const}, m = \text{const}, M = \text{const}).$$

Изохорный процесс — процесс, происходящий при постоянном объеме. Описывается законом Гей-Люссака: если объем данной массы газа не изменяется, то отношение давления газа к температуре постоянно:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (\text{при } V = \text{const}, m = \text{const}, M = \text{const}).$$

Уравнение Клапейрона: при любом изменении состояния данного количества газа произведение давления p на объем V , деленное на абсолютную температуру T , остается постоянным:

$$\frac{pV}{T} = \text{const при } m = \text{const}, M = \text{const}.$$

Уравнение Клапейрона—Менделеева:

$$pV = \frac{m}{M}RT,$$

где m и M — масса и молярная масса газа; $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ — универсальная газовая постоянная.

Количество вещества $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$, где N — число молекул; N_A —

постоянная Авогадро. Учитывая это, уравнение Клапейрона—Менделеева можно записать в виде:

$$pV = \nu RT; pV = \frac{N}{N_A}RT.$$

Так как $m = \rho V$, то это уравнение можно записать и так: $p = \frac{\rho}{M}RT$.

Тест А1

1. Идеальный газ совершает замкнутый цикл, приведенный на рисунке 35.1. Давление газа уменьшается на участках:

- 1) 1–2; 4) 1–2 и 2–3;
2) 2–3; 5) 2–3 и 3–1.
3) 3–1;

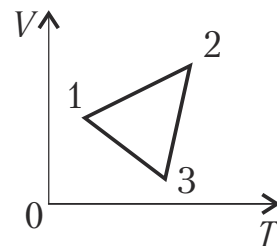


Рис. 35.1

2. При изотермическом процессе давление газа уменьшилось на $\Delta p = 50$ кПа. Если при этом объем газа увеличился в $n = 6$ раз, то его конечное давление составило:

- 1) 5,0 кПа; 3) 10 кПа; 5) 20 кПа.
2) 8,3 кПа; 4) 16 кПа;

3. Если при температуре $t_1 = 27$ °С объем газа $V_1 = 6,0$ л, то при температуре $t_2 = 77$ °С объем газа (при постоянном давлении и массе) составит:

- 1) 7,0 л; 3) 17 л; 5) 56 л.
2) 9,0 л; 4) 35 л;

4. Если при изобарном нагревании идеального газа от температуры $t_1 = 7,00\text{ }^\circ\text{C}$ его плотность уменьшилась в $n = 2$ раза, то температура газа увеличилась на:
- 1) $7,00\text{ }^\circ\text{C}$; 3) $54,0\text{ }^\circ\text{C}$; 5) $553\text{ }^\circ\text{C}$.
2) $14,0\text{ }^\circ\text{C}$; 4) $280\text{ }^\circ\text{C}$;
5. Если при изотермическом сжатии идеального газа его давление увеличилось в $n = 2,5$ раза, то концентрация молекул газа увеличится:
- 1) в 1,3 раза; 3) в 2,5 раза; 5) в 6,3 раза.
2) в 1,6 раза; 4) в 5,0 раза;
- 6*. Открытая стеклянная трубка погружена в ртуть так, что над ртутью выступает конец длиной $h = 60\text{ см}$. Трубку закрывают и погружают еще на $\Delta h = 30\text{ см}$. Если атмосферное давление нормальное, то длина столбика воздуха в трубке составит:
- 1) 22 см ; 3) 48 см ; 5) 54 см .
2) 28 см ; 4) 52 см ;
7. Плотность газа при температуре $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $p = 100\text{ кПа}$ $\rho = 1,29\text{ кг/м}^3$. Молярная масса газа равна:
- 1) $2,0\text{ г/моль}$; 3) 29 г/моль ; 5) 44 г/моль .
2) 18 г/моль ; 4) 32 г/моль ;
8. Если давление идеального газа постоянной массы уменьшить в $n = 2$ раза, а его объем увеличить в $k = 3$ раза, то температура газа:
- 1) уменьшится в 1,5 раза;
2) увеличится в 1,5 раза;
3) уменьшится в 6 раз;
4) увеличится в 6 раз;
5) увеличится в 9 раз.
9. В сосуд объемом $V = 1000\text{ см}^3$ помещают кислород массой $m_1 = 2000\text{ мг}$ и азот массой $m_2 = 4000\text{ мг}$. Давление смеси при температуре $T = 273\text{ К}$ составит:
- 1) 230 кПа ; 3) 466 кПа ; 5) 920 кПа .
2) 340 кПа ; 4) 690 кПа ;
- 10*. Как изменяется температура газа, который расширяется по закону $pV^2 = \text{const}$?
- 1) Возрастает;
2) уменьшается;
3) не изменяется;
4) ответ зависит от количества вещества газа;
5) газ не может совершить такой процесс.

Тест А2

1. Идеальный газ совершает замкнутый цикл, приведенный на рисунке 35.2. Давление газа увеличивается на участке:

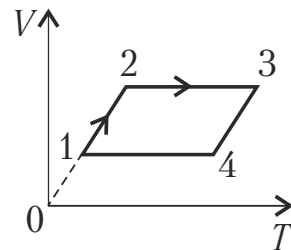


Рис. 35.2

- 1) 1—2; 2—3;
 2) 2—3; 3—4;
 3) 3—4;
 4) 4—1;
 5) среди ответов нет правильного.
2. В баллоне содержится газ при температуре $t_1 = 17^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 1,0$ МПа. Если температура газа понизится до $t_2 = -23^\circ\text{C}$, то его давление:
- 1) повысится на 0,16 МПа; 4) повысится на 0,35 МПа;
 2) понизится на 0,14 МПа; 5) понизится на 0,26 МПа.
 3) понизится на 0,16 МПа;
3. При изобарном охлаждении идеального газа до температуры $t = 17,0^\circ\text{C}$ его объем уменьшился в $n = 2$ раза. Начальная температура газа была равна:
- 1) 580°C ; 3) 290°C ; 5) $17,0^\circ\text{C}$.
 2) 307°C ; 4) $34,0^\circ\text{C}$;
4. При изотермическом сжатии газа его объем уменьшился на $\Delta V_1 = 2,0$ л, а давление возросло на $\eta = 50\%$. Если первоначальный объем уменьшить на $\Delta V_2 = 1,0$ л, то его давление возрастет на:
- 1) 75% ; 3) 25% ; 5) 10% .
 2) 40% ; 4) 20% ;
5. Сосуд объемом $V_1 = 12$ л, содержащий газ при давлении $p_1 = 4,0 \times 10^5$ Па, соединяют с другим сосудом объемом $V_2 = 3,0$ л, из которого полностью откачан воздух. Если процесс изотермический, то конечное давление газа составит:
- 1) 0,10 МПа; 3) 0,16 МПа; 5) 0,32 МПа.
 2) 0,13 МПа; 4) 0,20 МПа;
- 6*. В закрытом цилиндрическом сосуде находится газ при нормальных условиях. Сосуд расположен горизонтально и разделен подвижным поршнем в отношении $n : m = 1 : 2$. Если меньшую часть сосуда нагреть до температуры $t_1 = 127^\circ\text{C}$, а большую охладить до $t_2 = -123^\circ\text{C}$, то поршень будет делить сосуд в отношении:
- 1) 3 : 1; 3) 5 : 3; 5) 4 : 3.
 2) 2 : 1; 4) 3 : 2;

7. Стеклянная трубка погружена в сосуд с ртутью. Уровень ртути в ней на $\Delta h = 50$ мм выше уровня в сосуде. Длина части трубки, заполненной воздухом, $h = 50$ см. Первоначальная температура воздуха $t = 17$ °С, атмосферное давление нормальное. Чтобы ртуть в трубке опустилась до уровня в сосуде, температура окружающего воздуха должна повыситься на:
- 1) 17 °С; 3) 34 °С; 5) 68 °С.
2) 27 °С; 4) 51 °С;
8. Температура в комнате объемом $V = 50,0$ м³ увеличилась от $t_1 = 7,00$ °С до $t_2 = 27,0$ °С. Чтобы давление в комнате $p = 100$ кПа осталось неизменным, из комнаты нужно удалить массу воздуха, равную:
- 1) 2,84 кг; 3) 3,75 кг; 5) 5,36 кг.
2) 3,22 кг; 4) 4,15 кг;
9. В сосуде объемом $V = 1,50$ л находится смесь кислорода и углекислого газа. Масса смеси $m = 40,0$ г, температура $T = 300$ К, давление $p = 2,00$ МПа. Масса одного из газов равна:
- 1) 5,50 г; 3) 11,0 г; 5) 16,5 г.
2) 7,00 г; 4) 14,8 г;
10. Вода полностью занимает сосуд объемом $V = 1000$ см³. Температура воды $t = 27,0$ °С. Если силы взаимодействия между молекулами воды исчезнут (вода превратится в пар при тех же объеме и температуре), то в сосуде установится давление:
- 1) 46,0 МПа; 3) 72,0 МПа; 5) 216 МПа.
2) 62,0 МПа; 4) 139 МПа;

Тест В1

1. Если у поверхности воды атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа, то радиус пузырька воздуха будет в $n = 2$ раза меньше, чем у поверхности, на глубине ... м.
2. Идеальный газ изобарно нагрели так, что его объем увеличился в $n = 2$ раза. Затем этот газ изотермически сжали так, что его давление увеличилось в $k = 3$ раза. В результате температура газа изменилась в ... раз (раза).
- 3*. В трубке находится столбик ртути длиной $l_0 = 75,0$ мм. Когда трубка расположена вертикально закрытым концом вниз, длина воздушного столбика в этом конце $l_1 = 120$ мм. При горизонтальном расположении трубки длина воздушного столбика $l_2 = 132$ мм.

Длина воздушного столбика, когда трубка расположена закрытым концом вверх, составляет ... мм.

4. Горизонтальный закрытый с обоих концов цилиндр разделен двумя закрепленными поршнями на три секции. Давление и объем газа в каждой секции соответственно $p_1 = 2,0 \cdot 10^5$ Па и $V_1 = 36$ см³, $p_2 = 6,0 \cdot 10^4$ Па и $V_2 = 60$ см³, $p_3 = 5,0 \cdot 10^4$ Па и $V_3 = 104$ см³. После освобождения поршней в каждой секции установится давление ... кПа.
5. В баллоне емкостью $V = 0,20$ м³ находится гелий под давлением $p_1 = 0,10$ МПа при температуре $T_1 = 290$ К. Если после подкачивания гелия давление повысилось до $p_2 = 0,30$ МПа, а температура увеличилась до $T_2 = 320$ К, то масса гелия увеличилась на ... г.
6. Если кислород ($M = 32$ кг/кмоль), содержащийся в баллоне, заменить на водород ($M = 2,0$ кг/кмоль) такой же массы и при той же температуре, то давление в баллоне изменится в ... раз (раза).
7. Баллон, содержащий азот массой $m = 1,0$ кг, при испытании взорвался при температуре $T_1 = 630$ К. При температуре $T_2 = 270$ К в таком баллоне, имея десятикратный запас прочности, можно хранить водород в количестве ... г.
8. Два сосуда, содержащих одинаковую массу одного и того же газа, соединены трубкой с краном. В первом сосуде давление $p_1 = 1,0 \cdot 10^5$ Па, во втором — $p_2 = 3,0 \cdot 10^5$ Па. Температура одна и та же. После открытия крана в сосудах установится давление ... МПа.
9. Если абсолютную температуру газа, содержащегося в баллоне, изобарно уменьшить в $n = 2$ раз, а затем количество газа в баллоне уменьшить в $k = 6$ раз, то концентрация молекул газа изменится в ... раз (раза).
10. Если перегородки, разделяющие сосуд на три части с объемами $V_1 = 1,0$ л, $V_2 = 2,0$ л и $V_3 = 5,0$ л, в которых находился один и тот же газ при одной и той же температуре соответственно под давлением $p_1 = 0,20$ МПа, $p_2 = 0,15$ МПа и $p_3 = 0,10$ МПа, удалить, то в сосуде установится давление ... кПа.

Тест В2

1. В цилиндре под поршнем находится газ. Масса поршня $m = 600$ г, площадь поршня $S = 20,0$ см², атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа. Чтобы объем газа в цилиндре уменьшился втрое, на поршень необходимо подействовать добавочной силой, равной ... Н.

- 2*. Посередине откачанной и запаянной с обоих концов горизонтальной трубки длиной $L = 100$ см находится столбик ртути длиной $l = 20$ см. Если трубку поставить вертикально, то столбик ртути переместится на расстояние $\Delta l = 10$ см. Трубка была откачана до давления ... кПа.
3. Баллон, рассчитанный на максимальное избыточное давление $p_0 = 150$ МПа, при температуре $T = 270$ К содержит газ при давлении $p = 120$ МПа. Если баллон опустить в воду на глубину $h = 1000$ м, то газ в нем можно нагреть до температуры ... К.
4. Если объем некоторой массы газа уменьшить на $k = 10\%$, а температуру увеличить на $\Delta T = 24$ К, то давление газа возрастет на $n = 20\%$. Начальная температура газа составляла ... К.
5. Цистерна с предохранительным клапаном содержит водород при температуре $t_1 = 15$ °С и давлении $p_1 = 100$ кПа. При нагревании до $t_2 = 37$ °С через клапан выходит водород массой $\Delta m = 6000$ г. Если при этом давление не изменяется, то объем цистерны составляет ... м³.
6. В баллоне находился газ массой $m = 40$ кг под давлением $p_1 = 100$ МПа. Если давление в баллоне упало до $p_2 = 20$ МПа, а температура уменьшилась в $n = 3$ раза, то из баллона выпустили массу газа ... кг.
7. В закрытом сосуде находится воздух и капля воды массой $m = 1,0$ г. Объем сосуда $V = 75$ л, давление в нем $p = 12$ кПа, температура $T = 290$ К. Если капля испарится, то в сосуде установится давление ... кПа.
8. Три баллона с объемами $V_1 = 3,0$ л, $V_2 = 7,0$ л и $V_3 = 5,0$ л наполнены соответственно кислородом при давлении $p_1 = 0,20$ МПа, азотом — при $p_2 = 0,30$ МПа и углекислым газом — при $p_3 = 0,060$ МПа при одной и той же температуре. Баллоны соединяют между собой, вследствие чего образуется смесь той же температуры. Давление смеси составит ... МПа.
9. В сосуде при давлении $p = 100$ кПа и температуре $t = 27$ °С содержится смесь азота, кислорода и гелия. Если массы газов одинаковы, то плотность смеси составляет ... кг/м³. ($M_{N_2} = 28$ г/моль, $M_{O_2} = 32$ г/моль, $M_{He} = 4$ г/моль.)
- 10*. Внутри закрытого с обоих концов горизонтального цилиндра имеется тонкий поршень, который может скользить в цилиндре без трения. С одной стороны поршня находится водород массой $m_1 = 3,0$ г, с другой — азот массой $m_2 = 14$ г. Температура газов одинакова. Водород занимает объем цилиндра, равный ... %.

§ 36. Теплота и работа. Первое начало термодинамики

При изобарном процессе работа, совершенная идеальным газом,

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

где p — давление газа; V_1 и V_2 — начальный и конечный объемы газа.

На графике p — V работа численно равна площади фигуры, ограниченной графиком процесса, осью V и ординатами, соответствующими начальному и конечному объемам газа.

Внутренняя энергия U идеального газа — это сумма кинетических энергий частиц системы, и для одноатомного идеального газа рассчитывается по формуле $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} pV$, где m — масса газа; M — молярная масса; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

■ Первое начало термодинамики

Количество теплоты Q , сообщенное термодинамической системе, расходуется на изменение ее внутренней энергии ΔU и на работу A , совершаемую системой против внешних сил:

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

Для идеального газа при изотермическом процессе $T = \text{const}$, $\Delta T = 0$, $\Delta U = 0$ и $Q = A$; если $Q > 0$, то и $A > 0$, и газ совершает положительную работу; при $Q < 0$ над газом совершается работа.

При изобарном процессе $p = \text{const}$ и $Q = \Delta U + A = p\Delta V + \frac{3}{2} \frac{m}{M} R\Delta T$.

При изохорном процессе $V = \text{const}$, $A = 0$ и $Q = \Delta U$.

При **адиабатном процессе**, происходящем без теплообмена с окружающей средой, $Q = 0$ и $A = -\Delta U$. Если газ расширяется адиабатно, то происходит охлаждение газа; при адиабатном сжатии газ нагревается.

Тест А1

1. Если количество теплоты, которое получил идеальный газ, численно равно изменению его внутренней энергии, то газ совершил:
 - 1) изотермический процесс;
 - 2) изобарный процесс;
 - 3) изохорный процесс;
 - 4) адиабатный процесс;
 - 5) такой процесс невозможен.

2. Сравните работы, которые совершают одинаковые массы водорода A_1 и кислорода A_2 при изобарном нагревании на одну и ту же температуру ($M_{\text{H}_2} = 2$ г/моль, $M_{\text{O}_2} = 32$ г/моль).

- 1) $\frac{A_1}{A_2} = 16$; 3) $\frac{A_1}{A_2} = 1$; 5) $\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{16}$.
 2) $\frac{A_1}{A_2} = 4$; 4) $\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4}$;

3. Если для изобарного нагревания одноатомного идеального газа в количестве $\nu = 8,00$ моль на $\Delta T = 50,0$ К газу сообщили некоторое количество теплоты, то газ при этом совершит работу:

- 1) 1,7 кДж; 3) 4,6 кДж; 5) 7,5 кДж.
 2) 3,3 кДж; 4) 5,8 кДж;

4. Если температуру воды повысить на $\Delta T = 10$ К, то увеличение внутренней энергии, приходящейся на одну молекулу, составит:

- 1) $4,8 \cdot 10^{-22}$ Дж; 3) $6,0 \cdot 10^{-23}$ Дж; 5) $2,1 \cdot 10^{-23}$ Дж.
 2) $1,3 \cdot 10^{-22}$ Дж; 4) $3,0 \cdot 10^{-23}$ Дж;

5. Если объем гелия массой $m = 160$ г, температура которого $t = 27,0$ °С, при изобарном нагревании увеличивается вдвое, то количество теплоты, необходимое для такого процесса, равно:

- 1) 0,149 МДж; 3) 0,249 МДж; 5) 0,598 МДж.
 2) 0,212 МДж; 4) 0,286 МДж;

6. При изобарном нагревании идеального газа на совершение газом работы расходуется часть теплоты, сообщенной газу:

- 1) 33 %; 3) 50 %; 5) 67 %.
 2) 40 %; 4) 60 %;

7. Баллон емкостью $V = 50,0$ л содержит аргон под давлением $p = 500$ кПа. Если аргону сообщить количество теплоты $Q = 5000$ Дж, то его давление составит:

- 1) 523 кПа; 3) 567 кПа; 5) 672 кПа.
 2) 546 кПа; 4) 594 кПа;

8. Чтобы перевести один моль идеального одноатомного газа из состояния 1 с температурой газа $T_1 = 300$ К в состояние 2 (рис. 36.1), необходимо затратить количество теплоты, равное:

- 1) 13,7 кДж; 4) 26,2 кДж;
 2) 22,4 кДж; 5) 29,9 кДж.
 3) 24,9 кДж;

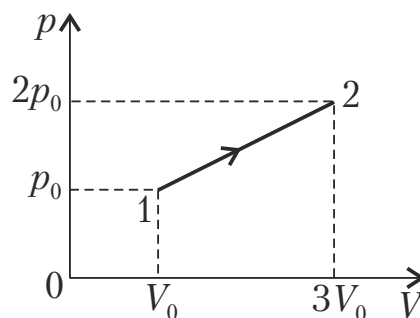


Рис. 36.1

9. Одноатомный идеальный газ в количестве ν моль, имеющий начальную температуру T , в результате изохорного нагревания переходит из состояния 1 в состояние 2. При этом давление возрастает в $n = 2$ раза. Затем газ изотермически переходит из состояния 2 в состояние 3. При этом объем возрастает в $k = 3$ раза. Результирующее изменение внутренней энергии газа (при переходе из 1 в 3) составляет:

- 1) $1,5\nu RT$; 3) $4,5\nu RT$; 5) $6\nu RT$.
2) $2,5\nu RT$; 4) $5\nu RT$;

10. Теплоизолированный сосуд с гелием молярной массой M движется по прямой со скоростью, модуль которой v . Если теплоемкостью сосуда пренебречь, то при его остановке изменение температуры гелия ΔT составит:

- 1) $\Delta T = \frac{5Mv^2}{R}$; 3) $\Delta T = \frac{5Mv^2}{2R}$; 5) $\Delta T = \frac{Mv^2}{3R}$.
2) $\Delta T = \frac{3Mv^2}{R}$; 4) $\Delta T = \frac{5Mv^2}{3R}$;

Тест А2

1. Если работа, которую совершил идеальный газ без теплообмена с окружающими телами, численно равна увеличению его внутренней энергии, то газ совершил:

- 1) изотермический процесс;
2) изобарный процесс;
3) изохорный процесс;
4) адиабатный процесс;
5) такой процесс невозможен.

2. Если для изобарного нагревания одноатомного идеального газа в количестве $\nu = 0,80$ кмоль на $\Delta T = 500$ К газу сообщили некоторое количество теплоты, то приращение его внутренней энергии составит:

- 1) 1,7 МДж; 3) 4,6 МДж; 5) 7,5 МДж.
2) 3,1 МДж; 4) 5,0 МДж;

3. Неон, находившийся при нормальных условиях в закрытом сосуде емкостью $V = 0,02$ м³, охладили на $\Delta T = 91$ К. Количество отданной неоном теплоты составит:

- 1) 0,5 кДж; 3) 2 кДж; 5) 5 кДж.
2) 1 кДж; 4) 4 кДж;

4. Если объем кислорода массой $m = 160$ г, температура которого $t = 27,0$ °С, при изобарном нагревании увеличивается вдвое, то работа газа при расширении составит:
- 1) 12,5 кДж; 3) 31,7 кДж; 5) 75,9 кДж.
 2) 18,2 кДж; 4) 44,2 кДж;
5. Если при нагревании одноатомного идеального газа на $\Delta t = 7$ °С его внутренняя энергия увеличилась на $\Delta U = 348,6$ Дж, то количество вещества составляет:
- 1) 9 моль; 4) 0,1 моль;
 2) 6 моль; 5) необходимо знать массу газа.
 3) 4 моль;
6. Баллон емкостью $V = 50$ л содержит аргон под давлением $p = 200$ кПа. Если аргону сообщить количество теплоты $Q = 3,0$ кДж, то его давление составит:
- 1) 0,40 МПа; 3) 0,12 МПа; 5) 0,24 МПа.
 2) 0,36 МПа; 4) 0,16 МПа;
7. Если объем одноатомного идеального газа увеличился в $n = 3$ раза, а его давление уменьшилось в $k = 1,5$ раза, то внутренняя энергия газа возросла:
- 1) в 1,4 раза; 3) в 2 раза; 5) в 4,5 раза.
 2) в 1,5 раза; 4) в 4,0 раза;
8. Чтобы перевести один моль идеального одноатомного газа из состояния 1 (в состоянии 1 температура газа $T_1 = 300$ К) в состояние 3 (рис. 36.2), необходимо затратить количество теплоты, равное:
- 1) 13,7 кДж;
 2) 16,2 кДж;
 3) 18,1 кДж;
 4) 23,7 кДж;
 5) 31,5 кДж.
9. Одноатомный идеальный газ в количестве ν моль, имеющий начальную температуру T , в результате изохорного нагревания переходит из состояния 1 в состояние 2. При этом его давление возрастает в $n = 3$ раза. Затем газ изобарно переходит из состояния 2 в состояние 3. При этом его объем возрастает в $k = 2$ раза. Результирующее изменение внутренней энергии газа (при переходе из 1 в 3) составляет:
- 1) $3,0\nu RT$; 3) $6\nu RT$; 5) $11\nu RT$.
 2) $4,5\nu RT$; 4) $7,5\nu RT$;

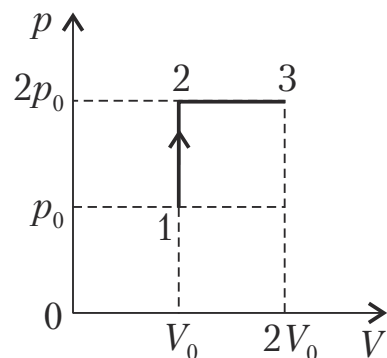


Рис. 36.2

10. При изобарном нагревании от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 400$ К газ совершил работу $A = 100$ Дж. Если газ нагреть еще на $\Delta t = 25$ °С, то он при этом совершит работу:
- 1) 15 Дж; 3) 30 Дж; 5) 50 Дж.
 2) 25 Дж; 4) 40 Дж;

Тест В1

- Идеальному газу сообщили количество теплоты $Q = 8$ кДж. При этом его внутренняя энергия увеличилась на $\Delta U = 14$ кДж. Работа, которую совершил газ, равна ... кДж.
- Кислород массой $m = 3$ кг при температуре $T = 320$ К охладили изохорно. При этом давление кислорода уменьшилось в $n = 3$ раза. Затем газ изобарно расширили так, что температура его стала первоначальной. Изменение внутренней энергии газа составит ... кДж.
- В начальном состоянии температура газа $T_1 = 295$ К. В конечном состоянии газ занимает объем $V_2 = 1$ л при температуре $T_2 = 300$ К. Если давление p газа в ходе процесса постоянно и равно 300 кПа, то работа газа составила ... Дж.
- Чтобы перевести один моль идеального одноатомного газа из состояния 1 с температурой $T_1 = 300$ К в состояние 3 (рис. 36.3), необходимо затратить количество теплоты, равное ... кДж.
- В координатах $(p; V)$ график циклического процесса, который совершает идеальный газ, имеет вид прямых, соединяющих точки с координатами (200 кПа; 1,0 л), (100 кПа; 2,0 л), (100 кПа; 1,0 л). Работа, совершенная газом за цикл, равна ... Дж.
- Одноатомный идеальный газ в количестве ν моль, имеющий начальную температуру T , в результате изохорного нагревания переходит из состояния 1 в состояние 2. При этом его давление возрастает в $n = 3$ раза. Затем газ изобарно переходит из состояния 2 в состояние 3. При этом его объем возрастает в $k = 2$ раза. Отношение количества теплоты, которое получил газ при переходе из 1 в 3, к величине $A = 0,1\nu RT$ составляет
- Если при адиабатном сжатии температура гелия возросла на $\Delta T = 2,0$ К и при этом была совершена работа $A = 996$ Дж, то масса газа составляет ... кг.

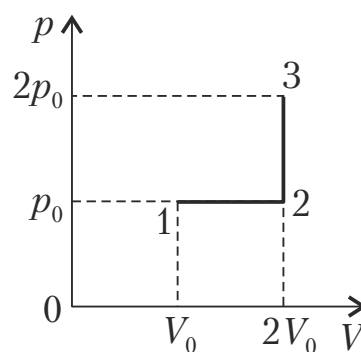


Рис. 36.3

- 8*. Один моль идеального одноатомного газа совершает процесс, при котором давление растет пропорционально объему по закону $p = \alpha V$. Если газу сообщить количество теплоты $Q = 33,2$ Дж, то его температура изменится на ... К.
- 9*. Один моль одноатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. При этом его максимальное давление в $n = 2$ раза больше минимального, а максимальный объем в $k = 3$ раза больше минимального. КПД цикла равен ... %.
10. Идеальный газ (неон) массой $m = 200$ г переводят из состояния 1 в состояние 4, как показано на p – T диаграмме (рис. 36.4). Молярная масса неона $M = 20$ г/моль. Разность конечной и начальной температуры $T_4 - T_1 = 100$ К. Подведенное газу количество теплоты в процессе 1–2–3–4 равно ... кДж.

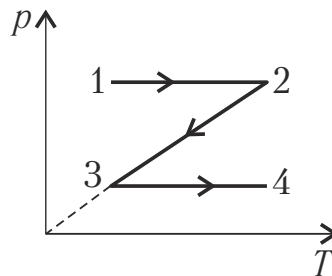


Рис. 36.4

Тест В2

- Над идеальным газом совершена работа $A = 10$ кДж. При этом газ отдал количество теплоты $Q = 6$ кДж. Внутренняя энергия газа изменилась на ... кДж.
- В ходе изотермического расширения при увеличении объема от $V_1 = 0,50$ л до $V_2 = 0,70$ л газу сообщили количество теплоты $Q = 30$ Дж. Если при дальнейшем изотермическом расширении газ совершил работу $A = 10$ Дж, то работа газа в ходе всего процесса составила ... Дж.
- В цилиндре под поршнем площадью $S = 1,0$ дм² находится воздух в количестве $\nu = 1,0$ моль. К поршню через блок подвешен груз массой $m = 55$ кг. Цилиндр охлаждают на $\Delta T = 100$ К. Атмосферное давление нормальное. Если масса поршня $M = 5,0$ кг, то груз поднимется на высоту ... м.
- Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3–1, приведенный на рисунке 36.5. Температура газа в состояниях 1 и 2 $T = 300$ К. Объем $V_3 = 2,5V_1$. Количество теплоты, которое получил газ на участке 2–3, равно ... кДж.
- Газ, состоящий из смеси водорода массой $m_1 = 0,5$ г и гелия массой $m_2 = 1,4$ г, при изобарном расширении совершил работу $A = 2988$ Дж. Если начальная температура смеси $T = 300$ К, то в результате процесса объем газа увеличился в ... раз (раза).

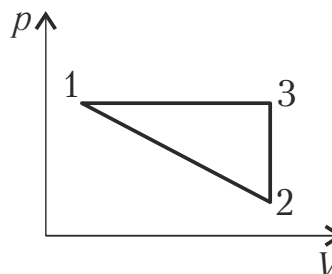


Рис. 36.5

- 6*. Идеальный газ в количестве $\nu = 5,00$ моль нагревают на $\Delta T = 10,0$ К таким образом, что его температура изменяется пропорционально квадрату объема газа. Работа, совершенная газом, равна ... Дж.
7. Идеальный газ в количестве $\nu = 2,00$ моль изобарно расширяют, при этом объем газа увеличивается в $n = 2$ раза. Затем газ изохорно охлаждаются до первоначальной температуры. Если работа, совершенная газом, при этом $A = 4,15$ кДж, то максимальное значение температуры газа в данном процессе составило ... К.
- 8*. Идеальный газ в количестве $\nu = 1,0$ моль совершает цикл, изображенный на рисунке (рис. 36.6) в координатах $(p; U)$, где p — давление, U — внутренняя энергия идеального газа. КПД цикла равен ... %.
9. Тепловой двигатель работает по циклу Карно. Если КПД цикла 80 %, а количество теплоты, отдаваемое за цикл холодильнику, $Q_2 = 2,0$ Дж, то работа, совершаемая рабочим телом на участке изотермического расширения, составляет ... Дж.
10. В ходе некоторого процесса давление и объем газа изменяются по закону $pV = \text{const}$. Если объем газа увеличится в $n = 2$ раза, то отношение внутренних энергий $\frac{U_1}{U_2}$ равно

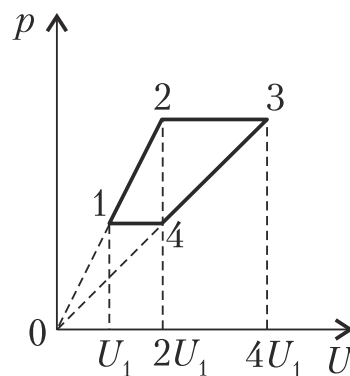


Рис. 36.6

§ 37. Уравнение теплового баланса.

Тепловые двигатели

Тепловые свойства вещества характеризуются удельной теплоемкостью $c = \frac{Q}{m\Delta t}$, где m — масса вещества; $\Delta t = t_2 - t_1$ — изменение температуры от t_1 до t_2 .

Теплоемкость тела $C = \frac{Q}{\Delta t}$; $C = cm$.

Удельная теплота плавления $\lambda = \frac{Q}{m}$, отсюда $Q = m\lambda$ при плавлении и $Q = -m\lambda$ при кристаллизации.

Удельная теплота парообразования $L = \frac{Q}{m}$, отсюда $Q = mL$ при парообразовании и $Q = -mL$ при конденсации.

При сгорании топлива массой m выделяется количество теплоты

$$Q = qm,$$

где q — удельная теплота сгорания топлива.

Для теплоизолированной замкнутой системы, состоящей из n тел, процесс теплообмена между телами подчиняется **уравнению теплового баланса**

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0,$$

где Q_1, Q_2, \dots, Q_n — количество теплоты, получаемое и отдаваемое телами системы в результате теплообмена.

В тепловом двигателе внутренняя энергия топлива преобразуется в механическую работу.

КПД η теплового двигателя численно равен отношению полезной работы $A_{\text{п}}$, совершенной двигателем, к количеству теплоты Q_1 , полученной от нагревателя:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_2 — количество теплоты, отданное холодильнику.

КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно,

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 — температура нагревателя; T_2 — температура холодильника.

Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, отбирает у холодного тела количество теплоты Q_2 и передает горячему телу количество теплоты $Q_1 = Q_2 + A$, где A — механическая работа.

Показатель эффективности такой машины $k = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$.

Тест А1

1. Удельная теплоемкость железа $c = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Это означает, что:

- 1) для нагревания любой массы железа на 1 К необходимо 460 Дж теплоты;
- 2) для нагревания 1 кг железа на 1 К необходимо 460 Дж теплоты;
- 3) 1 кг железа при 100 °С сообщается 460 Дж теплоты;
- 4) любой массе железа при 100 °С сообщается 460 Дж теплоты;
- 5) 1 кг железа при 0 °С выделяет 460 Дж теплоты.

2. Если при остывании вещества массой $m = 3000$ г на $\Delta T = 2,00$ К выделилось 2340 Дж теплоты, то удельная теплоемкость вещества составляет:
- 1) $293 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; 3) $390 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; 5) $3,51 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.
2) $347 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; 4) $1,56 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
3. В воду объемом $V_1 = 20,0$ л при температуре $t_1 = 27,0$ °С влили некоторое количество кипятка при температуре $t_2 = 100$ °С, в результате чего установилась температура воды $t = 60,0$ °С. Объем добавленного кипятка равен:
- 1) 2,00 л; 3) 8,40 л; 5) 16,5 л.
2) 6,20 л; 4) 12,0 л;
4. Кусок льда массой $m = 2,0$ кг при температуре $t = -20$ °С нагрели, сообщив ему количество теплоты $Q = 1,26$ МДж. Температура вещества после нагревания:
- 1) 0 °С; 3) 37 °С; 5) 75 °С.
2) 12 °С; 4) 61 °С;
5. Если начальная температура воды и эфира $T_1 = 273$ К и теплообмен происходит только между эфиром и водой ($\lambda_{\text{льда}} = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, $L = 84$ кДж/кг), то в результате испарения эфира массой $m = 100$ г можно превратить в лед массу воды:
- 1) 25 г; 2) 41 г; 3) 63 г; 4) 82 г; 5) 164 г.
6. Температура льда $t = 0,00$ °С. Чтобы алюминиевый куб ($c_{\text{Al}} = 880 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $\rho_{\text{Al}} = 2700$ кг/м³), положенный на лед, полностью в него погрузился, куб необходимо предварительно нагреть до температуры:
- 1) 84,0 °С; 3) 125 °С; 5) 255 °С.
2) 127 °С; 4) 212 °С;
7. Повысить КПД теплового двигателя можно, если:
- 1) повысить температуру нагревателя;
2) повысить температуру холодильника;
3) повысить температуру нагревателя и холодильника в одинаковое число раз;
4) понизить температуру нагревателя и холодильника в одинаковое число раз;
5) повысить температуру холодильника и понизить температуру нагревателя.

8. В результате изобарного процесса объем одноатомного идеального газа увеличился в $n = 3$ раза. КПД этого процесса равен:
- 1) 20,0 %; 3) 43,3 %; 5) 66,7 %.
2) 40,0 %; 4) 60,0 %;
9. Если температуру нагревателя и холодильника теплового двигателя уменьшить в $n = 2$ раза, то КПД двигателя:
- 1) увеличится в 2 раза;
2) увеличится в 4 раза;
3) уменьшится в 2 раза;
4) уменьшится в 4 раза;
5) не изменится.
10. Газ, совершающий цикл Карно, $\eta = 70,0\%$ теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Если температура нагревателя $T_1 = 430$ К, то температура холодильника равна:
- 1) 347 К; 2) 335 К; 3) 301 К; 4) 273 К; 5) 129 К.

Тест А2

1. Вид теплообмена, который сопровождается переносом вещества:
- 1) теплопроводность;
2) излучение;
3) конвекция;
4) теплопроводность и конвекция;
5) излучение и конвекция.
2. Количество теплоты, необходимое для плавления цинка массой $m = 3,0$ кг, взятого при температуре $t = 0$ °С, составляет (температура плавления цинка $t_{\text{пл}} = 420$ °С, удельная теплоемкость $c = 400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, удельная теплота плавления $\lambda = 112$ кДж/кг):
- 1) 0,84 МДж; 3) 6,0 кДж; 5) 0,34 кДж.
2) 0,60 МДж; 4) 0,54 кДж;
3. Чтобы падающая капля воды при отсутствии силы сопротивления воздуха при ударе о землю нагрелась на $\Delta t = 1,00$ °С, она должна упасть с высоты:
- 1) 213 м; 2) 319 м; 3) 420 м; 4) 535 м; 5) 668 м.
4. Автомобиль расходует бензин массой $m = 5,67$ кг на пути $s = 50$ км. Если модуль скорости движения автомобиля $v = 90$ км/ч, а КПД двигателя $\eta = 22\%$, то мощность двигателя автомобиля составляет:
- 1) 17 кВт; 3) 33 кВт; 5) 42 кВт.
2) 29 кВт; 4) 37 кВт;

5. В железном калориметре массой $m_{\text{ж}} = 100$ г находится вода массой $m_{\text{в}} = 500$ г при температуре $t_1 = 15,0$ °С. В калориметр бросают свинец и алюминий общей массой $m = 150$ г при температуре $t_2 = 100$ °С. Если в результате температура воды поднимается до $t = 17,0$ °С, то масса свинца составила:
- 1) 46,0 г; 3) 96,0 г; 5) 118 г.
2) 92,0 г; 4) 106 г;
6. Два свинцовых шара одинаковой массы движутся со скоростями, модули которых v и $2v$, навстречу друг другу. В результате неупругого удара шаров их температура повысится на ΔT :
- 1) $\frac{3v^2}{2c}$; 3) $\frac{4v^2}{9c}$; 5) $\frac{9v^2}{8c}$.
2) $\frac{2v^2}{3c}$; 4) $\frac{3v^2}{8c}$;
7. КПД теплового двигателя уменьшится, если:
- 1) повысить температуру нагревателя;
2) повысить температуру холодильника;
3) повысить температуру нагревателя и холодильника в одинаковое число раз;
4) понизить температуру нагревателя и холодильника в одинаковое число раз;
5) повысить температуру нагревателя и понизить температуру холодильника.
8. Температура нагревателя теплового двигателя $t_1 = 160$ °С, холодильника — $t_2 = 20,0$ °С. Работа, которую совершает двигатель за счет каждого килоджоуля энергии, полученного от нагревателя, равна:
- 1) 89 Дж; 3) 214 Дж; 5) 677 Дж.
2) 125 Дж; 4) 323 Дж;
- 9*. Температура нагревателя теплового двигателя $t_1 = 127$ °С. Если температуру нагревателя и холодильника двигателя увеличить на $\Delta t = 40$ °С, то КПД двигателя:
- 1) увеличится на 9,1 %; 4) уменьшится на 4,6 %;
2) увеличится на 4,6 %; 5) не изменится.
3) уменьшится на 9,1 %;
10. В результате циклического процесса газ совершил работу $A = 100$ Дж и передал холодильнику количество теплоты $Q = 400$ Дж. КПД цикла равен:
- 1) 20 %; 3) 33 %; 5) 80 %.
2) 25 %; 4) 60 %;

Тест В1

1. Внутренняя энергия меди массой $m = 1,00$ кг при плавлении увеличится на ... кДж.
2. Алюминиевый чайник массой $m_1 = 400$ г, в котором находится вода массой $m_2 = 2,0$ кг при $t_1 = 10$ °С, помещают на газовую горелку с КПД $\eta = 40$ %. Если через $\Delta\tau = 10$ мин вода закипела, причем $\Delta m = 20$ г ее выкипело, то мощность горелки составляет ... кВт (ответ умножьте на 10).
3. Смесь, состоящую из льда массой $m_1 = 5,0$ кг и воды массой $m_2 = 15$ кг при общей температуре $t_1 = 0$ °С, нужно нагреть до температуры $t = 80$ °С пропусканием водяного пара при $t_2 = 100$ °С. Необходимое количество пара составляет ... кг (ответ умножьте на 10).
4. В сосуд, содержащий воду массой $m = 10$ кг при температуре $T_1 = 283$ К, положили кусок льда, охлажденный до $T_2 = 223$ К, после чего температура образовавшейся ледяной массы оказалась $T = 269$ К. Масса льда, положенного в сосуд, равна ... кг. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплоемкость $c = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.
5. Лед массой $m_1 = 20$ кг при температуре $t_1 = -20$ °С опущен в воду, масса которой $m_2 = 20$ кг, температура $t_2 = 70$ °С. Масса растаявшего льда составит ... кг.
6. Автомобиль массой $M = 4,6$ т трогается с места на подъеме, равном $\sin \alpha = 0,025$, и, двигаясь равноускоренно, за время $t = 40$ с проходит путь $s = 200$ м. Если коэффициент сопротивления $\mu = 0,020$ и КПД $\eta = 20$ %, то расход бензина на этом участке составит ... л (ответ умножьте на 10). Теплота сгорания бензина $q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг, плотность $\rho = 700$ кг/м³.
7. Идеальная тепловая машина совершает за цикл работу $A = 1000$ Дж. Если ее максимальный КПД $\eta = 40$ %, то количество теплоты, которое отдает машина за цикл холодильнику, равно ... кДж.
8. В идеальной тепловой машине рабочим веществом является пар при начальной температуре $T_1 = 710$ К. Температура отработанного пара $T_2 = 350$ К. Если от нагревателя за время $t = 60$ с поступает в среднем количество теплоты $Q = 142$ кДж, то полезная мощность машины составляет ... кВт.
9. Максимально возможный КПД двигателя внутреннего сгорания больше, чем максимально возможный КПД паровой машины, работающей на перегретом паре при температуре $t_1 = 300$ °С, если тем-

пература газов в цилиндре двигателя достигает $t_2 = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ (отработанные газы и пар имеют температуру $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$), в ... раз (раза).

10. Тепловой двигатель имеет полезную мощность $P = 2,0 \text{ кВт}$. Если КПД двигателя $\eta = 12 \%$, то количество теплоты, которое получает двигатель за время $\Delta t = 60 \text{ мин}$, составляет ... МДж.

Тест В2

1. Количество теплоты, необходимое для плавления льда при температуре $t = 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$, больше количества теплоты, необходимого для нагревания такого же количества льда, на $\Delta t = 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ в ... раз (раза).
2. На электроплитке мощностью $P = 600 \text{ Вт}$ при КПД $\eta = 80 \%$ нужно нагревать лед массой $m = 1,0 \text{ кг}$, взятый при начальной температуре $t_1 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$, чтобы получить воду, нагретую до $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Время, необходимое для этого, составляет ... мин.
- 3*. В калориметр с теплоемкостью $C = 1000 \text{ Дж/К}$, содержащий воду массой $m_1 = 300 \text{ г}$ при температуре $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$, опустили мокрый снег массой $m_2 = 200 \text{ г}$. Когда снег растаял, установилась температура $t = 7,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Количество льда, которое было в комке мокрого снега, составило ... г.
- 4*. После опускания в воду, имеющую температуру $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, тела, нагретого до $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, через некоторое время установилась общая температура $t_3 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Если, не вынимая первого, в воду опустить еще одно такое же тело, нагретое до $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, то температура воды составит ... $^\circ\text{C}$.
5. Для нагревания воды объемом $V = 2,0 \text{ л}$, находящейся в алюминиевой кастрюле массой $m_1 = 400 \text{ г}$, от $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ был израсходован газ массой $m_2 = 30 \text{ г}$. Коэффициент полезного действия газовой плиты, если считать всю теплоту, израсходованную на нагревание сосуда с водой, полезной, составляет ... %. Удельная теплоемкость алюминия $c = 9200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, теплота сгорания газа $q = 34 \text{ МДж/кг}$.
6. Смесь, состоящую из льда массой $m_1 = 5,0 \text{ кг}$ и воды массой $m_2 = 15 \text{ кг}$ при общей температуре $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, в сосуде, теплоемкость которого $C = 42 \text{ кДж/К}$ нужно нагреть до температуры $t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ пропусканием водяного пара при $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Необходимое количество пара составляет ... кг.
7. Если за один цикл тепловая машина совершила работу $A = 3,0 \text{ кДж}$ и холодильнику было передано количество теплоты $Q = 13,4 \text{ кДж}$, то КПД машины составляет ... %.

8. Температура нагревателя теплового двигателя $t_1 = 127^\circ\text{C}$. Если температуру нагревателя и холодильника двигателя уменьшить на $\Delta t = 40^\circ\text{C}$, то КПД двигателя изменится на ... %.
9. КПД тепловой машины $\eta = 15\%$. Количество теплоты, переданное от нагревателя рабочему телу за время, в течение которого машина совершила полезную работу $A = 150$ Дж, составляет ... кДж.
10. Три четверти теплоты, полученной от нагревателя при осуществлении цикла Карно, передается холодильнику. Если температура нагревателя $t_1 = 127^\circ\text{C}$, то температура холодильника равна ... К.

§ 38. Свойства паров, жидкостей и твердых тел

В воздухе всегда находится некоторое количество водяного пара.

Пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью, называется **насыщенным**. Насыщенный водяной пар не подчиняется законам идеального газа. Давление p насыщенного водяного пара зависит от температуры, но не зависит от его объема V и всегда больше давления ненасыщенного водяного пара при той же температуре.

При понижении температуры ненасыщенный пар может стать насыщенным и может выпасть **роса**. Температура, при которой это происходит, называется точкой росы.

Атмосферное давление представляет собой сумму парциального давления сухого воздуха и водяного пара, находящегося в нем.

Состояние водяного пара характеризуют абсолютной влажностью ρ , упругостью p и относительной влажностью.

Абсолютная влажность — это величина, численно равная массе водного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха (т. е. плотность водяного пара в воздухе). Упругость водяного пара — парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе. Они связаны между собой уравнением состояния:

$$p = \frac{\rho}{M}RT,$$

где M — молярная масса воды; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Относительной влажностью φ воздуха называют выраженное в процентах отношение абсолютной влажности к плотности ρ_n насыщенного пара при данной температуре (или отношение упругости водяного пара к давлению p_n насыщенного пара при той же температуре):

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\%; \quad \varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\%.$$

■ Поверхностное натяжение

Поверхностный слой жидкости, подобно эластичной растянутой пленке, старается сократить свою поверхность. Это явление — поверхностное натяжение.

Отношение работы A , которую необходимо совершить, чтобы увеличить площадь свободной поверхности жидкости при постоянной температуре, к площади ΔS , называется *коэффициентом поверхностного натяжения* σ .

$$\sigma = \frac{A}{\Delta S}, \quad A = \sigma \Delta S.$$

Коэффициент поверхностного натяжения σ численно равен модулю силы поверхностного натяжения F , действующей на единицу длины границы раздела жидкости l :

$$\sigma = \frac{F}{l}.$$

Смачивание на границе раздела жидкости и твердого тела приводит к подъему смачивающей жидкости и опусканию несмачивающей жидкости в капилляре на высоту $h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta$, где θ — краевой угол

(угол между касательной к поверхности жидкости и стенкой капилляра); ρ — плотность жидкости; r — радиус капилляра.

■ Механические свойства твердых тел

Для упругих деформаций имеет место **закон Гука**: относительная деформация ε прямо пропорциональна приложенному напряжению: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$, где $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$; $\sigma = \frac{F}{S}$; $\Delta l = l - l_0$ — абсолютное удлинение (сжатие) тела, l_0 и l — длина недеформированного и деформированного тела; F — модуль приложенной силы; S — площадь поперечного сечения тела; E — модуль Юнга. Тогда

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \frac{F}{S}.$$

Жесткость (коэффициент упругости) $k = \frac{ES}{l_0}$, и тогда закон Гука:

$$F = k \Delta l.$$

Под *пределом прочности* $\sigma_{\text{пр}}$ понимают минимальное напряжение, при котором материал разрушается. Рабочее напряжение $\sigma = \frac{\sigma_{\text{пр}}}{n}$, где n — *коэффициент безопасности*.

Тест А1

1. Из медного листа вырезали пластинку в форме угла (рис. 38.1). Если пластинку нагреть, то ее угол:
- 1) увеличится;
 - 2) уменьшится;
 - 3) сначала увеличится, затем уменьшится;
 - 4) сначала уменьшится, затем увеличится;
 - 5) не изменится.

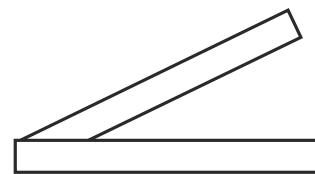


Рис. 38.1

2. При увеличении температуры воды от $t_1 = 0$ до $t_2 = 4$ °С ее масса m , объем V и плотность ρ изменяются следующим образом:
- 1) m увеличивается, V уменьшается, ρ увеличивается;
 - 2) m уменьшается, V увеличивается, ρ уменьшается;
 - 3) m остается постоянной, V увеличивается, ρ уменьшается;
 - 4) m остается постоянной, V уменьшается, ρ увеличивается;
 - 5) m уменьшается, V уменьшается, ρ остается постоянной.
3. Длина медной трубки змеевика при температуре $t_1 = 20$ °С $l_1 = 12$ м. Если температура трубки повысится до $t_2 = 120$ °С, длина трубки изменится на (коэффициент линейного расширения меди $\lambda = 1,7 \cdot 10^{-5}$ 1/К):
- 1) 20 мм;
 - 2) 30 мм;
 - 3) 40 мм;
 - 4) 50 мм;
 - 5) 60 мм.
4. Коэффициент поверхностного натяжения в системе СИ имеет размерность:
- 1) $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;
 - 2) $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$;
 - 3) $\frac{\text{кг}}{\text{с}^2}$;
 - 4) $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}}$;
 - 5) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}$.
5. В капиллярной трубке радиусом $r = 0,500$ мм жидкость поднялась на высоту $h = 110$ мм. Если коэффициент поверхностного натяжения жидкости $\sigma = 22,0$ мН/м, то ее плотность равна:
- 1) 240 кг/м³;
 - 2) 400 кг/м³;
 - 3) 800 кг/м³;
 - 4) 970 кг/м³;
 - 5) 990 кг/м³.
6. Если плотность пара, содержащегося в воздухе, в $n = 2,5$ раз больше плотности насыщенного пара при этой же температуре, то относительная влажность воздуха равна:
- 1) 50 %;
 - 2) 40 %;
 - 3) 25 %;
 - 4) 4 %;
 - 5) этого не может быть.

7. При понижении температуры в закрытом помещении с относительной влажностью $\varphi = 50\%$ относительная влажность в нем:
- 1) будет непрерывно понижаться;
 - 2) будет непрерывно повышаться;
 - 3) сначала будет понижаться, а затем оставаться постоянной;
 - 4) сначала будет повышаться, а затем оставаться постоянной;
 - 5) сначала будет оставаться постоянной, а затем понижаться.
8. Относительная влажность воздуха при температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$ $\varphi_1 = 80\%$ ($\rho_{\text{нас } 30^\circ\text{C}} = 30\text{ г/м}^3$, $\rho_{\text{нас } 50^\circ\text{C}} = 83\text{ г/м}^3$). Если этот воздух нагреть при постоянном объеме до $t_2 = 50^\circ\text{C}$, то относительная влажность воздуха составит:
- 1) 21 %;
 - 2) 29 %;
 - 3) 32 %;
 - 4) 41 %;
 - 5) 60 %.
9. Закон Гука для упругих деформаций может быть записан в виде:
- 1) $F = \frac{l_0 S}{\Delta l E}$;
 - 2) $F = \frac{S \Delta l E}{l_0}$;
 - 3) $F = \frac{\Delta l S}{l_0 E}$;
 - 4) $\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F S}{E}$;
 - 5) среди ответов нет правильного.
10. Две одинаковые пружины соединены параллельно. Если эти же пружины соединить последовательно, то жесткость системы:
- 1) увеличится в 2 раза;
 - 2) уменьшится в 2 раза;
 - 3) увеличится в 4 раза;
 - 4) уменьшится в 4 раза;
 - 5) не изменится.

Тест А2

1. Из приведенных ниже утверждений правильными являются:
- а) при нагревании все тела расширяются;
 - б) при охлаждении все тела сжимаются;
 - в) при нагревании тела могут расширяться и сжиматься;
 - г) при охлаждении тела могут расширяться и сжиматься;
 - д) при изменении температуры тела его объем может не изменяться.
- 1) а, б, г;
 - 2) а, б;
 - 3) в, г;
 - 4) в, г, д;
 - 5) а, д.

2. На круглой медной пластинке начертили отрезок прямой (рис. 38.2). Если пластинку нагреть, то:

- 1) форма отрезка и его длина не изменятся;
- 2) форма отрезка не изменится, а его длина уменьшится;
- 3) форма отрезка не изменится, а его длина увеличится;
- 4) отрезок превратится в дугу с выпуклостью вправо;
- 5) отрезок превратится в дугу с выпуклостью влево.

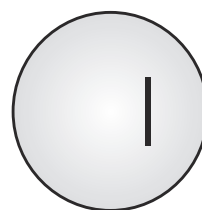


Рис. 38.2

3. Два стержня одинаковой длины при температуре $t = 0$ °С изготовлены из различных материалов (температурные коэффициенты линейного расширения α_1 и α_2). Первый стержень нагревается на Δt_1 . Чтобы линейное расширение обоих стержней было одинаковым, второй стержень необходимо нагреть на Δt_2 °С, равное:

- 1) $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \Delta t_1$;
- 2) $\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_2} \Delta t_1$;
- 3) $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \Delta t_1$;
- 4) $\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1} \Delta t_1$;
- 5) $\frac{\alpha_1}{\alpha_2 + \alpha_1} \Delta t_1$.

4. Высота столба жидкости в капилляре определяется по формуле:

- 1) $h = \frac{\sigma}{\rho g r}$;
- 2) $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$;
- 3) $h = \frac{\sigma}{2\rho g r}$;
- 4) $h = \frac{2\pi\sigma}{\rho g r}$;
- 5) $h = \frac{2\sigma}{r}$.

5. Поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$ мН/м. Масса воды, поднимающейся в капилляре диаметром $d = 0,50$ мм, составляет:

- 1) 56 мг;
- 2) 11 мг;
- 3) 12 мг;
- 4) 2,2 мг;
- 5) 1,2 мг.

6. Пар называется насыщенным, если:

- 1) зависимость его давления от температуры имеет вид $p = p_0 + c\Delta T$;
- 2) пар быстро конденсируется даже при отсутствии центров конденсации;
- 3) давление пара прямо пропорционально его абсолютной температуре;
- 4) пар находится в динамическом равновесии со своей жидкостью;
- 5) конденсация пара происходит интенсивнее испарения.

7. В закрытом сосуде находится пар, близкий к насыщению. Если этот пар сжимать при постоянной температуре, то его давление будет:
- 1) сначала увеличиваться, а затем оставаться постоянным;
 - 2) сначала увеличиваться, а затем уменьшаться;
 - 3) увеличиваться;
 - 4) уменьшаться;
 - 5) оставаться постоянным.
8. Сколько воды выделится из воздуха объемом $V = 1,0 \text{ м}^3$, если при $T_1 = 293 \text{ К}$ его относительная влажность $\phi_1 = 90 \%$, а температура воздуха понизилась до $T_2 = 288 \text{ К}$? ($\rho_{\text{нас } 20^\circ\text{C}} = 17,3 \text{ г/м}^3$, $\rho_{\text{нас } 15^\circ\text{C}} = 12,8 \text{ г/м}^3$.)
- 1) 1,6 г;
 - 2) 2,3 г;
 - 3) 2,8 г;
 - 4) 3,5 г;
 - 5) 4,9 г.
9. Пределом прочности называют:
- 1) механическое напряжение, вызывающее деформацию тела;
 - 2) силу, вызывающую пластическую деформацию тела;
 - 3) механическое напряжение, при котором деформируется кристаллическая решетка;
 - 4) максимальное механическое напряжение, при котором еще не возникают остаточные деформации тела;
 - 5) минимальное механическое напряжение, при котором тело разрушается.
10. Жесткость стержня длиной $l = 75 \text{ см}$ равна k . Если стержень укоротить на $\Delta l = 25 \text{ см}$, то его жесткость составит:
- 1) $1,0 \cdot k$;
 - 2) $1,5 \cdot k$;
 - 3) $2,0 \cdot k$;
 - 4) $3,0 \cdot k$;
 - 5) $5,0 \cdot k$.

Тест В1

1. Чтобы объем железного куба (температурный коэффициент линейного расширения $\alpha = 1,20 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) увеличился на $\eta = 100 \%$, его необходимо нагреть на ... $^\circ\text{C}$.
2. Если при нагревании метрового стержня от $t_1 = 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ его длина увеличилась на $\Delta l = 50 \text{ мкм}$, то температурный коэффициент α линейного расширения вещества стержня равен ... $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ (полученный результат умножьте на 10^7).
3. Два стержня, изготовленные из одного материала и имеющие одинаковую начальную температуру $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, нагревают на $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$. Линейное расширение первого стержня в $n = 2$ раза

превысит линейное расширение второго при соотношении начальных длин стержней $\left(\frac{l_{01}}{l_{02}} = \dots\right)$.

4. Чтобы выдуть мыльный пузырь ($\sigma = 43$ мН/м) радиусом $R = 40$ мм, необходимо совершить работу ... мДж (ответ умножьте на 10).
5. Плотности воды и керосина $\rho_1 = 1000$ кг/м³ и $\rho_2 = 800$ кг/м³, поверхностное натяжение $\sigma_1 = 73$ мН/м и $\sigma_2 = 24$ мН/м соответственно. Отношение высот подъема в капиллярах этих жидкостей $\left(\frac{h_B}{h_K}\right)$ при прочих равных условиях составляет ... (ответ умножьте на 10).
6. Относительная влажность воздуха при температуре $t_1 = 15$ °С была $\phi_1 = 96$ %. Если количество водяного пара в воздухе увеличится вдвое, а его температура повысится до $t_2 = 25$ °С ($\rho_{\text{нас } 15^\circ\text{C}} = 12,8$ г/м³, $\rho_{\text{нас } 25^\circ\text{C}} = 23$ г/м³), то относительная влажность воздуха составит ... %.
7. В цилиндре под поршнем находится водяной пар массой $m = 3,0$ г при температуре $t = 30$ °С ($\rho_{\text{нас } 30^\circ\text{C}} = 30$ г/м³). Газ изотермически сжимают. Роса в цилиндре выпадет, если его объем составит ... л.
8. Относительная влажность воздуха в сосуде при температуре $t_1 = 10$ °С ($\rho_{\text{нас } 10^\circ\text{C}} = 9,41$ г/м³) $\phi_1 = 25$ %. Если температуру воздуха повысить до $t_2 = 30$ °С, а объем сосуда уменьшить в $n = 3$ раза, то относительная влажность воздуха составит ... %.
9. К проволоке подвешен груз. Затем проволоку согнули пополам и подвесили тот же груз. Отношение относительных удлинений в первом и во втором случаях составит
10. Стальной стержень длиной $l = 2$ м и сечением $S = 10$ мм² обладает потенциальной энергией $E_{\text{п}} = 0,044$ Дж при абсолютном удлинении Δl ... мм (ответ умножьте на 10).

Тест В2

1. Если при нагревании метрового стержня от $t_1 = 0$ °С до $t_2 = 20$ °С его длина увеличилась на $\Delta l = 50$ мкм, то температурный коэффициент α линейного расширения вещества стержня равен ... (ответ умножьте на 10^{-7}).
2. Если при температуре $t_1 = 10$ °С площадь латунной пластинки $S_1 = 120$ см² ($\alpha_{\text{лат}} = 0,000019$ °С⁻¹), то при $t_2 = 100$ °С она увеличится на

- 3*. Стальной шарик массой $m = 100$ г опущен на нити в керосин. Если вся система нагреется от $t_1 = 20,0$ °С до $t_2 = 50,0$ °С, то сила натяжения нити изменится на ... мкН. Коэффициенты теплового расширения стали $\alpha_{\text{ст}} = 11 \cdot 10^{-6}$ °С⁻¹, керосина $\alpha_{\text{кер}} = 10 \cdot 10^{-4}$ °С⁻¹ (полученный результат умножьте на 1000).
- 4*. При слиянии мелких водяных капель одинакового размера в одну большую каплю диаметром $d = 4$ мм выделяется энергия $W = 0,014$ Дж. Диаметр малой капли равен ... мкм.
5. В двух капиллярных трубках разного диаметра, опущенных в воду, установилась разность уровней $\Delta h_1 = 2,6$ см. Если при опускании этих же трубок в другую жидкость, плотность которой $\rho = 800$ кг/м³, разность уровней оказалась $\Delta h_2 = 10$ мм, то коэффициент поверхностного натяжения равен ... мН/м. (Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 72$ мН/м.)
6. Смешали воздух объемом $V_1 = 1,0$ м³ с влажностью $\phi_1 = 20$ % и воздух объемом $V_2 = 2,0$ м³ с влажностью $\phi_2 = 30$ %. Обе порции воздуха были взяты при одинаковых температурах. Смесь занимает объем $V = 3,0$ м³. Относительная влажность смеси равна ... %.
7. Объем комнаты $V = 60$ м³. Относительная влажность воздуха в комнате $\phi = 40$ % при температуре $t = 18$ °С. Чтобы повысить влажность воздуха в комнате при той же температуре, дополнительно испарили воду массой $m_1 = 308$ г. Число молекул водяного пара в комнате стало равным ... (полученное значение умножьте на 10^{-25}).
8. Относительная влажность воздуха в помещении при температуре $t_1 = 10$ °С $\phi_1 = 25$ %. Если температуру воздуха повысить до $t_2 = 30$ °С ($\rho_{10} = 9,41$ г/м³, $\rho_{30} = 30$ г/м³), а количество водяного пара в помещении увеличить вдвое, то относительная влажность воздуха составит ... %.
9. Чтобы стальной трос выдерживал нагрузку $F = 9,8$ кН (предел прочности стали на разрыв $\sigma = 5,0 \cdot 10^8$ Н/м²), его предельный диаметр должен составлять ... мм.
- 10*. Предел прочности меди на разрыв $\sigma = 4,1 \cdot 10^8$ Па. Медная проволока, будучи подвешена вертикально, начинает рваться под действием собственной силы тяжести. Ее длина составляет ... км.

Обобщающий тест № 9

1. Идеальный газ в количестве 2 моль находится при температуре 27 °С. На какую высоту можно было бы поднять груз массой 1,38 кг, если бы удалось 10 % суммарной средней кинетической энергии всех атомов превратить в механическую энергию?

- 1) 0,27 м; 3) 5,4 м; 5) 54 м.
2) 2,7 м; 4) 27 м;

2. Два одинаковых сосуда наполнены идеальным газом и соединены краном. В первом сосуде средняя квадратичная скорость молекул равна $v_{\text{кв1}}$, а во втором $v_{\text{кв2}}$. По какой из нижеследующих формул можно определить среднюю квадратичную скорость молекул после открытия крана, если число молекул газа в первом сосуде в n раз больше, чем во втором?

- 1) $\sqrt{\frac{\langle v_1^2 \rangle + n\langle v_2^2 \rangle}{n+1}}$; 3) $\frac{nv_{\text{кв1}} + v_{\text{кв2}}}{2}$; 5) $\sqrt{\frac{\langle v_1^2 \rangle + n\langle v_2^2 \rangle}{n}}$.
2) $\sqrt{\frac{nv_{\text{кв1}} + v_{\text{кв2}}}{n}}$; 4) $\sqrt{\frac{n\langle v_1^2 \rangle + \langle v_2^2 \rangle}{n+1}}$;

3. На сколько процентов изменится давление идеального газа, если из колбы выйдет 60 % газа, а температура увеличится на столько же процентов?

- 1) Уменьшится на 64 %;
2) уменьшится на 46 %;
3) уменьшится на 36 %;
4) увеличится на 36 %;
5) увеличится на 64 %.

4. Газ, находящийся в цилиндре под поршнем, нагрели при постоянном давлении так, что его объем увеличился в 1,5 раза. Затем поршень закрепили и нагрели газ так, что его давление возросло в 2 раза. Какое из нижеприведенных утверждений о конечной температуре, определяемой по шкале Кельвина, справедливо?

- 1) Конечная температура увеличилась в 3 раза;
2) конечная температура увеличилась в 3,5 раза;
3) конечная температура уменьшилась в 3,5 раза;
4) конечная температура увеличилась в $\frac{4}{3}$ раза;
5) конечная температура уменьшилась в 3 раза.

5. Над данной массой идеального газа проведен процесс, показанный на рисунке 1. Какой из нижеприведенных графиков (1–5) соответствует этому процессу в координатах (V ; T)?

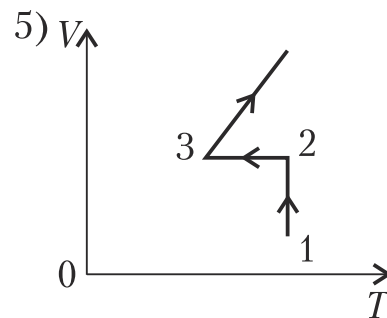
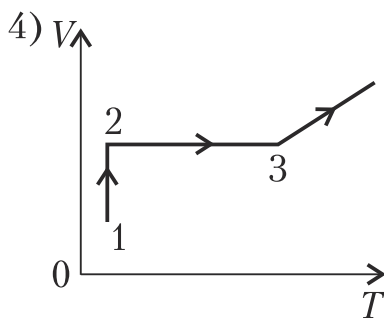
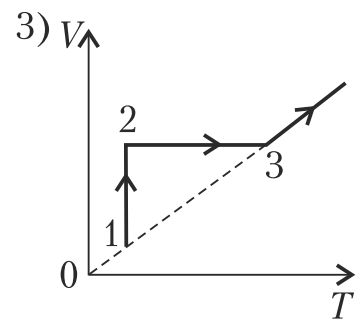
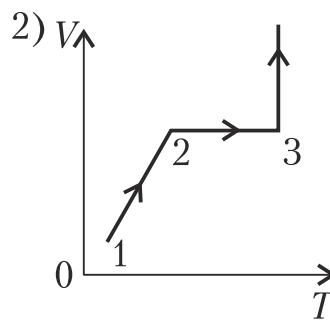
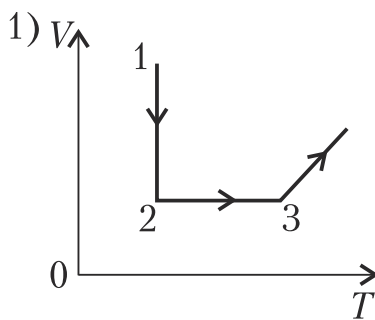
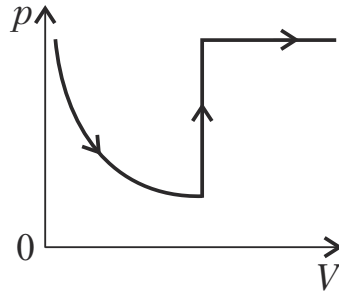


Рис. 1

6. С одноатомным идеальным газом происходит процесс 1–2, график которого в координатах (p ; V) представлен на рисунке 2. Количество теплоты, сообщенное при этом газу, равно:

- 1) 0,12 МДж;
- 2) 0,24 МДж;
- 3) 0,30 МДж;
- 4) 0,57 МДж;
- 5) 0,72 МДж.

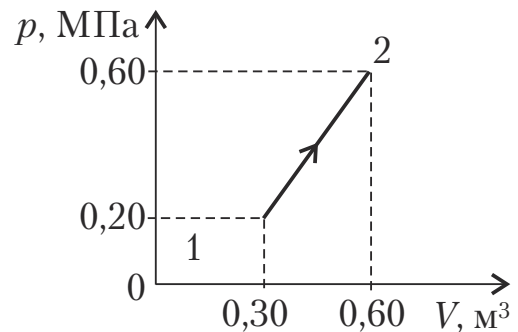


Рис. 2

7. Идеальный газ в количестве ν моль совершает процесс, изображенный на рисунке 3. Работа газа за два цикла равна:

- 1) $-\nu RT_0$; 4) $4\nu RT_0$;
 2) $-\frac{8}{3}\nu RT_0$; 5) $\frac{8}{3}\nu RT_0$.
 3) $-4\nu RT_0$;

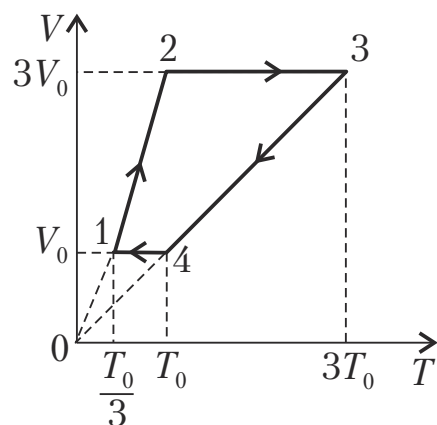


Рис. 3

8. Температура идеального газа в количестве $\nu = 1$ моль изменяется по закону $T = \alpha V^2$, где T — абсолютная температура, V — объем. Работа этого газа при его расширении от $V_1 = 2,00 \text{ м}^3$ до $V_2 = 4,00 \text{ м}^3$, если $\alpha = 10,0 \text{ К/м}^6$, равна:

- 1) 499 Дж; 3) 997 Дж; 5) 2,40 кДж.
 2) 600 Дж; 4) 1,20 кДж;

9. Одноатомный идеальный газ совершает переход, изображенный на рисунке 4. Какое количество теплоты получил данный газ, если при данном переходе была совершена работа $A = 21 \text{ кДж}$?

- 1) 7,0 кДж; 4) 84 кДж;
 2) 14 кДж; 5) 1,2 МДж.
 3) 28 кДж;

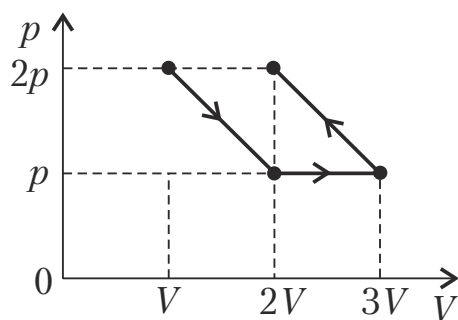


Рис. 4

10. На рисунке 5 показаны процессы, произведенные над идеальным одноатомным газом. На сколько процентов количество теплоты, получаемой при втором процессе, отличается от первого?

- 1) Увеличится на 130 %; 4) уменьшится на 38 %;
 2) уменьшится на 130 %; 5) уменьшится на 20 %.
 3) увеличится на 72 %;

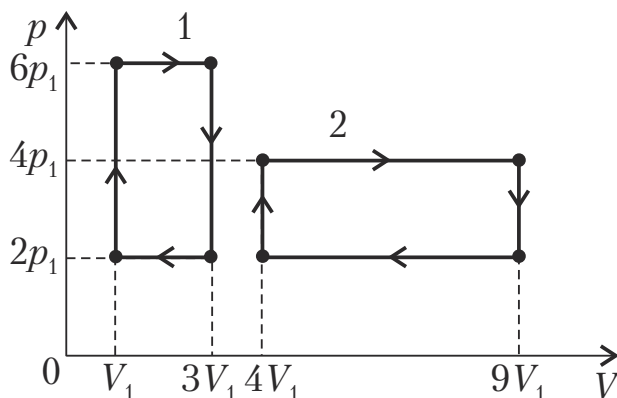


Рис. 5

11. В ходе некоторого процесса давление и объем идеального газа изменяются по закону $pV^3 = \text{const}$. Если объем газа увеличится в $k = 2$ раза, то его внутренняя энергия уменьшится:

- 1) в 2 раза;
- 2) в 4 раза;
- 3) в 6 раз;
- 4) в 8 раз;
- 5) в 9 раз.

12. Какой из нижеприведенных графиков (рис. 6) наиболее точно отражает зависимость КПД идеальной тепловой машины от отношения абсолютных температур холодильника и нагревателя?

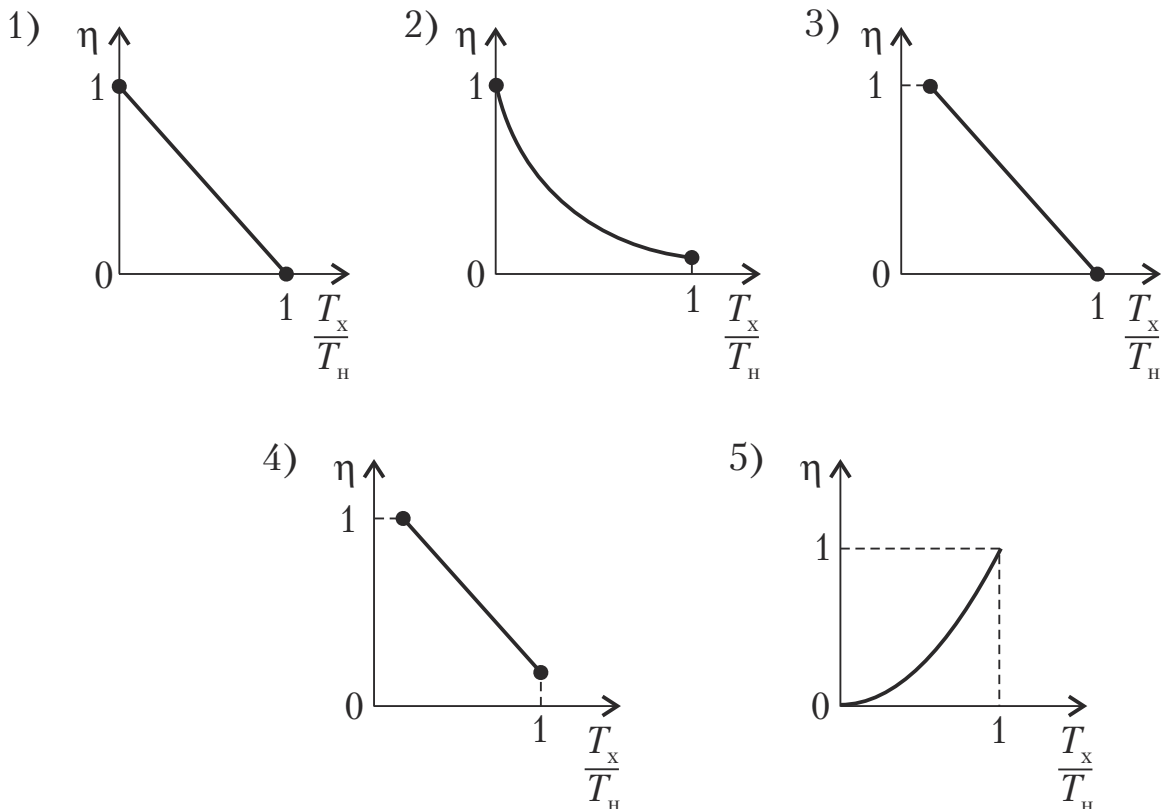
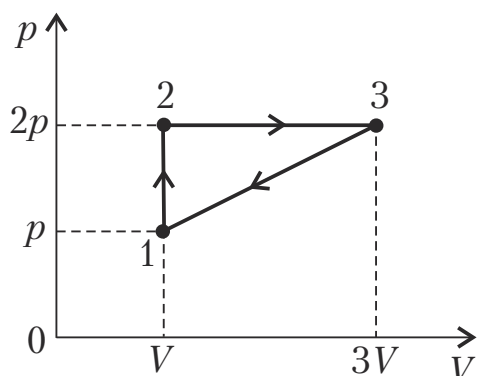


Рис. 6

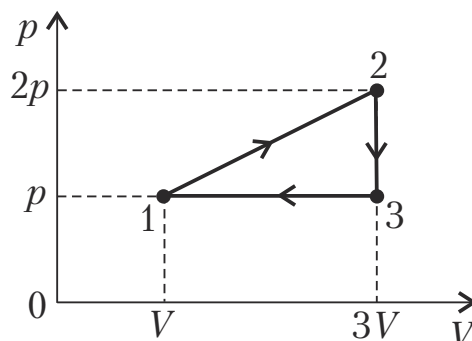
13. Идеальная тепловая машина работает по следующему циклу: на участке 1—2 идеальный одноатомный газ адиабатически сжимается, на участке 2—3 — изобарно увеличивает свой объем в два раза и на участке 3—1 — изохорно возвращается в первоначальное состояние. КПД данного цикла, если конечное давление при втором переходе в три раза больше начального, равен:

- 1) 33 %;
- 2) 16,5 %;
- 3) 10 %;
- 4) 40 %;
- 5) 20 %.

14. В каком из нижеприведенных соотношений (наиболее точно) находятся между собой КПД циклов, изображенных на рисунке 7?



а)



б)

Рис. 7

- 1) $\frac{\eta_2}{\eta_1} = 1$; 3) $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{23}{21}$; 5) $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{21}{17}$.
 2) $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{21}{23}$; 4) $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{17}{21}$;

15. Циклический процесс, изображенный на рисунке 8, состоит из адиабаты, изобары и изохоры. КПД процесса $\eta = 60\%$. Отношение количества теплоты, полученной газом в изобарном процессе, к количеству теплоты, отданной холодильнику в изохорном процессе, равно:

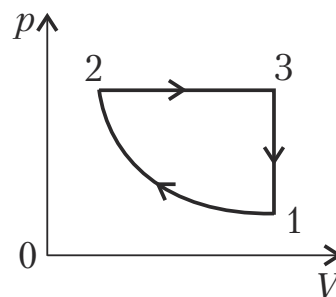


Рис. 8

- 1) 1,5; 4) 3,0;
 2) 2,0; 5) 4,0.
 3) 2,5;

16. Какое количество теплоты получает одноатомный идеальный газ в количестве 1 моль в процессе, изображенном на рисунке 9? Объемы и давления газов равны: $V_1 = 1,00$ л; $V_2 = 3,00$ л; $p_1 = 2,00 \cdot 10^5$ Па; $p_2 = 6,00 \cdot 10^5$ Па.

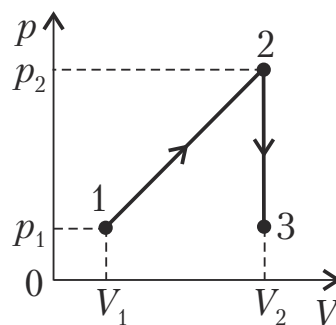


Рис. 9

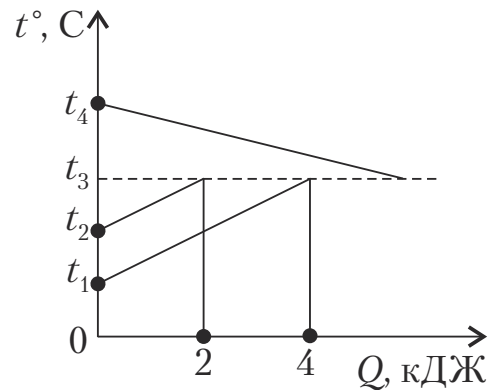
- 1) 0,980 кДж;
 2) 39,2 кДж;
 3) 40,0 кДж;
 4) 1,40 кДж;
 5) недостаточно информации для решения задачи.

17. Двадцать одинаковых кубиков, находящихся при температуре 260°C , привели в контакт с такими же кубиками, находящимися при температуре 185°C , при этом установившаяся температура равна 200°C . Число присоединенных кубиков отличается от их начального количества на:

- 1) 80; 3) 60; 5) 5.
2) 40; 4) 100;

18. На рисунке 10 представлен график теплообмена трех тел. Определите установившуюся температуру в системе, если масса наиболее нагретого тела равна $1,0\text{ кг}$ и его удельная теплоемкость равна $2000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$, $t_4 = 60^\circ\text{C}$.

- 1) 57°C ;
2) 63°C ;
3) 70°C ;
4) 20°C ;
5) не хватает данных для решения.



19. Тонкостенный медный куб (с открытой верхней поверхностью) массой 100 г , имеющий температуру 90°C , полностью заполнили водой, находящейся при той же температуре. Затем опустили в сосуд тело, изготовленное из свинца, объемом $5,0 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$, находящееся при температуре 60°C . Определите установившуюся температуру. (Размер ребра куба 20 см .) Плотность меди $\rho = 8900\text{ кг/м}^3$, свинца $\rho_{\text{св}} = 11\,400\text{ кг/м}^3$.

- 1) 61°C ; 3) 75°C ; 5) 85°C .
2) 68°C ; 4) 78°C ;

20. Тело, нагретое до 110°C , опустили в сосуд с водой, в результате чего температура воды повысилась от 20°C до 30°C . Определите температуру воды, если одновременно с первым телом в воду поместили такое же второе тело, но нагретое до 120°C .

- 1) 19°C ; 3) 27°C ; 5) 47°C .
2) 20°C ; 4) 39°C ;

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

§ 39. Строение ядра атома. Дефект массы и энергия связи атомного ядра. Радиоактивность

Атом состоит из **ядра** и **электронов**. Ядро атома, в котором сосредоточена почти вся масса атома, состоит из **протонов** и **нейтронов**. Число протонов в ядре называется **атомным номером** и обозначается буквой Z . Заряд ядра $q = Ze$, где Z — атомный номер, равный порядковому номеру элемента в таблице Менделеева; e — элементарный заряд. Обычно заряд ядра выражают в элементарных зарядах, тогда $q = Z$ и называется **зарядовым числом**, равным числу протонов в ядре атома.

Массу ядра $M_{\text{я}}$ выражают в атомных единицах массы (а. е. м.), 1 а. е. м. равна $\frac{1}{12}$ массы изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$. 1 а. е. м. = $1,66054 \cdot 10^{-27}$ кг, масса протона $m_p = 1,007276$ а. е. м., масса нейтрона $m_n = 1,008665$ а. е. м.

Массовым числом A ядра называется целое число, ближайшее к численному значению массы ядра в а. е. м.

Массовое число равно сумме протонов и нейтронов (нуклонов) в ядре: $A = Z + N$. Ядра элемента, имеющие одинаковое число протонов, но разное число нейтронов, называются **изотопами** (например, ^1_1H — протий, ^2_1H — дейтерий, ^3_1H — тритий). Исследования показали, что массы ядер меньше, чем сумма масс свободных протонов и нейтронов, составляющих ядро. Разность Δm между суммарной массой всех нуклонов ядра в свободном состоянии и экспериментально измеренной массой ядра называется **дефектом массы**:

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

Дефекту масс соответствует **энергия связи ядра** — минимальная энергия, необходимая для разделения ядра на отдельные составляющие его нуклоны:

$$W_{\text{св}} = \Delta mc^2 = (Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}})c^2.$$

Если массы нуклонов и ядер выражать в атомных единицах массы, то выражение для энергии связи можно представить в виде:

$$W_{\text{св}} = (Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}) \cdot 931,5 \text{ МэВ},$$

где $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж, а энергетический эквивалент — 1 а. е. м., т. е. $1 \text{ а. е. м.} \cdot c^2 = 931,5 \text{ МэВ}$ (c — скорость света в вакууме).

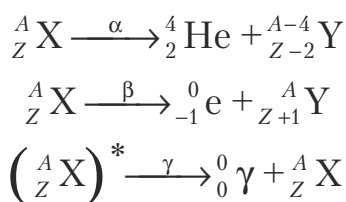
Устойчивость ядер определяется **удельной энергией связи ядра**, численно равной энергии связи ядра, приходящейся на один нуклон:

$$\omega_{\text{св}} = \frac{W_{\text{св}}}{A} = \frac{\Delta m \cdot 931,5}{A}.$$

Под **радиоактивностью** понимают явление самопроизвольного превращения одних ядер в другие, сопровождающееся испусканием частиц.

При радиоактивном распаде испускаются **γ -лучи — электромагнитное излучение высокой частоты; β -частицы — электроны; α -частицы — ядра атомов гелия.**

Ядерные реакции при подобных превращениях записываются следующим образом:



где $\left({}^A_Z X \right)^*$ — возбужденное ядро, ${}^A_Z X$ — ядро в невозбужденном состоянии.

Тест А1

- Согласно современным представлениям ядро состоит из:
 - 1) протонов и электронов;
 - 2) нейтронов и позитронов;
 - 3) протонов, нейтронов и электронов;
 - 4) протонов и нейтронов;
 - 5) протонов, нейтронов и мезонов.
- Массовым числом в физике называется безразмерное число, равное:
 - 1) числу нуклонов в ядре;
 - 2) общему числу частиц в данном атоме;
 - 3) отношению массы атома к атомной единице массы;
 - 4) экспериментально измеренной массе ядра атома, выраженной в атомных единицах массы;
 - 5) массе данного атома, деленной на массу протона.
- Атомным номером называется:
 - 1) число нуклонов в ядре;
 - 2) число протонов в ядре;

- 4) mc^2 , где m — масса ядра, c — скорость света в вакууме;
 5) энергию, необходимую для удаления нуклона из ядра.

10. По современным представлениям, ядерные силы — это силы обменного типа. Нуклоны в ядре обмениваются:

- 1) позитронами; 4) мезонами;
 2) фотонами; 5) нейтронами.
 3) электронами;

Тест А2

1. Массовое число алюминия $A = 27$, зарядовое число $Z = 13$. Разность между числом протонов и нейтронов в ядре равна:

- 1) 14; 3) 0; 5) 13.
 2) 1; 4) -1;

2. Из нижеприведенных ядер изотопами являются:

- 1) ${}^1_1\text{H}$; ${}^2_1\text{H}$; ${}^3_1\text{H}$; 3) ${}^1_1\text{H}$; 1_0n ; ${}^2_1\text{H}$; 5) ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^{14}_6\text{C}$; ${}^{14}_7\text{N}$.
 2) ${}^{10}_4\text{Be}$; ${}^{10}_5\text{B}$; 4) 1_0n ; 1_1p ;

3. Отношение заряда ядра атома магния с массовым числом $A = 26$ и порядковым номером $Z = 12$ к заряду α -частицы равно:

- 1) 3; 3) 6; 5) 13.
 2) 4; 4) 7;

4. β -лучи представляют собой:

- 1) поток ядер атомов гелия;
 2) поток электронов;
 3) поток нейтронов;
 4) электромагнитные волны большой частоты;
 5) поток протонов.

5. В каком направлении (1—4) магнитное поле отклоняет α -лучи при пролете сквозь него (рис. 39.1)?

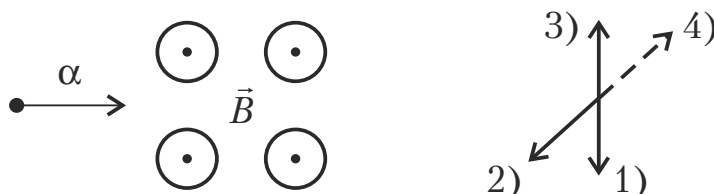


Рис. 39.1

- 5) магнитное поле α -лучи не отклоняет.

6. Ядро радиоактивного изотопа ${}^A_Z X$ испытало два α -распада. При этом образовалось ядро элемента:
- 1) ${}^{A-2}_{Z-2} Y$; 3) ${}^{A-2}_{Z+2} Y$; 5) ${}^{A-8}_{Z-4} Y$.
 2) ${}^{A-4}_{Z-2} Y$; 4) ${}^{A-4}_{Z-4} Y$;
7. Радиоактивный изотоп радия ${}^{225}_{88} Ra$ претерпевает четыре α -распада и два β -распада. Для конечного ядра зарядовое число Z и массовое число A равны:
- 1) 82; 209; 3) 86; 213; 5) 84; 215.
 2) 84; 213; 4) 82; 215;
8. Масса покоя ядра некоторого атома в результате γ -излучения уменьшилась на $\Delta m_e = 3,2 \cdot 10^{-30}$ кг. Энергия γ -кванта равна:
- 1) 1,8 МэВ; 3) 2,2 МэВ; 5) 3,4 МэВ.
 2) 2,0 МэВ; 4) 3,2 МэВ;
9. Если масса ядра $M_{\text{я}} = 235,04393$ а. е. м., масса нейтрона $m_n = 1,0087$ а. е. м., масса протона $m_p = 1,0078$ а. е. м., то энергия связи $W_{\text{св}}$ ядра ${}^{235}_{92} U$ равна:
- 1) 939,10 МэВ; 3) 1712,0 МэВ; 5) 1865,0 МэВ.
 2) 1666,0 МэВ; 4) 1786,0 МэВ;
10. Если масса ядра $M_{\text{я}} = 11,0093$ а. е. м., масса нейтрона $m_n = 1,0087$ а. е. м., масса протона $m_p = 1,0078$ а. е. м., то удельная энергия связи ядра ${}^{11}_5 B$ равна:
- 1) 7,10 МэВ/нуклон; 4) 7,70 МэВ/нуклон;
 2) 7,30 МэВ/нуклон; 5) 6,94 МэВ/нуклон.
 3) 7,50 МэВ/нуклон;

Тест В1

1. Зарядовое число ядра никеля $Z = 28$. Молярная масса никеля $M = 59$ г/моль, плотность $\rho = 8,0$ г/см³. Суммарный заряд всех ядер никеля, содержащихся в объеме $V = 1,0$ см³, равен ... МКл.
2. Число α -распадов, которое испытывает радиоактивное ядро ${}^{236}_{92} U$, превращаясь в стабильное ядро ${}^{216}_{82} Pb$, составляет
3. Ядра атомов имеют объем, пропорциональный атомному весу A : $V = kA$, где k — средний объем, занимаемый одной ядерной частицей, равный $2,0 \cdot 10^{-44}$ м³. Если масса протона $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг, масса нейтрона $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг, то плотность вещества в ядре атома алюминия ${}^{27}_{13} Al$ равна ... кг/м³.
4. Число протонов, которое содержит литий ${}^7_3 Li$ массой $m = 1,00$ г, равно

5. Число ядер изотопа урана ${}_{92}^{234}\text{U}$, которое содержится в природном уране массой $m = 1,0$ г, если процентное содержание ${}_{92}^{234}\text{U}$ в природном уране $0,00055\%$, составляет
6. Покоящееся ядро ${}_{92}^{238}\text{U}$ испускает нейтрон. Модуль скорости нейтрона больше скорости ядра, возникшего при распаде, в ... раз (раза).
7. Дефект массы ядра атома лития ${}_{3}^7\text{Li}$ $\Delta m = 7,030 \cdot 10^{-29}$ кг. Если масса протона $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг, а масса нейтрона $m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг, то масса ядра ${}_{3}^7\text{Li}$ по этим данным равна ... кг.
8. Если масса ядра атома лития ${}_{3}^7\text{Li}$ $m_{\text{я}} = 7,01601$ а. е. м., масса покоя протона $m_p = 1,00728$ а. е. м., масса покоя нейтрона $m_n = 1,00866$ а. е. м., то удельная энергия связи нуклона в ядре атома лития равна ... МэВ/нуклон.
9. Масса ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$ $m_{\text{я}} = 235,04393$ а. е. м. Если масса покоя протона $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг, а масса покоя нейтрона $m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг (1 а. е. м. = $1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг), то дефект массы ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$ равен ... а. е. м.
10. Если масса ядра атома гелия ${}_{2}^4\text{He}$ $m_{\text{я}} = 4,00260$ а. е. м., масса покоя протона $m_p = 1,00728$ а. е. м., масса покоя нейтрона $m_n = 1,00866$ а. е. м., то энергия связи ядра атома гелия равна ... МэВ.

Тест В2

1. В баллоне объемом $V = 5,0$ дм³ находится гелий ${}_{2}^4\text{He}$ при давлении $p = 1660$ Па и температуре $T = 200$ К. Заряд всех электронов в данном объеме гелия равен ... Кл.
- 2*. Нейтрон ${}_0^1n$ упруго сталкивается с покоящимся ядром углерода ${}_{6}^{12}\text{C}$. После столкновения обе частицы движутся вдоль одной прямой. Если массы нейтрона и ядра углерода принять $m_1 = 1,00$ а. е. м. и $m_2 = 12,0$ а. е. м., то при таком столкновении нейтрон теряет $k\%$ начальной энергии
- 3*. Модуль импульса α -частицы, испущенной ядром, $p = 3,2 \cdot 10^{-20}$ Н·с. Кинетическая энергия распавшегося ядра, если его масса $m_{\text{я}} = 4,0 \times 10^{-26}$ кг, составляет ... кэВ.
4. Ядро атома распадается на два осколка массами $m_1 = 1,6 \cdot 10^{-25}$ и $m_2 = 2,4 \cdot 10^{-25}$ кг. Кинетическая энергия первого осколка $W_1 = 1,8 \times 10^{-11}$ Дж. Кинетическая энергия второго осколка равна ... МэВ.

5. Неподвижное атомное ядро массой $M = 238$ а. е. м. распалось на две равные части с массами покоя $m = 118$ а. е. м. каждая. Отношение модулей скорости образовавшихся частей к скорости c света в вакууме равно
- 6*. Протон летит к неподвижному ядру атома урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ с начальной скоростью, модуль которой $v = 1,0 \cdot 10^7$ м/с. Минимальное расстояние, на которое протон сможет приблизиться к ядру, составляет ... м.
7. Из ядер 1) ${}^3_1\text{H}$ или 2) ${}^3_2\text{He}$ более устойчиво ядро Массы ядер соответственно равны 3,01604 а. е. м. и 3,01605 а. е. м.
8. Процент от энергии покоя ядра трития ${}^3_1\text{H}$, который составляет его энергия связи (масса ядра трития 3,01604 а. е. м., масса протона 1,0078 а. е. м., масса нейтрона 1,0087 а. е. м.), равен
9. Мощность двигателя атомного ледокола $P = 15$ МВт, а КПД $\eta = 24,0\%$. В качестве топлива используется ${}_{92}^{235}\text{U}$, при каждом акте деления ядра которого выделяется энергия $W = 200$ МэВ. Для работы ледокола в течение года требуется масса урана, равная ... кг.
10. Чтобы расщепить ядро ${}^7_3\text{Li}$ на нуклоны (протоны и нейтроны), необходим γ -квант с минимальной энергией ... МэВ. (Масса ядра ${}^7_3\text{Li}$ $M_{\text{я}} = 11,6475 \cdot 10^{-27}$ кг.)

§ 40. Ядерные реакции. Закон радиоактивного распада

Под ядерными реакциями понимают превращения атомных ядер, вызванные их взаимодействиями с элементарными частицами или другими ядрами.

Энергетический выход ядерной реакции

$$\Delta W = (\sum M_1 - \sum M_2) \cdot 931,5 \text{ МэВ},$$

где $\sum M_1$ и $\sum M_2$ — сумма масс ядер и частиц (в а. е. м.) до и после реакции. Если $\Delta W > 0$, то энергия в результате ядерной реакции выделяется, если $\Delta W < 0$ — поглощается.

Закон радиоактивного распада $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, где N — число нераспавшихся ядер к моменту времени t ; N_0 — начальное число радиоактивных ядер; T — период полураспада — промежуток времени, за который распадается половина наличных радиоактивных ядер.

Число распавшихся ядер к моменту времени t

$$\Delta N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right).$$

Тест А1

- Алюминий ${}_{13}^{27}\text{Al}$ бомбардируется потоком α -частиц. При этом выбиваются электроны и возникает элемент:
 - ${}_{12}^{31}\text{X}$;
 - ${}_{14}^{30}\text{X}$;
 - ${}_{16}^{31}\text{X}$;
 - ${}_{11}^{26}\text{X}$;
 - ${}_{14}^{31}\text{X}$.
- Укажите правильную запись ядерной реакции.
 - ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{-1}^{0}\text{e}$;
 - ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{p}$;
 - ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{0}^{1}\text{n}$;
 - ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{9}^{17}\text{O} + {}_{-1}^{0}\text{e}$;
 - ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{0}^{1}\text{n} + {}_{0}^{0}\text{v}$.
- Недостающей частицей в ядерной реакции ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow {}_{11}^{24}\text{Na} + ?$ будет следующая:
 - ${}_{0}^{1}\text{n}$;
 - ${}_{1}^{1}\text{p}$;
 - ${}_{+1}^{0}\text{e}$;
 - ${}_{2}^{4}\alpha$;
 - ${}_{-1}^{0}\text{e}$.
- Недостающей частицей в ядерной реакции ${}_{13}^{27}\text{Al} + \gamma \rightarrow {}_{12}^{26}\text{Mg} + ?$ является следующая:
 - ${}_{0}^{1}\text{n}$;
 - ${}_{1}^{1}\text{p}$;
 - ${}_{1}^{0}\text{e}$;
 - ${}_{2}^{4}\alpha$;
 - ${}_{+1}^{0}\text{e}$.
- За время, равное трем периодам полураспада, в веществе останется нераспавшихся атомов:
 - 25 %;
 - 12,5 %;
 - 10 %;
 - 5 %;
 - 2,5 %.
- Возбужденные атомные ядра переходят в устойчивое состояние путем испускания фотонов с длиной волны, соответствующей:
 - инфракрасному излучению;
 - видимому излучению;
 - ультрафиолетовому излучению;
 - рентгеновскому излучению;
 - γ -излучению.

7. Одним из осколков, образующихся при делении ядра урана ${}_{92}^{238}\text{U}$, является ${}_{26}^{56}\text{Fe}$. Число нейтронов в ядре второго осколка, если при делении испускаются еще три нейтрона, равно:
- 1) 179; 3) 113; 5) 103.
2) 182; 4) 153;
8. Медленно движущиеся электрон и позитрон приблизились друг к другу. В результате аннигиляции образовались:
- 1) 2 электрона; 4) электрон и фотон;
2) 2 позитрона; 5) 2 фотона.
3) протон и нейтрон;
9. В качестве замедлителя нейтронов применяются вещества:
- 1) массы атомов которых соизмеримы с массой атома урана;
2) атомы которых занимают место в середине таблицы Менделеева;
3) водородосодержащие;
4) любые, не поглощающие нейтроны;
5) тяжелые атомы наподобие свинца.
10. Если N — количество еще не распавшихся радиоактивных ядер, N_0 — начальное количество радиоактивных ядер, T — период полураспада, то через время t количество распавшихся атомов равно:
- 1) $N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)$; 3) $N_0 \left(1 - 2^{\frac{-t}{T}}\right)$; 5) $N_0 \left(1 + 2^{\frac{-t}{T}}\right)$.
2) $N \left(1 - 2^{\frac{-t}{T}}\right)$; 4) $N \left(1 - 2^{\frac{-T}{t}}\right)$;

Тест А2

1. Допишите недостающие символы A и Z в ядерной реакции ${}_{8}^{17}\text{O} + \alpha \rightarrow {}_Z^A\text{X} + n$:
- 1) $Z = 9, A = 20$; 3) $Z = 10, A = 21$; 5) $Z = 21, A = 9$.
2) $Z = 10, A = 20$; 4) $Z = 9, A = 21$;
2. Происходит ядерная реакция ${}_{2}^3\text{He} + {}_{1}^3\text{H} \rightarrow {}_{2}^4\text{He} + {}_{1}^2\text{H}$. Энергия связи ядра для ${}_{2}^3\text{He} - 7,7$ МэВ, ${}_{1}^3\text{H} - 8,5$ МэВ, ${}_{2}^4\text{He} - 28,3$ МэВ, ${}_{1}^2\text{H} - 2,2$ МэВ. Энергетический выход данной ядерной реакции равен:
- 1) 14,3 МэВ, энергия поглощается;
2) 14,3 МэВ, энергия выделяется;

- 3) 11,2 МэВ, энергия поглощается;
4) 11,2 МэВ, энергия выделяется;
5) 18,2 МэВ, энергия поглощается.
3. Если ядро урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ захватит нейтрон, то образуется два осколка деления и два нейтрона. Одним из осколков является ядро стронция ${}_{38}^{95}\text{Sr}$. Зарядовое число Z и массовое число A другого осколка равны:
- 1) 54; 138; 3) 56; 139; 5) 52; 139.
2) 54; 139; 4) 56; 138;
4. В основе β -распада лежит способность нуклонов к взаимным превращениям. При этом:
- 1) протон превращается в нейтрон и позитрон;
2) нейтрон превращается в протон и электрон;
3) протон превращается в нейтрон и электрон;
4) нейтрон превращается в протон и позитрон;
5) электрон превращается в позитрон.
5. Покоящееся ядро урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ испытывает α -распад. Массы ядра урана и α -частицы примерно равны их массовым числам в атомных единицах массы. Скорость α -частицы больше скорости ядра, полученного при α -распаде:
- 1) в 12,0 раза; 3) в 48,0 раза; 5) в 117 раз.
2) в 24,0 раза; 4) в 58,5 раза;
6. За время $t = 1$ месяц начальное количество некоторого радиоактивного вещества уменьшилось в 3 раза. За $t_1 = 3$ месяца оно уменьшится:
- 1) в 9 раз; 3) в 27 раз; 5) в 108 раз.
2) в $9\sqrt{3}$ раз; 4) в 81 раз;
7. Начальное количество ядер радиоактивного изотопа за один год уменьшилось в $k = 3$ раза. За четыре года количество ядер этого радиоактивного изотопа уменьшится:
- 1) в 9,0 раза; 3) в 54 раза; 5) в 243 раза.
2) в 27 раз; 4) в 81 раз;
8. Атомная электростанция расходует в сутки уран ${}_{92}^{235}\text{U}$ массой $m = 250$ г. КПД атомной станции $\eta = 20,0\%$. При делении одного ядра урана выделяется энергия в количестве $W = 3,20 \cdot 10^{-11}$ Дж. Электрическая мощность станции равна:
- 1) 47,4 МВт; 3) 16,2 МВт; 5) 2,40 МВт.
2) 23,7 МВт; 4) 12,4 МВт;

9. При попадании заряженной частицы в камеру Вильсона происходит:
- 1) конденсация пара на образовавшихся ионах;
 - 2) выделение пара на образовавшихся ионах;
 - 3) распад молекулы воды на атомы водорода и кислорода;
 - 4) радиоактивные превращения ядер водорода и кислорода;
 - 5) вскипание жидкости.
10. Под дозой поглощенного излучения понимают:
- 1) количество энергии, поглощенной телом за одну секунду;
 - 2) общее количество энергии излучения, поглощенной телом;
 - 3) количество энергии, поглощенной 1 кг массы тела за 1 с;
 - 4) отношение энергии, поглощенной телом, к его массе;
 - 5) отношение энергии, поглощенной телом, к его массе, умноженное на коэффициент качества.

Тест В1

1. Если массы ядер, участвующих в термоядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, $m_{{}^2_1\text{H}} = 3,3446 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_{{}^3_1\text{H}} = 5,0085 \cdot 10^{-27}$ кг; $m_{{}^4_2\text{He}} = 6,6467 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_{{}^1_0\text{n}} = 1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг, то выделенная энергия составляет ... МэВ.
2. Ядра атомов ${}^{14}_7\text{N}$ обстреливают α -частицами. В результате ядерной реакции возникает ядро ${}^{17}_8\text{O}$ и некое новое ядро. Энергетический выход этой ядерной реакции, если масса ядра ${}^{14}_7\text{N}$ равна 14,00307 а. е. м., α -частицы 4,002002 а. е. м., кислорода 16,99913 а. е. м., протона 1,00783 а. е. м., составляет ... МэВ.
3. Энергия фотона в МэВ, необходимая для осуществления ядерной реакции ${}^2_1\text{H} + \gamma \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{n}$, равна (Масса протона 1,00728 а. е. м., масса нейтрона 1,00866 а. е. м., масса ядра дейтерия 2,01355 а. е. м.)
4. При аннигиляции электрона и позитрона образовались два одинаковых γ -кванта. Если пренебречь кинетической энергией этих частиц до реакции, то длина волны λ образовавшихся γ -квантов равна ... пм.
5. При радиоактивном распаде ядра испускается α -частица, модуль импульса которой $p = 6,4 \cdot 10^{-20}$ Н·с. Кинетическая энергия α -частицы равна ... МэВ.
6. Если при расщеплении одного ядра урана ${}^{235}_{92}\text{U}$ выделяется энергия $W_0 = 200$ МэВ, то при расщеплении всех ядер в уране массой $m = 1,0$ г выделится энергия, равная ... Дж.

7. Работа, которую нужно совершить, чтобы разделить ядро атома углерода ${}^{12}_6\text{C}$ на три α -частицы, если удельная энергия связи для ядра углерода 7,68 МэВ/нуклон, для α -частицы — 7,07 МэВ/нуклон, равна ... МэВ.
8. Время, за которое распадается $\frac{3}{4}$ начального количества ядер радиоактивного изотопа, если период полураспада $T = 32$ ч, составляет ... ч.
9. Период полураспада ${}^{210}\text{Po}$ (полония) $T = 138,4$ сут. Число атомов полония из препарата массой $m = 1,00$ г, которое не распадается за время $t = 692$ суток, составляет
10. Радиоактивный источник нагревает установку на $\Delta T = 14$ К за промежуток времени $\Delta t_1 = 10$ мин. Если при распаде одного ядра в теплоту переходит энергия в количестве $Q_0 = 8,0$ МэВ, а теплоемкость установки $C = 1,0$ Дж/К, то число N ядер, распадающихся за $\Delta t_2 = 1,0$ с, составляет ... (полученное значение умножьте на 10^{-9}).

Тест В2

1. Происходит ядерная реакция ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$. Массы нейтральных атомов, участвующих в реакции, составляют:
- $$m_{{}^9_4\text{Be}} = 1,4966 \cdot 10^{-26} \text{ кг}, \quad m_{{}^2_1\text{H}} = 3,3446 \cdot 10^{-27} \text{ кг},$$
- $$m_{{}^{10}_5\text{B}} = 1,6627 \cdot 10^{-26} \text{ кг}, \quad m_{{}^1_0\text{n}} = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$
- Энергетический эффект W ядерной реакции равен ... МэВ.
2. В состоянии покоя π^0 -мезон распадается на два γ -кванта. Масса покоя π^0 -мезона $m = 264,1m_e$, где m_e — масса покоящегося электрона. Энергия каждого из возникших γ -квантов равна ... МэВ.
- 3*. В термоядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ образуются ядро гелия и нейтрон. Часть выделившейся энергии уносит ядро гелия, а часть — нейтрон. Если кинетическими энергиями дейтерия и трития до реакции можно пренебречь, то нейтрон уносит с собой часть выделившейся энергии, равную ... % от всей выделившейся энергии.
- 4*. π -мезон, имеющий скорость $v = 0,80c$ (c — скорость света в вакууме), распадается на два фотона, летящих в противоположные стороны вдоль линии движения π -мезона. Отношение $\frac{W_1}{W_2}$ большего значения энергии фотона к меньшему равно

5. Фотон в поле действия ядерных сил распался на электрон и позитрон: ${}^0_0\gamma \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^0_{+1}e$. Если энергия фотона была $W_0 = 2,02$ МэВ, то суммарная кинетическая энергия электрона и позитрона в момент их возникновения равна ... МэВ.
6. Период полураспада радиоактивного цезия $T = 29$ лет. Через промежуток времени $t = 116$ лет от радиоактивного цезия массой $m = 1,6$ кг останется нераспавшийся цезий массой ... кг.
7. Кинетическая энергия α -частиц, испускаемых при распаде ${}^{210}\text{Po}$, $W_k = 5,3$ МэВ. За время, равное двум периодам полураспада полония массой $m = 2,0$ мг, выделится количество теплоты ... МДж.
8. При температуре окружающей среды $t = 27,0$ °С модуль скорости теплового нейтрона (масса нейтрона $m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг, постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К) равен ... км/с.
9. Мощность атомной станции $m = 200$ МВт. Расход ядерного горючего ${}^{235}_{92}\text{U}$ в течение суток $m = 540$ г. При делении одного ядра урана выделяется 200 МэВ энергии. КПД этой станции равен ... %.
10. В куске ископаемого дерева относительная доля радиоактивного углерода ${}^{14}_6\text{C}$ составляет 0,0625 его доли в живых растениях. Возраст этого дерева, деленный на 1000, если период полураспада ${}^{14}_6\text{C}$ $T = 5570$ лет, равен ... тысяч лет.

Обобщающий тест № 10

1. Если стержень, собственная длина которого $l_0 = 100$ см, движется со скоростью, модуль которой $v = 0,6c$, направленной вдоль оси стержня, то его длина в системе координат, относительно которой он движется:

1) 1 м;	3) 0,6 м;	5) 0,2 м.
2) 0,8 м;	4) 0,4 м;	
2. Плотность воды в неподвижном сосуде $\rho_0 = 1000$ кг/м³. Релятивистская плотность воды в кубическом сосуде, движущемся со скоростью, модуль которой $v = 2,40 \cdot 10^8$ м/с, вдоль одной из сторон сосуда, равна:

1) 1400 кг/м ³ ;	3) 2460 кг/м ³ ;	5) 2780 кг/м ³ .
2) 2100 кг/м ³ ;	4) 2640 кг/м ³ ;	
3. Электрон попадает в электростатическое поле и проходит ускоряющую разность потенциалов $U = 1,02$ МВ. Если модуль началь-

ной скорости электрона был равен нулю, то модуль его скорости после прохождения поля равен:

- 1) 160 Мм/с; 3) 240 Мм/с; 5) 294 Мм/с.
2) 220 Мм/с; 4) 283 Мм/с;

4. Чтобы увеличить модуль скорости частицы с массой покоя m_0 от $0,60c$ до $0,80c$ (c — скорость света в вакууме), нужно совершить работу, равную:

- 1) $0,14m_0c^2$; 3) $0,42m_0c^2$; 5) $0,80m_0c^2$.
2) $0,20m_0c^2$; 4) $0,50m_0c^2$;

5. Если работа выхода электронов для цинка $A = 3,74$ эВ, то длина λ красной границы фотоэффекта:

- 1) 530 нм; 3) 330 нм; 5) 130 нм.
2) 430 нм; 4) 230 нм;

6. Фотоэлектроны, выбиваемые светом с поверхности цезия, полностью задерживаются напряжением $U = 0,750$ В. Если работа выхода электронов из цезия составляет $A = 3,20 \cdot 10^{-19}$ Дж, то длина волны падающего на катод света равна:

- 1) 320 нм; 3) 580 нм; 5) 820 нм.
2) 450 нм; 4) 640 нм;

7. Лазер мощностью $P = 1,0$ мВт генерирует монохроматическое излучение. Если суммарная энергия излучения лазера равна энергии покоя электрона, то время работы лазера составляет (полученное значение умножьте на 10^{12}):

- 1) 24 с; 3) 68 с; 5) 96 с.
2) 38 с; 4) 82 с;

8. Изолированный металлический шар радиусом $R = 50$ мм освещают светом с длиной волны $\lambda = 175$ нм. Работа выхода электронов $A = 4,6$ эВ. При длительном освещении шар получит заряд, равный (полученный результат умножьте на 1000):

- 1) 7,2 нКл; 3) 11 нКл; 5) 26 нКл.
2) 9,2 нКл; 4) 14 нКл;

9. Радиус первой боровской орбиты в атоме водорода $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Модуль скорости электрона на этой орбите равен (полученное значение разделите на 10^5):

- 1) 8,2 м/с; 3) 16 м/с; 5) 22 м/с.
2) 12 м/с; 4) 18 м/с;

10. Полная энергия электрона в атоме водорода на n -й орбите $W_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ. Наименьшая энергия, которую нужно сообщить

электрону, находящемуся на третьей орбите в атоме водорода, чтобы ионизировать атом, составляет:

- 1) 13,6 эВ; 3) 1,51 эВ; 5) 0,111 эВ.
 2) 3,40 эВ; 4) 0,560 эВ;

11. На представленной диаграмме энергетических уровней атома (рис. 1) переход, связанный с излучением фотона наименьшей частоты, изображен стрелкой:

- 1) 1; 4) 4;
 2) 2; 5) 5.
 3) 3;

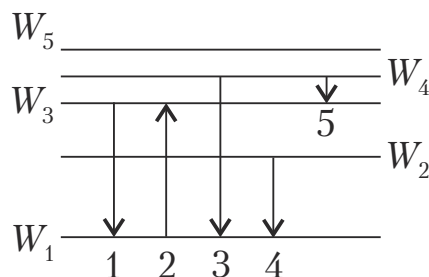


Рис. 1

12. В теории Бора атома водорода радиус n -й орбиты электрона выражается через размер первой орбиты соотношением $r = r_1 n^2$. При переходе электрона со второй орбиты на первую кинетическая энергия W_k электрона:

- 1) увеличивается в 4 раза; 4) уменьшается в 2 раза;
 2) уменьшается в 4 раза; 5) не изменяется.
 3) увеличивается в 2 раза;

13. При радиоактивном распаде ядро урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ превращается в ядро свинца ${}^{198}_{82}\text{Pb}$. При этом происходит N_α и N_β α - и β -распадов, равное:

- 1) 10 и 8; 3) 9 и 10; 5) 10 и 10.
 2) 8 и 10; 4) 10 и 9;

14. Удельная энергия связи ядра кислорода ${}^{16}_8\text{O}$, если масса ядра ${}^{16}_8\text{O}$ $m_{\text{я}} = 15,99491$ а. е. м., составляет (полученный результат умножьте на 100; масса нейтрона $1,675 \cdot 10^{-27}$ кг; протона $1,672 \cdot 10^{-27}$ кг):

- 1) 3,44 МэВ/нуклон; 4) 8,20 МэВ/нуклон;
 2) 5,26 МэВ/нуклон; 5) 9,62 МэВ/нуклон.
 3) 7,86 МэВ/нуклон;

15. В результате взаимодействия ядер трития и дейтерия образуются ядро гелия и нейтрон: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. При этом выделяется значительная энергия. Если кинетическими энергиями дейтерия и трития до реакции можно пренебречь и принять, что масса $m_{{}^4_2\text{He}} = 4$ а. е. м., а $m_{{}^1_0\text{n}} = 1$ а. е. м., то часть энергии, которую уносит с собой нейтрон, составляет:

- 1) 20%; 3) 50%; 5) 80%.
 2) 40%; 4) 60%;

16. Период полураспада радиоактивного элемента $T = 10$ года. Через промежуток времени $t = 5,0$ лет останется нераспавшихся ядер:
- 1) 25 %; 3) 6,3 %; 5) 1,6 %.
2) 13 %; 4) 3,1 %;
17. Электрическая мощность P атомной электростанции, имеющей КПД $\eta = 25\%$, если станция расходует в сутки уран-235 массой $m = 235$ г, а при делении одного ядра урана выделяется энергия в количестве $W_0 = 3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж, составляет:
- 1) 24 МВт; 3) 56 МВт; 5) 84 МВт.
2) 43 МВт; 4) 69 МВт;
18. Число ядер изотопа ${}_{92}^{233}\text{U}$, которое содержится в природном уране массой $m_1 = 10$ г, если процентное содержание ${}_{92}^{233}\text{U}$ в природном уране 0,00055 %, составляет (результат умножьте на 10^{-15}):
- 1) 2,6; 3) 9,6; 5) 32.
2) 3,4; 4) 14;
19. Энергия W , которая выделяется при слиянии двух α -частиц и нейтрона в ядро атома бериллия ${}_{4}^9\text{Be}$, составляет (массы изотопов и частиц: гелия ${}_{2}^4\text{He} - 4,0026$ а. е. м., нейтрона 1,0087 а. е. м., бериллия ${}_{4}^9\text{Be} - 9,0122$ а. е. м.):
- 1) 0,24 МэВ; 3) 0,96 МэВ; 5) 3,2 МэВ.
2) 0,48 МэВ; 4) 1,6 МэВ;
20. Ядро урана ${}_{92}^{235}\text{U}$, поглощая нейтрон, испытывает деление на два более легких ядра (осколка) с испусканием двух нейтронов. Если одним из осколков является ядро цезия ${}_{55}^{140}\text{Cs}$, то другой осколок представляет собой ядро:
- 1) ${}_{40}^{94}\text{Zr}$; 3) ${}_{37}^{93}\text{Rb}$; 5) ${}_{6}^{12}\text{C}$.
2) ${}_{56}^{140}\text{Ba}$; 4) ${}_{38}^{85}\text{Sr}$;

ТЕСТЫ

Контрольный тест на знание формул и единиц СИ

1. Какой физической величине соответствует выражение

$$\sqrt{\frac{6BI}{m}},$$

где B — модуль вектора магнитной индукции, I — сила тока, m — масса?

- 1) Модулю импульса;
 - 2) периоду;
 - 3) заряду;
 - 4) ЭДС;
 - 5) частоте.
2. Какой физической величине соответствует выражение

$$\sqrt{\frac{P}{R} \cdot \frac{Bt^3 v}{2\pi Vs}},$$

где V — объем, s — путь, P — мощность, R — сопротивление, B — модуль вектора магнитной индукции, t — время, v — скорость?

- 1) Массе;
 - 2) плотности;
 - 3) силе тока;
 - 4) удельному сопротивлению;
 - 5) индуктивности.
3. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{B^2 l^3 \omega}{4\pi R},$$

где B — модуль вектора магнитной индукции, l — длина, ω — угловая скорость, R — сопротивление?

- 1) Работе;
- 2) модулю силы;
- 3) энергии;
- 4) индуктивности;
- 5) емкости.

4. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{IBlt}{2m\sqrt{gh}},$$

где m — масса, g — модуль ускорения свободного падения, h — расстояние, I — сила тока, B — модуль вектора магнитной индукции, t — время?

- 1) Модулю скорости;
 - 2) индуктивности;
 - 3) емкости;
 - 4) безразмерной величине;
 - 5) сопротивлению.
5. Какой физической величине соответствует выражение

$$p\sqrt{\frac{q^2(R_2 - R_1)}{\epsilon_0 WR_2 R_1}},$$

где p — модуль импульса, q — заряд, R_1 и R_2 — расстояния, ϵ_0 — электрическая постоянная, W — энергия?

- 1) Модулю импульса;
 - 2) энергии;
 - 3) емкости;
 - 4) силе тока;
 - 5) сопротивлению.
6. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{3B^2 l^2 v}{\pi R},$$

где B — модуль вектора магнитной индукции, l — длина, v — модуль скорости, R — сопротивление?

- 1) Модулю силы;
 - 2) мощности;
 - 3) энергии;
 - 4) индуктивности;
 - 5) силе тока.
7. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{mgR}{B^2 l^2},$$

где m — масса, g — модуль ускорения свободного падения, R — сопротивление, B — модуль вектора магнитной индукции, l — длина?

- 1) Модулю ускорения;
- 2) модулю скорости;

- 3) модулю импульса;
- 4) потоку магнитной индукции;
- 5) заряду.

8. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\pi D^3 S B^2}{18 \rho t^2},$$

где D — диаметр, S — площадь, B — модуль вектора магнитной индукции, ρ — удельное сопротивление, t — время?

- 1) Работе;
- 2) мощности;
- 3) модулю силы;
- 4) емкости;
- 5) индуктивности.

9. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\pi l^2 B}{t},$$

где B — модуль вектора магнитной индукции, l — длина, t — время?

- 1) Модулю импульса;
- 2) силе тока;
- 3) емкости;
- 4) напряжению;
- 5) работе.

10. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{B^2 \cdot c}{\text{Ом} \cdot \text{м}}?$$

- 1) Мощности;
- 2) модулю ускорения;
- 3) силе;
- 4) заряду;
- 5) модулю вектора магнитной индукции.

11. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{B}{\text{Тл} \cdot \text{м}}?$$

- 1) Модулю ускорения;
- 2) емкости;
- 3) заряду;
- 4) модулю скорости;
- 5) индуктивности.

12. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\Gamma_{\text{H}} \cdot \text{В}^2}{\text{Ом}^2}?$$

- 1) Модулю момента сил;
- 2) модулю силы;
- 3) мощности;
- 4) индуктивности;
- 5) модулю напряженности.

13. Какой физической величине соответствует выражение

$$\text{В} \sqrt{\frac{\Phi}{\Gamma_{\text{H}}}}?$$

- 1) Модулю силы;
- 2) заряду;
- 3) модулю вектора магнитной индукции;
- 4) силе тока;
- 5) модулю напряженности.

14. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\text{Ом} \cdot \Gamma_{\text{H}} \cdot \text{А}^2}{\text{В} \cdot \text{м}^2}?$$

- 1) Модулю вектора магнитной индукции;
- 2) потоку магнитной индукции;
- 3) модулю силы;
- 4) модулю ускорения;
- 5) заряду.

15. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}^2}{\text{Кл}^2}?$$

- 1) Напряжению;
- 2) силе тока;
- 3) мощности;
- 4) сопротивлению;
- 5) индуктивности.

16. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\text{Вб}^2}{\text{Ом}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}}?$$

- 1) Заряду;
- 2) электроемкости;

- 3) силе тока;
- 4) энергии;
- 5) мощности.

17. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\text{Тл}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{м}^4}{\text{с} \cdot \text{В}}?$$

- 1) Мощности;
- 2) модулю силы;
- 3) индуктивности;
- 4) емкости;
- 5) количеству теплоты.

18. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\text{В} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{Ом}}{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}?$$

- 1) Потoku магнитной индукции;
- 2) индуктивности;
- 3) модулю вектора магнитной индукции;
- 4) ЭДС;
- 5) силе тока.

19. Какой физической величине соответствует выражение

$$\text{м} \cdot \text{Тл} \cdot \sqrt{\frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{В}}}$$

- 1) Индуктивности;
- 2) емкости;
- 3) удельному заряду;
- 4) площади;
- 5) это безразмерная величина.

20. Какой физической величине соответствует выражение

$$\frac{\text{В}^2 \cdot \Phi \cdot \text{Ом}}{\text{Гн}}$$

- 1) Энергии;
- 2) потоку магнитной индукции;
- 3) мощности;
- 4) удельному сопротивлению;
- 5) емкости.

Проверь себя

Вариант 1

Тест А

A1. Шар равномерно падает в жидкости, плотность которой в $n = 2,5$ раза меньше плотности шара. Если модуль силы сопротивления жидкости $F = 1,2$ Н, то масса m шара равна:

- 1) 0,20 кг; 3) 0,60 кг; 5) 1,0 кг.
 2) 0,40 кг; 4) 0,80 кг;

A2. Если амплитуда колебаний математического маятника $A = 4,0$ см, а модуль максимальной скорости $v_{\max} = 2,5$ м/с, то период T колебаний такого маятника равен:

- 1) 50 мс; 3) 0,20 с; 5) 0,50 с.
 2) 0,10 с; 4) 0,25 с;

A3. Число N молекул газа, масса которого m , а молярная масса M , равно (N_A — число Авогадро):

- 1) $\frac{M}{m}N_A$; 3) $\frac{3mN_A}{2M}$; 5) $\frac{2m}{3M}N_A$.
 2) $\frac{m}{M}N_A$; 4) mMN_A ;

A4. КПД теплового двигателя $\eta = 45\%$. Количество теплоты, полученное двигателем от нагревателя, больше количества теплоты, отданной холодильнику:

- 1) в 3,6 раза; 3) в 2,5 раза; 5) в 1,3 раза.
 2) в 2,7 раза; 4) в 1,8 раза;

A5. Из изображенной на графике зависимости температуры тела от количества подведенной теплоты для трех тел одинаковой массы (рис. 1) следует, что удельные теплоемкости этих тел связаны соотношением:

- 1) $c_1 > c_2 > c_3$;
 2) $c_1 > c_2 = c_3$;
 3) $c_1 < c_2 < c_3$;
 4) $c_1 < c_2 = c_3$;
 5) $c_1 = c_2 = c_3$.

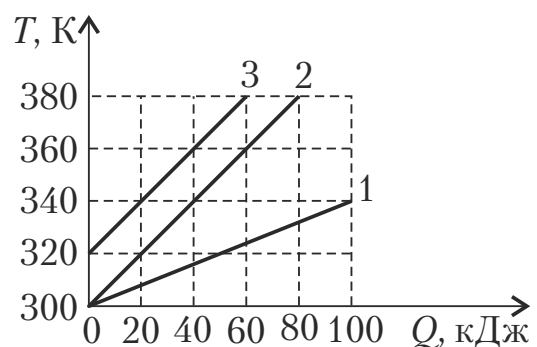


Рис. 1

А6. Если модуль силы электростатического отталкивания двух одинаковых сферических капелек воды, имеющих по два лишних электрона каждая, равен модулю силы гравитационного взаимодействия этих капелек, то радиус R этих капелек равен:

- 1) 0,024 мм; 3) 0,064 мм; 5) 0,12 мм.
2) 0,048 мм; 4) 0,096 мм;

А7. Три одинаковых воздушных конденсатора электроемкостью по $C = 1,1$ мФ соединены, как показано на рисунке 2. Если энергия этой батареи конденсаторов $W = 300$ мДж, то разность потенциалов между точками A и B равна:

- 1) 12 В; 3) 19 В; 5) 30 В.
2) 16 В; 4) 24 В;

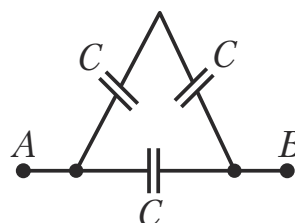


Рис. 2

А8. Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 6,0$ В и внутренним сопротивлением $r = 1,4$ Ом питает внешнюю цепь, состоящую из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлениями $R_1 = 2,0$ Ом и $R_2 = 8,0$ Ом. Сила тока в резисторе R_1 равна:

- 1) 1,0 А; 3) 1,6 А; 5) 3 А.
2) 1,3 А; 4) 2,4 А;

А9. Если через поперечное сечение проводника за промежуток времени $\Delta t = 4,0$ с проходят электроны в количестве $N = 6,0 \cdot 10^{21}$, то сила тока I в проводнике равна:

- 1) 24 А; 3) 0,12 кА; 5) 0,48 кА.
2) 48 А; 4) 0,24 кА;

А10. Закон взаимосвязи массы m и энергии W в теории относительности имеет вид (m_0 — масса покоя, m — масса частицы, движущейся с модулем скорости v , c — скорость света в вакууме):

- 1) $W = m_0 c^2 + \frac{mv^2}{2}$; 3) $W = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$; 5) $W = mc^2$.
2) $W = hv$; 4) $W = \frac{mv^2}{2}$;

А11. Если тонкую мыльную пленку освещают светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, то разности хода двух отраженных волн для светлой и следующей за ней темной интерференционных полос различаются на:

- 1) 150 нм; 3) 300 нм; 5) 900 нм.
2) 200 нм; 4) 600 нм;

A12. Дифракционная решетка имеет щели в количестве $N = 200$ на длину $l = 1,0$ мм. Период такой решетки равен:

- 1) 0,2 мм; 3) $5 \cdot 10^{-5}$ м; 5) $5 \cdot 10^{-7}$ м.
 2) $2 \cdot 10^{-5}$ м; 4) $5 \cdot 10^{-6}$ м;

A13. Точечный источник света освещает тонкий диск диаметром $d = 20$ см. На экране, расположенном параллельно диску на расстоянии $l = 1,0$ м от него, образуется тень диаметром $D = 60$ см (рис. 3). Расстояние L от источника света до экрана равно:

- 1) 1,0 м; 3) 2,0 м; 5) 3,0 м.
 2) 1,5 м; 4) 2,5 м;

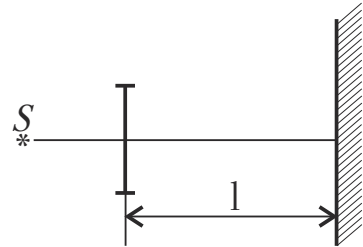


Рис. 3

A14. Сопротивление участка цепи 1 равно сопротивлению участка цепи 2 (рис. 4). При замыкании цепи:

- 1) больший ток покажет амперметр A_1 ;
 2) больший ток покажет амперметр A_2 ;
 3) амперметры покажут одинаковый ток;
 4) ответ зависит от полярности источника;
 5) ответ зависит от скорости замыкания.

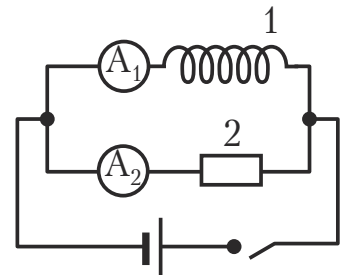


Рис. 4

A15. Амплитуда гармонических колебаний $A = 10$ см. Путь, пройденный колеблющейся материальной точкой за промежуток времени, равный двум периодам колебаний, составляет:

- 1) 0 см; 3) 40 см; 5) 80 см.
 2) 20 см; 4) 60 см;

A16. При испускании фотона с наименьшей частотой в видимой области спектра (серия Бальмера) электрон в атоме водорода переходит:


- 1) со второй орбиты на первую;
 2) с третьей орбиты на вторую;
 3) с четвертой орбиты на третью;
 4) с третьей орбиты на первую;
 5) со второй орбиты на третью.

A17. В закрытом баллоне объемом $V = 10$ л находится сухой воздух при нормальных условиях. В баллон ввели воду массой $m = 3,0$ г и нагрели баллон до $t = 100$ °С. Давление в баллоне стало равным:

- 1) 0,12 МПа; 3) 0,19 МПа; 5) 0,76 МПа.
 2) 0,14 МПа; 4) 0,28 МПа;

- A18.** При бомбардировке протонами ядра углерода ${}^{12}_6\text{C} + {}^1_1\text{P} \rightarrow {}^{12}_7\text{N} + x$ образуется частица:
- 1) электрон;
 - 2) протон;
 - 3) нейтрон;
 - 4) фотон;
 - 5) α -частица.

Тест В

- B1.** Ракета стартует с поверхности Земли вертикально вверх с ускорением, модуль которого $a = 5g$. Спустя промежуток времени $\Delta t = 6,00$ с после старта двигатель ракеты отключился. Промежуток времени Δt_1 , через который ракета упадет на Землю после отключения двигателя ракеты, равен ... с.
- B2.** Человек массой $m = 70,0$ кг стоит в лифте, опускающемся вертикально вниз с ускорением, модуль которого $a = 300$ см/с². Модуль силы N нормальной реакции опоры равен ... Н.
- B3.** Пуля массой $m = 10$ г при равноускоренном движении в стволе ружья за время $t = 1,0$ мс приобретает скорость, модуль которой $v = 400$ м/с. Модуль силы F , действующей на пулю в стволе ружья, равен ... кН.
- B4.** Два сосуда соединены тонкой трубкой, содержащей капиллярку ртути, которая исключает перемешивание газов, находящихся в сосудах (рис. 5). В первом сосуде заключен гелий массой $m_1 = 2,0$ г ($M_1 = 4,0$ г/моль), во втором — неон массой $m_2 = 4,0$ г ($M_2 = 20$ г/моль). Температура T_1 в обоих сосудах одинаковая. Если гелий нагреть до температуры $T_2 = 2T_1$, не изменяя температуры неона, то давление в системе увеличится в ... раз (раза).
- 
- Рис. 5
- B5.** В однородное электростатическое поле, модуль напряженности которого $E = 3,0$ кВ/м, влетает электрон со скоростью, модуль которой $v = 3,6 \cdot 10^4$ км/с, и движется вдоль направления линий напряженности. Если электрон пройдет расстояние в поле $s = 73$ см, то модуль его скорости будет равен ... км/с (полученное значение умножьте на 10^{-3}).

В6. Потенциальная электростатическая энергия системы четырех положительных зарядов $q = 2,0$ нКл, расположенных в вакууме вдоль одной прямой на расстоянии $a = 18,6$ мм друг от друга, равна ... мкДж.

В7. Четыре одинаковых резистора образуют электрическую цепь, между точками A и B которой поддерживается постоянная разность потенциалов $U_{AB} = 10$ В (рис. 6). Напряжение между точками A и C цепи равно ... В.

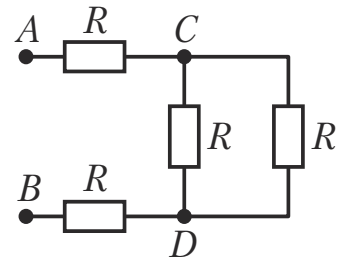


Рис. 6

В8. Гальванический элемент с ЭДС $\mathcal{E} = 6,0$ В создает максимальную силу тока $I_{\max} = 3,0$ А. Наибольшая мощность, которая может быть получена на внешнем сопротивлении, для этого гальванического элемента равна ... Вт.

В9. Сетчатка глаза начинает реагировать на желтый свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм при мощности падающего на нее излучения $P = 1,98 \cdot 10^{-18}$ Вт. При этом каждую секунду на сетчатку падает число фотонов

В10. Действительное изображение предмета, полученное с помощью собирающей линзы, находится от нее на расстоянии $f_1 = 80$ см. Если собирающую линзу заменить рассеивающей с таким же по модулю фокусным расстоянием, то мнимое изображение этого же предмета будет находиться на расстоянии $f_2 = 20$ см от линзы. Фокусное расстояние F линзы составляет ... см.

В11. Монохроматический луч из вакуума падает перпендикулярно боковой грани призмы с показателем преломления $n = 1,5$. Преломляющий угол призмы $\varphi = 30^\circ$ (рис. 7). После прохождения призмы луч отклоняется на угол γ , равный ... град.

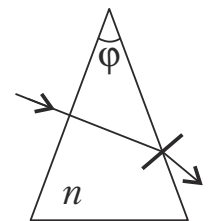


Рис. 7

В12. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 600$ В, попадает в пространство, в котором созданы скрещенные однородные электростатическое и магнитное поля ($\vec{E} \perp \vec{B}$). Модуль индукции магнитного поля $B = 0,20$ Тл. Если при движении электрон не отклоняется от прямолинейного направления, то модуль напряженности электростатического поля равен ... МВ/м.

Вариант 2

Тест А

- A1.** Мяч упал с высоты $h_1 = 5,6$ м и, отскочив от земли, поднялся на высоту $h_2 = 2,4$ м. Путь s и модуль перемещения мяча Δr равны:
- 1) 8,0 м; 8,0 м; 3) 8,0 м; 3,2 м; 5) 3,2 м; 5,6 м.
 2) 8,0 м; 2,4 м; 4) 3,2 м; 3,2 м;

- A2.** Модуль ускорения свободного падения g_1 на поверхности планеты, радиус которой в $n = 2,0$ раза больше радиуса Земли, а средняя плотность в $m = 1,5$ раза больше средней плотности Земли, равен:
- 1) 15 м/с²; 3) 30 м/с²; 5) 60 м/с².
 2) 20 м/с²; 4) 40 м/с²;

- A3.** Если тело массой $m = 10$ кг соскользнуло по гладкой наклонной поверхности длиной $l_1 = 6,0$ м, после этого двигалось по гладкой горизонтальной поверхности $l_2 = 3,0$ м, а затем было поднято на высоту $h = 3,0$ м

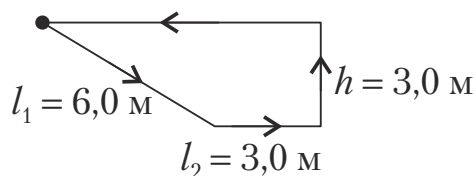


Рис. 8

- и горизонтально возвращено в исходную точку (рис. 8), то полная работа A силы тяжести на всем пути равна:

- 1) 0,60 кДж; 3) 0,30 кДж; 5) 0 кДж.
 2) 0,40 кДж; 4) 0,20 кДж;
- A4.** Тело совершает гармонические колебания по закону $x = 0,2 \sin(4\pi t)$, (м). Период T и частота ν колебаний равны:
- 1) 2 с; $\frac{1}{2}$ Гц; 3) 2π с; $\frac{1}{2\pi}$ Гц; 5) $\frac{\pi}{2}$ с; π Гц.
 2) $\frac{1}{2}$ с; 2 Гц; 4) $\frac{1}{2\pi}$ с; 2π Гц;

- A5.** Если идеальный газ массой $m = 6,10$ кг занимает объем $V = 5,00$ м³ при давлении $p = 0,200$ МПа, то средняя квадратичная скорость движения молекул газа равна:
- 1) 400 м/с; 3) 600 м/с; 5) 900 м/с.
 2) 500 м/с; 4) 700 м/с;

- A6.** Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. В сосуд, содержащий лед массой

$m = 1,0$ кг при температуре $t_1 = 0,0$ °С, влили воду массой $m_1 = 0,60$ кг с температурой $t_2 = 90$ °С. Температура t °С, которая установится в сосуде после установления теплового равновесия, равна (теплоемкостью сосуда и потерями теплоты пренебречь):
 1) -15 °С; 2) 0 °С; 3) $7,5$ °С; 4) 12 °С; 5) 15 °С.

A7. Две маленькие бусинки имеют одинаковые заряды. Если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с первой бусинки на вторую, то сила электростатического отталкивания между ними:

- 1) не изменится;
- 2) увеличится в 1,5 раза;
- 3) уменьшится в 1,5 раза;
- 4) увеличится в 1,8 раза;
- 5) уменьшится в 1,8 раза.

A8. Точечные положительные заряды q и $2q$ закреплены на расстоянии L друг от друга в вакууме. Если в середине прямой, соединяющей заряды, поместить точечный отрицательный заряд $-q$ (рис. 9), то для вектора напряженности в точке A :

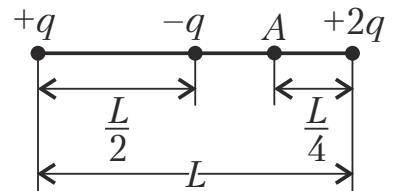


Рис. 9

- 1) модуль увеличился в 3 раза, направление не изменилось;
- 2) модуль увеличился в 1,5 раза, направление не изменилось;
- 3) модуль стал равным нулю;
- 4) модуль не изменился, направление изменилось на противоположное;
- 5) модуль уменьшился в 1,5 раза, направление изменилось на противоположное.

A9. Общее сопротивление участка цепи, состоящего из пяти одинаковых резисторов сопротивлением каждый по $R = 30$ Ом, соединенных, как показано на схеме (рис. 10), равно:

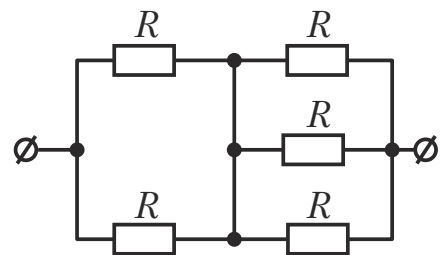


Рис. 10

- 1) 10 Ом;
- 2) 15 Ом;
- 3) 20 Ом;
- 4) 25 Ом;
- 5) 30 Ом.

A10. При замыкании источника тока на внешнее сопротивление $R_1 = 40$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,30$ А, а при замыкании на сопротивление $R_2 = 70$ Ом сила тока в цепи $I_2 = 0,20$ А. Сила тока $I_{кз}$ короткого замыкания источника равна:

- 1) 2,1 А;
- 2) 1,5 А;
- 3) 0,90 А;
- 4) 0,60 А;
- 5) 0,45 А.

A11. Если спираль электроплитки заменить другой с такими же линейными размерами, но вдвое большим удельным сопротивлением, то мощность плитки:

- 1) увеличится в 4 раза;
- 2) увеличится в 2 раза;
- 3) не изменится;
- 4) уменьшится в 2 раза;
- 5) уменьшится в 4 раза.

A12. Проводник, согнутый в виде кольца, помещен в магнитное поле, как показано на рисунке 11. Модуль индукции возрастает со временем. Каково направление индукционного тока в проводнике?

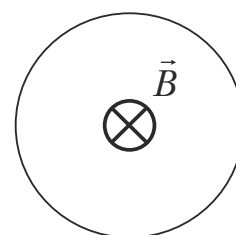


Рис. 11

- 1) По часовой стрелке;
- 2) против часовой стрелки;
- 3) ток в кольце не возникает;
- 4) данных для ответа недостаточно;
- 5) направление тока зависит от скорости изменения магнитного потока.

A13. Если к конденсатору в идеальном колебательном контуре последовательно подключить второй такой же конденсатор, то частота свободных колебаний в контуре:

- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
- 3) уменьшится в $\sqrt{2}$ раз;
- 4) уменьшится в 2 раза;
- 5) уменьшится в 4 раза.

A14. Высота Солнца над горизонтом $\varphi = 50^\circ$. Чтобы отразившиеся от плоского зеркала солнечные лучи пошли вертикально вверх, угол α падения лучей на зеркало должен быть равен:

- 1) 90° ;
- 2) 60° ;
- 3) 20° ;
- 4) 10° ;
- 5) такого угла не существует.

A15. Если изображение предмета, помещенного на расстоянии $d = 15$ см от собирающей линзы, получается на расстоянии $f = 30$ см от нее, то линейное увеличение линзы составляет:

- 1) 20;
- 2) 4,5;
- 3) 2,0;
- 4) 0,45;
- 5) 0,20.

A16. Чтобы увеличить модуль скорости частицы, масса покоя которой m_0 , от $v_1 = 0,60c$ до $v_2 = 0,80c$ (c — модуль скорости света в вакууме), необходимо совершить работу:

- 1) $0,14m_0c^2$;
- 2) $0,20m_0c^2$;
- 3) $0,42m_0c^2$;
- 4) $0,50m_0c^2$;
- 5) $0,80m_0c^2$.

A17. Электрон в атоме водорода находится на третьей орбите. Атом водорода в таком состоянии может излучить число квантов различной энергии, равное:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) 5.

A18. Ядра изотопов ${}_{92}^{235}\text{U}$ и ${}_{92}^{238}\text{U}$ различаются:

- 1) количеством протонов в ядре;
 2) количеством нейтронов в ядре;
 3) химическим составом;
 4) строением электронной оболочки;
 5) зарядовым числом.

Тест В

В1. С крыши дома высотой $h = 15$ м вертикально вверх брошено тело со скоростью, модуль которой $v_0 = 10$ м/с. Тело упадет на землю через промежуток времени, равный ... с.

В2. На гладком горизонтальном столе лежит брусок массой $M = 4,0$ кг. На краю стола укреплен невесомый блок, способный вращаться без трения. Брусок связан нитью, перекинутой через блок, с телом массой $m = 1,0$ кг. Модуль начальной скорости бруска $v_0 = 8,0$ м/с и скорость \vec{v}_0 направлена влево (рис. 12). Модуль скорости бруска через время $t = 5,0$ с после начала движения равен ... м/с.

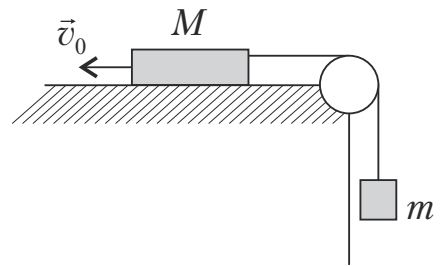


Рис. 12

В3. Самолет массой $m = 3000$ кг летит на высоте $H = 50$ м со скоростью, модуль которой $v_1 = 50$ м/с. Летчик выключает двигатель, и самолет, планируя, достигает поверхности Земли со скоростью $v_2 = 40$ м/с. Модуль работы сил сопротивления во время спуска самолета равен ... МДж.

В4. В сообщающихся сосудах одинакового поперечного сечения площадью $S = 20$ см² находится вода, закрытая легкими поршнями. На левый поршень помещают груз массой $m = 1,6$ кг. Уровень воды в другом сосуде поднимется относительно начального на ... см.

В5. Атмосферное давление $p_a = 100$ кПа. Если принять, что температура воды не изменяется с глубиной, то диаметр пузырька воздуха втрое меньше, чем у поверхности воды, на глубине h , равной ... м.

В6. В цилиндре, закрытом невесомым поршнем, находится воздух объемом $V = 1,0 \text{ м}^3$ при нормальных условиях. Работа, которую совершит воздух при нагревании на $\Delta t = 100 \text{ }^\circ\text{С}$, равна ... кДж.

В7. На p – V диаграмме изображен цикл, проведенный с одноатомным идеальным газом (рис. 13). КПД η этого цикла равен ... %.

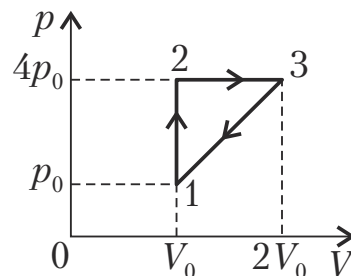


Рис. 13

В8. Маленький металлический шарик массой $m = 1,0 \text{ г}$, заряд которого $q = 100 \text{ нКл}$, брошен издалека со скоростью, модуль которой $v_0 = 1,0 \text{ м/с}$, в металлическую сферу с зарядом $Q = 300 \text{ нКл}$. Минимальный радиус R_{min} сферы, при котором шарик сможет достичь ее поверхности, составляет ... см.

В9. Конденсатор емкостью $C_1 = 2,0 \text{ мкФ}$ заряжен до напряжения $U_1 = 100 \text{ В}$, а конденсатор емкостью $C_2 = 0,50 \text{ мкФ}$ — до $U_2 = 50 \text{ В}$. После зарядки конденсаторы соединили одноименными полюсами. В результате такого соединения выделилось количество теплоты Q , равное ... мДж.

В10. В вакуумном диоде расстояние между катодом и анодом $d = 10 \text{ мм}$. Время, необходимое электрону, чтобы пройти это расстояние при напряжении между катодом и анодом $U = 48 \text{ В}$, составляет ... нс.

В11. Стержень массой $m = 1,00 \text{ кг}$ и длиной $l = 30,0 \text{ см}$ расположен перпендикулярно рельсам, которые составляют угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом (рис. 14). Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,50$. Чтобы стержень начал двигаться вверх вдоль рельсов при силе тока $I = 40 \text{ А}$, наклонную плоскость необходимо поместить в магнитное поле, перпендикулярное плоскости рельсов, минимальный модуль индукции которого равен ... Тл.

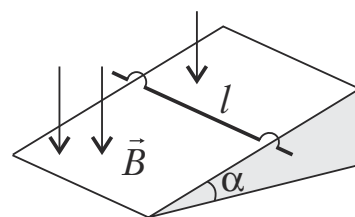


Рис. 14

В12. Луч света падает на плоскопараллельную пластинку с коэффициентом преломления $n = 1,5$ под углом $\alpha = 60^\circ$. Если при выходе из пластинки луч света смещается на $d = 20 \text{ мм}$, то толщина пластинки составляет ... мм.

Вариант 3

Тест А

А1. График зависимости проекции скорости v_x на ось x от времени t для прямолинейно движущегося тела изображен на рисунке 15. Средняя путевая скорость движения тела за промежуток времени $\Delta t = 10$ с составляет:

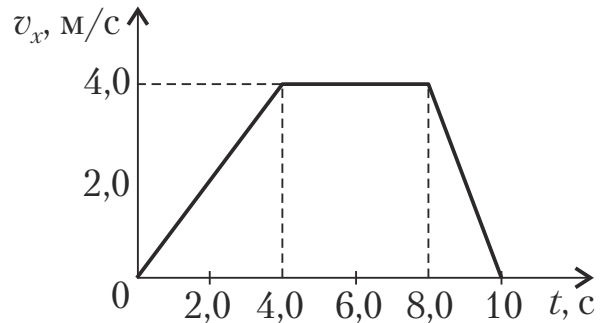


Рис. 15

- 1) 2,0 м/с; 4) 2,8 м/с;
 2) 2,4 м/с; 5) 3,2 м/с.
 3) 2,6 м/с;

А2. Четыре одинаковых кубика, связанные невесомыми нитями, движутся по гладкому горизонтальному столу под действием горизонтальной силы, модуль которой $F = 0,10$ кН,

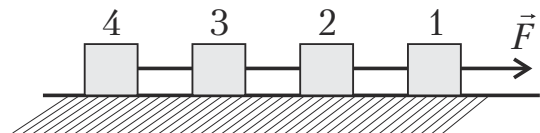


Рис. 16

приложенной к первому кубику (рис. 16). Модуль силы натяжения F_1 нити, связывающей первый и второй кубики, равен:

- 1) 100 Н; 2) 75 Н; 3) 60 Н; 4) 50 Н; 5) 25 Н.

А3. Чтобы модули сил давления жидкости на квадратное дно прямоугольного сосуда с длиной ребра основания $a = 10$ см и боковую стенку сосуда были равны, жидкость следует налить до высоты H , равной:

- 1) 5,0 см; 3) 15 см; 5) 25 см.
 2) 10 см; 4) 20 см;

А4. При увеличении давления идеального газа в закрытом баллоне на 1,0 % от первоначального значения температура газа возросла на 3,0 °С. Первоначальная температура газа была равна:

- 1) 300 °С; 3) 200 °С; 5) 600 К.
 2) 300 К; 4) 200 К;

А5. Изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты $Q = 200$ Дж и внешние силы совершили над ним работу $A = 600$ Дж, составляет:

- 1) 0 Дж; 3) 400 Дж; 5) 800 Дж.
 2) 200 Дж; 4) 600 Дж;

A6. Газ, совершающий цикл Карно, за счет каждой $Q_1 = 2,0$ кДж энергии, полученной от нагревателя, производит работу $A = 600$ Дж. Абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника:

- 1) в 1,32 раза; 3) в 1,50 раза; 5) в 2,00 раза.
2) в 1,43 раза; 4) в 1,75 раза;

A7. Вокруг точечного заряда $q_1 = -19,6$ нКл по окружности радиусом $R = 490$ мм равномерно вращается положительно заряженная материальная точка, отношение массы которой к заряду $\frac{m}{q_2} = 1,44$ кг/Кл. Период вращения материальной точки равен:

- 1) 48,0 мс; 3) 196 мс; 5) 760 мс.
2) 96,0 мс; 4) 380 мс;

A8. Общая емкость изображенной на схеме батареи конденсаторов (рис. 17), если $C = 2,0$ мкФ, равна:

- 1) 6,0 мкФ; 4) 1,3 мкФ;
2) 5,0 мкФ; 5) 0,75 мкФ.
3) 3,0 мкФ;

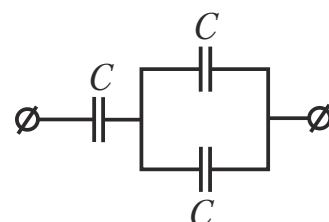


Рис. 17

A9. Общее сопротивление участка цепи, состоящего из пяти одинаковых сопротивлений $R = 10$ Ом каждое, соединенных, как показано на схеме (рис. 18), составляет:

- 1) 5,0 Ом; 3) 15 Ом; 5) 30 Ом.
2) 10 Ом; 4) 15 Ом;

A10. Направление тока в круговом витке изменили на противоположное. Вектор магнитной индукции витка с током повернулся на:

- 1) 45° ; 4) 270° ;
2) 90° ; 5) 360° .
3) 180° ;

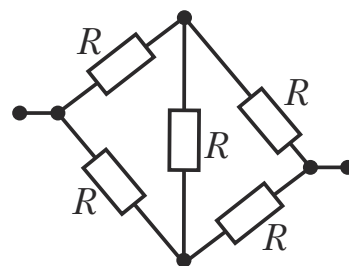


Рис. 18

A11. Электрон, пройдя в электростатическом поле ускоряющую разность потенциалов U , попадет в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны направлению движения электрона, и начинает двигаться по окружности. Если ускоряющую разность потенциалов U уменьшить в 2 раза, то радиус окружности:

- 1) уменьшится в $\sqrt{2}$ раз; 4) увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
2) уменьшится в 2 раза; 5) увеличится в 2 раза.
3) не изменится;

A12. Электрон ускорен в ускорителе до скорости, модуль которой $v = \frac{\sqrt{3}}{2}c$ (где c — скорость света в вакууме). Импульс такого электрона равен (m_0 — масса покоя электрона):

- 1) $2\sqrt{3}m_0c$; 3) $\frac{3}{4}m_0c$; 5) $\frac{\sqrt{3}}{4}m_0c$.
 2) m_0c ; 4) $\sqrt{3}m_0c$;

A13. На представленной диаграмме энергетических уровней атома водорода (рис. 19) переход, связанный с поглощением фотона наименьшей частоты, изображен стрелкой:

- 1) 1; 3) 3; 5) 5.
 2) 2; 4) 4;

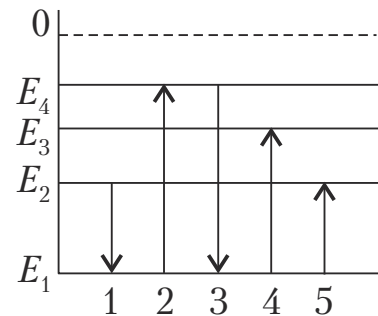


Рис. 19

A14. Электрический колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 10$ мГн, конденсатор емкостью $C = 880$ пФ и подсоединенный параллельно подстроечный конденсатор емкостью $C_1 = 20$ пФ. Частота ν незатухающих колебаний в контуре составляет:

- 1) 99 кГц; 3) 62 кГц; 5) 36 кГц.
 2) 88 кГц; 4) 53 кГц;

A15. Белый свет на спектр можно разложить с помощью:

- 1) микроскопа;
 2) фотоэлемента;
 3) дифракционной решетки;
 4) лупы;
 5) телескопа.

A16. Скорость света в стекле в $k = 1,5$ раза меньше, чем в воздухе. Синус угла полного отражения при переходе света из стекла в воздух равен:

- 1) $\frac{1}{6}$; 2) $\frac{1}{3}$; 3) $\frac{1}{2}$; 4) $\frac{2}{3}$; 5) $\frac{3}{4}$.

A17. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 700$ нм. Период решетки $d = 2,0$ мкм. Общее количество дифракционных максимумов, которые дает эта решетка, составляет:

- 1) 3; 3) 7; 5) 11.
 2) 5; 4) 9;

- A18.** Энергия ионизации атомов некоторого газа $W_i = 15$ эВ. Если длина свободного пробега электронов $\lambda = 0,50$ мкм, то модуль минимальной напряженности E электростатического поля, необходимого для ионизации атомов на длине свободного пробега, составляет:
- 1) 15 кВ/м; 3) 15 МВ/м; 5) 60 МВ/м.
 2) 30 кВ/м; 4) 30 МВ/м;

Тест В

- В1.** Небольшое тело соскальзывает без трения с вершины полусферы радиусом $R = 90$ см. Тело оторвется от поверхности полусферы на высоте h от основания полусферы, равной ... см.
- В2.** Имеется горизонтальный пружинный маятник. Масса колеблющегося тела $m = 200$ г, пружина невесома. Тело сместили из положения равновесия вправо на $x_0 = 2,0$ см и толкнули влево, сообщив ему скорость модулем $v_0 = 1,0$ м/с. Если жесткость пружины $k = 40$ Н/м, то амплитуда A возникших колебаний равна ... мм.
- В3.** Два одинаковых сосуда содержат одинаковую массу гелия. В первом сосуде средняя квадратичная скорость молекул $v_1 = 1000$ м/с, а во втором — $v_2 = 2000$ м/с. Открыли кран. Средняя квадратичная скорость молекул гелия после установления теплового равновесия равна ... км/с.
- В4.** Двигатель реактивного самолета с КПД $\eta = 24\%$ при полете со скоростью, модуль которой $v = 1440$ км/ч, развивает силу тяги, модуль которой равен $F = 5,86$ кН. Удельная теплота сгорания керосина $q = 44 \cdot 10^6$ Дж/кг. Расход керосина за время $t = 1,0$ ч полета составляет ... т.
- В5.** Электрон влетает в плоский конденсатор, пластины которого расположены горизонтально, параллельно его пластинам со скоростью, модуль которой $v_0 = 2,0 \cdot 10^7$ м/с. На пластины подано напряжение $U = 50$ В (рис. 20). Длина пластин $l = 50$ мм, расстояние между пластинами $d = 10$ мм. Расстояние h , на которое сместится электрон в вертикальном направлении за время его движения в конденсаторе, составляет ... мм.



Рис. 20

можно пренебречь. Вольтметр показывает $U = 2,1$ В. Показание амперметра составляет ... А.

- В7.** В электроплитке спирали соединены в схему, показанную на рисунке 22. Электроплитка включается в сеть точками 1 и 2, при этом за некоторое время удается довести до кипения воду массой $m_1 = 0,50$ кг. Масса m_2 воды, которую можно довести до кипения за то же время, если электроплитку включить в сеть точками 1 и 3, составляет ... кг. Начальная температура в обоих случаях одна и та же. Тепловыми потерями пренебречь.

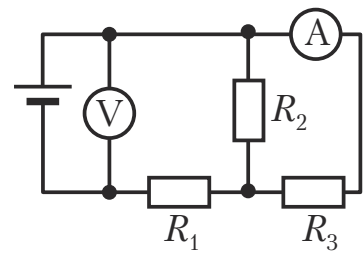


Рис. 21

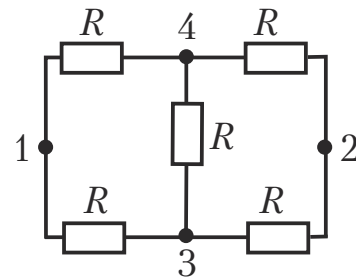


Рис. 22

- В8.** Если магнитный поток Φ , пронизывающий катушку с витками в количестве $N = 10$, изменяется с течением времени, как показано на рисунке 23, то сила тока, индуцируемого в катушке, сопротивление которой $R = 10$ Ом, в интервале времени $2\text{с} - 4\text{с}$ равна ... А.
- В9.** Энергия W магнитного поля соленоида с числом витков $N = 60$, в котором при силе тока $I = 10$ А возникает магнитный поток $\Phi = 5,0$ Вб, равна ... кДж.

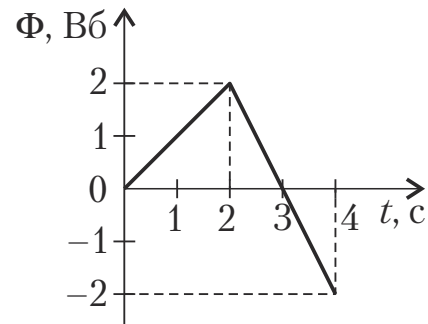


Рис. 23

- В10.** Лампочка мощностью $P = 25$ Вт излучает электромагнитные волны со средней длиной волны $\langle \lambda \rangle = 1100$ нм. Число фотонов, которые испускает лампочка за время $t = 10$ с работы в номинальном режиме, составляет ... (полученное значение разделите на 10^{20}).
- В11.** С помощью линзы получают двукратно увеличенное действительное изображение предмета. Затем линзу передвигают на расстояние $a = 10$ см и получают мнимое изображение такого же размера. Фокусное расстояние F такой линзы равно ... см.
- В12.** Отношение числа нераспавшихся ядер N_1 к начальному количеству N_0 радиоактивных ядер через промежуток времени, равный четырем периодам полураспада, составляет

Итоговые тесты

Вариант 1

Тест А

A1. Координата $x(t)$ движущейся материальной точки изменяется по закону $x = 2,8t - 2,0$. Путь, пройденный точкой за промежуток времени от $t_1 = 0$ с до $t_2 = 5,0$ с, равен:

- 1) 12 м; 2) 14 м; 3) 16 м; 4) 18 м; 5) 24 м.

A2. Материальная точка движется по закону $x(t) = 3 + 8t - 0,5t^2$ (м). Модуль средней скорости движения материальной точки в интервале времени от $t_1 = 4$ с до $t_2 = 6$ с равен:

- 1) 2 м/с; 3) 4 м/с; 5) 6 м/с.
2) 3 м/с; 4) 5 м/с;

A3. График зависимости проекции скорости v_y груза массой $m = 100$ кг, который поднимают вертикально вверх на тросе, от времени t представлен на рисунке 1. Модуль силы F натяжения троса равен:

- 1) 0,10 кН; 4) 1,1 кН;
2) 0,55 кН; 5) 11 кН.
3) 1,0 кН;

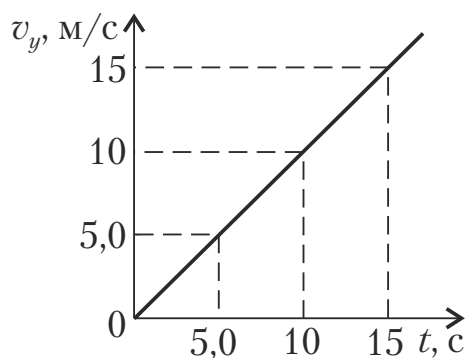


Рис. 1

A4. К телу массой $m = 2,0$ кг, лежащему на гладкой горизонтальной поверхности, поочередно прикладывают горизонтальные силы, модули которых $F_1 = 6,0$ Н и $F_2 = 14$ Н. Коэффициент трения скольжения между телом и поверхностью $\mu = 0,40$. Модули силы трения $F_{\text{тр}1}$ и $F_{\text{тр}2}$ для этих случаев соответственно равны:

- 1) 6,0 Н; 14 Н; 3) 8,0 Н; 14 Н; 5) 6,0 Н; 6,0 Н.
2) 8,0 Н; 8,0 Н; 4) 6,0 Н; 8,0 Н;

A5. Лодка длиной $l = 6,0$ м при переходе человека, масса которого вдвое меньше массы лодки, с носа лодки на корму переместится относительно воды на расстояние (сопротивлением движения лодки в воде пренебрегаем), равное:

- 1) 6,0 м; 3) 2,0 м; 5) 1,0 м.
2) 4,0 м; 4) 1,5 м;

- A6.** Для того чтобы разогнать тело по гладкой горизонтальной поверхности из состояния покоя до скорости v с постоянным ускорением, требуется совершить работу $A = 100$ Дж. Для того чтобы увеличить модули скорости этого тела от v до $3v$, требуется совершить работу, равную:
- 1) 200 Дж; 3) 400 Дж; 5) 900 Дж.
2) 300 Дж; 4) 800 Дж;
- A7.** Балка массой $m_1 = 600$ кг и длиной $l = 4,0$ м подперта на расстоянии $l_1 = 1,8$ м от ее левого конца. Чтобы балка оставалась в равновесии, на балку должен стать человек массой $m_2 = 80$ кг на расстоянии от левого конца, равном:
- 1) 20 см; 2) 30 см; 3) 40 см; 4) 60 см; 5) 90 см.
- A8.** В сообщающиеся сосуды налита ртуть ($\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³), поверх которой в одном из них находится вода ($\rho_{\text{в}} = 1,0 \cdot 10^3$ кг/м³). Разность уровней ртути 15 мм. Высота столба воды равна:
- 1) 6,0 см; 2) 10 см; 3) 20 см; 4) 40 см; 5) 60 см.
- A9.** Водород при давлении p_1 нагревают от температуры $T_1 = 200$ К до температуры $T_2 = 10\,000$ К. При этом его молекулы практически полностью распадаются на атомы. Если объем и масса водорода остались неизменными, то давление водорода равно:
- 1) $50,0p_1$; 3) $100p_1$; 5) $800p_1$.
2) $75,0p_1$; 4) $200p_1$;
- A10.** Резиновая камера содержит воздух при нормальном атмосферном давлении. Глубина, на которую нужно опустить камеру, чтобы ее объем уменьшился вдвое при неизменной температуре, составляет:
- 1) 1,0 м; 2) 2,0 м; 3) 3,0 м; 4) 5,0 м; 5) 10 м.
- A11.** В сосуд, содержащий воду массой $m_1 = 10$ кг при температуре $t_1 = 12$ °С, поместили кусок льда, охлажденный до температуры $t_2 = -20$ °С, после чего температура в сосуде оказалась $t = 8,0$ °С. Удельные теплоемкости воды и льда $c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ (удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг). Масса куска льда, помещенного в сосуд, равна:
- 1) 41 г; 2) 0,11 кг; 3) 0,24 кг; 4) 0,41 кг; 5) 1,1 кг.
- A12.** В точке B с координатами $x = -1,0$ м, $y = 2,0$ м находится точечный заряд $q = 2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл. Модуль напряженности электростатического поля в точке $A(+2,0; +6,0)$ равен:
- 1) 3,6 В/м; 2) 7,2 В/м; 3) 18 В/м; 4) 36 В/м; 5) 72 В/м.

A13. Заряженный до разности потенциалов U плоский воздушный конденсатор отсоединили от источника тока. Если такой конденсатор заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ , то разность потенциалов между обкладками конденсатора станет равной:

- 1) $\epsilon \cdot U$; 3) $\frac{U}{(\epsilon - 1)}$; 5) U .
 2) $(\epsilon - 1) \cdot U$; 4) $\frac{U}{\epsilon}$;

A14. Общее сопротивление участка цепи, состоящего из пяти одинаковых сопротивлений по $R = 30$ Ом каждое, соединенных, как показано на схеме (рис. 2), равно:

- 1) 10 Ом; 4) 25 Ом;
 2) 15 Ом; 5) 30 Ом.
 3) 20 Ом;

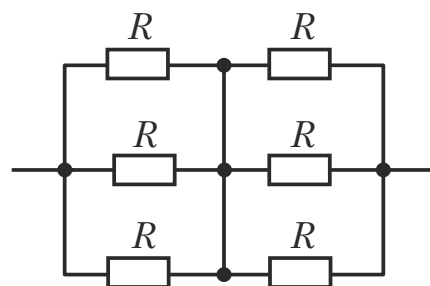


Рис. 2

A15. Напряжение зажигания неоновой лампы $U_3 = 290$ В. Вольтметр показывает, что напряжение в сети переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц $U_1 = 200$ В. При таком напряжении:

- 1) лампа гореть не будет;
 2) будет гореть непрерывно;
 3) будет гореть прерывисто;
 4) в сети переменного тока неоновая лампа вообще не горит;
 5) лампа перегорит.

A16. Квадратная рамка помещена в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 80$ мТл. Перпендикуляр к плоскости рамки составляет с направлением магнитных линий угол $\alpha = 30^\circ$. При равномерном уменьшении магнитной индукции поля до нуля за время $\Delta t = 20$ мс в рамке индуцируется ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = 0,11$ В. Длина стороны рамки составляет:

- 1) 12 см; 3) 24 см; 5) 36 см.
 2) 18 см; 4) 30 см;

A17. Чтобы масса движущегося электрона была вдвое больше его массы покоя, электрон должен двигаться со скоростью, модуль которой равен:

- 1) $\frac{c}{\sqrt{3}}$; 2) $\frac{c}{\sqrt{2}}$; 3) $\frac{c\sqrt{2}}{2}$; 4) $\frac{c}{2}$; 5) $\frac{c\sqrt{3}}{2}$.

- A18.** Разность между числом нейтронов и числом протонов в ядре атома урана ${}^{235}_{92}\text{U}$ равна:
 1) 51; 2) 92; 3) 143; 4) -143; 5) 235.

Тест В

- B1.** В вагоне поезда, идущего равномерно со скоростью, модуль которой $v = 20$ м/с, по закруглению радиусом $R = 200$ м, производится взвешивание груза с помощью динамометра. При массе груза $m = 5,0$ кг результат взвешивания составит ... Н.
- B2*.** Небольшое тело соскальзывает с верхней точки полусферической гладкой поверхности радиусом $R = 1,8$ м. Оно оторвется от поверхности полусферы на высоте от ее вершины, равной ... см.
- B3*.** На легкой горизонтальной пружине, жесткость которой $k = 800$ Н/м, укреплен кубик массой $M = 2,0$ кг, лежащий на гладком столе, по которому он может скользить без трения (рис. 3). Пуля массой $m = 10$ г, летящая с горизонтальной скоростью, модуль которой $v = 500$ м/с, попала в кубик и застряла в нем. В момент удара скорость пули была направлена вдоль оси пружины. Модуль максимального ускорения кубика равен ... м/с².

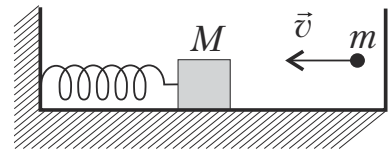


Рис. 3

- B4.** Один моль одноатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. При этом его максимальное давление в $k_1 = 2,0$ раза больше минимального, а максимальный объем в $k_2 = 3,0$ раза больше минимального. КПД цикла равен ... %.
- B5.** В вершинах острых углов равнобедренного прямоугольного треугольника находятся заряды $q_1 = 1,2$ мкКл и $q_2 = 2,6$ мкКл. Если расстояние между зарядами q_1 и q_2 $l = 10$ см, то модуль силы F , с которой они действуют на заряд $q_3 = 1,5$ мкКл, помещенный в третью вершину треугольника, составляет ... Н.
- B6.** Электрический чайник имеет две спирали. При включении одной из них вода в чайнике закипает за время $t_1 = 10$ мин, при включении другой — за $t_2 = 20$ мин. Если эти спирали включить параллельно, то вода в чайнике закипит за время, равное ... мин.
- B7.** Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 600$ В, попадает в пространство, в котором созданы скрещенные однородные электростатическое и магнитное поля ($\vec{E} \perp \vec{B}$). Модуль индукции магнитного поля $B = 0,20$ Тл. Модуль напряженности электроста-

- тического поля, если электрон не отклоняется от прямолинейного направления движения, равен ... МВ/м.
- В8.** Математический маятник, частота малых колебаний которого $\nu_0 = 1,0$ Гц, подвешен в лифте, движущемся вниз. Если лифт начнет замедлять свое движение с ускорением, модуль которого $a = 6,0$ м/с², то частота колебаний будет равна ... Гц.
- В9.** Световод представляет сплошной цилиндр из прозрачного материала, показатель преломления которого относительно воздуха $n = 1,25$. Луч света из воздуха падает на центр входного отверстия световода под углом α . Минимальное значение угла α , при котором луч будет идти внутри световода, не выходя за его пределы, составляет ... град.
- В10.** Действительное изображение предмета, полученное с помощью собирающей линзы, находится от нее на расстоянии $f_1 = 80$ см. Если собирающую линзу заменить рассеивающей с таким же фокусным расстоянием, то мнимое изображение предмета будет находиться на расстоянии $f_2 = 20$ см от линзы. Фокусное расстояние линзы равно ... см.
- В11.** Изолированный металлический шар радиусом $R = 50$ мм освещается монохроматическим ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 275$ нм. Работа выхода электронов $A = 2,5$ эВ. Заряд, который получит шар при длительном освещении, равен ... пКл.
- В12.** Радиоактивный источник нагревает установку на $\Delta T = 14$ К за время $t = 1,0$ мин. Если при распаде одного ядра в теплоту переходит энергия в количестве $W_0 = 8,0$ МэВ, а теплоемкость установки $C = 1,0$ Дж/К, то число N ядер, распадающихся за $t_1 = 1,0$ с, составляет ... (полученное значение умножьте на 10^{-11}).

Вариант 2

Тест А

- А1.** Колесо катится без проскальзывания по горизонтальной дороге со скоростью, модуль которой $v = 12$ м/с относительно земли. Модуль скорости точки A обода колеса относительно дороги (рис. 4) равен:

- 1) 14 м/с; 3) 22 м/с; 5) 26 м/с.
 2) 18 м/с; 4) 24 м/с;

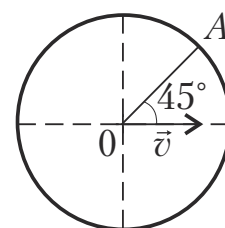


Рис. 4

- A2.** Модуль ускорения тела, движущегося равноускоренно, $a = 2,5 \text{ м/с}^2$. Если модуль начальной скорости $v_0 = 5,0 \text{ м/с}$, то путь, пройденный телом за третью секунду движения, равен:
- 1) 6,5 м; 3) 9,6 м; 5) 14 м.
2) 8,0 м; 4) 11 м;
- A3.** Грузовик буксирует легковой автомобиль массой $m = 1600 \text{ кг}$ и, двигаясь равноускоренно и прямолинейно без начальной скорости, за время $t = 50 \text{ с}$ переместился на расстояние $s = 400 \text{ м}$. Модуль силы сопротивления движению автомобиля составляет 10 % от силы тяжести. Если жесткость буксировочного троса $k = 2,0 \times 10^5 \text{ Н/м}$, то трос при буксировке удлинился на расстояние, равное:
- 1) 0,24 см; 3) 0,63 см; 5) 1,1 см.
2) 0,48 см; 4) 0,83 см;
- A4.** Груз, лежащий на горизонтальной вращающейся платформе на расстоянии R от оси вращения, начнет соскальзывать с платформы при угловой скорости ω вращения платформы, большей (μ — коэффициент трения между грузом и платформой) величины:
- 1) $\sqrt{\mu g R}$; 3) $\sqrt{\mu \frac{R}{g}}$; 5) $\mu \sqrt{g R}$.
2) $\mu \sqrt{\frac{g}{R}}$; 4) $\sqrt{\mu \frac{g}{R}}$;
- A5.** Стальной шарик массой $m = 100 \text{ г}$ падает на стальную плиту с высоты $h_1 = 200 \text{ см}$ и отскакивает на высоту $h_2 = 120 \text{ см}$. Модуль изменения импульса шарика в результате удара равен:
- 1) $1,26 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 3) $1,06 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 5) $0,490 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.
2) $1,12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; 4) $0,980 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
- A6.** К невесомой нерастяжимой нити подвешен груз массой $m = 30 \text{ кг}$. Если нить с грузом отклонить на угол $\alpha = 90^\circ$ от вертикали и отпустить, то в момент прохождения грузом нижней точки траектории модуль силы натяжения нити равен:
- 1) 0,10 кН; 3) 0,40 кН; 5) 0,90 кН.
2) 0,20 кН; 4) 0,50 кН;
- A7.** На концах однородного стержня массой $m = 1,0 \text{ кг}$ и длиной $l = 60 \text{ см}$ подвешены грузы массами $m_1 = 1,0 \text{ кг}$ и $m_2 = 3,0 \text{ кг}$. Чтобы стержень

находился в равновесии, его нужно подпереть на расстоянии x от точки подвеса груза массой m_2 , равном:

- 1) 6,0 см; 2) 12 см; 3) 18 см; 4) 21 см; 5) 24 см.

A8. Если в одном из сообщающихся сосудов находится столбик ртути (плотность ρ_p) высотой h , а в другом — столбик воды (плотность ρ_b) такой же высоты, поверх которой налит керосин (плотность ρ_k), то высота столбика керосина равна:

- 1) $\frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_k} h$; 3) $\frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p - \rho_k} h$; 5) $\frac{\rho_p - \rho_k}{\rho_b} h$.
 2) $\frac{\rho_p - \rho_k}{\rho_b} h$; 4) $\frac{\rho_p}{\rho_b + \rho_k} h$;

A9. Число молекул, содержащихся в пресной воде объемом $V = 1,0 \text{ см}^3$, составляет:

- 1) $3,3 \cdot 10^{20}$; 3) $3,3 \cdot 10^{22}$; 5) $3,3 \cdot 10^{23}$.
 2) $3,3 \cdot 10^{21}$; 4) $6,6 \cdot 10^{22}$;

A10. В трубке, запаянной с одного конца, находится воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути. При горизонтальном расположении трубки длина столбика воздуха $l_1 = 200 \text{ мм}$. Трубку устанавливают вертикально отверстием вверх, длина столбика воздуха при этом становится $l_2 = 150 \text{ мм}$. Если атмосферное давление нормальное, то высота столбика ртути составляет ($p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\rho_{\text{рт}} = 13\,600 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$):

- 1) 150 мм; 3) 252 мм; 5) 310 мм.
 2) 206 мм; 4) 286 мм;

A11. Кастрюле с водой сообщили количество теплоты $Q = 2,0 \cdot 10^6 \text{ Дж}$. Начальная температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Часть воды из кастрюли выкипела. Атмосферное давление нормальное. Если масса и удельная теплоемкость кастрюли $m_1 = 1,2 \text{ кг}$ и $c_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, масса воды

$m_2 = 4,8 \text{ кг}$ и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь, то доля выкипевшей воды составляет:

- 1) 2,7 %; 2) 5,4 %; 3) 11 %; 4) 36 %; 5) 48 %.

A12. Капелька жидкости находится в равновесии в направленном вертикально вверх однородном электростатическом поле, модуль напряженности которого $E = 2,0 \text{ кВ/м}$. Если масса капельки $m = 2,0 \text{ мг}$, то ее заряд равен:

- 1) 10 нКл; 3) 40 нКл; 5) 50 нКл.
 2) 20 нКл; 4) 45 нКл;

A13. Общее сопротивление участка цепи, состоящего из пяти одинаковых сопротивлений по R каждое, соединенных, как показано на схеме (рис. 5), равно:

- 1) $\frac{R}{5}$; 3) $\frac{R}{2}$; 5) $2R$.
 2) $\frac{R}{4}$; 4) R ;

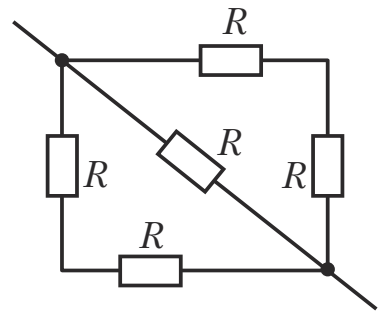


Рис. 5

A14. Два протона движутся в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля, по окружностям радиусов R_1 и R_2 . Отношение $\frac{W_1}{W_2}$ их кинетических энергий равно:

- 1) $\frac{R_2^2}{R_1^2}$; 2) $\frac{R_1^2}{R_2^2}$; 3) $\frac{R_2}{R_1}$; 4) $\frac{R_1}{R_2}$; 5) 1.

A15. Расстояние между ближайшими точками бегущей звуковой волны, колебания которых отличаются по фазе на π , $l = 2,5$ м. Если модуль скорости звука в стали $v = 5000$ м/с, то частота звуковых колебаний равна:

- 1) 0,20 кГц; 3) 1,0 кГц; 5) 5,0 кГц.
 2) 0,50 кГц; 4) 2,5 кГц;

A16. Чтобы увеличить модуль скорости частицы с массой покоя m_0 от $0,60c$ до $0,80c$ (c — скорость света в вакууме), нужно совершить работу, равную:

- 1) $0,14m_0c^2$; 3) $0,42m_0c^2$; 5) $0,80m_0c^2$.
 2) $0,20m_0c^2$; 4) $0,50m_0c^2$;

A17*. При облучении катода фотоэлемента монохроматическим светом с частотой ν_1 максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов W_1 , а при облучении светом с частотой $\nu_2 = 3\nu_1$ она равна W_2 . Соотношение между значениями W_1 и W_2 имеет вид:

- 1) $W_2 = W_1$; 3) $W_2 = \sqrt{3}W_1$; 5) $W_2 < 3W_1$.
 2) $W_2 = 3W_1$; 4) $W_2 > 3W_1$;

A18. Радиоактивное ядро урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ превращается в ядро свинца ${}_{82}^{198}\text{Pb}$. В процессе превращения ядер произошло n_α и n_β распадов:

- 1) 10 и 8; 3) 9 и 10; 5) 10 и 10.
 2) 8 и 10; 4) 10 и 9;

Тест В

- В1*.** К потолку лифта прикреплен невесомый блок. К концам невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через блок, подвешены грузы массами $m_1 = 1,5$ кг и $m_2 = 3,0$ кг. Если лифт движется с ускорением \vec{a} , направленным вниз, модуль которого $a = 2,0$ м/с², то модуль силы давления на ось блока равен ... Н.
- В2.** Два одинаковых шарика движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 5,0$ м/с и $v_2 = 7,0$ м/с соответственно. После абсолютно упругого лобового удара изменение модуля скорости первого шарика составит ... м/с.
- В3.** Одноатомный идеальный газ в количестве $\nu = 2,0$ моль, имеющий начальную температуру $T = 300$ К, в результате изохорного нагревания переходит из состояния 1 в состояние 2. При этом его давление возрастет в $k_1 = 3$ раза. Затем газ изобарно переходит из состояния 2 в состояние 3. При этом его объем возрастает в $k_2 = 2$ раза. Количество теплоты, которое получил газ при переходе из состояния 1 в состояние 3, составляет ... кДж.
- В4.** Точечные заряды $q_1 = -17$ нКл и $q_2 = 20$ нКл находятся от точечного заряда $q_0 = 30$ нКл на расстоянии $l_1 = 20$ мм и $l_2 = 50$ мм соответственно. Работа, которую надо совершить, чтобы поменять местами заряды q_1 и q_2 , равна ... мДж.
- В5.** Конденсатор емкостью $C_1 = 1,4$ мкФ зарядили до напряжения $U_1 = 80$ В, а конденсатор емкостью $C_2 = 3,2$ мкФ — до напряжения $U_2 = 60$ В (рис. 6). Если замкнуть ключ К, то в цепи выделится количество теплоты ... мДж.
- В6.** На фарфоровый цилиндр диаметром $d_1 = 15$ мм надо намотать количество витков никелиновой проволоки, равное ..., чтобы изготовить кипятильник, в котором за время $\tau = 10$ мин закипает вода массой $m = 1,2$ кг, взятая при температуре $t = 10^\circ\text{C}$. КПД установки $\eta = 60\%$, диаметр проволоки $d_2 = 0,20$ мм, напряжение сети $U = 100$ В, удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, удельное сопротивление никелина $\rho = 42 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.
- В7*.** Две гладкие металлические шины, расстояние между которыми $l = 50$ см, расположены вертикально и замкнуты сверху и внизу перемычками. Нижняя перемычка массой $m = 7,2$ г скользит вниз

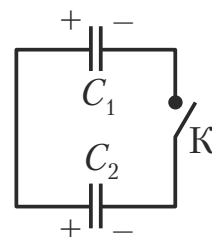


Рис. 6

- с постоянной скоростью $v = 1,6$ м/с. Система находится в горизонтальном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0,12$ Тл. Если сопротивление верхней перемычки $R_1 = 0,030$ Ом, то сопротивление нижней перемычки равно ... мОм.
- В8.** Полная энергия электромагнитных колебаний в колебательном контуре $W = 0,50$ мДж, частота колебаний $\nu = 400$ кГц. Индуктивность катушки, включенной в данный контур, если максимальный заряд конденсатора $q_0 = 50$ нКл, составляет ... мГн.
- В9*.** Через двухэлектродную лампу (диод) с плоскими электродами проходит ток $I = 10$ мА. Напряжение на лампе $U = 100$ В. Если скорость электронов вблизи катода равна нулю, то модуль силы, с которой электроны действуют на анод лампы, равен ... мкН.
- В10.** Луч света падает на грань треугольной призмы перпендикулярно ее поверхности. Если преломляющий угол призмы $\varphi = 30^\circ$, а угол отклонения луча после прохождения призмы $\gamma = 30^\circ$, то показатель преломления призмы равен
- В11.** Собирающая линза с фокусным расстоянием $F_1 = 10$ см сложена вплотную с рассеивающей линзой с фокусным расстоянием $F_2 = 30$ см так, что их главные оптические оси совпадают. Предмет находится на расстоянии $d = 17$ см от этой системы линз на их главной оптической оси. Увеличение системы линз в этом случае равно
- В12.** Если при расщеплении одного ядра урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ выделяется энергия $W_0 = 200$ МэВ, то при расщеплении всех ядер в массе урана $m = 1,0$ мг выделится энергия, равная ... МДж.

Вариант 3

Тест А

- А1.** Расстояние между пунктами A и B $s = 80$ км. Из пункта A по направлению к пункту B выезжает автомобиль со скоростью, модуль которой $v_1 = 50$ км/ч. Одновременно из пункта B по направлению к пункту A выезжает мотоцикл со скоростью \vec{v}_2 , модуль которой $v_2 = 30$ км/ч. Расстояние от пункта A до точки встречи автомобиля с мотоциклом составляет:
- 1) 30 км;
 - 2) 50 км;
 - 3) 55 км;
 - 4) 60 км;
 - 5) 70 км.

A2. Материальная точка движется по закону $x(t) = 5 + 6t - 3t^2$ (м). Координата, в которой модуль скорости точки обращается в нуль, равна:

- 1) 5 м; 2) 6 м; 3) 7 м; 4) 8 м; 5) 9 м.

A3. С вершины наклонной плоскости, имеющей длину $l = 6,0$ м и высоту $h = 3,0$ м, начинает скользить тело. Если коэффициент трения скольжения между телом и плоскостью $\mu = 0,20$, то движение тела до основания наклонной плоскости будет продолжаться в течение времени, равного:

- 1) 0,86 с; 2) 1,2 с; 3) 1,4 с; 4) 1,9 с; 5) 2,6 с.

A4. Два тела массами $m_1 = 6,0$ кг и $m_2 = 4,0$ кг, связанные невесомой нитью, лежат на гладкой горизонтальной поверхности (рис. 7). Нить обрывается, если сила ее натяжения превышает

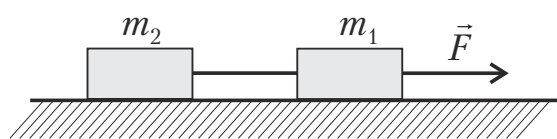


Рис. 7

$F_1 = 12$ Н. Модуль максимальной горизонтальной силы, с которой можно тянуть первое тело, чтобы нить не оборвалась, равен:

- 1) 8,0 Н; 3) 20 Н; 5) 30 Н.
2) 12 Н; 4) 25 Н;

A5. Два шарика массами m_1 и m_2 , причем $m_1 > m_2$, движутся навстречу друг другу со скоростями, модули которых одинаковы и равны v . В результате абсолютно неупругого удара модуль скорости системы шариков оказался равен $0,250v$. Отношение масс $\frac{m_1}{m_2}$ равно:

- 1) 1,41; 3) 1,90; 5) 3,00.
2) 1,67; 4) 2,50;

A6. Мальчик тянет санки по горизонтальной поверхности с постоянной скоростью, прилагая к веревке силу, модуль которой $F = 100$ Н. Веревка образует угол $\alpha = 60^\circ$ с горизонтом. Сила трения при перемещении санок на расстояние $s = 10$ м совершает работу, равную:

- 1) $-1,0$ кДж; 3) $-0,50$ кДж; 5) $1,0$ кДж.
2) $-0,85$ кДж; 4) $0,50$ кДж;

A7. Труба массой $m = 1,4 \cdot 10^3$ кг лежит на земле. Чтобы приподнять краем трубу за один из ее концов, нужно приложить силу, модуль которой равен:

- 1) 0,70 кН; 3) 4,2 кН; 5) 7,0 кН.
2) 3,0 кН; 4) 6,0 кН;

A8. Шар ($\rho_{\text{ш}} = 200 \text{ кг/м}^3$) удерживается в воде закрепленной на дне сосуда невесомой пружиной. Если подвешенный в воздухе к этой пружине шар растягивает ее на $x_1 = 1,0 \text{ см}$, то в воде пружина будет растянута на x_2 , равное:

- 1) 1,0 см; 2) 2,0 см; 3) 3,0 см; 4) 4,0 см; 5) 5,0 см.

A9. В сосуде объемом $V_1 = 10 \text{ дм}^3$ находится газ при температуре $T_1 = 300 \text{ К}$. Часть газа из сосуда выпустили и давление снизилось на $\Delta p = 20 \text{ кПа}$. Если температура газа в сосуде не изменилась, то из сосуда выпустили число молекул, равное:

- 1) $2,1 \cdot 10^{21}$; 3) $6,0 \cdot 10^{23}$; 5) $6,0 \cdot 10^{25}$.
2) $4,8 \cdot 10^{22}$; 4) $4,8 \cdot 10^{24}$;

A10*. Воздушный шар объемом $V = 20,0 \text{ м}^3$ необходимо заполнить гелием до давления $p_a = 100 \text{ кПа}$, равного атмосферному. Для этого к оболочке шара присоединяют баллоны, в которых находится сжатый до давления $p = 800 \text{ кПа}$ гелий. Если объем каждого баллона $V_1 = 40,0 \text{ л}$ и температура газа в процессе заполнения шара не изменяется, то число баллонов, которые для этого используются, равно:

- 1) 63; 2) 72; 3) 126; 4) 144; 5) 210.

A11. Кусок железа массой $m_1 = 0,26 \text{ кг}$, нагретый до температуры $t_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, погрузили в воду массой $m_2 = 0,20 \text{ кг}$, температура которой $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом вся вода нагрелась до $t_3 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ и часть ее испарилась (удельная теплота парообразования $L = 2,25 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$, удельная теплоемкость железа $c_{\text{ж}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, воды $c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$).

Масса испарившейся воды равна:

- 1) 2,4 г; 2) 3,6 г; 3) 4,8 г; 4) 6,0 г; 5) 7,3 г.

A12. Три одинаковых конденсатора соединены, как показано на схеме (рис. 8). Чему равна общая емкость батареи?

- 1) $3C$; 3) $\frac{3}{2}C$; 5) $6C$.
2) $\frac{2}{3}C$; 4) $\frac{1}{3}C$;

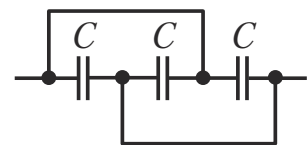


Рис. 8

A13. Общее сопротивление участка цепи, состоящего из пяти одинаковых сопротивлений по R каждое, соединенных, как показано на схеме (рис. 9), равно:

- 1) $\frac{R}{2}$; 3) $2R$; 5) $\frac{7}{2}R$.
2) R ; 4) $4R$;

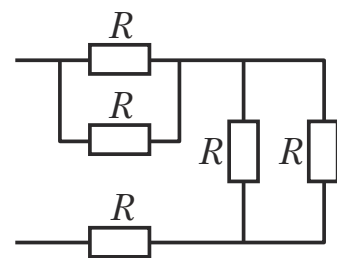


Рис. 9

A14. Если электрон, влетевший в область однородного магнитного поля, движется по траектории, изображенной на рисунке 10, то вектор магнитной индукции поля \vec{B} направлен:

- 1) вверх \uparrow ;
- 2) вниз \downarrow ;
- 3) перпендикулярно чертежу на нас \bullet ;
- 4) перпендикулярно чертежу от нас \otimes ;
- 5) влево \leftarrow .

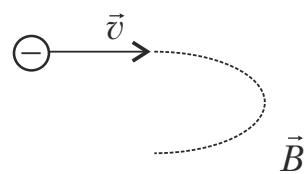


Рис. 10

A15. В электрическом колебательном контуре емкость конденсатора $C = 1,0 \text{ мкФ}$, а индуктивность катушки $L = 1,0 \text{ Гн}$. Если для свободных незатухающих колебаний в контуре амплитуда силы тока $I_0 = 100 \text{ мА}$, то амплитуда напряжения на конденсаторе при этом равна:

- 1) 10 В;
- 2) 30 В;
- 3) 60 В;
- 4) 80 В;
- 5) 0,10 кВ.

A16. На собирающую линзу падает сходящийся пучок лучей. Фокусное расстояние F линзы, если продолжение лучей пересекается на расстоянии $l_1 = 60 \text{ см}$ от линзы, а преломленные лучи — на расстоянии $l_2 = 20 \text{ см}$ от линзы, и обе точки лежат на главной оптической оси линзы, составляет:

- 1) 15 см;
- 2) 20 см;
- 3) 30 см;
- 4) 40 см;
- 5) 50 см.

A17. Масса воды в озере $m = 4,0 \cdot 10^{10} \text{ кг}$. Если вода (удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$) нагрелась на $\Delta T = 10 \text{ К}$, то ее масса увеличилась на:

- 1) 0,93 г;
- 2) 1,9 г;
- 3) 3,8 г;
- 4) 8,0 г;
- 5) 19 г.

A18. Ядро азота ${}^{14}_7\text{N}$ захватило α -частицу и испустило протон. В результате образовалось ядро элемента:

- 1) ${}^{17}_9\text{F}$;
- 2) ${}^{17}_8\text{O}$;
- 3) ${}^{16}_9\text{F}$;
- 4) ${}^{16}_8\text{O}$;
- 5) ${}^{17}_7\text{N}$.

Тест В

В1*. Грузы массами $m_1 = 20 \text{ кг}$ и $m_2 = 30 \text{ кг}$ (рис. 11) движутся при помощи системы блоков. Модуль силы натяжения нити, на которой подвешен груз m_2 , равен ... кН.

В2*. Человек, стоящий на гладком льду, толкает камень в горизонтальном направлении с высоты $H = 1,5 \text{ м}$. Камень падает на лед на расстоянии

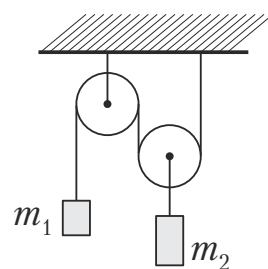


Рис. 11

$s = 8,2$ м от места бросания. Если масса человека $M = 50$ кг, масса камня $m = 2,8$ кг, то работа, совершаемая человеком при толкании камня, равна ... кДж.

В3*. Идеальный газ в количестве $\nu = 5,0$ моль нагревают на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ таким образом, что его абсолютная температура изменяется пропорционально квадрату объема газа. Работа, совершаемая газом, равна ... кДж.

В4. Два шарика массами $m_1 = m_2 = 1,5$ г каждый, подвешенные в вакууме в одной точке на шелковых нитях, после сообщения одинаковых по модулю отрицательных зарядов $q_1 = q_2$ разошлись на расстояние $r = 10$ см и нити образовали угол $\alpha = 60^\circ$. Число электронов, полученных каждым шариком, равно ... (полученное значение умножьте на 10^{-10}).

В5. Емкости конденсаторов в электрической схеме $C_1 = 2,6$ мкФ, $C_2 = 5,4$ мкФ, сопротивления резисторов $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 90$ Ом, ЭДС аккумулятора, включенного в цепь, $\mathcal{E} = 24$ В, внутреннее сопротивление $r = 10$ Ом (рис. 12). Напряжение U_1 на конденсаторе C_1 равно ... В.

В6. На рисунке 13 приведен график зависимости силы тока I в замкнутой катушке от времени t . Индуктивность катушки $L = 460$ мГн. Максимальная ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке, равна ... В.

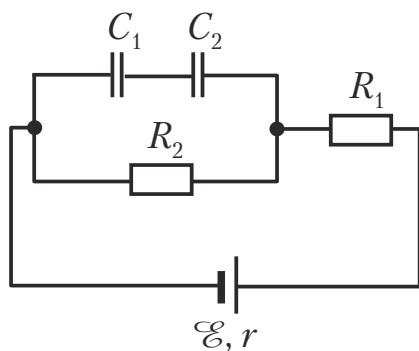


Рис. 12

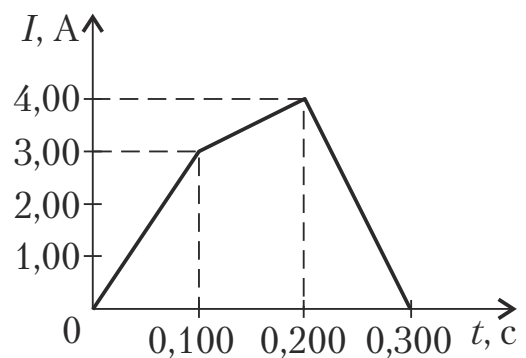


Рис. 13

В7. Конический маятник имеет длину $l = 0,89$ м. Шарик маятника вращается по окружности, радиус которой $R = 0,50$ м (рис. 14). Период колебаний такого маятника равен ... с.

В8*. На стеклянный полушар, радиус которого $R = 3,2$ см, из воздуха падает параллельный пучок лучей (рис. 15). Показатель преломления стекла $n = 1,6$.

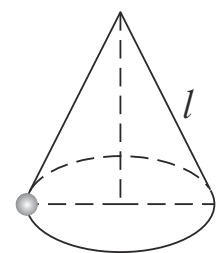


Рис. 14

На экране, расположенном на расстоянии $L = 80$ мм от центра шара, наблюдается светлое пятно, радиус которого равен ... см.

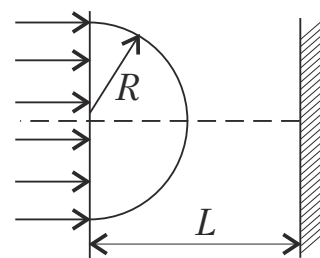


Рис. 15

В9*. С помощью линзы получают двукратно увеличенное действительное изображение предмета. Затем линзу передвигают на расстояние $a = 20$ см и получают мнимое изображение такого же размера. Фокусное расстояние F линзы равно ... см.

В10. На дифракционную решетку, имеющую штрихи в количестве $N = 200$ на $l = 1,0$ мм, падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Расстояние от решетки до экрана $L = 1,0$ м. Расстояние от центрального до первого максимума равно ... см.

В11. Вольтамперная характеристика фотоэлемента приведена на рисунке 16. Свет с длиной волны $\lambda = 400$ нм падает на фотоэлемент, находящийся в режиме насыщения. Если мощность падающего светового потока $P = 1,0$ Вт, то отношение $\frac{N}{n}$ числа фотонов,

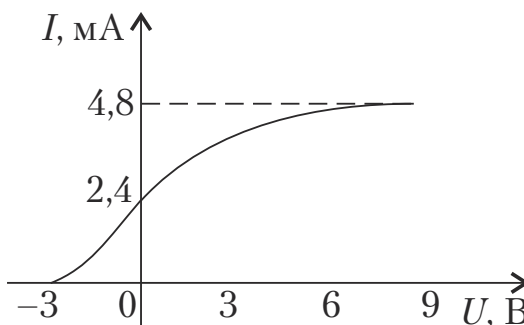


Рис. 16

падающих на катод, к числу фотоэлектронов, вырываемых с поверхности катода за один и тот же промежуток времени, равно ...

В12. В результате соударения дейтрона (${}^2_1\text{H}$) с ядром бериллия (${}^9_4\text{Be}$) образовались новое ядро и нейтрон. Энергетический эффект ядерной реакции Q равен ... МэВ.

Вариант 4

Тест А

А1. Пассажир поезда, движущегося со скоростью, модуль которой $v_1 = 20$ м/с, видит в окне встречный поезд длиной $l = 150$ м в течение промежутка времени $\Delta t = 5,0$ с, если модуль скорости встречного поезда равен:

- 1) 5,0 м/с; 3) 10 м/с; 5) 20 м/с.
2) 7,5 м/с; 4) 15 м/с;

A2. Две материальные точки движутся вдоль одной прямой по законам $x_1(t) = -1,0 + 2,0t + 1,0t^2$ (м) и $x_2(t) = 6,0 - 8,0t + 1,0t^2$ (м). Модуль относительной скорости тел в момент встречи равен:

- 1) 1,6 м/с; 3) 7,4 м/с; 5) 12 м/с.
2) 3,2 м/с; 4) 10 м/с;

A3. На экваторе некоторой шарообразной планеты модуль ускорения свободного падения в n раз меньше, чем модуль ускорения свободного падения на полюсе. Плотность вещества планеты ρ . Сутки на этой планете составляют:

- 1) $\sqrt{\frac{3\pi n}{\rho G(n-1)}}$; 3) $\sqrt{\frac{3\pi n}{\rho G}}$; 5) $\sqrt{\frac{3\pi n}{2\rho G(n-1)}}$.
2) $\sqrt{\frac{3\pi}{\rho G(n-1)}}$; 4) $\sqrt{\frac{2\pi n}{\rho G(n-1)}}$;

A4. Если два тела массами m_1 и m_2 двигались навстречу друг другу со скоростями, модули которых $v_1 = 4,0$ м/с и $v_2 = 20$ м/с, и в результате абсолютно упругого удара обменялись скоростями (первое тело начало двигаться в противоположном направлении со скоростью, модуль которой 20 м/с, а второе — 4,0 м/с), то отношение масс этих тел $\frac{m_1}{m_2}$ равно:

- 1) 0,20; 2) 0,25; 3) 1,0; 4) 4,0; 5) 5,0.

A5. Чтобы шар, подвешенный на нити к потолку вагона, движущегося по закруглению радиусом $R = 50$ м, отклонился от вертикали на угол $\alpha = 45^\circ$, вагон должен двигаться со скоростью, модуль которой равен:

- 1) 11 м/с; 3) 22 м/с; 5) 28 м/с.
2) 16 м/с; 4) 26 м/с;

A6. Брусok массой $m = 1,0$ кг находится на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения бруска о наклонную плоскость $\mu = 0,20$. Модуль минимальной горизонтальной силы, с которой нужно действовать на брусok, чтобы он покоился, равен:

- 1) 10 Н; 3) 5,4 Н; 5) 1,7 Н.
2) 8,7 Н; 4) 3,4 Н;

A7. Тело плавает в керосине, погрузившись на 0,75 своего объема. Если плотность керосина $\rho_k = 800$ кг/м³, то плотность тела равна:

- 1) 400 кг/м³; 3) 600 кг/м³; 5) 800 кг/м³.
2) 500 кг/м³; 4) 700 кг/м³;

A8. В сосуде находится идеальный газ массой $m = 1,0$ кг при давлении $p = 1,0 \cdot 10^5$ Па. Если средняя квадратичная скорость молекул газа $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 400$ м/с, то объем, который он занимает, равен:

- 1) $0,050$ м³; 3) $0,26$ м³; 5) $0,81$ м³.
 2) $0,15$ м³; 4) $0,53$ м³;

A9. На рисунке 17 представлены две изохоры для одной и той же массы газа. Если углы наклона изохор к оси абсцисс равны α_1 и α_2 , то объемы газов $\frac{V_1}{V_2}$ относятся как:

- 1) $\frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_2}$; 3) $\frac{\text{tg } \alpha_2}{\text{tg } \alpha_1}$; 5) $\frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1}$.
 2) $\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$; 4) $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$;

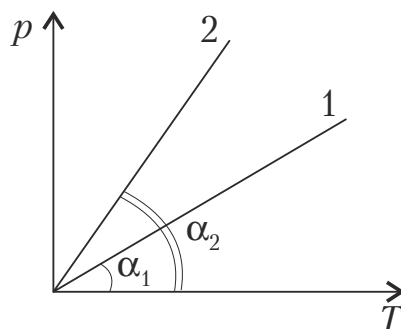


Рис. 17

A10. Льдинка, имеющая температуру $t_1 = -5,0$ °С и некоторую скорость \vec{v} , ударяется о неподвижную преграду. Если при ударе о преграду $\eta = 70\%$ кинетической энергии льдинки переходит в теплоту, то модуль минимальной скорости, которую должна иметь льдинка, чтобы при ударе о преграду она расплавилась, составляет:

- 1) 30 м/с; 3) 90 м/с; 5) $0,99$ км/с.
 2) 60 м/с; 4) $0,20$ км/с;

A11. Относительная влажность воздуха в помещении при температуре $t_1 = 20$ °С $\phi_1 = 80\%$. Воздух в закрытом помещении нагревают до $t_2 = 30$ °С. Если давление насыщенного водяного пара при $t_1 = 20$ °С $p_1 = 2,34$ кПа, а при $t_2 = 30$ °С — $p_2 = 4,24$ кПа, то относительная влажность воздуха станет равной:

- 1) 60% ; 3) 50% ; 5) 36% .
 2) 55% ; 4) 46% ;

A12. Два одинаковых расположенных в вакууме проводящих шарика с зарядами $q_1 = +3,8 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -1,8 \cdot 10^{-6}$ Кл соответственно подвешены в одной точке на одинаковых нитях длиной $l = 100$ см. Вследствие притяжения шарики соприкоснулись и разошлись на расстояние $r = 50$ см. Масса шарика равна:

- 1) $6,2$ г; 3) 14 г; 5) 26 г.
 2) 10 г; 4) 18 г;

A13. Плоский воздушный конденсатор емкостью C подсоединен к источнику тока, который поддерживает разность потенциалов между обкладками, равную U . При заполнении такого конденсатора диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ через источник пройдет заряд q_1 , равный по величине:

- 1) ϵCU ; 3) CU ; 5) 0.
 2) $(\epsilon - 1)CU$; 4) CU/ϵ ;

A14. Показание амперметра в электрической цепи, изображенной на рисунке 18, если показание вольтметра $U_v = 250$ В, а сопротивление каждого резистора и внутреннее сопротивление вольтметра равны по $1,0$ кОм, составляет:

- 1) 1,0 А; 3) 0,33 А; 5) 0,12 А.
 2) 0,38 А; 4) 0,17 А;

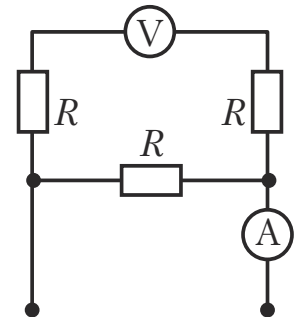


Рис. 18

A15. Гибкий проволочный контур расположен перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, модуль индукции которого $B_1 = 50$ мТл. Сопротивление контура $R = 0,25$ Ом, площадь контура $S_1 = 400$ см². Если площадь контура и модуль индукции внешнего магнитного поля изменили до значений $S_2 = 200$ см² и $B_2 = 20$ мТл, то по контуру прошел заряд, равный:

- 1) 2,0 мКл; 3) 4,8 мКл; 5) 12 мКл.
 2) 3,2 мКл; 4) 6,4 мКл;

A16. Расстояние между следующими друг за другом гребнями волн на поверхности воды $l = 5,0$ м. Если такая волна распространяется со скоростью, модуль которой $v = 2,5$ м/с, то частицы воды совершают колебания с частотой:

- 1) 12 Гц; 3) 2,0 Гц; 5) 0,20 Гц.
 2) 3,1 Гц; 4) 0,50 Гц;

A17. Космический корабль с собственной длиной $l_0 = 100$ м приближается к Земле со скоростью, модуль которой $v = 2,1 \cdot 10^8$ м/с. Для наблюдателя, находящегося на Земле, его длина равна:

- 1) 42 м; 3) 54 м; 5) 71 м.
 2) 48 м; 4) 62 м;

A18. Период полураспада радиоактивного $^{137}_{55}\text{Cs}$ $T = 30$ лет. Время, за которое распадется 75 % начального числа радиоактивных ядер цезия, составляет:

- 1) 45 лет; 3) 75 лет; 5) 90 лет.
 2) 60 лет; 4) 80 лет;

Тест В

В1. С горки высотой $h = 10$ м и длиной основания $b = 5,0$ м съезжают без начальной скорости санки и останавливаются, пройдя по горизонтальной поверхности некоторый путь s от основания горы. Если коэффициент трения на всем пути $\mu = 0,25$, то путь s равен ... м.

В2. Модуль минимальной скорости, с которой должен двигаться мотоциклист по вертикальной цилиндрической стене диаметром $D = 20$ м при коэффициенте трения $\mu = 0,81$, составляет ... м/с.

В3*. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изобар и двух изохор (рис. 19). Работа идеального газа при изобарном расширении 2–3 $A_{2-3} = 1000$ Дж. От нагревателя газ получил количество теплоты $Q_1 = 4000$ Дж. Если давление газа в точках 1 и 2 $p_1 = 0,64$ МПа и $p_2 = 1,6$ МПа, то КПД цикла равен ... %.

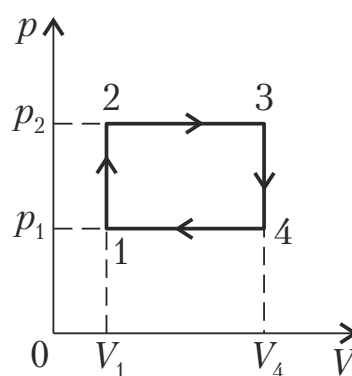


Рис. 19

В4. Три заряженных шарика массой $m = 3,2$ г и зарядом $q = 3,6$ мкКл каждый удерживаются в вершинах правильного треугольника со стороной $l = 1,5$ м. Если их отпустить, то модуль ускорения каждого шарика в начальный момент времени равен ... м/с².

В5*. В электроплитке сопротивления спирали соединены в схему, показанную на рисунке 20. Электроплитка включается в сеть точками 1 и 2, при этом за некоторое время удастся довести до кипения воду массой $m_1 = 0,50$ кг. До кипения можно довести за то же время, если электроплитку включить в сеть точками 1 и 3, количество воды, равное ... кг. Начальная температура воды в обоих случаях одна и та же. Тепловыми потерями пренебречь.

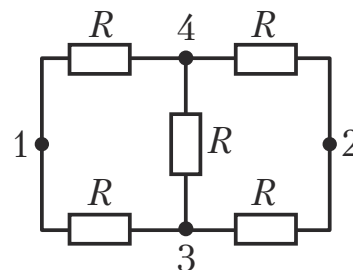


Рис. 20

В6. При электролизе раствора серной кислоты за время $t_1 = 50$ мин выделился водород массой $m = 3,0 \cdot 10^{-4}$ кг. Электрохимический эквивалент водорода $k = 1,0 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл. Если сопротивление электролита $R = 0,40$ Ом, то количество теплоты, выделившейся в электролите, ... МДж.

- В7.** Прямолинейный проводник длиной $l = 20$ см, по которому проходит ток $I = 3,0$ А, помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого $B = 0,10$ Тл. Модуль силы, действующей на проводник, если направление тока составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением вектора индукции магнитного поля, равен ... мН.
- В8.** Катушка, индуктивность которой $L = 3,0$ мГн, присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин $S = 10,0$ см² и расстоянием между ними $d = 1,0$ мм. Диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между обкладками конденсатора, если контур настроен на длину волны $\lambda = 0,75$ км, равна
- В9.** Разность фаз двух интерферирующих световых волн с длиной волны $\lambda = 500$ нм равна ... град. Разность хода между ними $\Delta x = 3,75 \cdot 10^{-7}$ м.
- В10.** Расстояние наилучшего зрения для дальновзоркого человека $d_1 = 1,0$ м. Оптическая сила очков, которые необходимо иметь этому человеку, чтобы читать текст на расстоянии наилучшего зрения $d_2 = 25$ см, составляет ... дптр.
- В11.** Катод фотоэлемента облучают монохроматическим излучением длиной волны $\lambda = 300$ нм. Мощность падающего светового потока $P = 20,0$ мВт. На каждые $k = 10$ фотонов, падающих на вещество, приходится один выбитый электрон. Сила тока в цепи фотоэлемента равна ... мкА.
- В12.** Тепловая мощность ядерного реактора $P = 200$ МВт. Если при делении одного ядра выделяется энергия $W = 200$ МэВ и в среднем возникает число нейтронов $k_1 = 2,5$, то за время $\Delta t = 1,0$ с в ядерном реакторе возникает число нейтронов, равное ... (полученное значение умножьте на 10^{-18}).

Вариант 5

Тест А

- А1.** На рисунке 21 представлены зависимости координаты x автомобиля 1 и мотоцикла 2 от времени t . Модуль их относительной скорости равен:
- | | |
|-------------|--------------|
| 1) 20 км/ч; | 4) 80 км/ч; |
| 2) 40 км/ч; | 5) 120 км/ч. |
| 3) 60 км/ч; | |

А2. Автомобиль без начальной скорости начинает двигаться с ускорением, модуль которого $a = 1,0 \text{ м/с}^2$. Через время $t = 4,0 \text{ с}$ после начала движения скорость автомобиля перестает изменяться. Путь автомобиля, пройденный им за время $t_1 = 8,0 \text{ с}$, равен:

- 1) 8,0 м; 4) 40 м;
 2) 16 м; 5) 48 м.
 3) 24 м;

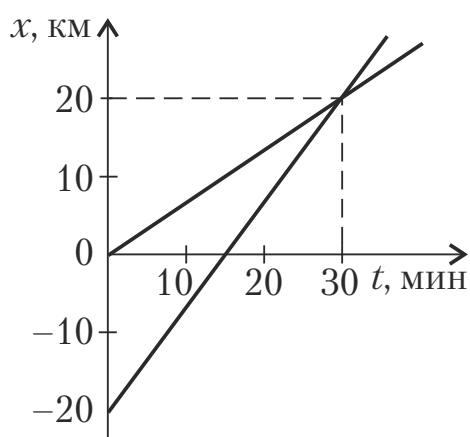


Рис. 21

А3. Два тела массой m каждое подвешены на концах нити, перекинутой через блок. Если на одно из тел положить груз массой $\frac{m}{2}$, то система придет в движение и груз

массой $\frac{m}{2}$ будет давить на тело с силой, модуль которой равен:

- 1) $0,6mg$; 3) $0,4mg$; 5) $0,2mg$.
 2) $0,5mg$; 4) $0,3mg$;

А4. На движущийся автомобиль массой $m = 2000 \text{ кг}$ действуют силы, по модулю равные: в горизонтальном направлении сила тяги $F = 1500 \text{ Н}$, сила трения $F_{\text{тр}} = 0,80 \text{ кН}$ и сила сопротивления воздуха $F_1 = 0,40 \text{ кН}$. Модуль ускорения автомобиля равен:

- 1) $0,10 \text{ м/с}^2$; 3) $0,20 \text{ м/с}^2$; 5) $0,30 \text{ м/с}^2$.
 2) $0,15 \text{ м/с}^2$; 4) $0,25 \text{ м/с}^2$;

А5. Камень массой $m = 0,20 \text{ кг}$, соскальзывая с горки массой $M = 1,0 \text{ кг}$ с плавным переходом в горизонтальное направление, получил скорость, модуль которой $v = 1,2 \text{ м/с}$ в горизонтальном направлении. Трение в данном опыте отсутствует. Модуль скорости, полученной горкой, равен:

- 1) $6,0 \text{ м/с}$; 3) $0,60 \text{ м/с}$; 5) $0,12 \text{ м/с}$.
 2) $2,4 \text{ м/с}$; 4) $0,24 \text{ м/с}$;

А6. Однородный стержень AB массой $m = 16 \text{ кг}$ и длиной $l = 1,2 \text{ м}$ подвешен в точке C на двух нитях одинаковой длины (рис. 22) $l_1 = 1,0 \text{ м}$. Модуль силы натяжения нитей равен:

- 1) 10 Н ; 3) $0,10 \text{ кН}$; 5) $0,16 \text{ кН}$.
 2) 50 Н ; 4) $0,12 \text{ кН}$;

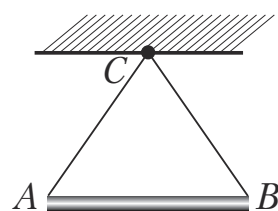


Рис. 22

- A7.** Ширина канала $l = 10$ м, а глубина $h = 3,0$. Канал наполнен водой и перегороден плотиной. Модуль силы, с которой вода давит на плотину, равен (плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³):
- 1) 45 кН; 3) 0,25 МН; 5) 0,90 МН.
2) 90 кН; 4) 0,45 МН;
- A8.** Если среднеквадратичная скорость молекул азота $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 600$ м/с, а давление газа в сосуде $p = 1,0 \cdot 10^5$ Па, то плотность азота равна:
- 1) 0,83 кг/м³; 3) 1,2 кг/м³; 5) 1,6 кг/м³.
2) 1,0 кг/м³; 4) 1,4 кг/м³;
- A9*.** Два сосуда, содержащие один и тот же газ одинаковой массы, соединены трубкой с краном. В первом сосуде давление $p_1 = 4,0$ Па, а во втором $p_2 = 7,0$ Па. Температура газов одна и та же и постоянна. Если открыть кран, то в сосудах установится давление, равное:
- 1) 4,3 Па; 3) 4,9 Па; 5) 5,5 Па.
2) 4,5 Па; 4) 5,1 Па;
- A10.** Свинцовая пуля, летящая со скоростью, модуль которой $v_1 = 500$ м/с, пробивает доску. Модуль скорости пули при этом уменьшается до $v_2 = 400$ м/с. Начальная температура пули $t_1 = 27$ °С, температура плавления свинца $t_{\text{пл}} = 327$ °С, удельная теплоемкость свинца $c = 126 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, удельная теплота плавления свинца $\lambda = 2,5 \cdot 10^4$ Дж/кг. Часть пули, которая расплавилась, составляет:
- 1) 12 %; 3) 26 %; 5) 46 % .
2) 20 %; 4) 29 %;
- A11.** Электрическое поле создается двумя положительными точечными зарядами $q_1 = 9,0 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = 4,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Если известно, что точка, в которой модуль напряженности электростатического поля равен нулю, находится на расстоянии $r_1 = 20$ см от первого заряда, то расстояние между зарядами равно:
- 1) 16 см; 3) 42 см; 5) 66 см.
2) 33 см; 4) 56 см;
- A12.** При замыкании источника тока на внешнее сопротивление $R_1 = 4,0$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,30$ А, а при замыкании на сопротивление $R_2 = 7,0$ Ом сила тока в цепи $I_2 = 0,20$ А. Сила тока короткого замыкания источника равна:
- 1) 0,45 А; 3) 0,90 А; 5) 1,5 А.
2) 0,60 А; 4) 1,2 А;

A18. Длина волны λ , соответствующая коротковолновой границе серии Бальмера, равна:

- 1) 326 нм; 3) 364 нм; 5) 420 нм.
 2) 342 нм; 4) 386 нм;

Тест В

B1. На рисунке 25 представлен график движения материальной точки вдоль оси x . Средняя скорость пути больше модуля средней скорости перемещения на ... км/ч.

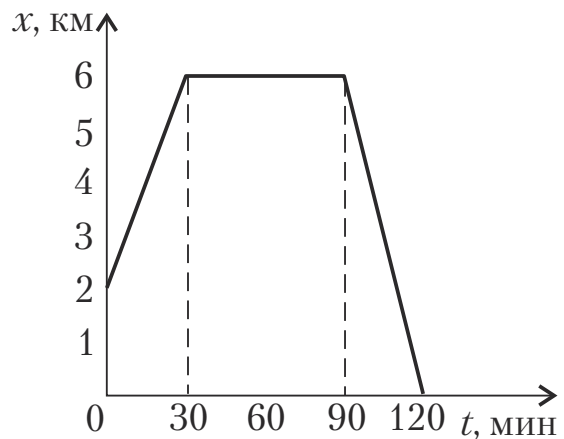


Рис. 25

B2*. Тело массой $m_1 = 100$ г со скоростью \vec{v} налетает на покоящееся тело и после упругого столкновения отскакивает от него под углом $\alpha = 90^\circ$ к первоначальному направлению движения со скоростью, модуль которой $v_1 = \frac{2}{3}v$. Масса m_2 второго тела равна ... г.

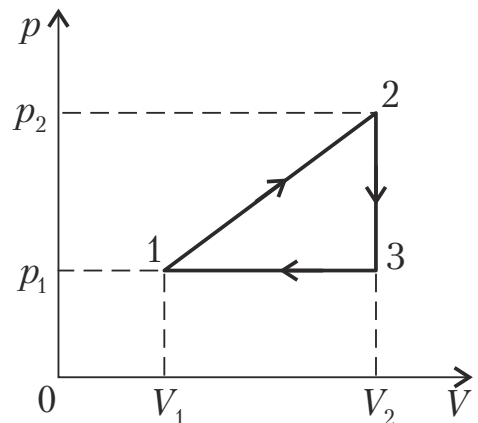


Рис. 26

B3*. Одноатомный идеальный газ совершает замкнутый цикл, представленный на рисунке 26. Если $\frac{p_2}{p_1} = k_1$,

а $\frac{V_2}{V_1} = k_2$, где $k_1 = 3,0$, а $k_2 = 4,0$, то

КПД цикла равен ... %.

B4. Маленький металлический шарик массой $m = 1,0$ г, заряд которого $q_0 = 100$ нКл, брошен издалека со скоростью, модуль которой $v_0 = 1,0$ м/с, в металлическую сферу с зарядом $q = 300$ нКл. Минимальный радиус сферы, при котором шарик достигнет ее поверхности, равен ... см.

B5. Три воздушных конденсатора емкостью $C_0 = 1,00$ мкФ каждый соединены последовательно. Конденсаторы заряжены и отключены от источника. Заряд этой батареи $q_0 = 100$ мкКл. Затем пространство между обкладками одного из конденсаторов полностью запол-

няют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2,00$. Энергия, запасенная в электростатическом поле этих конденсаторов после заполнения диэлектриком, равна ... мДж.

- В6.** Три лампочки мощностями $P_1 = 50$ Вт, $P_2 = 25$ Вт и $P_3 = 50$ Вт, рассчитанные на напряжение $U_1 = 110$ В каждая, соединены, как показано на рисунке 27, и включены в сеть напряжением $U_2 = 220$ В. Мощность, которая выделится в лампочке 2, равна ... Вт.

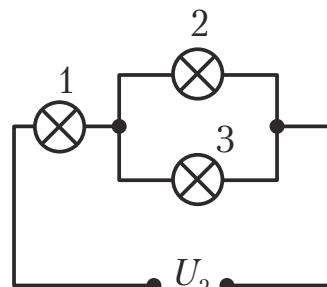


Рис. 27

- В7.** Длинный соленоид сечением $S = 20$ см² помещен в однородное магнитное поле, модуль индукции которого изменяется со временем так, как показано на рисунке 28. Линии магнитной индукции параллельны оси соленоида. Число витков соленоида, если в момент времени $t = 4,0$ с в нем возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = 20$ мВ, составляет

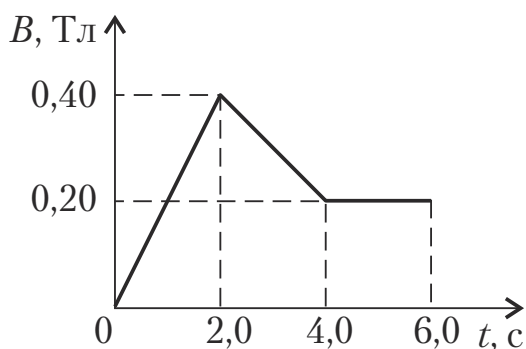


Рис. 28

- В8.** К клеммам 1–2 (рис. 29) приложено переменное напряжение, действующее значение которого $U_d = 220$ В. Сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = 2000$ Ом, диод Д идеальный. В цепи, изображенной на рисунке 29, выделяется мощность ... Вт.

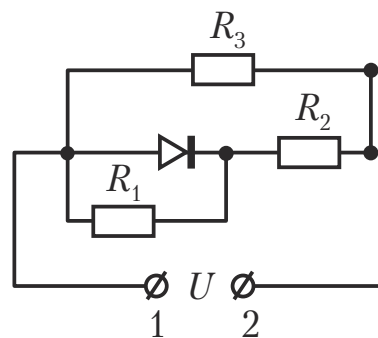


Рис. 29

- В9.** Собственное время жизни нестабильной частицы $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ с. Частица движется со скоростью, модуль которой $v = 0,96c$. Расстояние, пройденное частицей относительно неподвижной системы отсчета за время существования частицы, составляет ... км.
- В10.** Точечный источник света помещен на главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см на расстоянии $d = 30$ см от линзы. Линзу сместили в направлении, перпендикулярном своей оптической оси, на расстояние $h = 20$ мм. Расстояние, на которое сместилось при этом изображение источника, равно ... мм.

- В11.** Число дифракционных максимумов для желтой линии Na с длиной волны $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7}$ м, если период дифракционной решетки $d = 5,0$ мкм, равно
- В12.** Происходит ядерная реакция: ${}^{44}_{20}\text{Ca} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\text{K} + {}^4_2\text{He}$. Если массы ядер, участвующих в реакции, $m_{{}^{44}_{20}\text{Ca}} = 7,29992 \cdot 10^{-26}$ кг, $m_{{}^1_1\text{H}} = 1,67763 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_{{}^{41}_{19}\text{K}} = 6,8021 \cdot 10^{-26}$ кг, $m_{{}^4_2\text{He}} = 6,6467 \cdot 10^{-27}$ кг, то энергетический эффект ядерной реакции составляет ... МэВ.

Вариант 6

Тест А

- А1.** Велосипедист движется из одного города в другой. Половину пути он проехал со скоростью, модуль которой $v_1 = 12$ км/ч. Затем половину оставшегося времени он двигался со скоростью модулем $v_2 = 6,0$ км/ч, а затем до конца пути — со скоростью модулем $v_3 = 4,0$ км/ч. Средняя путевая скорость велосипедиста на всем пути составляет:
- 1) 11 км/ч; 4) 5,5 км/ч;
2) 7,7 км/ч; 5) 8,4 км/ч.
3) 7,1 км/ч;
- А2.** За промежуток времени $\Delta t = 10$ с тело переместилось на расстояние $s = 60$ м. Если при этом модуль скорости тела увеличился в $k = 5$ раз, то модуль его ускорения равен:
- 1) 40 м/с^2 ; 3) 80 см/с^2 ; 5) $1,2 \text{ м/с}^2$.
2) 60 см/с^2 ; 4) $1,0 \text{ м/с}^2$;
- А3.** Брусок соскальзывает с наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом. Коэффициент трения бруска о наклонную плоскость $\mu = 0,10$. Модуль ускорения бруска равен:
- 1) $2,1 \text{ м/с}^2$; 3) $4,1 \text{ м/с}^2$; 5) $5,9 \text{ м/с}^2$.
2) $3,2 \text{ м/с}^2$; 4) $5,0 \text{ м/с}^2$;
- А4.** Тело массой $m = 0,50$ кг движется по окружности с постоянной по модулю линейной скоростью v . За время, равное четверти периода вращения, модуль изменения импульса тела $\Delta p = 1,41 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Модуль скорости тела равен:
- 1) 1,0 м/с; 3) 2,0 м/с; 5) 3,2 м/с.
2) 1,6 м/с; 4) 2,4 м/с;

А5. Санки массой $m = 11$ кг тянут за веревку так, что они движутся с постоянной скоростью, модуль которой $v = 2,5$ м/с, по горизонтальной поверхности. Вербка составляет с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. Если коэффициент трения между санками и поверхностью $\mu = 0,10$, то мощность, развиваемая силой трения скольжения, равна:

- 1) 25 Вт; 2) 30 Вт; 3) 40 Вт; 4) 50 Вт; 5) 75 Вт.

А6. Груз массой $m = 10,0$ кг висит на кронштейне, состоящем из двух стержней AB и BC , концы которых закреплены в стене (рис. 30). Длины стержней AB и BC соответственно $a = 80,0$ см, $b = 100$ см. Расстояние AC между концами стержней $c = 40,0$ см. Модуль силы, действующей на стержень BC , равен:

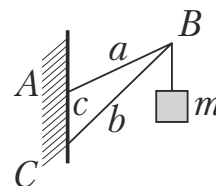


Рис. 30

- 1) 150 Н; 2) 170 Н; 3) 200 Н; 4) 250 Н; 5) 300 Н.

А7. Модуль веса куска железа под водой $F = 42$ Н. Плотность железа $\rho_{\text{ж}} = 7800$ кг/м³, воды $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³. Объем куска железа равен:

- 1) $6,2 \cdot 10^{-5}$ м³; 3) $6,2 \cdot 10^{-4}$ м³; 5) $6,2 \cdot 10^{-3}$ м³.
2) $9,4 \cdot 10^{-5}$ м³; 4) $1,2 \cdot 10^{-3}$ м³;

А8. В баллоне объемом $V = 10$ л находится кислород, масса которого $m = 80$ г. Если молярная масса кислорода $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, то концентрация его молекул составляет:

- 1) $1,5 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{м}^3}$; 3) $1,5 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$; 5) $3,0 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{м}^3}$.
2) $3,0 \cdot 10^{24} \frac{1}{\text{м}^3}$; 4) $1,5 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{м}^3}$;

А9. Два баллона, содержащие один и тот же газ, соединены трубкой с краном, объемом которого можно пренебречь. В одном баллоне давление газа $p_1 = 4,0 \cdot 10^5$ Па, а во втором — $p_2 = 6,0 \cdot 10^5$ Па, температуры одинаковы. Емкость первого баллона $V_1 = 3,6$ л, второго — $V_2 = 6,4$ л. Если открыть кран, то установится давление, равное:

- 1) 0,44 МПа; 3) 0,53 МПа; 5) 0,57 МПа.
2) 0,48 МПа; 4) 0,55 МПа;

А10. С помощью электронагревателя, мощность которого $P = 1600$ Вт и КПД $\eta = 60\%$, нагревают воду объемом $V = 2,0$ л с начальной температурой $t_1 = 20$ °С. Если атмосферное давление нормальное, то $k = 20\%$ воды превратится в пар (удельная теплота парообразования воды $L = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг) через время, равное:

- 1) 14 мин; 2) 28 мин; 3) 42 мин; 4) 56 мин; 5) 72 мин.

A11. Два маленьких одинаковых металлических шарика с зарядами $q_1 = 2,6 \text{ мкКл}$ и $q_2 = -11 \text{ мкКл}$ привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. Модуль силы взаимодействия между шариками:

- 1) увеличился в 3,2 раза;
- 2) увеличился в 1,5 раза;
- 3) уменьшился в 3,2 раза;
- 4) уменьшился в 1,6 раза;
- 5) не изменился.

A12. В изображенной на рисунке 31 схеме $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 2 \text{ Ом}$. Наименьшее падение напряжения на сопротивлении:

- 1) R_1 ;
- 2) R_2 ;
- 3) R_3 ;
- 4) R_4 ;
- 5) падение напряжения одинаковое на всех сопротивлениях.

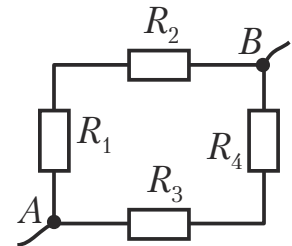


Рис. 31

A13. На графике (рис. 32, а) показана зависимость магнитного потока Φ , пронизывающего замкнутый контур, от времени t . График зависимости ЭДС индукции \mathcal{E}_i , возникающей в контуре, от времени t представлен на рисунке 32, б (1–5):

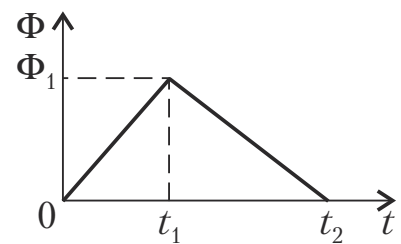


Рис. 32, а

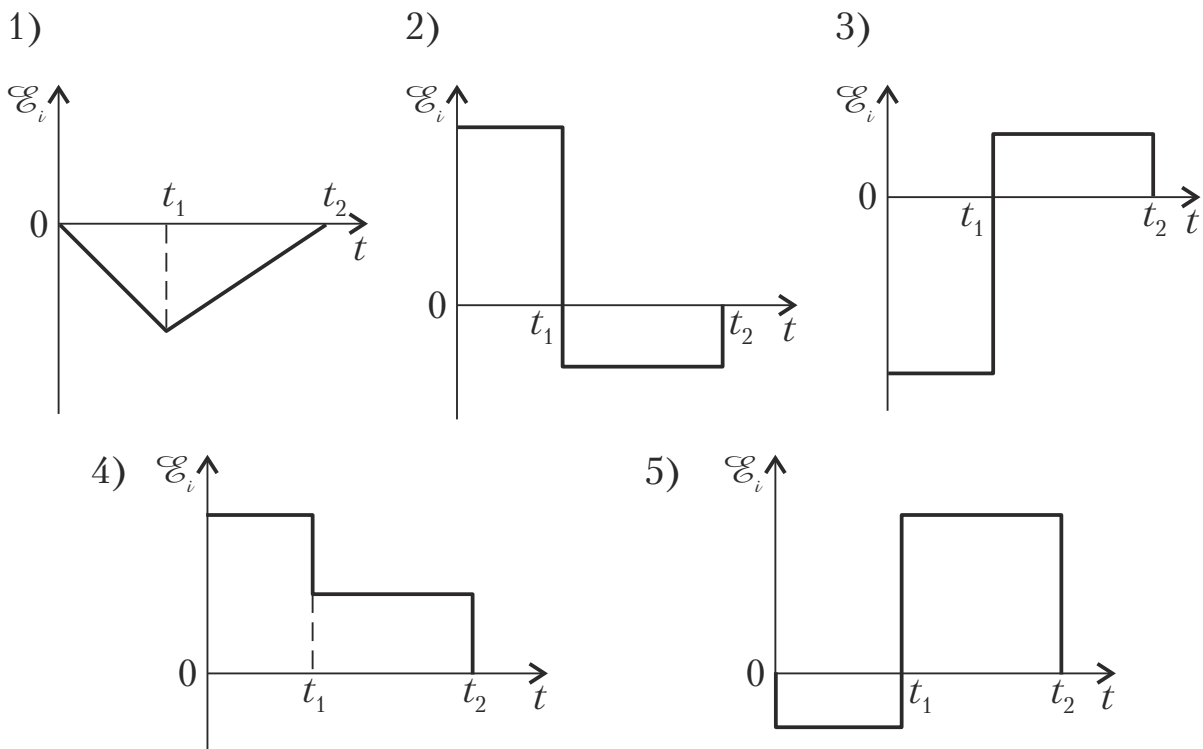


Рис. 32, б

- A14.** Материальная точка совершает синусоидальные колебания с амплитудой $A = 8$ см и начальной фазой $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$. При частоте колебаний $\nu = 0,25$ Гц через одну секунду после начала колебаний смещение точки от положения равновесия будет равно:
 1) 2 см; 2) 4 см; 3) 6 см; 4) 7 см; 5) 8 см.
- A15.** Действующее значение напряжения в сети переменного тока $U_d = 220$ В. В начальный момент времени напряжение $U = 0$. Через $1/8$ периода напряжение в сети равно:
 1) 110 В; 3) 156 В; 5) 220 В.
 2) 141 В; 4) 169 В;
- A16.** Два плоских зеркала расположены под углом друг к другу и между ними размещен точечный источник света. Изображение источника в первом зеркале находится на расстоянии $l_1 = 6,0$ см, а во втором — на расстоянии $l_2 = 8,0$ см от источника. Если расстояние между изображениями $l = 10$ см, то угол между зеркалами равен:
 1) 90° ; 2) 75° ; 3) 60° ; 4) 45° ; 5) 30° .
- A17.** Максимальная длина волны света, вызывающего фотоэффект с поверхности металлической пластины, $\lambda = 0,50$ мкм. Если на эту пластину подать задерживающее напряжение $U = 2,0$ В, то фотоэффект начнется при минимальной частоте света, равной:
 1) $5,0 \cdot 10^{14}$ Гц; 3) $2,2 \cdot 10^{15}$ Гц; 5) $5,0 \cdot 10^{15}$ Гц.
 2) $1,1 \cdot 10^{15}$ Гц; 4) $3,3 \cdot 10^{15}$ Гц;
- A18.** Электрон в атоме водорода находится на четвертом энергетическом уровне. Максимальная частота излучения в серии Лаймана при этом равна:
 1) $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц; 3) $3,9 \cdot 10^{15}$ Гц; 5) $5,4 \cdot 10^{15}$ Гц.
 2) $3,1 \cdot 10^{15}$ Гц; 4) $4,6 \cdot 10^{15}$ Гц;

Тест В

- В1.** На краю гладкого горизонтального стола закреплен невесомый блок. Перекинутая через блок невесомая нерастяжимая нить соединяет два груза массами $m = 2,0$ кг и $M = 6,0$ кг (рис. 33). Если стол движется вверх с ускорением, модуль которого $a = 2,0$ м/с², модуль ускорения, с которым движутся грузы относительно стола, равен ... м/с².

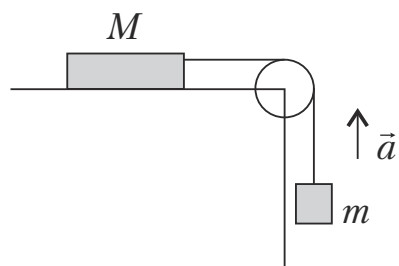


Рис. 33

В2. Пуля массой $m_1 = 5,0$ г, летевшая горизонтально со скоростью, по модулю равной $v_1 = 500$ м/с, попадает в шар массой $m_2 = 500$ г, подвешенный на невесомом жестком стержне, и застревает в нем. Если шар поднялся до верхней точки окружности, то расстояние от точки подвеса до центра шара равно ... см.

В3*. На рисунке 34 изображены два цикла 1–2–3–1 и 1–3–4–1, проведенные с одноатомным идеальным газом. Отношение КПД η_1 цикла 1–2–3–1 к КПД η_2 цикла 1–3–4–1 равно

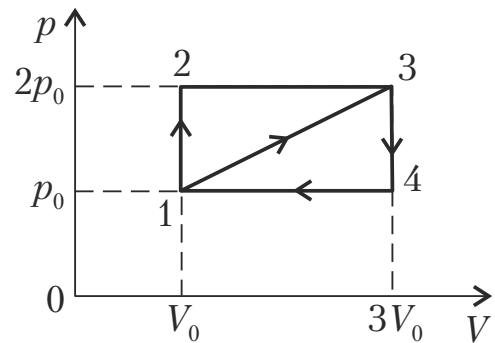


Рис. 34

В4*. Относительная влажность воздуха в цилиндре объемом $V = 25$ л при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ $\varphi = 86\%$. Давление насыщенных паров при этой температуре $p_{\text{н}} = 100$ кПа. Если при помощи поршня уменьшить рабочий объем цилиндра в $k = 3$ раза, то масса сконденсировавшейся при этом воды будет равна ... г.

В5. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью, модуль которой $v = 3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Модуль напряженности поля внутри конденсатора $E = 3700$ В/м. Длина пластин конденсатора $L = 20$ см. Смещение электрона в вертикальном направлении под действием электростатического поля за время его движения в конденсаторе равно ... мм.

В6. Пять конденсаторов объединены в цепь, показанную на рисунке 35. Емкость конденсаторов $C_1 = C_2 = C_3 = 2,0$ мкФ. Емкость конденсаторов $C_4 = C_5 = 4,0$ мкФ. К точкам A и B приложено напряжение $U_{AB} = 10,0$ В. Заряды q_4 и q_5 на четвертом и пятом конденсаторах равны ... мкКл.

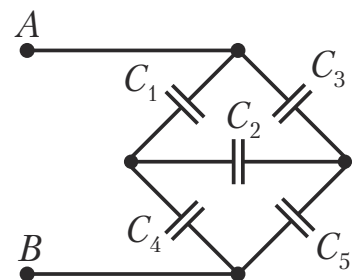


Рис. 35

В7. Альфа-частица (масса альфа-частицы $m = 6,5 \cdot 10^{-27}$ кг, заряд $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл), ускоренная разностью потенциалов $U = 1,2$ кВ, пролетает поперечное однородное магнитное поле с индукцией, модуль которой $B = 50$ мТл (рис. 36). Толщина области магнитного поля $d = 10$ см. Угол отклонения α -частицы от начального направления движения равен ... град.

В8. По техническим условиям напряжение у потребителя должно быть $U = 135\text{В}$. Напряжение на зажимах генератора поддерживается $U_0 = 133\text{В}$, а проводка от генератора до потребителя выполнена алюминиевым проводом общей длиной $l = 150\text{ м}$ и сечением $S = 15\text{ мм}^2$. Удельное сопротивление алюминия $\rho = 2,9 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$. Потребителю от генератора можно передать мощность ... кВт.

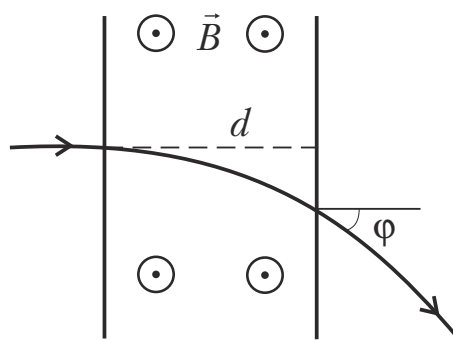


Рис. 36

- В9*.** Угол падения светового луча на поверхность шара из прозрачного материала $\alpha = 45^\circ$. Шар находится в воздухе. Луч дважды преломляется на границах поверхности шара и воздуха и угол между падающим лучом и лучом, вышедшим из шара, $\varphi = 30^\circ$. Показатель преломления материала шара относительно воздуха равен
- В10.** При горизонтальном полете транспортного самолета, масса которого $m = 50\text{ т}$, со скоростью, модуль которой $v = 1200\text{ км/ч}$, масса его увеличилась на величину, равную ... мг.
- В11*.** Электрон выбит из атома водорода, находящегося в основном состоянии, фотоном, энергия которого $W = 17,7\text{ эВ}$. Модуль скорости электрона за пределами атома равен ... Мм/с.
- В12*.** Нейтрон 1_0n упруго сталкивается с покоящимся ядром углерода ${}^{12}_6\text{C}$. После столкновения обе частицы движутся вдоль одной прямой. Если массы нейтрона и ядра углерода принять $m_1 = 1\text{ а. е. м.}$ и $m_2 = 12\text{ а. е. м.}$, то при таком столкновении нейтрон теряет количество начальной энергии, равное ... %.

Вариант 7

Тест А

А1*. Колесо катится без проскальзывания по горизонтальной дороге с постоянной скоростью, модуль которой $v = 1,0\text{ м/с}$ (рис. 37). Модули скоростей точек A и B , лежащих на диаметре AB , который составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с вертикалью, относительно поверхности земли равны:

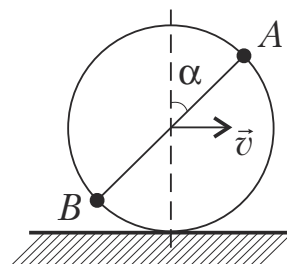


Рис. 37

- 1) $1,0\text{ м/с}$; $1,0\text{ м/с}$;
- 2) $1,9\text{ м/с}$; $0,10\text{ м/с}$;

- 3) 1,9 м/с; 0,30 м/с;
- 4) 1,9 м/с; 0,52 м/с;
- 5) 1,9 м/с; 0,82 м/с.

A2*. Тело начинает движение из точки с координатой $x_0 = -2,0$ м. Модуль скорости тела меняется со временем по закону $v = 4,0 - 2,0t$. Путь, пройденный телом от момента времени $t_1 = 1,0$ с до момента $t_2 = 6,0$ с, составит:

- 1) 15 м;
- 2) 20 м;
- 3) 16 м;
- 4) 22 м;
- 5) 17 м.

A3. Если тело, брошенное под углом $\varphi = 60^\circ$ к горизонту, находилось в полете в течение времени $t = 2,5$ с и упало на землю на расстоянии $l = 17,4$ м от точки бросания, то начальная скорость тела была равна:

- 1) 4,5 м/с;
- 2) 14 м/с;
- 3) 18 м/с;
- 4) 20 м/с;
- 5) 24 м/с.

A4. Две частицы массами m и $2m$ двигаются к точке столкновения под углом $\varphi = 90^\circ$ друг к другу со скоростями, модули которых $v_1 = 3,0$ м/с и $v_2 = 6,0$ м/с соответственно. Модуль скорости образовавшейся частицы в результате неупругого столкновения составляет:

- 1) 1,5 м/с;
- 2) 4,1 м/с;
- 3) 5,5 м/с;
- 4) 6,7 м/с;
- 5) 9,0 м/с.

A5*. По гладкой горизонтальной поверхности с некоторой скоростью движется первый шар массой m_1 . Этот шар налетает на покоящийся второй шар массой m_2 . В результате абсолютно упругого столкновения первый шар отклонился на угол $\alpha = \frac{\pi}{2}$

от направления первоначального движения и модуль его скорости уменьшился в n раз. Отношение масс $\frac{m_1}{m_2}$ шаров равно:

- 1) $\frac{n-1}{n+1}$;
- 2) $\frac{n+1}{n-1}$;
- 3) $\frac{n^2-3}{n^2+1}$;
- 4) $\frac{n^2-1}{n^2+1}$;
- 5) $\frac{n^2-1}{n^2+3}$.

A6*. Рельс массой $m = 100$ кг подвешен на двух пружинах за концы. Длины пружин в ненагруженном состоянии одинаковы. Жесткость левой пружины в $n = 4,0$ раза больше жесткости правой. Длина рельса $l = 4,0$ м. Расстояние от правого конца рельса, на ко-

тором надо подвесить груз массой $m_1 = 200$ кг, чтобы рельс принял горизонтальное положение, составляет:

- 1) 2,4 м; 3) 3,2 м; 5) 3,8 м.
2) 2,8 м; 4) 3,6 м;

A7. Куб изготовлен из легкого вещества и плавает в некоторой жидкости, погрузившись в нее на глубину $h_1 = 30,0$ см. Если его перенести в жидкость с другой плотностью, то глубина его погружения $h_2 = 20,0$ см. Глубина, на которую он погрузится в жидкость с плотностью $\rho = \sqrt{\rho_1 \rho_2}$, где ρ_1 и ρ_2 — плотности первой и второй жидкостей, составляет:

- 1) 24,5 см; 3) 22,4 см; 5) 21,6 см.
2) 23,6 см; 4) 21,8 см;

A8*. Два разноименно заряженных металлических шарика расположены на большом расстоянии друг от друга. Отношение величин зарядов $q_1 : q_2 = 2 : 1$, их радиусов $R_1 : R_2 = 1 : 3$. Если шарики привести в соприкосновение и развести на прежнее расстояние, то модуль силы их взаимодействия изменится:

- 1) в 23,1 раза; 3) в 16,9 раза; 5) в 6,80 раза.
2) в 10,7 раза; 4) в 19,0 раза;

A9*. Конденсаторы емкостями $C_1 = 2,0$ мкФ, $C_2 = 5,0$ мкФ и резисторы $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом и $R_3 = 500$ Ом включены в электрическую цепь, как показано на рисунке 38. Заряд на конденсаторе C_2 $q_2 = 7,0 \cdot 10^{-5}$ Кл. Напряжение, подведенное к цепи, составляет:

- 1) 12 В; 3) 21 В; 5) 40 В.
2) 16 В; 4) 32 В;

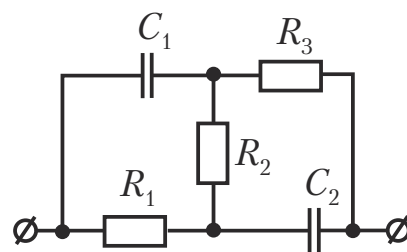


Рис. 38

A10. В однородном магнитном поле перпендикулярно его силовым линиям расположен прямолинейный проводник с током. Если проводник посередине согнуть под прямым углом и при этом плоскость проводника останется перпендикулярной полю, то модуль силы, действующей на проводник со стороны поля:

- 1) не изменится;
2) станет равной нулю;
3) уменьшится в 2 раза;
4) увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
5) уменьшится в $\sqrt{2}$ раз.

- A11.** Электрон влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к его силовым линиям. Если угол α увеличится в 2,0 раза, то радиус траектории, по которой будет двигаться электрон:
- 1) увеличится в 2,0 раза;
 - 2) уменьшится в 1,7 раза;
 - 3) уменьшится в 2,0 раза;
 - 4) уменьшится в 0,9 раза;
 - 5) не изменится.
- A12.** Амплитуда гармонических колебаний маятника $A = 5,6$ см. Груз маятника за время, равное периоду T колебаний, находится не далее $x = 2,8$ см от положения равновесия в течение времени $\frac{t}{T}$, равного:
- 1) $\frac{1}{3}$;
 - 2) $\frac{1}{2}$;
 - 3) $\frac{1}{12}$;
 - 4) $\frac{1}{6}$;
 - 5) $\frac{1}{8}$.
- A13.** Колебательный контур состоит из батареи двух одинаковых параллельно соединенных конденсаторов с емкостями $C = 0,010$ пФ каждый и катушки с индуктивностью $L = 8,0$ мкГн. Если батарею зарядить от источника с напряжением $U_1 = 200$ В, а затем отключить, то в момент, когда напряжение на каждом конденсаторе будет $U_2 = 100$ В, сила тока в контуре будет равна:
- 1) 3,5 мА;
 - 2) 5,2 мА;
 - 3) 7,0 мА;
 - 4) 8,7 мА;
 - 5) 14 мА.
- A14.** Постоянная дифракционной решетки $d = 2$ мкм. Если на решетку нормально падает пучок белого света $400 \text{ нм} \leq \lambda \leq 700 \text{ нм}$, то число полностью наблюдаемых с помощью этой решетки максимумов составит:
- 1) 1;
 - 2) 2;
 - 3) 3;
 - 4) 4;
 - 5) 5.
- A15.** Если при облучении вакуумного фотоэлемента светом с частотой $\nu = 1,0 \cdot 10^{15}$ Гц фототок с поверхности катода прекращается при задерживающем напряжении $U_3 = 2,0$ В, то работа выхода из материала катода равна:
- 1) 1,4 эВ;
 - 2) 1,8 эВ;
 - 3) 2,1 эВ;
 - 4) 2,6 эВ;
 - 5) 2,9 эВ.
- A16.** При переходе возбужденного атома водорода с четвертого энергетического уровня на второй будет излучаться волна, длина которой равна:
- 1) 654 нм;
 - 2) 485 нм;
 - 3) 434 нм;
 - 4) 410 нм;
 - 5) 403 нм.
- A17.** При бомбардировке протонами ядер лития ${}^7_3\text{Li}$ последний расщепляется на две одинаковые частицы:
- 1) ${}^2_1\text{H}$;
 - 2) ${}^3_1\text{H}$;
 - 3) ${}^3_2\text{He}$;
 - 4) ${}^4_2\text{He}$;
 - 5) ${}^1_1\text{H}$.

A18. Период полураспада радиоактивного кобальта $T = 71$ день. Число дней, за которые распадутся $\frac{15}{16}$ радиоактивных ядер кобальта, составляет:

- 1) 71 день; 3) 213 дней; 5) 355 дней.
 2) 142 дня; 4) 284 дня;

Тест В

B1. При горизонтальном ветре, модуль скорости которого $v = 10$ м/с, капли дождя падают под углом $\varphi_1 = 30^\circ$ к вертикали. Эти же капли будут падать под углом $\varphi_2 = 60^\circ$, если модуль скорости ветра будет равен ... м/с.

B2. Система трех тел массами m , $2m$ и $3m$, связанных нитями, движется по вертикали под действием силы, модуль которой $F = 8$ Н, приложенной к первому телу, как показано на рисунке 39. Модуль силы натяжения нижней нити равен ... Н.

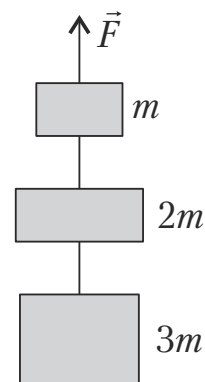


Рис. 39

B3. Тело массой $m = 1000$ г брошено со скоростью, модуль которой $v_0 = 20,0$ м/с, под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Через промежуток времени $\Delta t = 2$ с после начала движения кинетическая энергия тела будет равна ... Дж.

B4*. Сосуд объемом $V = 30$ л разделен тонкой подвижной перегородкой на две части и поддерживается при температуре $t = 100^\circ\text{C}$. Если в левую часть поместить воду массой $m_1 = 18$ г, а в правую — кислород массой $m_2 = 16$ г, то объем левой части составит ... дм^3 .

B5. При изотермическом сжатии воздуха с относительной влажностью $\varphi = 50\%$ его объем уменьшился в $k = 4$ раза. Если начальный объем воздуха $V_0 = 2,0$ м^3 , а его температура $t = 18^\circ\text{C}$, то масса росы, которая выпадет из воздуха, составит ... г. Плотность насыщенного водяного пара при температуре $t = 18^\circ\text{C}$ равна $15,4$ $\text{г}/\text{м}^3$.

B6. Если КПД идеальной тепловой машины $\eta_1 = 11,8\%$ и его необходимо увеличить в $k = 6$ раз при неизменной температуре холодильника, то температуру нагревателя необходимо увеличить в ... раз (раза).

B7. Потенциал электростатического поля сферы радиусом $R = 100$ см с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 20$ $\text{нКл}/\text{м}^2$ на расстоянии $r = 0,25$ м от центра сферы равен ... кВ.

В8. Если обкладки плоского заряженного конденсатора, расстояние между которыми $d = 3$ мм, притягиваются с силой, модуль которой $F = 1$ Н, то энергия электрического поля этого конденсатора равна ... мДж.

В9*. В приведенной схеме $R_1 = 12$ Ом, $R_2 = 8,0$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 20$ Ом, $U = 30$ В (рис. 40). Показания вольтметра составляют ... В.

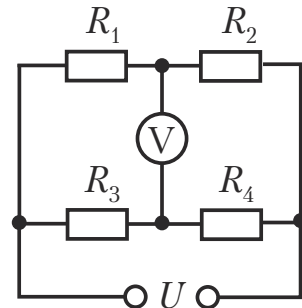


Рис. 40

В10. Батарейка, ЭДС которой $\mathcal{E} = 6,0$ В, дает максимальный ток $I = 3,0$ А. Наибольшая мощность, которая может быть выделена батареей на внешнем сопротивлении, составляет ... Вт.

В11. Плоский проволочный виток площадью $S = 50$ см² замкнут на конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ. Плоскость витка перпендикулярна однородному магнитному полю. Если заряд на конденсаторе $q = 1,0$ нКл, то скорость изменения магнитной индукции в контуре составляет ... мТл/с.

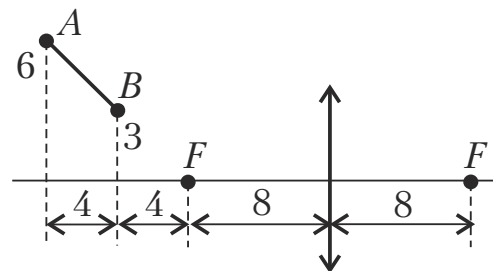


Рис. 41

В12. Предмет AB расположен перед собирающей линзой. Размеры на рисунке 41 указаны в сантиметрах. Длина изображения предмета равна ... см.

Вариант 8

Тест А

А1. Уравнения движения материальной точки имеют вид: $x = 1 + 2,0t$; $y = 3 + 1,5t$. Модуль скорости движения точки равен:

- 1) 1,0 м/с; 3) 4,0 м/с; 5) $\sqrt{10}$ м/с.
2) 3,0 м/с; 4) 2,5 м/с;

А2*. На рисунке 42 представлена проекция ускорения a_x тела на ось Ox от времени. Модуль начальной скорости тела и начальная координата равны нулю. Путь, пройденный телом к концу пятой секунды движения, равен:

- 1) 4 м; 3) 6 м; 5) 9 м.
2) 5 м; 4) 8 м;

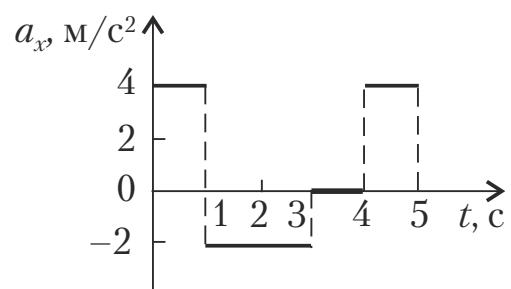


Рис. 42

A3*. Два соосных диска, расстояние между которыми $r = 10,0$ см, укреплены на валу электромотора, который совершает $n = 100$ об/с. Летящая параллельно оси пуля пробивает оба диска. Если отверстия от пули в дисках смещены на угол $\varphi = 12,0^\circ$, то модуль скорости пули был равен:

- 1) 100 м/с; 3) 300 м/с; 5) 500 м/с.
2) 200 м/с; 4) 400 м/с;

A4*. Известно, что на экваторе некоторой шарообразной планеты модуль ускорения свободного падения в n раз меньше, чем на полюсе. Плотность вещества планеты ρ . Сутки на этой планете составляют:

- 1) $\sqrt{\frac{3\pi n}{\rho G(n-1)}}$; 3) $\sqrt{\frac{3\pi n}{\rho G}}$; 5) $\sqrt{\frac{3\pi n}{2\rho G(n-1)}}$.
2) $\sqrt{\frac{3\pi}{\rho G(n-1)}}$; 4) $\sqrt{\frac{2\pi n}{\rho G(n-1)}}$;

A5. Человек массой $m_2 = 60,0$ кг, стоящий на гладком льду, толкает камень массой $m_1 = 3,00$ кг в горизонтальном направлении со скоростью, модуль которой $v = 8,00$ м/с. Работа, которую совершил человек, равна:

- 1) 96,0 Дж; 3) 144 Дж; 5) 202 Дж.
2) 101 Дж; 4) 192 Дж;

A6. Мотоциклист движется по окружности с постоянной по модулю скоростью, а затем увеличивает модуль скорости мотоцикла в 2 раза. Отношение тангенсов угла наклона корпуса мотоцикла к вертикали $\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2}$ в обоих случаях соответственно составит:

- 1) 1 : 2; 3) 1 : 4; 5) 1 : 16.
2) 1 : 3; 4) 1 : 8;

A7*. Льдина в форме прямоугольного параллелепипеда площадью $S = 2,0$ м² и высотой $h = 60$ см плавает в воде. Чтобы погрузить льдину в воду, необходимо совершить работу:

- 1) 36 Дж; 3) 0,18 кДж; 5) 0,30 кДж.
2) 0,12 кДж; 4) 0,24 кДж;

A8*. Температура в сосуде увеличилась от $t_1 = 27^\circ\text{C}$ до $t_2 = 1527^\circ\text{C}$. Если при этом $k = \frac{1}{3}$ часть молекул двухатомного газа, находящегося в сосуде, распалась на атомы, то давление газа увеличилось:

- 1) в 4,0 раза; 3) в 8,0 раза; 5) в 16 раз.
2) в 6,0 раза; 4) в 12 раз;

A9. Идеальный газ в количестве $\nu = 3,0$ моль нагревают при постоянном объеме так, что его давление возрастает в $k = 4$ раза. А затем газ расширяется при постоянном давлении так, что его объем увеличивается в $m = 2$ раза. Если начальная температура газа $t_0 = 28^\circ\text{C}$, то газ совершил работу:

- 1) 20 кДж; 3) 45 кДж; 5) 75 кДж.
2) 30 кДж; 4) 60 кДж;

A10*. Четыре одинаковых шарика массой m и зарядом q каждый связаны нитями и расположены в вершинах квадрата со стороной a . Если нити одновременно пережечь, то модуль максимальной скорости, которую приобретут шарики, составит:

- 1) $v = \frac{q}{a} \sqrt{\frac{5}{8\pi\epsilon_0 m}}$; 3) $v = q \sqrt{\frac{4 + \sqrt{2}}{8\pi\epsilon_0 m a}}$; 5) $v = \frac{q}{a} \sqrt{\frac{5}{16\pi\epsilon_0 m}}$.
2) $v = q \sqrt{\frac{2 + \sqrt{2}}{8\pi\epsilon_0 m a}}$; 4) $v = q \sqrt{\frac{4 + \sqrt{2}}{16\pi\epsilon_0 m a}}$;

A11. Плоский конденсатор до половины погрузили в масло с диэлектрической проницаемостью ϵ , зарядили до напряжения U и отключили от источника 1 (рис. 43). Затем конденсатор повернули и вновь погрузили до половины в масло 2. Напряжение на конденсаторе станет равным:

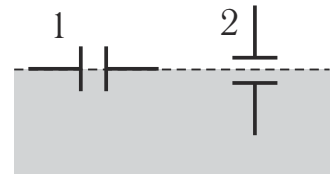


Рис. 43

- 1) $\frac{U(\epsilon + 1)^2}{4\epsilon}$; 3) $\frac{U(\epsilon + 1)}{4}$; 5) $\frac{U(\epsilon + 1)^2}{2\epsilon}$.
2) $\frac{4U\epsilon}{\epsilon + 1}$; 4) $\frac{U(\epsilon + 1)}{2}$;

A12. Число атомов никеля ($^{58}_{28}\text{Ni}$), которые выделяются на поверхности катода площадью $S = 20 \text{ см}^2$ при плотности тока $j = 10 \text{ А/м}^2$ за $\Delta t = 10$ мин электролиза, составляет (никель двухвалентен):

- 1) $7,5 \cdot 10^{19}$; 3) $3,7 \cdot 10^{18}$; 5) $3,8 \cdot 10^{17}$.
2) $7,0 \cdot 10^{18}$; 4) $7,5 \cdot 10^{17}$;

A13. Два круговых витка с токами I_1 и I_2 расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что их центры совпадают. Если модули индукции магнитных полей в центре витков $B_1 = 0,10 \text{ Тл}$ и $B_2 = 0,17 \text{ Тл}$, то результирующий модуль индукции в центре витков равен:

- 1) 0,070 Тл; 3) 0,17 Тл; 5) 0,27 Тл.
2) 0,14 Тл; 4) 0,20 Тл;

- A14*.** Маятниковые часы идут точно на уровне моря. Если эти часы поднять на высоту $h = 0,75$ км, то за сутки их ход изменится на:
- 1) 1,0 с; 3) 8,0 с; 5) 14 с.
2) 5,0 с; 4) 10 с;
- A15.** Заряженный конденсатор емкостью $C = 1,0$ мкФ подключили к катушке с индуктивностью $L = 60$ мГн. Минимальное время, через которое заряд на конденсаторе уменьшится в $k = \frac{\sqrt{3}}{2}$ раза, составит:
- 1) 260 мкс; 3) 64 мкс; 5) 16 мкс.
2) 130 мкс; 4) 32 мкс;
- A16.** При нормальном падении света частотой $\nu = 5,45 \cdot 10^{14}$ Гц на дифракционную решетку максимум пятого порядка наблюдается под углом $\varphi = 30^\circ$. Период d решетки равен:
- 1) 1,4 мкм; 3) 4,5 мкм; 5) 11 мкм.
2) 2,8 мкм; 4) 5,5 мкм;
- A17.** Красная граница фотоэффекта для некоторого металла $\lambda_{кр} = 250$ нм. Этот металл освещают рентгеновскими лучами с длиной волны $\lambda = 50$ нм. Если вне металла создано задерживающее однородное электростатическое поле с напряженностью, модуль которой $E = 500$ В/м, то пробег фотоэлектронов в этом поле составит:
- 1) 80 мм; 3) 60 мм; 5) 20 мм.
2) 70 мм; 4) 40 мм;
- A18.** Период полураспада радиоактивного изотопа кобальта ${}_{27}^{60}\text{Co}$ $T = 5,3$ года. Сколько ядер из этого вещества массой $m = 60$ г распадется за время $t = 15,9$ лет?
- 1) $6,0 \cdot 10^{23}$; 3) $4,6 \cdot 10^{23}$; 5) $1,1 \cdot 10^{23}$.
2) $5,3 \cdot 10^{23}$; 4) $2,3 \cdot 10^{23}$;

Тест В

- В1.** Человек переплывает реку шириной $AB = 600$ м, направляя лодку под углом $\alpha = 60^\circ$ к берегу (рис. 44). Если модуль скорости течения реки $v_t = 1,2$ м/с и лодку снесло на расстояние $BD = 70$ м, то модуль скорости лодки равен ... м/с.

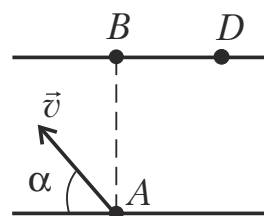


Рис. 44

- В2.** На пути пули расположен бруствер, обитый досками одинаковой толщины. Перед бруствером модуль скорости пули $v_1 = 400$ м/с, после прохождения первой доски $v_2 = 360$ м/с. Пуля застрянет в доске, по счету равной ...

В3. Два бруска массами $m_1 = 4$ кг и $m_2 = 6$ кг, связанные между собой нитью, расположены на горизонтальной поверхности. К первому бруску приложена сила, модуль которой $F = 60$ Н, направленная под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту вверх. Если коэффициент трения брусков о плоскость $\mu = 0,20$, то модуль силы натяжения нити составляет ... Н.

В4. Теплоизолирующий поршень делит горизонтальный сосуд на две равные части, содержащие некоторый газ при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Длина каждой части $l = 50$ см. Если одну часть сосуда нагреть на $\Delta t_1 = 10^\circ\text{C}$, а другую охладить на $\Delta t_2 = 20^\circ\text{C}$, то поршень переместится на расстояние, равное ... мм.

В5*. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изотермы 1–2, изохоры 2–3 и адиабаты 3–1 (рис. 45). Разность максимальной и минимальной температур газа в цикле $\Delta T = 200$ К. Рабочим веществом является 1 моль одноатомного идеального газа. Работа, совершаемая газом при изотермическом процессе, $A_{12} = 2,93$ кДж. КПД тепловой машины равен ... %.

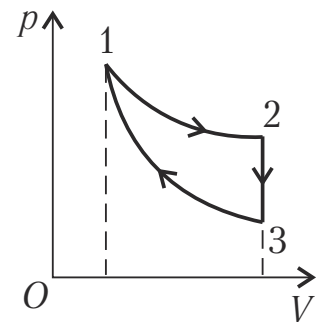


Рис. 45

В6. Вокруг положительного точечного заряда $q = 150$ нКл вращается по окружности маленький отрицательно заряженный шарик. Радиус окружности $r = 50$ мм, угловая скорость вращения $\omega = 3,3$ рад/с. Отношение заряда шарика к его массе составляет ... мкКл/кг.

В7. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12$ В, внутреннее сопротивление $r = 4,0$ Ом. В электрическую цепь включены резисторы $R_1 = 6,0$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 30$ Ом, $R_4 = 30$ Ом; конденсаторы $C_1 = 4$ мкФ, $C_2 = 6$ мкФ (рис. 46). Напряжение на конденсаторе C_1 составляет ... В.

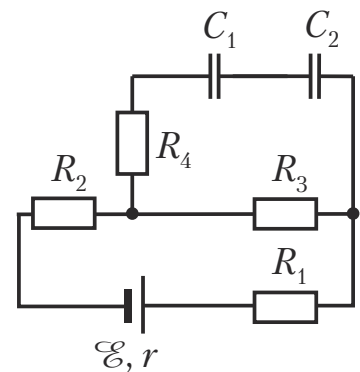


Рис. 46

В8*. Гальванический элемент, замкнутый на резистор сопротивлением $R = 10$ Ом, дает ток в цепи $I = 1$ А. Если наибольшая мощность, которую позволяет получить элемент, $P_{\max} = 10$ Вт, то ток короткого замыкания элемента равен ... А.

В9. Круговой проводящий виток радиусом $r = 10$ см расположен в однородном магнитном поле, силовые линии которого перпендику-

лярны плоскости витка. Индукция магнитного поля с течением времени возрастает со скоростью, модуль которой $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 10 \text{ мТл/с}$.

Если к витку подсоединить конденсатор емкостью $C = 2,0 \text{ мкФ}$, то заряд на нем будет равен ... Кл (полученное значение умножьте на 10^{11}).

- В10.** В стекле с показателем преломления $n = 1,5$ имеется воздушная сферическая полость радиусом $R = 12 \text{ см}$. На полость падает параллельный пучок света. Радиус светового пучка, который проникнет в воздушную полость, составляет ... см.
- В11.** Сходящийся пучок лучей, имеющий форму конуса, падает на рассеивающую линзу так, что вершина конуса расположена на расстоянии $l = 30 \text{ см}$ за линзой на ее главной оптической оси. После преломления в линзе продолжения лучей пересекаются на расстоянии $d = 1,5 \text{ м}$ перед линзой. Модуль оптической силы линзы равен ... дптр.
- В12.** Вода ($\sigma = 0,072 \text{ Н/м}$) в капиллярной трубке поднялась на высоту $h = 24 \text{ мм}$. Если сосуд с капиллярной трубкой опускать вертикально вниз с ускорением $a = 2,0 \text{ м/с}^2$, то высота столбика воды в трубке составит ... мм.

РЕШЕНИЯ И УКАЗАНИЯ

Указания к итоговым тестам

Вариант 1

В2. В проекции на ось Ox основное уравнение динамики приводит к уравнению $mg \cos \alpha - N = \frac{mv^2}{R}$. Для точки отрыва $N = 0$ и $g \cos \alpha = \frac{v^2}{R}$, где $\cos \alpha = \frac{R-h}{R}$ (рис. 1). Оста-

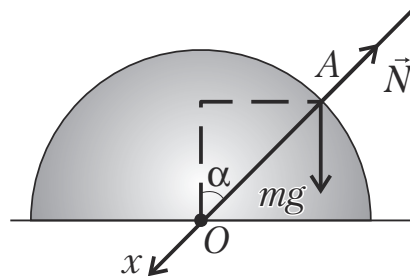


Рис. 1

лось определить модуль скорости тела в точке A и рассчитать высоту отрыва h .

В3. Модуль максимального ускорения пружинного маятника $a_{\max} = \omega^2 A$, где ω – циклическая частота колебаний, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m+M}}$, а A – амплитуда колебаний, которую можно определить из закона сохранения импульса.

Вариант 2

A17. Уравнение Эйнштейна для первого и второго случаев:

$$h\nu = A + W_1, \quad (1)$$

$$3h\nu = A + W_2. \quad (2)$$

Умножим (1) на 3 и вычтем из уравнения (2): $3A + 3W_1 = A + W_2 \Rightarrow W_2 = 3W_1 + 2A$, так как $A > 0$, то $W_2 > 3W_1$.

В1. В проекциях на ось y основное уравнение динамики приводит к следующим уравнениям. Для тела массой m_2 :

$$m_2 g - T_1 = m_2 (a + a_1);$$

для тела массой m_1 :

$$m_1 g - T_2 = m_1 (a - a_1);$$

для блока: $T_1' + T_2' - N = 0$ (рис. 2).

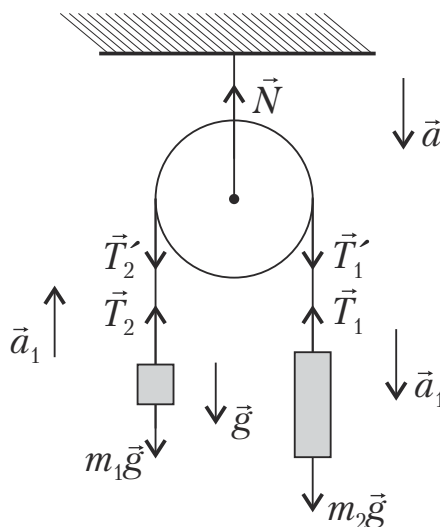


Рис. 2

Силы натяжения $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = |\vec{T}'_1| = |\vec{T}'_2|$. Решая приведенную систему уравнений, находим $a_1 = \frac{(m_2 - m_1)(g - a)}{m_1 + m_2}$ и можно определить N .

В7. Проводник длиной l перемещается в магнитном поле. Возникает ЭДС индукции \mathcal{E}_i и ток, направленный по правилу правой руки. На индукционный ток в магнитном поле действует сила Ампера \vec{F}_A , направленная по правилу левой руки (рис. 3). Основное уравнение динамики в проекциях на ось y имеет вид:

$$mg - F_A = ma; \quad F_A = BI_i l;$$

$$|I_i| = \frac{\mathcal{E}_i}{R_1 + R_2} = \frac{Blv}{R_1 + R_2} \quad \text{и} \quad mg - \frac{B^2 l^2 v}{R_1 + R_2} = ma.$$

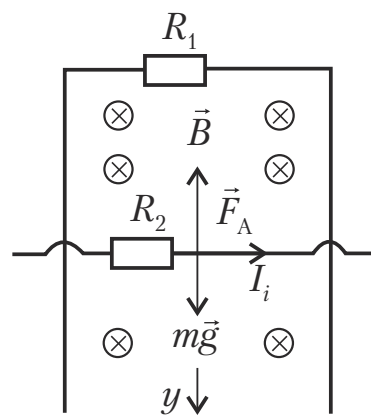


Рис. 3

При некотором значении скорости модуль ускорения становится равным нулю и можно определить сопротивление R_2 нижней перемычки.

В9. Электроны ускоряются напряжением U , и модуль скорости электронов при ударе $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ (e и m — заряд и масса электрона). Количество электронов, ударяющихся об анод за время Δt , обозначим n , причем $n = \frac{I\Delta t}{e}$. Применим основной закон динамики в виде $n\Delta(m\vec{v}) = \vec{F}\Delta t$ и модуль силы F , действующей на анод лампы, $F = I\sqrt{\frac{2mU}{e}}$.

Вариант 3

A10. Учтите, что давление в батарее баллонов после заполнения не равно нулю, как полагают многие учащиеся, а равно атмосферному.

В1. Модуль ускорения a тела, висящего на блоке, равен половине модуля ускорения a_1 тела на неподвижном блоке. Пусть груз m_1 перемещается вниз (рис. 4). В проекции на вертикальную ось y второй закон Ньютона приводит к уравнениям:

$$\begin{cases} m_1 g - T_1 = m_1 a, & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} m_2 g - T'_2 = -m_2 \frac{a}{2}; & (2) \end{cases}$$

$$T_2 - T'_1 - T''_1 = 0. & (3)$$

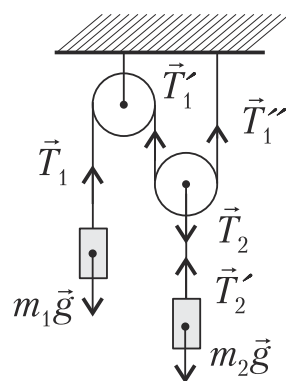


Рис. 4

Силы натяжения на невесомой и нерастяжимой нити $T_1 = T_1' = T_1''$. Последнее соотношение (3) справедливо, если блок невесом. Из приведенных уравнений можно рассчитать $T_2 = T'$.

В2. Работа, совершаемая человеком, $A = W_{к1} + W_{к2}$, где $W_{к1}$ и $W_{к2}$ — кинетические энергии камня и человека при толкании:

$$W_{к1} = \frac{mv_1^2}{2}; \quad W_{к2} = \frac{Mv_2^2}{2}.$$

Примените закон сохранения импульса и учтите, что в горизонтальном направлении камень движется равномерно в течение промежутка времени $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

В3. Введем коэффициент пропорциональности k между температурой T и объемом V газа: $T = kV^2$. Применим уравнение Клапейрона—Менделеева $pV = \nu R \cdot kV^2$ и для уравнения процесса получим:

$$p = \nu R \cdot kV.$$

График этого процесса приведен на рисунке 5. Работа газа

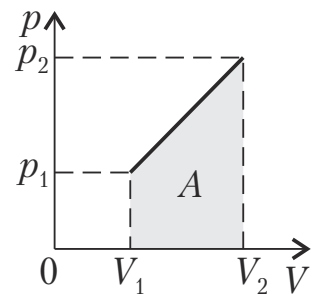


Рис. 5

$$A = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{k\nu R}{2} (V_1 + V_2)(V_2 - V_1) = \frac{k\nu R}{2} (V_2^2 - V_1^2) = \frac{\nu R}{2} (T_2 - T_1).$$

В8. Луч из стекла (оптически более плотная среда) переходит в воздух (рис. 6). Происходит полное внутреннее отражение при $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$, причем $\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{1}{n}$. Из треугольника OAB можно определить OB , а из треугольника $B CD$ — искомую величину.

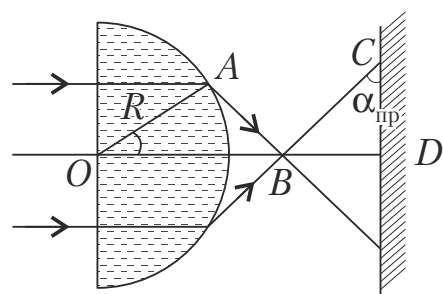


Рис. 6

В9. В первом случае линейное увеличение

$$\Gamma = 2 = \frac{f}{d}, \tag{1}$$

формула линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \tag{2}$$

Во втором случае

$$\Gamma = 2 = \frac{f_1}{d - 0,2}. \tag{3}$$

Предмет приближают к линзе и изображение становится мнимым.
Формула линзы

$$\frac{1}{d-0,2} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}. \quad (4)$$

Необходимо решить систему уравнений (1–4) и получить F .

Вариант 4

В3. КПД тепловой машины $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_1}$, где $A_{\text{пол}}$ — работа тепловой машины за цикл, равная площади фигуры, ограниченной циклом.

$$A_{\text{пол}} = Q_1 \eta = (p_2 - p_1)(V_4 - V_1).$$

Работа A_1 газа при изобарном расширении равна площади фигуры $V_1 23V_4$.

$$A_1 = p_2(V_4 - V_1) \quad \text{и} \quad V_4 - V_1 = \frac{A_1}{p_2}.$$

$$\text{КПД цикла } \eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_4 - V_1)}{Q_1} = \frac{(p_2 - p_1)A_1}{p_2 Q_1}.$$

В5. При включении электроплитки в сеть точками 1 и 2 (рис. 7) сопротивление R_3 не работает (разность потенциалов на нем равна нулю), тогда

$$Q_1 = \frac{U^2}{R} t = cm_1 \Delta T.$$

При включении электроплитки в сеть точками 1 и 3 (рис. 8) сопротивление плитки $R_{\text{общ}} = \frac{5}{8}R$ и $Q_2 = \frac{U^2}{\frac{5}{8}R} t = cm_2 \Delta T$.

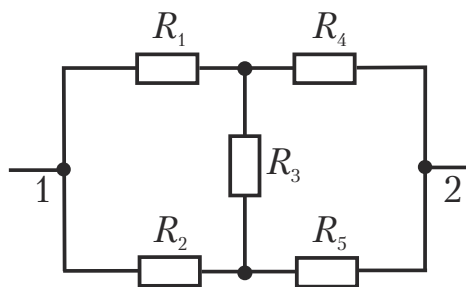


Рис. 7

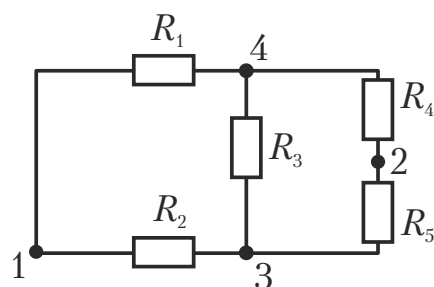


Рис. 8

Вариант 5

A9. Массы газа в обоих сосудах одинаковы, тогда

$$p_1 V_1 = p_2 V_2. \quad (1)$$

Объем второго сосуда $V_2 = V_1 \frac{p_2}{p_1}$. После соединения сосудов парциальные

давления газов в обоих сосудах одинаковы:

$$p'_1 = \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2} = p'_2.$$

Применяя уравнение (1), получим $p = \frac{2p_1 p_2}{p_1 + p_2}$.

B2. Примените закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии (рис. 9).

B3. КПД представленного цикла $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}} + \Delta U}$,

где $A_{\text{пол}}$ равна площади, ограниченной циклом:

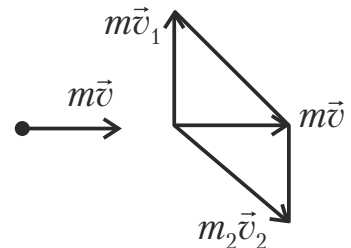


Рис. 9

$$A_{\text{пол}} = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}p_1 V_1 (k_1 - 1)(k_2 - 1).$$

Аналогично рассчитайте $A_{\text{затр}}$ и $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$, используя закон Клапейрона–Менделеева.

Вариант 6

B3. КПД циклического процесса

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_1},$$

где $A_{\text{пол}}$ — работа за цикл, численно равная площади, ограниченной кривой цикла; Q_1 — теплота, полученная от нагревателя, $Q_1 = A + \Delta U$, где A_1 для цикла $2-3-3V_0-V_0-1$ равна площади фигуры под прямой $2-3$, A_2 для цикла $1-3-3V_0-V_0-1$ — площади фигуры под прямой $1-3$. ΔU одинакова для обоих циклов:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1).$$

В4. Масса водяного пара в объеме цилиндра

$$m_1 = \frac{\varphi p_n M V}{RT};$$

после сжатия водяной пар стал насыщенным и его масса

$$m_2 = \frac{p_n M \frac{V}{3}}{RT}.$$

Масса Δm сконденсировавшейся воды $\Delta m = m_1 - m_2$.

В9. Обратите внимание, что треугольник OAB — равнобедренный и угол OBA равен β (рис. 10). Тогда по законам преломления луч выходит из шара под углом α и угол CBO равен α , угол

$$\angle ACB = 180^\circ - \varphi = 120^\circ,$$

угол CAO равен $\alpha = 45^\circ$. Из рисунка 10 следует, что угол

$$\angle AOB = 360^\circ - 2\alpha - 150 = 120^\circ.$$

Тогда $\beta = 30^\circ$ и можно определить показатель преломления материала шара.

В11. Энергия ионизации атома водорода $W_i = 13,6$ эВ. Кинетическая энергия выбитого электрона $\frac{mv^2}{2} = W - W_i$.

В12. Нейтрон отразился от более тяжелого ядра углерода. Законы сохранения импульса и энергии в этом случае позволяют определить модули скорости отраженного нейтрона v_1 и ядра углерода v_2 :

$$m_1 v = -m_1 v_1 + m_2 v_2; \quad \frac{m_1 v^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

При таком столкновении нейтрон теряет n -ю часть энергии:

$$n = \frac{\Delta W_k}{W_k} = \frac{\frac{m_1 v^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2}}{\frac{m_1 v^2}{2}} \cdot 100\%.$$

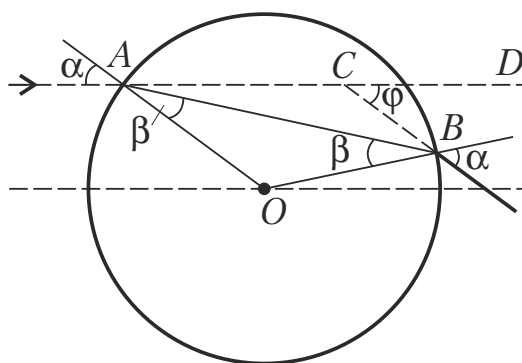


Рис. 10

Вариант 7

A1. Каждая точка колеса участвует в поступательном и вращательном движении. Проскальзывания нет, тогда

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4.$$

Используйте теорему косинусов (рис. 11).

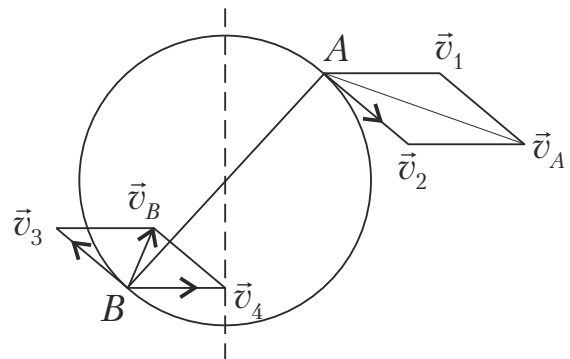


Рис. 11

A2. График скорости движения тела представлен на рисунке 12. Путь на графике скорости равен площади фигуры, ограниченной графиком скорости и ординатами начальной и конечной точек движения.

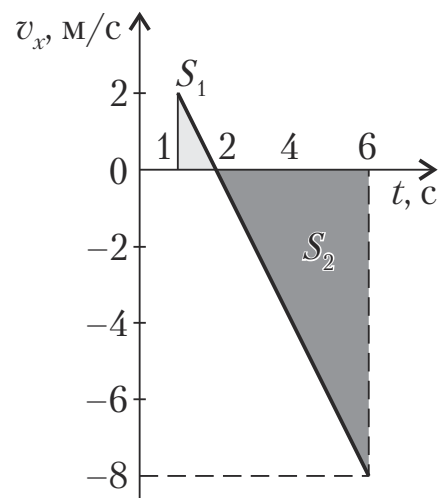


Рис. 12

A5. Примените закон сохранения импульса и энергии (рис. 13).

A6. Удлинение пружин одинаковое. Поэтому $N_1 = 4N_2$ (докажите!). Относительно оси вращения, проходящей через точку B (рис. 14) перпендикулярно плоскости рисунка, правило моментов приводит к уравнению:

$$N_1 l - m_1 g x - m g \frac{l}{2} = 0,$$

где x — искомое расстояние.

A8. Согласно условию

$$\left| \frac{q_1}{q_2} \right| = \frac{2}{1}, \quad |q_2| = \frac{|q_1|}{2}, \quad |F_1| = \frac{kq_1^2}{r^2}.$$

При соединении шариков потенциалы одинаковы и

$$\frac{q'_1}{c_1} = \frac{q'_2}{c_2},$$

$$q'_2 = q'_1 \frac{R_2}{R_1} = 3q'_1.$$

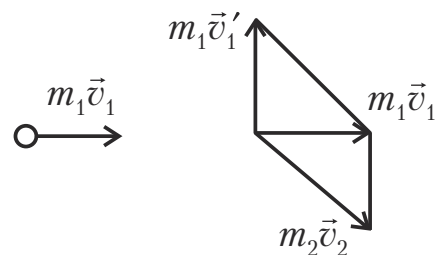


Рис. 13

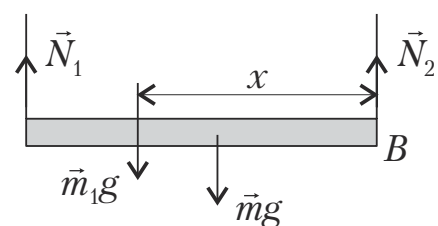


Рис. 14

По закону сохранения заряда $q_1 - q_2 = q'_1 + q'_2$; $\frac{q_1}{2} = 4q'_1$; $q'_1 = \frac{q_1}{8}$;
 $q'_2 = \frac{3q_1}{8}$; $F_2 = \frac{3kq_1^2}{64r^2}$; $\frac{F_1}{F_2} = \frac{64}{6} = 10,7$.

A9. Напряжение на конденсаторе C_2 : $U_{C_2} = U_{R_3} + U_{R_2}$, затем определите силу тока в цепи и подведенное напряжение.

B4. По уравнению Клапейрона–Менделеева определите массу насыщенного водяного пара в объеме $\frac{V_0}{4}$. Используйте таблицу давления и плотности насыщенного водяного пара и рассчитайте объем кислорода.

B9. Пусть потенциал точки $A - \varphi_A$, $C - \varphi_C$, $D - \varphi_D$. Напряжение между точками A и C

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C; \quad U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D;$$

$$U_{AC} - U_{AD} = \varphi_D - \varphi_A.$$

Определите напряжение на резисторах R_1 и R_3 и затем показания вольтметра (рис. 15).

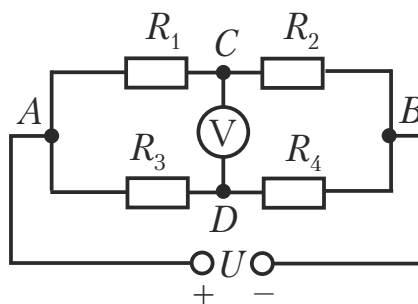


Рис. 15

Вариант 8

A2. Проще решить эту задачу следующим образом. Составим таблицу, где Δt — время по интервалам движения; v_0 и v — модули начальной и конечной скоростей на данном интервале времени, $\langle v \rangle$ — средняя скорость на интервале, s — путь на данном интервале.

Δt , с	v_0 , м/с	v , м/с	$\langle v \rangle$, м/с	s , м
0 : 1	0	4	2	2
1 : 3	4	0	2	4
3 : 4	0	0	0	0
4 : 5	0	4	2	2

A3. Время полета между дисками $t = \frac{r}{v}$; угол смещения отверстий $\varphi = \omega t = 2\pi n t$.

A4. На полюсе планеты $g = G \frac{M}{R^2}$, на экваторе $g_1 = \frac{g}{n} = g - \frac{4\pi^2 R}{T^2}$. Масса планеты $M = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi R^3$.

A7. Модуль силы, с которой толкают льдину, равномерно изменяется от 0 до F , где $F = F_{\max} - mg$, F_{\max} – внешняя сила, равная по модулю выталкивающей силе при полностью погруженной льдине. Работа при погружении льдины $A = \frac{F}{2} \Delta h$, где Δh – высота выступающей над водой части льдины.

A8. Следует рассматривать сосуд с двумя газами. Часть молекул $\left(\frac{2}{3}N\right)$ не распалась на атомы, а $\frac{1}{3}$ молекул распалась, и в сосуде находится $\frac{4}{3}N$ молекул одноатомного газа. Давление в сосуде равно сумме парциальных давлений и $\frac{p_2}{p_1} = \frac{4 t_2}{3 t_1}$.

A10. Потенциальная энергия, которую имеет система в начальном положении, переходит в суммарную кинетическую энергию шариков.

A14. Период колебаний математического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. На уровне моря $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$, где $R_3 = 6400$ км. На высоте h $g_h = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$. Период колебаний на высоте h $T_h = T \left(1 + \frac{h}{R_3}\right)$; $\Delta T = T \frac{h}{R_3}$ – настолько отстают часы за один период колебаний.

B5. Тепловая машина получает теплоту только в изотермическом процессе, а совершает работу на участке 1–2 (положительную) и на участке 3–1 (отрицательную). Работа за цикл $A_{\text{полн}} = A_{12} - |A_{31}|$. При изотермическом процессе 1–2 теплота Q_1 , полученная от нагрева, идет на работу A_{12} и $Q_1 = A_{12}$. При адиабатном процессе $\Delta Q = 0$, $A_{31} = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T$. КПД

$$\text{цикла } \eta = \frac{A_{12} - \frac{3}{2} \nu R \Delta T}{A_{12}}$$

В8. Наибольшая мощность, которую позволяет получить гальванический элемент, будет при равенстве $R = r$ (внешнее сопротивление цепи равно внутреннему).

В12. Высота подъема жидкости в неподвижной капиллярной трубке для полностью смачивающей жидкости

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, ρ – плотность жидкости, а r – радиус капилляра. Для трубки в сосуде, опускающейся вертикально вниз с ускорением a , высота подъема

$$h_1 = \frac{2\sigma}{\rho(g - a)r}.$$

Вычисляя r из (1), определим искомую величину.

Указания к решению задач §§ 1—40

§ 1

Тест В2

7. По закону сложения скоростей скорость материальной точки относительно неподвижной системы отсчета \vec{v} (абсолютная скорость) равна векторной сумме скоростей относительно подвижной системы отсчета \vec{v}_1 (относительная скорость) и скорости подвижной системы относительно неподвижной \vec{v}_T (переносная скорость). $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_T$, \vec{v}_T — скорость течения. Для лодки $v = v_1 - v_T$. Для катера по течению $v' = v_2 + v_T$, против течения $v'' = v_2 - v_T$. Время движения лодки $t_{\text{л}} = \frac{l}{v_1 - v_T}$, для

катера $t_{\text{к}} = \frac{2l}{v_2 + v_T} + \frac{2l}{v_2 - v_T}$. По условию $t_{\text{л}} = t_{\text{к}}$.

8. Абсолютные скорости людей по ходу и против хода эскалатора: $v' = v_1 + v_2$ и $v'' = v_1 - v_2$. Пройденное расстояние до встречи: $l_1 = v't$, $l_2 = v''t = l - l_1$, где l_1 — искомая величина, а t — время движения до встречи.

9. а) Модуль скорости катера (абсолютная скорость) при движении против течения $v'_1 = v_1 - v_2$. Время прохождения расстояния s против течения $t_1 = \frac{s}{v_1 - v_2}$. Поплавок за это время удалится на расстояние

$s_1 = v_2 t_1 = \frac{v_2 s}{v_1 - v_2}$. Относительно поплавка повернувший катер дви-

жется со скоростью v_1 , и время, необходимое катеру, чтобы догнать «неподвижный» поплавок,

$$t_2 = \frac{s + \frac{v_2 s}{v_1 - v_2}}{v_1} = \frac{s}{v_1 - v_2}.$$

Общее время движения катера: $t = t_1 + t_2 = \frac{2s}{v_1 - v_2}$.

б) Пусть поплавок неподвижен. Тогда время движения катера до встречи с неподвижным поплавком

$$t = \frac{2s}{v_1 - v_2}.$$

§ 2

Тест В1

7. а) Кинематический закон движения камня относительно неподвижной системы координат, связанной с Землей (начало отсчета на поверхности Земли), $y_1 = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ (рис. 1), шара $y_2 = y_0 - vt$:

$$\Delta y = y_1 - y_2 = (v_0 + v)t - \frac{gt^2}{2}. \quad (1)$$

Максимальное расстояние между камнем и шаром будет достигнуто на обратном пути камня, когда скорости шара и камня уравниваются (подумайте почему).

$v_0 - gt = -v$; $t = \frac{v_0 + v}{g}$ и, подставляя в (1), определим

Δy_{\max} :

$$\Delta y_{\max} = \frac{(v_0 + v)^2}{2g} = h_{\max}.$$

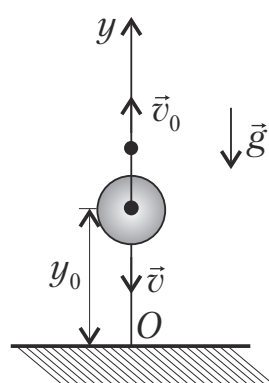


Рис. 1

б) Перейдем к системе координат, связанной с неподвижным шаром. Тогда начальная скорость камня $v_{\text{отн}} = v_0 + v$. Максимальное расстояние между шаром и камнем, когда камень достигнет верхней точки, $h_{\max} = \frac{v_{\text{отн}}^2}{2g}$.

Тест В2

7. Кинематический закон движения последнего и последнего плюс предпоследнего вагонов таков:

$$l = v_0 t_2 + \frac{at_2^2}{2}; \quad (1)$$

$$2l = v_0 (t_1 + t_2) + \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2}, \quad (2)$$

где v_0 — модуль скорости предпоследнего вагона, a — модуль ускорения поезда.

Время, на которое опоздал пассажир к отходу поезда, $\Delta t = \frac{v_0}{a}$. Решая

(1–2) относительно v_0 и a , определим Δt .

§ 3

Тест В2

2. Проекция скорости точки A на ось x

$$v_1 = v_{\text{пост}} + \omega R,$$

где $v_{\text{пост}}$ — модуль поступательной скорости цилиндра (рис. 2). Проекция скорости точки B на ось x :

$$-v_2 = v_{\text{пост}} - \omega R. \text{ Отсюда } \omega = \frac{v_1 + v_2}{2R}.$$

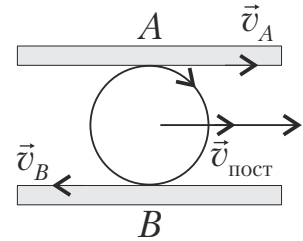


Рис. 2

5. Угловые скорости точек

$$\omega_1 = 2c^{-1}, \quad \omega_2 = -4c^{-1}.$$

Модули линейных скоростей точек

$$v_1 = \omega_1 R; \quad v_2 = \omega_2 R$$

и направлены противоположно. Модули относительной скорости точек

$$|\vec{v}_{\text{отн}}| = |v_1| + |v_2| \text{ и } (\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2)$$

в любой момент одинаковы, $|\vec{v}_{\text{отн}}| = 12 \text{ м/с}$.

7. В системе координат Oxy $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, $g_x = g \sin \alpha$, $g_y = -g \cos \alpha$ (рис. 3). Уравнения движения в проекциях на оси Ox и Oy :

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t + \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2};$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g \cos \alpha \cdot t^2}{2}.$$

В точке падения $y = 0$ и из уравнений можно определить при $x = l$ и $y = 0$ модуль начальной скорости камня.

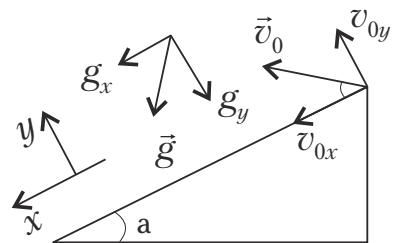


Рис. 3

§ 4

Тест В1

7. Для парашютиста массой m_1 модуль установившейся скорости v_1 и $m_1 g = \alpha v_1^2$, для мальчика — v_2 и $m_2 g = \alpha v_2^2$, где α — коэффициент пропорциональности.

Тест В2

2. В проекции на ось Oy основное уравнение динамики приводит к соотношению (рис. 4)

$$N - mg \cos \alpha = -ma \sin \alpha.$$

По условию

$$N = 0 \text{ и } a = g \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = g \operatorname{ctg} \alpha.$$

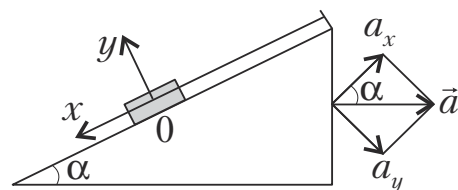


Рис. 4

6. Тело скользит без трения по доске, и модуль ускорения тела a_1 больше модуля ускорения доски a_2 : $a_1 > a_2$. Сила трения, действующая на доску, направлена против ее движения. Уравнения движения для тела в проекциях на оси x и y (рис. 5, а):

$$mg \sin \alpha = ma_1 \text{ и } N_1 - m_1 g \cos \alpha = 0.$$

Уравнения движения для доски (рис. 5, б) с учетом третьего закона Ньютона ($|\vec{N}_1| = |\vec{N}'_1|$):

$$mg \sin \alpha - \mu N_2 = ma_2; \quad N_2 - N'_1 - mg \cos \alpha = 0; \quad N_2 = 2mg \cos \alpha$$

$$\text{и } a_2 = g(\sin \alpha - 2\mu \cos \alpha).$$

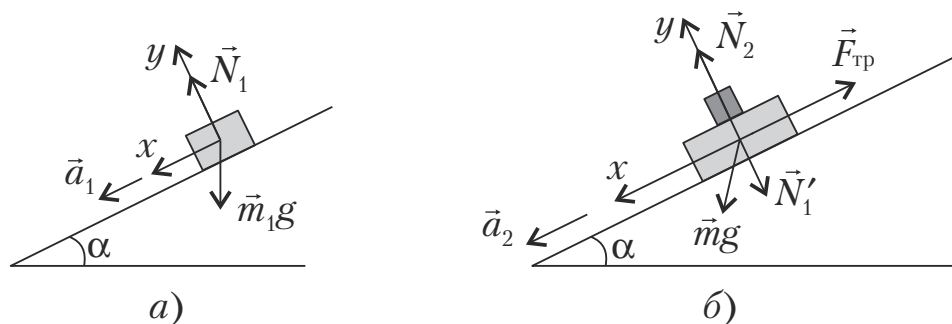


Рис. 5

10. На тело массой m действуют сила тяжести $\vec{m}g$, нормальная составляющая силы реакции опоры \vec{N}_1 , сила трения \vec{F}_1 (рис. 6).

В проекциях на оси x и y уравнение движения для тела:

$$F_1 = ma_1; \quad N_1 - mg = 0.$$

На брусок действуют сила тяжести Mg , нормальная составляющая си-

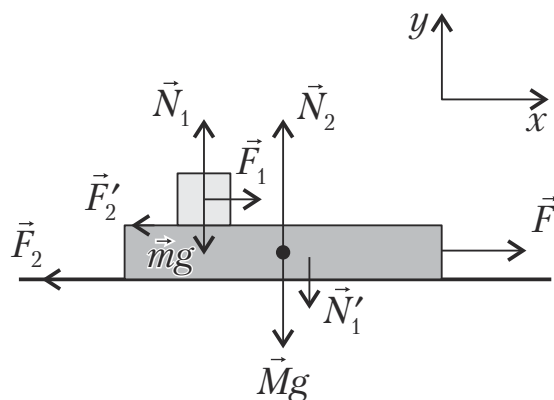


Рис. 6

лы реакции опоры \vec{N}_2 и по третьему закону Ньютона $|\vec{N}'_1| = |\vec{N}_1|$, силы трения \vec{F}_2 и \vec{F}'_1 ($|\vec{F}'_1| = |\vec{F}_1|$).

Уравнение движения для бруска в проекциях на оси x и y

$$F - F_2 - F'_1 = Ma; \quad N_2 - N'_1 - Mg = 0.$$

Модуль ускорения, с которым движется брусок,

$$a = \frac{1}{M} (F - \mu(m+M)g - \mu mg).$$

§ 5

Тест А1

6. Составляющие силы реакции опоры \vec{N}_1 и \vec{N}_2 (рис. 7):

$$\vec{N} = \vec{N}_1 + \vec{N}_2; \quad N_1 = mg; \quad N_2 = \frac{mv^2}{R};$$

$$N = \sqrt{(mg)^2 + \left(\frac{mv^2}{R}\right)^2} = 5mg.$$

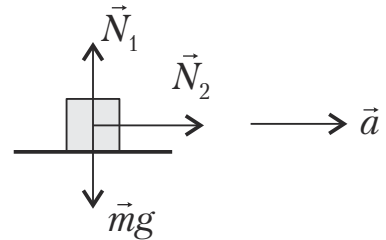


Рис. 7

Тест А2

7. Результат взвешивания: $F = \sqrt{(mg)^2 + \left(\frac{mv^2}{R}\right)^2}$ (рис. 8).

10. В проекциях на оси Ox и Oy для подобной системы (конический маятник) имеем:

$$\begin{cases} F \sin \alpha = \frac{m4\pi^2 r}{T^2}, \\ F \cos \alpha = mg, \end{cases} \text{ где } r = l \sin \alpha \text{ (рис. 9).}$$

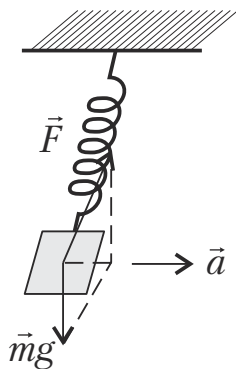


Рис. 8

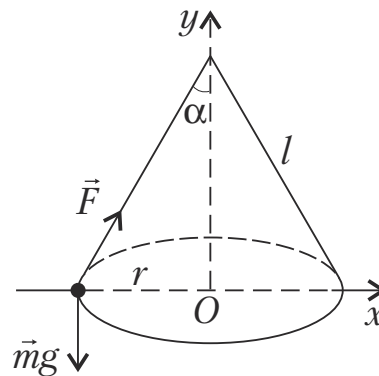


Рис. 9

Это приводит к известной формуле периода T конического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \alpha}{g}}. \text{ Отсюда определяем } g.$$

Тест В1

7. В проекциях на оси Ox и Oy (рис. 10):

$$\begin{cases} Ox: N = \frac{mv^2}{R}; \\ Oy: F_{\text{тр}} = mg \text{ и } F_{\text{тр}} = \mu N. \end{cases}$$

9. Чтобы натяжение нити в нижней точке было меньше g , лифт должен опускаться вниз. Основное уравнение динамики в проекциях на ось Oy в этом случае (рис. 11):

$$mg - T_1 = -\frac{mv^2}{R} + ma; a = 2g;$$

$$T_1 = 0 \text{ и } \frac{mv^2}{R} = mg.$$

Для точки B $mg + T_2 = \frac{mv^2}{R} + ma$ и $T_2 = 2mg$.

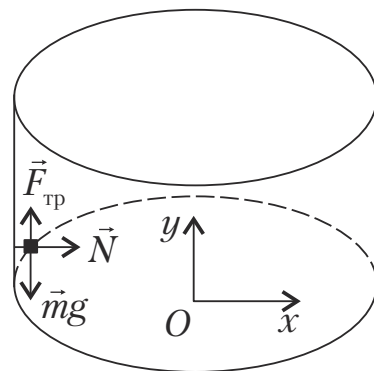


Рис. 10

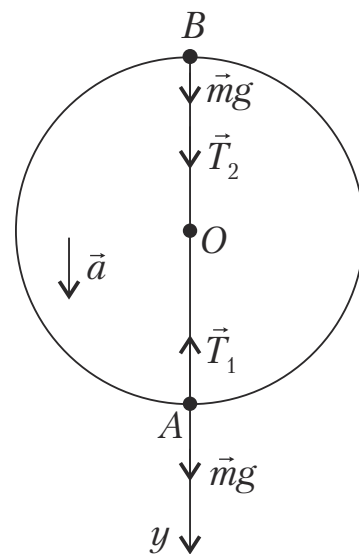


Рис. 11

Тест В2

5. Велосипедист наклоняется в сторону поворота. В проекциях на координатные оси Ox и Oy основное уравнение динамики (рис. 12):

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{тр}} \cos \alpha + N \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}, \\ Oy: N \cos \alpha - mg - F_{\text{тр}} \sin \alpha = 0. \end{cases}$$

Удерживает велосипедиста на трекке сила трения покоя $F_{\text{тр}} = \mu_{\text{max}} N$, где μ_{max} — коэффициент трения покоя. Из решения представленной системы уравнений

$$v = \sqrt{gR \frac{\mu \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}}.$$

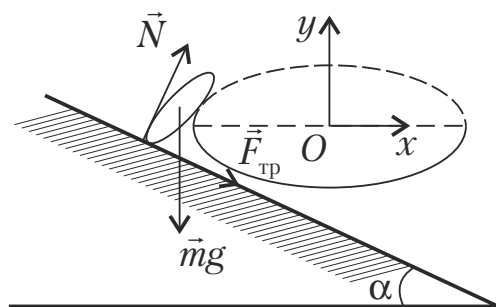


Рис. 12

7. Нормальная составляющая силы реакции опоры \vec{N} направлена к центру полусферы. В проекциях на координатные оси Ox и Oy основное уравнение динамики (рис. 13):

$$\begin{cases} Ox: N \sin \alpha = m\omega^2 R, \\ Oy: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Из решения этой системы, учитывая, что $r = R \sin \alpha$ и $\alpha = 60^\circ$, легко рассчитать ω .

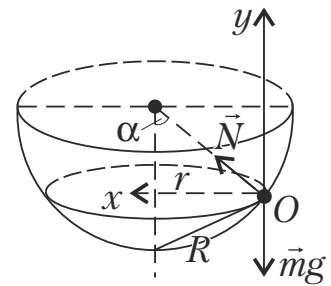


Рис. 13

§ 6

Тест А1

8. К абсолютно упругому удару применимы закон сохранения импульса и механической энергии (рис. 14).

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}_2, \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

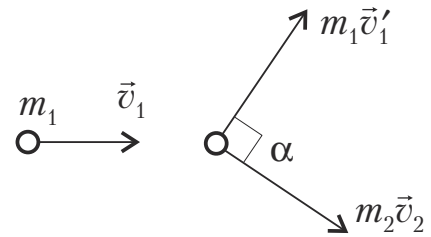


Рис. 14

Так как угол $\alpha = 90^\circ$, то

$$(m_1 v_1)^2 = (m_1 v_1')^2 + (m_2 v_2)^2. \quad (2)$$

Из решения уравнений (1–2) $m_1 = m_2$; $\frac{m_1}{m_2} = 1$.

10. Относительно неподвижной стенки шарик движется со скоростью, модуль которой $v_{\text{отн}} = v + u$, и отражается со скоростью, по модулю равной $v + u$ (рис. 15). В системе координат, связанной с землей, скорость отраженного шарика

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{u}, \text{ или } v_1 = v + u + u = v + 2u.$$

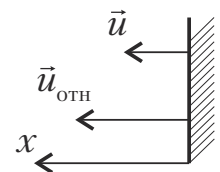


Рис. 15

Тест В1

7. Для первого человека закон сохранения импульса $m\vec{v} + m_1 \vec{v}_1 = 0$. Для второго человека $m\vec{v} = (m_2 + m)\vec{v}_2$; переходя к проекциям, получим

$$\left| \frac{v_1}{v_2} \right| = \frac{m_2 + m}{m_1} = \frac{9}{7}.$$

Тест В2

8. Закон сохранения импульса в проекции на ось, параллельную тросу и направленную к кораблю: $mv - (m + M)v_1 = 0$, где v_1 — модуль скорости корабля и $v_1 = v \frac{m}{m + M}$. Расстояния, пройденные человеком и кораблем: $x = vt$ и $l - x = v_1 t$, где $l = (v + v_1)t$. Тогда

$$\frac{x}{l} = \frac{m + M}{m + 2M}.$$

9. По основному закону динамики $\Delta(m\vec{v}) = \vec{F}\Delta t$ в проекциях на горизонтальную ось имеем: $\rho S \vec{v} \cdot \Delta t \cdot v = p S \Delta t$ и $p = \rho v^2$.

§ 7

Тест А1

8. Работа двигателя насоса $A = Pt = \Delta W_{\text{к}} + \Delta W_{\text{п}} = mgh + m \frac{v^2}{2}$, где $m = \rho V$ — масса воды, $v = \frac{h}{t}$ — модуль скорости.

Тест А2

9. Модуль реактивной силы $F = mg$. Двигатель ракеты выбрасывает газы со скоростью, модуль которой u , и по теореме о кинетической энергии

$$\frac{mu^2}{2} = A = P\Delta t, \quad (1)$$

где P — мощность двигателя. Применим основное уравнение динамики в проекциях на вертикальную ось: $\Delta(mu) = F\Delta t$, или $mu = Mg\Delta t$. Из уравнения (1) $\frac{Mg}{2}u\Delta t = P\Delta t$ и $P = \frac{Mgu}{2}$.

Тест В1

3. Работа по раскручиванию шарика

$$A = \Delta W_{\text{к}} + \Delta W_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $\Delta W_{\text{п}} = mgh = mgl(1 - \cos \alpha)$; $\Delta W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ (рис. 16).

В проекциях на оси Ox и Oy

$$\begin{cases} Ox: T \cos \alpha = mg, \\ Oy: T \sin \alpha = \frac{mv^2}{r}, \end{cases}$$

где $r = l \sin \alpha$. Вычисляя ΔW_K из (1), считаем работу A .

10. Модуль движущей силы (рис. 17)

$$F_1 = F = \sqrt{(mg)^2 + F_c^2},$$

где $F_c = \frac{mg}{5}$; $F_1 = mg \sqrt{\frac{26}{25}}$; $\cos \alpha = \frac{F_c}{F}$;

$$P = \frac{F_1 v \cos \alpha}{\eta} = \frac{mg}{\eta} \sqrt{\frac{26}{25}} v \frac{\frac{mg}{5}}{mg \sqrt{\frac{26}{25}}} = \frac{mgv}{5\eta} \quad (\text{рис. 17}).$$

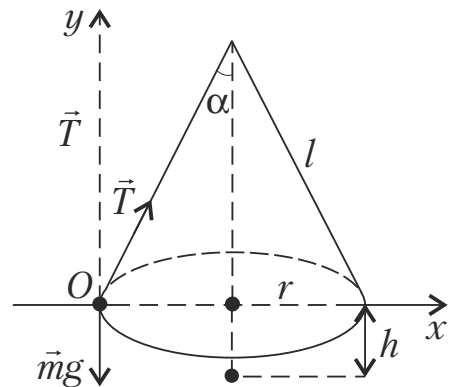


Рис. 16

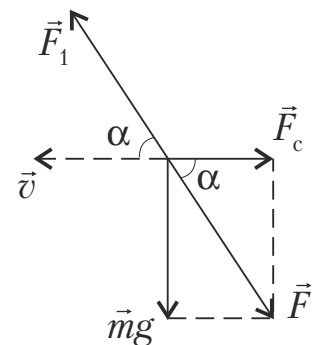


Рис. 17

§ 8

Тест В1

5. Пусть модуль скорости первого шара до удара v_1 , а после удара v_2 , модуль скорости второго шара после удара также v_2 (шары поднялись до одинаковой высоты). Направлены скорости первого и второго шара после удара противоположно. По законам сохранения:

$$m_1 v_1 = -m_1 v_2 + m_2 v_2; \quad (1)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{2}. \quad (2)$$

Из решения (1–2) определим m_2 .

6. По закону сохранения импульса: $m\vec{v} = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2$. В скалярном виде

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 \quad (1)$$

(разлетаются под прямым углом). По закону сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + Q. \quad (2)$$

Из (1–2) $Q = 0$, т. е. удар абсолютно упругий.

Тест В2

8. Законы сохранения импульса и энергии приводят к выражениям:

$$m_1 v - m_2 v = (m_1 + m_2)u \text{ и } W = \frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 v^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} + Q. \text{ В тепло-}$$

ту перейдет часть энергии $\frac{Q}{W} = 1 - \frac{u^2}{v^2}$, где $\frac{u}{v} = \left| \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right|$.

§ 9

Тест В1

5. Применяя правило моментов относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку A и точку B , получим соотношения:

$$mg \frac{l}{2} \cos \alpha - T_2 (l - \Delta l) \cos \alpha = 0,$$

$$T_1 (l - \Delta l) \cos \alpha - mg \left(\frac{l}{2} - \Delta l \right) \cos \alpha = 0,$$

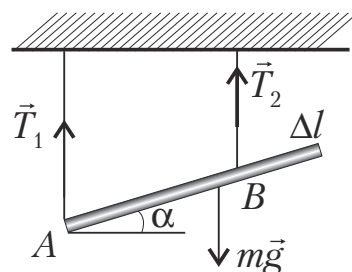


Рис. 18

из которых легко определить отношение $\frac{T_2}{T_1}$ (рис. 18).

6. Пусть масса тела m , l_1 и l_2 — плечи неравновесных весов. По правилу моментов в одном случае $m_1 l_1 = M l_2$ (M — масса тела), во втором случае $m_2 l_2 = M l_1$, и из полученных соотношений $M^2 = m_1 m_2$.

7. Первое условие равновесия лестницы (проекции сил на оси x и y) приводит к уравнениям (рис. 19):

$$N_1 - F_{\text{тр}2} = 0, \quad (1)$$

$$F_{\text{тр}1} - mg + N_2 = 0. \quad (2)$$

Правило моментов относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку A :

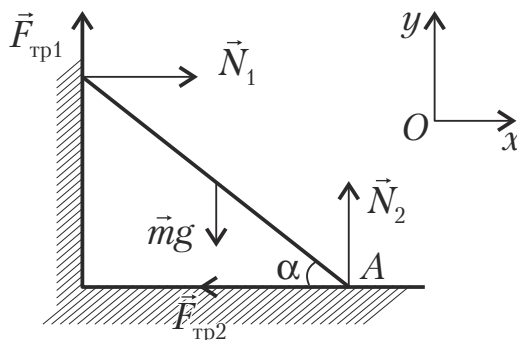


Рис. 19

$$F_{\text{тр}1} l \cos \alpha + N_1 l \sin \alpha - mg \frac{l}{2} \cos \alpha = 0, \quad (3)$$

где $F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1$; $F_{\text{тр}2} = \mu_2 N_2$.

Из уравнения (1) $N_1 = \mu_2 N_2$. Из (2) $N_2 = \frac{mg}{1 + \mu_1 \mu_2}$. Подставляя в (3),

получим $\text{tg } \alpha = \frac{1 - \mu_1 \mu_2}{2\mu_2}$.

Тест В2

10. Масса шара $m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$, масса вещества, вырезанного из шара,

$$m_1 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{R}{2}\right)^3 \rho = \frac{m}{8}.$$

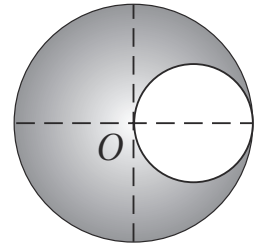


Рис. 20

Заполним вырез веществом, тогда сила тяжести сплошного шара приложена к центру шара (рис. 20).

Чтобы соответствовать условию задачи, силу, равную силе тяжести шара размером $\frac{R}{2}$, направим вверх. Центр тяжести тела в точке O_1 (рис. 21). По правилу моментов для горизонтальной оси, проходящей через точку O_1 перпендикулярно плоскости рисунка:

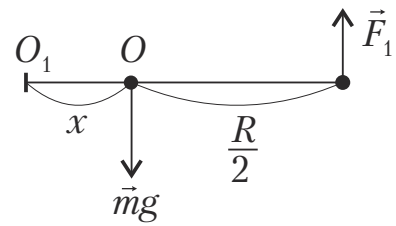


Рис. 21

$$mgx - F_1 \left(\frac{R}{2} + x\right) = 0, \text{ или } mgx - \frac{mg}{8} \left(\frac{R}{2} + x\right) = 0, x = \frac{R}{14}.$$

§ 10

Тест В1

7. Примем за нулевой уровень потенциальной энергии глубину H . Тогда

$$\Delta W_{\text{пА}} - \Delta W_{\text{пт}} = 0,$$

где $\Delta W_{\text{пА}}$ — изменение потенциальной энергии шарика за счет силы Архимеда, $\Delta W_{\text{пА}} = F_A H$; $\Delta W_{\text{пт}}$ — изменение потенциальной энергии шарика за счет силы тяжести (рис. 22). $\Delta W_{\text{пт}} = mg(H + h)$; подставляя $\Delta W_{\text{пА}}$ и $\Delta W_{\text{пт}}$ в уравнение, приходим к равенству, из которого определим искомую величину h :

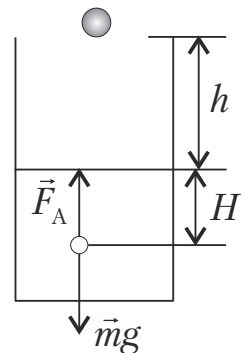


Рис. 22

$$\rho_B g V H - \frac{\rho_B}{2} g V (H + h) = 0.$$

Тест В2

2. Давления на высоте H_1 слева и справа одинаковы (рис. 23):

$$\rho_{\text{в}} g(h + \Delta h) = \rho_{\text{рт}} g(\Delta h + H). \quad (1)$$

Из условия несжимаемости жидкости $\Delta h S = \Delta H \cdot 3S$ и $\Delta h = 3\Delta H$.

Подставляя в (1), определим искомую ΔH .

4. Давления на высоте h_2 одинаковы. Для 1–2 сосудов (рис. 24):

$$\rho_{\text{в}} g h_1 + \rho_{\text{рт}} g(\Delta h_2 - \Delta h_1) = \rho_{\text{рт}} g(\Delta h_2 + \Delta h_3). \quad (1)$$

Для сосудов 3–2:

$$\rho_{\text{в}} g h_2 = \rho_{\text{рт}} g(\Delta h_3 + \Delta h_2). \quad (2)$$

Вследствие несжимаемости жидкостей

$$\Delta h_3 = \Delta h_1 + \Delta h_2. \quad (3)$$

Выразим Δh_2 из (2), а Δh_1 из (3), и подставим в (1).

В итоге Вы должны получить: $\Delta h_3 = \frac{\rho_{\text{в}} (h_1 + h_2)}{3\rho_{\text{рт}}}$.

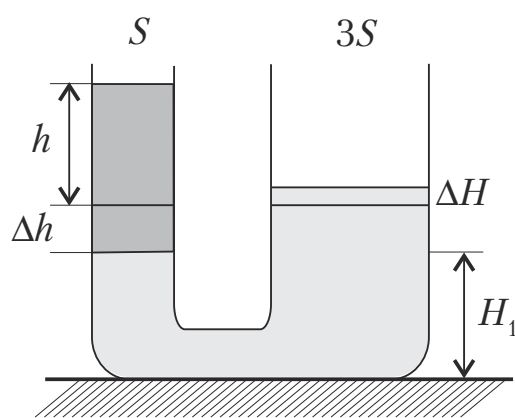


Рис. 23

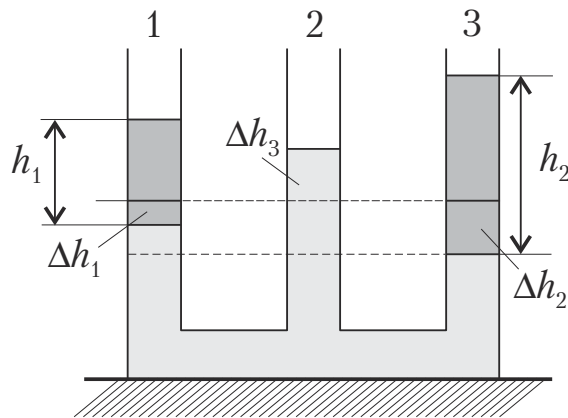


Рис. 24

10. Условие подъема стержня: равенство нулю моментов сил относительно горизонтальной оси вращения, проходящей через точку A (рис. 25).

$$-Fl + (mg - F_A) \frac{l}{2} = 0$$

и

$$F = \frac{g}{2}(m - V\rho).$$

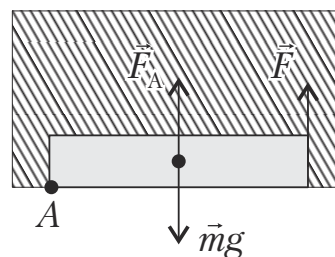


Рис. 25

§ 11

Тест В1

1. В моле любого вещества находится число молекул $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро).
5. На стенке наводится индуцированный заряд $-q$, расположенный зеркально заряду q относительно стенки (метод электрических изображений).

Тест В2

1. В массе m свинца количество атомов

$$N = \frac{m}{A} N_A,$$

где N_A — число Авогадро; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль.

2. Сначала определите точку, в которую необходимо поместить заряд q_x , чтобы он был в равновесии. Затем из условия неподвижности заряда q (или $9q$) определите величину заряда q_x .
6. Элемент кольца длиной Δl и зарядом Δq настолько маленький, что взаимодействие между ним и точечным зарядом q можно рассматривать по закону Кулона. Просуммируйте проекции кулоновских сил на вертикальную ось Oy .
9. Если один из шариков разрядить и шарики соприкоснутся, то заряд разделится на два одинаковых, которые взаимодействуют по закону Кулона.

§ 12

Тест В2

6. Запишите для нижней точки второй закон Ньютона: векторная сумма сил тяжести, натяжения нити и электрической силы равна $m\vec{a}$, где \vec{a} — центростремительное ускорение. Модуль скорости шарика в нижней точке найдите из закона сохранения энергии. Изменение кинетической энергии шарика равно работе силы тяжести и электростатической силы. Работа электростатической силы не зависит от траектории: $A = qEl$, где l — длина нити, а работа силы тяжести равна изменению потенциальной энергии, взятой с обратным знаком.

10. Маятник движется по окружности и векторная сумма сил, действующих на маятник, равна массе, умноженной на центростремительное ускорение \vec{a} , модуль которого $a = \omega^2 r = \omega^2 l \sin \alpha$.

§ 13

Тест В1

7. Потенциальная энергия взаимодействия четырех заряженных бусинок переходит в кинетическую энергию бусинок:

$$W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{23} + W_{24} + W_{34} = 4 \frac{mv^2}{2}.$$

10. В теле пластины наводятся индуцированные заряды противоположного знака. Согласно методу электрических изображений можно считать, что симметрично поверхности пластины на расстоянии d возникает индуцированный электрический заряд величиной $-q$. Работа, которую совершает внешняя сила, $A = \frac{kq^2}{2l}$.

Тест В2

4. По закону сохранения электрического заряда $Q = nq$, где Q — заряд большой капли. Внешние силы в этом случае совершают положительную работу против сил электростатического отталкивания, и величина этой работы $A = W_{\text{пот}2} - W_{\text{пот}1}$, где $W_{\text{пот}1}$ и $W_{\text{пот}2}$ — потенциальные энергии n малых капель и большой капли. $W_{\text{пот}1} = n \frac{kq^2}{2r}$, $W_{\text{пот}2} = \frac{kQ^2}{2R}$.

Радиус большой капли определим из соотношения объемов: $V = nV_1$; $\frac{4}{3}\pi R^3 = n \frac{4}{3}\pi r^3$ и $R = r\sqrt[3]{n}$, тогда $A = n \frac{kq^2}{2r} \left(\sqrt[3]{n^2} - 1 \right)$.

5. Для минимального расстояния между электронами модули скоростей обоих электронов станут одинаковыми. Примените закон сохранения импульса и механической энергии.

6. Примените закон сохранения заряда.

9. Для точки $r = 3,0$ дм значение потенциала, как это следует из приведенного графика, $\varphi = 3,0$ В. Отсюда определите величину заряда q . Модуль напряженности электростатического поля в центре треугольника найдите по принципу суперпозиции полей.

10. На графике четко указаны две точки, в которых заданы значения потенциалов. Это точки $x_3 = 0,60$ м и $x_4 = 0,90$ м. Значение потенциалов в этих точках $\varphi_1 = 60$ В и $\varphi_2 = 190$ В. По принципу суперпозиции потенциалов для этих точек $\varphi_1 = \frac{kq_1}{x_3} + \frac{kq_2}{x_2 - x_3}$ и $\varphi_2 = \frac{kq_1}{x_4} + \frac{kq_2}{x_2 - x_4}$, где $x_2 = 1,0$ м. Из этой системы уравнений можно определить q_1 и q_2 , а затем рассчитать E_x для точки с координатой $x = 0,300$ м.

§ 14

Тест В1

5. Искомая напряженность поля на расстоянии $r > R$ от центра шара создается зарядом, сосредоточенным на поверхности шара радиусом R . Этот заряд легко вычислить из условия равномерного распределения заряда по поверхности шара и рассчитать модуль напряженности поля по формуле напряженности поля от точечного заряда, считая, что весь заряд $q = \sigma S$ (где $S = 4\pi R^2$) сосредоточен в центре шара. Внутри проводящего шара $\vec{E} = 0$ и $E \neq 0$ может быть только по поверхности или за пределами шара.

Тест В2

4. Искомая напряженность поля внутри шара на расстоянии $r < R$ создается зарядом q_1 , сосредоточенным в объеме r . Так как заряд распределен равномерно, то $q_1 = \frac{q \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} = q \frac{r^3}{R^3}$ и модуль напряженности на

расстоянии r определим по формуле модуля напряженности для точечного заряда q_1 , сосредоточенного в центре шара:

$$E = \frac{kq_1}{r^2} = k \frac{qr}{R^3}.$$

7. Модуль напряженности поля от равномерно заряженной с поверхностной плотностью σ плоскости $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$. По принципу суперпозиции

$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$; $E = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\epsilon_0\epsilon}$. Разность потенциалов между пластинами

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed.$$

8. Если шар заземлен, то его потенциал равен потенциалу земли, который принимают за нулевой. Пусть заряд шара R_1 равен q_1 , а заряд сферы q_2 . Тогда потенциал шара

$$\varphi_1 = 0 = \frac{kq_1}{R_1} + \frac{kq_2}{R_2}. \quad (1)$$

Соответственно потенциал сферы

$$\varphi = \frac{kq_1}{R_2} + \frac{kq_2}{R_2}. \quad (2)$$

Решение системы уравнений (1–2) позволит рассчитать q_2 .

9. Модуль напряженности E поля в диэлектрике $E = E_0 - E_{\text{пол}}$, где E_0 — модуль напряженности поля в вакууме, $E_{\text{пол}}$ — модуль напряженности связанных поляризационных зарядов.

§ 15

Тест В2

4. Примените закон сохранения заряда. Учтите, что после соединения (рис. 26) напряжение на конденсаторах будет одинаковым:

$$q_1 - q_2 = q'_1 + q'_2 \quad \text{или} \quad C_1 U_1 - C_2 U_2 = (C_1 + C_2) U.$$

9. Рассчитайте модуль силы притяжения между пластинами заряженного конденсатора. Противоположно по направлению и равна ей по модулю сила упругости пружины.

$$F_{\text{эл}} = qE = q \frac{U}{d}; \quad q = cU = \frac{\varepsilon_0 S}{d} U; \quad F_{\text{упр}} = k\Delta d; \quad F_{\text{эл}} = F_{\text{упр}}.$$

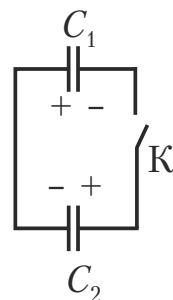


Рис. 26

10. Чтобы определить напряжение (разность потенциалов) между точками 1 и 2, найдем напряжение U_1 на конденсаторе C_1 и напряжение U_3 на конденсаторе C_3 (рис. 27). Для этого определим $C_{12} = \frac{C \cdot C}{C + C} = \frac{C}{2}$ и $q_1 = \frac{C}{2} \mathcal{E}$;

$$U_1 = \frac{q_1}{C} = \frac{\mathcal{E}}{2}; \quad C_{34} = \frac{C \cdot 2C}{C + 2C} = \frac{2}{3} C; \quad q_2 = \frac{2}{3} C \mathcal{E};$$

$$U_3 = \frac{q_2}{C} = \frac{2}{3} \mathcal{E}. \quad \text{Заметим, что} \quad U_1 = \varphi_1 - \varphi_a,$$

$$\text{а} \quad U_3 = \varphi_2 - \varphi_a; \quad U_3 - U_1 = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2}{3} \mathcal{E} - \frac{1}{2} \mathcal{E} = \frac{1}{6} \mathcal{E}.$$

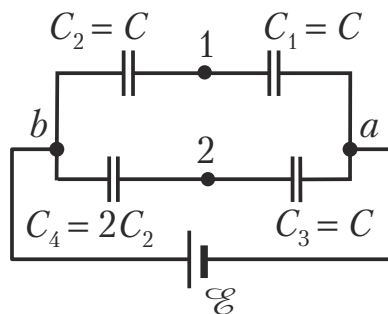


Рис. 27

§ 16

Тест В2

3. Сила тока в цепи $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, где $\Delta q = C_2 U - C_1 U$, C_2 — емкость конденсатора с пластиной диэлектрика, C_1 — без пластины; $\Delta t = \frac{l}{v}$, где l — длина обкладки плоского конденсатора.

6. Представленная схема эквивалентна следующей (рис. 28):

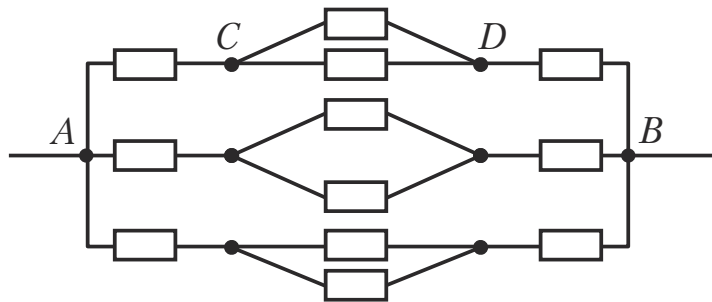


Рис. 28

7. По резистору R_2 ток не проходит. Разберитесь почему! Аналогичная ситуация и в задаче 5.

9. Определите напряжение на резисторе R_3 . Оно равно напряжению на батарее конденсаторов C_1 и C_2 ; затем определите напряжение на каждом конденсаторе.

10. Напряжение между точками C и A : $U_{CA} = \varphi_C - \varphi_A$. Напряжение между точками C и B : $U_{CB} = \varphi_C - \varphi_B$. Следовательно:

$$U_{CB} - U_{CA} = \varphi_A - \varphi_B = U_{AB}.$$

Определите силы токов в ветвях CAD и CBD и напряжение U_{CB} и U_{CA} .

§ 17

Тест В1

10. Сопротивление проводника при нагревании $R = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$, где R_0 — сопротивление проводника при $t_1 = 0$ °C, α — температурный коэффициент сопротивления, $\Delta t = t - 0$ °C.

Тест В2

10. Разность потенциалов между точками A и B

$$\varphi_A - \varphi_B = U_{AD} - U_{BD} = \varphi_A - \varphi_D - (\varphi_B - \varphi_D),$$

поэтому нужно определить напряжения U_{AB} и U_{BD} . Сила тока в цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r}; U_{BD} = IR_1. \text{ Емкость батареи конденсаторов } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Заряд на этой батарее $q = CU = C(\mathcal{E} - Ir)$.

Для последовательно соединенных конденсаторов заряды одинаковы

и равны q . Тогда $U_{AD} = \frac{q}{C_1}$ и теперь можно определить U_{AB} .

§ 18

Тест В2

10. Напряжения на обоих резисторах в любой момент времени одинаковы, и теплота, которая выделится в каждом из них:

$$Q_1 = \frac{\langle U \rangle^2}{R_1} t_1, \quad Q_2 = \frac{\langle U \rangle^2}{R_2} t_1,$$

где $\langle U \rangle$ — «эффективное» значение напряжения, t — время прохождения тока. Отношение $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{24}{16} = 1,5$. Запасенная в конденсаторе

энергия $W = Q_1 + Q_2 = \frac{CU^2}{2} = 2,5Q_1$.

§ 19

Тест В1

7. Согласно условию все электроны в объеме V пространства между обкладками конденсатора достигают обкладки за время $\Delta t = \frac{l}{v}$, где l — длина обкладки, и переносят заряд

$$\Delta q = n_0 Ve = n_0 b d l e.$$

Сила тока в этом случае

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{n_0 b d l e}{\Delta t} = n_0 e b d v.$$

Тест В2

1. Сопротивление комбинации угля и железа при температуре 0°C

$$R_0 = \rho_1 \frac{l_1}{S} + \rho_2 \frac{l_2}{S}.$$

Это же сопротивление при температуре $t^\circ\text{C}$

$$R_1 = \frac{l_1}{S} \rho_1 (1 + \alpha_1 t) + \frac{l_2}{S} \rho_2 (1 + \alpha_2 t).$$

По условию

$$R_1 = R_2 \Rightarrow \frac{l_1}{l_2} = -\frac{\rho_2 \alpha_2}{\rho_1 \alpha_1}.$$

3. В переносе зарядов участвуют как положительные, так и отрицательные заряды, плотность тока $j = j_+ + j_-$, где j_+ и j_- — плотности тока за счет движения положительных и отрицательных зарядов. Модули скоростей токов зависят от модуля напряженности E поля: $v_+ = U_+ E$; $v_- = U_- E$, где $E = \frac{U}{e}$. Плотность тока $j_+ = n_+ e v_+$; $j_- = n_- e v_-$ и согласно условию $j = 2ne \frac{U}{e} U_+$.

4. Сила тока насыщения $I_{\text{н}} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = 2 \frac{en}{\Delta t}$, где Δq — заряд всех токов в газоразрядной трубке за время разряда Δt , e — величина элементарного электрического заряда, n — число пар ионов. Общее количество ионов (положительных и отрицательных)

$$2n = \frac{I \Delta t}{e}.$$

Число ионов за 1 с в единице объема $N = \frac{2n}{N \Delta t} = \frac{I}{e S d}$.

5. Примените второй закон Ньютона $N m \vec{v} = \vec{F} \cdot \Delta t$, где N — число электронов, попадающих на трубку за время Δt :

$$N = \frac{I \Delta t}{e},$$

e — элементарный электрический заряд. Модуль скорости электрона определите по теореме о кинетической энергии: изменение энергии электрона равно работе ускоряющего поля (со знаком « \rightarrow »). Учтите, что заряд электрона также отрицательный.

§ 20

Тест А2

9. По правилу буравчика (правой руки) определяем направления векторов магнитной индукции \vec{B}_1 и \vec{B}_2 в точке A (рис. 29). По принципу суперпозиции $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$, где

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi \frac{l}{2}}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi \frac{l}{2}}.$$

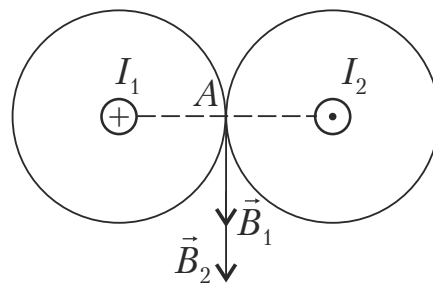


Рис. 29

10. Модуль магнитной индукции в центре кругового витка

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}, \quad (1)$$

где r — радиус кольца. По закону Ома $I = \frac{U}{R} = \frac{U}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{US}{\rho 2\pi r}$. Если из по-

следнего соотношения определить r и подставить в (1), получим иско-
мый модуль магнитной индукции в центре кольца.

Тест В1

9. Модуль индукции магнитного поля длинного соленоида с током I , числом витков на единицу длины $\frac{N}{l}$: $B = \mu_0 \frac{NI}{l} = \mu_0 N \frac{U}{Rl}$.

10. Модуль максимального момента сил, действующего на рамку с током I , площадью S , числом витков N в магнитном поле с модулем индукции B , $M = BISON$.

Тест В2

4. На стержень действует сила Ампера, модуль которой $F_A = BIL$, модуль силы тяжести mg , модуль реакции опор N и модуль силы трения (рис. 30). В проекциях на координатные оси

$$\begin{cases} Ox: F - F_{\text{тр}} = ma, \\ Oy: N - mg = 0, \end{cases}$$

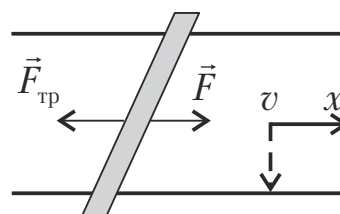


Рис. 30

где $F = BIL$ и $ma = BIL - \mu mg$, a — модуль ускорения стержня.

К моменту времени t модуль скорости стержня $v = at$. Работа силы Ампера расходуется на изменение кинетической энергии и преодоление силы трения:

$$A = \frac{mv^2}{2} + |F_{\text{тр}}|s, \quad (1)$$

где $s = \langle v \rangle \Delta t = \frac{v}{2} \Delta t$. Теперь можно определить искомую величину A , подставив $v = (Bl - \mu mg) \cdot \frac{\Delta t}{m}$ и s в уравнение (1).

9. Рассмотрите элементарный отрезок проводника (рис. 31) длиной $\Delta l = R\Delta\varphi$, где $\Delta\varphi$ — центральный угол, соответствующий дуге Δl . Модуль силы Ампера, действующей на отрезок, уравновешен модулями сил натяжения отрезка кольца \vec{T}_1 и \vec{T}_2 ; $\vec{F}_A = \vec{T}_1 + \vec{T}_2$; $F_A = 2T \sin \frac{\Delta\varphi}{2} \approx T\Delta\varphi$. Механическое напряжение $\sigma = \frac{T}{S}$.

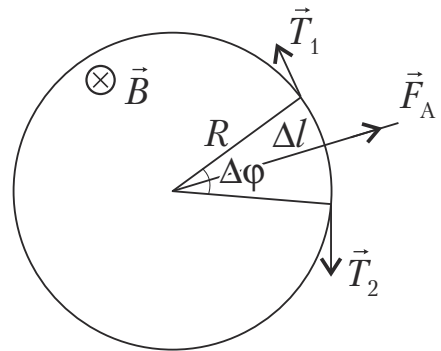


Рис. 31

10. Примените второй закон Ньютона $\vec{F}\Delta t = \Delta(m\vec{v})$. Учтите, что произведение силы тока на время разрядки $I\Delta t = q = CU$. Получите выражение для модуля начальной скорости стержня и затем из закона сохранения механической энергии рассчитайте искомый угол φ .

§ 21

Тест В2

2. Начальная кинетическая энергия электрона $W_{1к} = \frac{mv_1^2}{2}$. Конечная кинетическая энергия $W_{2к} = 2\frac{mv_1^2}{2}$. Изменение кинетической энергии электрона $\Delta W_k = \frac{mv_1^2}{2}$ происходит за счет работы A электростатического поля;

$$\Delta W_k = A. \quad (1)$$

Модуль начальной скорости электрона

$$v_1 = \frac{BeR}{m}, \quad (2)$$

и скорость направлена перпендикулярно \vec{E} (напряженности поля). Работа электростатического поля $A = FS = ma \cdot \frac{a\Delta t^2}{2}$, где модуль ускорения $a = \frac{eE}{m}$. Подставляя в соотношение (1), определим искомое время Δt .

5. В пространстве с электростатическим и магнитным полями на протон действует сила Лоренца \vec{F}_L и сила со стороны электростатического поля $\vec{F}_э$, направленные перпендикулярно. Равнодействующая этих сил

$$\vec{R} = \vec{F}_L + \vec{F}_э = m\vec{a}.$$

6. Тело скользит по наклонной плоскости (проверьте $\mu < \operatorname{tg} \alpha$). Сила Лоренца, действующая на тело, направлена перпендикулярно плоскости и прижимает тело к плоскости. Основное уравнение динамики в проекции на координатные оси приводит к выражению

$$mg \sin \alpha - \mu(mg \cos \alpha + Bqv) = ma.$$

Модуль максимальной скорости, которую разовьет тело, будет при $a = 0$.

9. Электрон ускоряется разностью потенциалов, и изменение кинетической энергии электрона ΔW_k равно работе поля. Модуль скорости,

с которой электрон влетает в магнитное поле, $v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2eU}{m}}$. Радиус винтовой линии, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле, $R = \frac{mv \sin \alpha}{Be}$. Шаг спирали (винтовой линии) $h = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{Be}$.

10. Модуль скорости электронов, влетающих в конденсатор, $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$.

Магнитное поле закручивает электроны, и они попадают на одну из пластин. Конденсатор заряжается до тех пор, пока возникшая электростатическая сила не станет равна по модулю силе Лоренца: $eE = Bev$. Разность потенциалов между пластинами конденсатора $U = Ed$; выражая емкость конденсатора

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_0 S}{d},$$

где Q — заряд конденсатора, получим формулу для определения искомого заряда.

§ 22

Тест В1

10. ЭДС индукции \mathcal{E}_i , возникающая в рамке, изменяется со временем, как показано на рисунке 32. Обратите внимание на то, что она возникает только при изменении магнитного потока, пронизывающего рамку, т. е. при входе и выходе рамки из области магнитного поля. Длительность этих процессов $\Delta t = \frac{a}{v}$. Величина ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = Bav.$$

Искомое количество теплоты $Q = 2 \frac{\mathcal{E}_i^2}{R} \Delta t$.

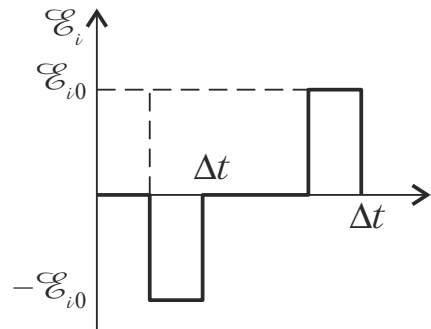


Рис. 32

Тест В2

3. В проводнике, пересекающем линии индукции магнитного поля, возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = -Blv$ и индукционный ток направлен так, что сила Ампера направлена противоположно силе тяжести. Максимальная скорость движения проводника будет при $\vec{a} = \vec{0}$, где \vec{a} — ускорение проводника.

7. В контуре действуют две ЭДС: ЭДС источника тока \mathcal{E} и ЭДС индукции \mathcal{E}_i , создающие токи в противоположных направлениях. Примените закон Ома для полной цепи и рассчитайте тепловую мощность, выделяющуюся в проводнике.

9. Примените формулу $|\mathcal{E}_i| = Blv$ (в данном случае закон Фарадея $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ позволяет рассчитать только среднее значение ЭДС индукции).

10. Обратите внимание на то, что в начальный момент времени модуль скорости и соответственно ЭДС индукции равны нулю. Ускорение вызывает сила Ампера, модуль которой $F_A = ma_0$. Это дает возможность определить ЭДС источника тока \mathcal{E}_0 . В дальнейшем в контуре действуют две ЭДС: источника тока \mathcal{E}_0 и ЭДС индукции \mathcal{E}_i , зависящая от модуля скорости движения проводника. При максимальной скорости движения проводника они компенсируют друг друга.

§ 23

Тест В2

1. Индуктивность длинного соленоида ($l \gg d$, где l — длина соленоида, а d — диаметр) $L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S$.

4. Единственная ЭДС, действующая в контуре, — это ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

По закону Ома она будет равна напряжению U_R на сопротивлении R , где $U_R = \langle I \rangle R$, $\langle I \rangle$ — средняя сила тока в катушке, $L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = \langle I \rangle R$. Заряд, прошедший по соленоиду, $q = \langle I \rangle \Delta t$.

6. Сила тока в цепи увеличивается. Ток самоиндукции направлен против основного и приложенное напряжение в цепи $U = U_R + |\mathcal{E}_{si}|$.

7. Изменение магнитного потока пропорционально изменению тока.

8. Энергия магнитного поля, «сцепленного» с соленоидом, переходит при размыкании в теплоту. Из этих соображений можно определить силу тока I_0 до размыкания соленоида, а затем и напряжение на соленоиде.

9. Обмотка катушки выполнена из толстого медного провода и омическим сопротивлением катушки до и после размыкания можно пренебречь.

10. При изменении магнитного потока, пронизывающего соленоид, возникает ЭДС индукции. Сила тока в соленоиде изменяется и индуцируется ЭДС самоиндукции. Заметьте, что ЭДС самоиндукции создает ток, направленный противоположно возрастающему току ЭДС индукции. Применяв закон Ома для двух ЭДС, действующих в соленоиде, можно определить заряд q , который пройдет по виткам соленоида.

§ 24

Тест В2

1. Модули скорости и ускорения колеблющейся точки подчиняются законам: $v = 10 \cos 2t$; $|a| = 40 \sin 2t$.

Кинетическая энергия точки $W_k = \frac{m(10\cos 2t)^2}{2}$.

Потенциальная энергия точки $W_{\text{п}} = W - W_k = \frac{m(10\sin 2t)^2}{2}$.

Согласно условию: $F_1 = m \cdot 40 \sin 2t$; $W_{\text{п}} = \frac{m(10\sin 2t_1)^2}{2}$. Решение этих

уравнений определит момент времени t . Не забудьте, что в физике углы измеряют в радианах.

4. Отведите маятник от положения равновесия на x , малое по сравнению с l . На маятник действуют силы, направленные к положению равновесия: $F = F_{\text{упр}} + mg \sin \alpha \approx kx + mgx/l$. Движение происходит по дуге окружности, и равнодействующая сила $F = -x \left(k + \frac{mg}{l} \right)$ (x отсчитывается от положения равновесия). Это типичная квазиупругая сила, пропорциональная смещению. Модуль ускорения такой колебательной системы $a = \omega^2 x$, где ω — циклическая частота; $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Теперь можно определить период колебаний такого маятника.

5. Амплитуда колебаний оставшейся части груза $A = \frac{\Delta mg}{k}$ (докажите). Период колебаний $T = 2\pi \sqrt{\frac{m - \Delta m}{k}}$. Из этих соображений можно определить искомую величину.

8. Бруски колеблются относительно центра масс системы. Пусть расстояние AC от тела массой m_1 до центра масс равно l_1 , длина пружины в недеформированном состоянии l . По правилу моментов

$$m_1 g l_1 - m_2 g (l - l_1) = 0 \quad \text{и} \quad l_1 = \frac{m_2 l}{m_1 + m_2}.$$

Колебательная система состоит из двух пружин длиной l_1 и $l - l_1$ (точка C неподвижна). Жесткость пружин обратно пропорциональна длине пружин (это следует из закона Гука $\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \frac{F}{S}$). Поэтому жесткость пружины длиной l_1 $k_1 = k \frac{l}{l_1}$.

Периоды колебаний обоих пружинных маятников одинаковы, бруски колеблются синхронно, и период T можно определить, зная k_1 и m_1 .

§ 25

Тест В2

6. Циклическая частота колебаний $\omega = 6,0 \cdot 10^3$ с:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

По закону сохранения энергии полная энергия в контуре $W = W_{\text{эл. макс}} = W_{\text{магн. макс}}$ или

$$\frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}, \quad (2)$$

где U_0 и I_0 — амплитудные значения напряжения на конденсаторе и силы тока в катушке колебательного контура ($U_0 = 3,0$ В; $I_0 = 2,0$ А).

Из решения уравнений (1–2) найдем L — индуктивность катушки.

10. При резонансе напряжений период колебаний в контуре $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (напряжения на катушке и конденсаторе одинаковы, но противоположны по знаку). В этом случае максимальная энергия в катушке контура равна максимальной энергии в конденсаторе.

$$\frac{LI_0^2}{2} = \frac{CU_0^2}{2}; \quad \frac{L}{C} = \left(\frac{U_0}{I_0}\right)^2 = R^2 \text{ и } L = CR^2.$$

Длина электромагнитной волны, на которую настроен колебательный контур, $\lambda = C_0 T = C_0 2\pi\sqrt{LC} = C_0 \cdot 2\pi CR$, где C_0 — скорость электромагнитных волн в вакууме ($C_0 = 3,0 \cdot 10^8$ м/с).

§ 26

Тест В1

2. Пусть половину времени t на клемме A плюс. Диод D в этом случае открыт и сопротивления R_1 и R_2 замкнуты накоротко. Количество теплоты, которое выделяется в схеме за время $t_1 = \frac{t}{2}$, $Q_1 = \frac{U_d^2}{R_3} \frac{t}{2}$. Когда на

клемме A минус, диод D заперт и ток через него не проходит. Количество теплоты, которое выделится в схеме за $t_2 = \frac{t}{2}$, $Q_2 = \frac{U^2}{R_{1,2} + R_3} \frac{t}{2}$, где

$$R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Средняя мощность, выделяемая в схеме,

$$\langle P \rangle = \frac{Q_1 + Q_2}{t}.$$

8. Пусть напряжение в сети переменного тока изменяется по закону

$$U = U_0 \sin \omega t, \tag{1}$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$ — циклическая частота. Лампа зажигается при $U = U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$.

Это позволяет из (1) найти момент времени, когда лампа зажигается и гаснет, и искомую величину.

Тест В2

3. Когда на клемме A плюс, диод D открыт и работает электрическая схема, представленная на рисунке 33. Когда диод D заперт, электрическая схема имеет вид, представленный на рисунке 34.

Средняя мощность, которая выделится на резисторе R_2 за достаточно большой промежуток времени t ,

$$P = \frac{Q_1 + Q_2}{t},$$

где Q_1, Q_2 — количества теплоты, которые выделяются на резисторе R_2 за $\frac{t}{2}$.

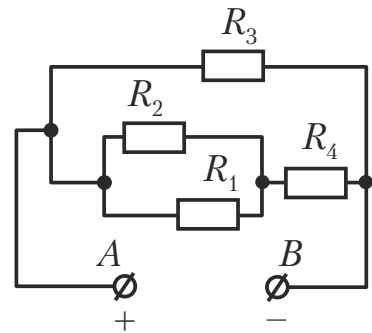


Рис. 33

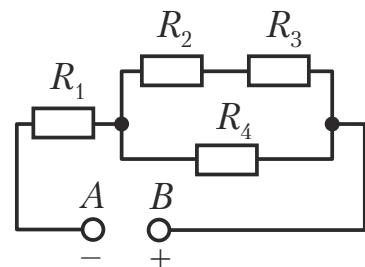


Рис. 34

§ 27

Тест В2

3. «Излучают» два точечных источника S_1 и S_2 (изображение S_1 в зеркале находится на расстоянии $2l$ от источника S_1 (рис. 35)). Определим оптическую разность хода

$$\Delta r = r_1 - r_2.$$

Из треугольников ΔAS_1B и ΔS_2CB имеем:

$$r_1^2 = L^2 + (x+l)^2; \quad r_2^2 = L^2 + (x-l)^2;$$

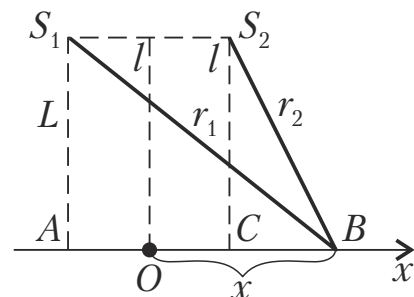


Рис. 35

$$r_1^2 - r_2^2 = 4xl; \quad r_1^2 - r_2^2 = (r_1 - r_2)(r_1 + r_2);$$

$$r_1 + r_2 \approx 2L \text{ и } \Delta r = \frac{4lx}{2L} = \frac{2lx}{L}.$$

Для m — максимума $\Delta r = 2m \frac{\lambda}{2}$, где $m = 0, 1, 2 \dots$ и $x_m = \frac{m\lambda L}{2l}$, для $(m+1)$ —

$$\text{максимума } x_{m+1} = \frac{(m+1)\lambda L}{2l}. \quad \Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda L}{2l}.$$

4. Оптическая разность хода интерферирующих лучей

$$\Delta = 2d_m n + \frac{\lambda}{2},$$

где d_m — толщина клина в месте нахождения интерференционной полосы (рис. 36).

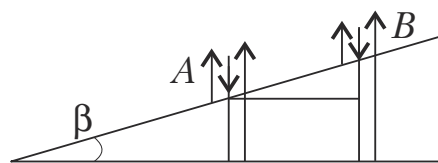


Рис. 36

Для темной полосы с номером m : $\Delta = 2d_m n + \frac{\lambda}{2} = 2(m+1) \frac{\lambda}{2}$; $2d_m n = m\lambda$.

Для $m+10$ темной полосы: $2d_{m+10} n = (m+10)\lambda$; $d_{m+10} - d_m = \frac{5\lambda}{n}$.

Угол β мал, и $\sin \beta \approx \beta$, $AB = 1 \text{ см}$. $\beta \approx \frac{d_{m+10} - d_m}{AB}$.

5. Оптическая разность хода интерферирующих лучей

$$\Delta = (OC + CB)n - OA + \frac{\lambda}{2}$$

(при отражении от оптически более плотной преграды — мыльной пленки — в точке O произойдет потеря полуволны) (рис. 37);

$$OC = \frac{d}{\cos \beta},$$

$$OA = OB \sin \alpha = 2d \operatorname{tg} \beta \sin \alpha.$$

Для максимального усиления света по направлению лучей 1, 2 $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$, $m = 0, 1, 2 \dots$. При минимальной толщине d_1 пленки:

$$\Delta = \frac{2d_1 n}{\cos \beta} - 2d_1 \operatorname{tg} \beta \sin \alpha + \frac{\lambda}{2} = \lambda.$$

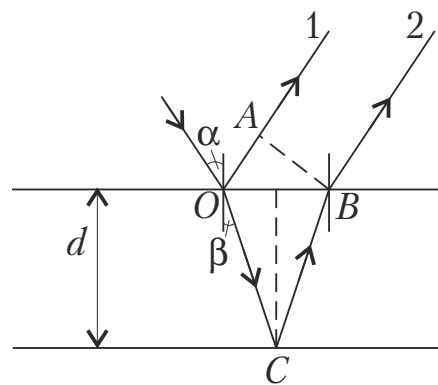


Рис. 37

9. Для первого дифракционного максимума при $\lambda_1 = 490 \text{ нм}$ $d \sin \varphi = \lambda_1$, где $\varphi = 10^\circ$. Тогда $d = \frac{\lambda_1}{\sin \varphi}$. Для длин волн λ_1 и λ_2 в спектре второго порядка

$$\sin \varphi_1 = \frac{2\lambda_1}{d}; \quad \sin \varphi_2 = \frac{2\lambda_2}{d}$$

и можно определить угловое расстояние $\Delta\varphi$ между этими линиями в спектре второго порядка.

§ 28

Тест В1

5. Треугольники ABC и CED (рис. 38) подобны по трем углам. Из подобия треугольников

$$\frac{AB}{ED} = \frac{BC}{CD}; \quad \frac{l}{\frac{H}{2}} = \frac{BC}{\frac{H}{2} - BC}$$

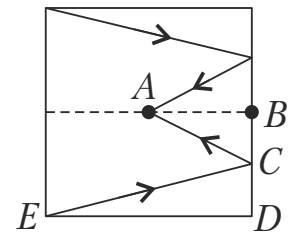


Рис. 38

Из последнего равенства определим BC . Минимальная высота зеркала равна $2BC$.

Тест В2

9. Из подобия треугольников OSC и A_1B_1C (рис. 39)

$$\frac{H}{h} = \frac{OC}{A_1C}, \tag{1}$$

из подобия треугольников SOD и A_2B_2D имеем:

$$\frac{H}{h} = \frac{OD}{A_2D}. \tag{2}$$

$$OC = \frac{H}{h} \cdot l_1;$$

$$OD = OC - l_1 - (vt - l_2).$$

Из соотношения (2) можно определить модуль скорости движения мальчика.

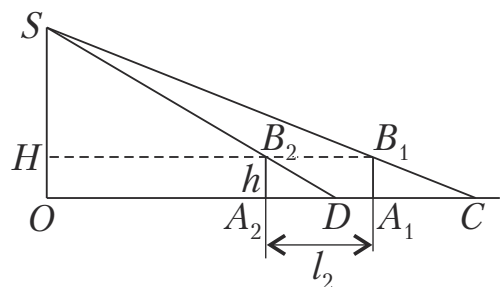


Рис. 39

§ 29

Тест В2

1. Обратите внимание на то, что пучок света узкий. Поэтому α и β малы и $\sin \alpha \approx \alpha$, $\sin \beta \approx \beta$. Из треугольника COD (рис. 40) $\sin \alpha \approx \alpha = \frac{r}{R}$.

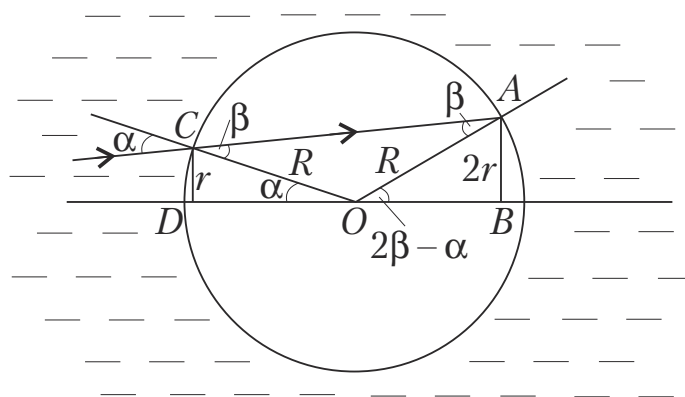


Рис. 40

Из треугольника OAB $\sin(2\beta - \alpha) = \frac{2r}{R} \approx 2\beta - \alpha$. $2\sin \alpha = \sin(2\beta - \alpha)$;

$$2\alpha = 2\beta - \alpha; \quad \beta = \frac{3}{2}\alpha.$$

Показатель преломления жидкости $n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \approx \frac{\beta}{\alpha} = \frac{3}{2} = 1,5$.

5. Если бы не было жидкости с показателем преломления n_1 , то источник света наблюдался бы в точке S' (рис. 41), причем кажущаяся глубина

$$BS' = \frac{a_2}{n_{12}} = \frac{a_2 n_2}{n_1} \text{ (докажите).}$$

Расстояние $AS' = a_1 + \frac{a_2 n_2}{n_1}$. После прохож-

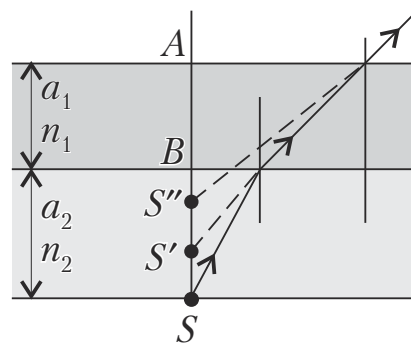


Рис. 41

дения жидкости с показателем преломления n_1 источник света будет наблюдаться в точке S'' , тогда

$$AS'' = \frac{AS'}{n_1} = \frac{a_1}{n_1} + \frac{a_2 n_2}{n_1^2} = \frac{1}{n_1} \left(a_1 + \frac{a_2 n_2}{n_1} \right).$$

6. Угол отклонения луча призмой $\angle NDK = \angle KBD + \angle DKB$ (как внешний угол треугольника BDK) (рис. 42). Обозначим $\angle \beta_1 = \angle KBM$; $\angle \beta_2 = \angle MKB$. Тогда

$$\varphi = 2\alpha - \beta_1 + \alpha - \beta_2 = 3\alpha - (\beta_1 + \beta_2).$$

Рассмотрим $\triangle BAK$:

$$180^\circ = \frac{\alpha}{2} + \angle ABK + \angle AKB =$$

$$= \frac{\alpha}{2} + 90^\circ - \beta_1 + 90^\circ - \beta_2;$$

$$\beta_1 + \beta_2 = \frac{\alpha}{2}.$$

Искомый угол $\varphi = 3\alpha - \frac{\alpha}{2} = 2,5\alpha = 75^\circ$.

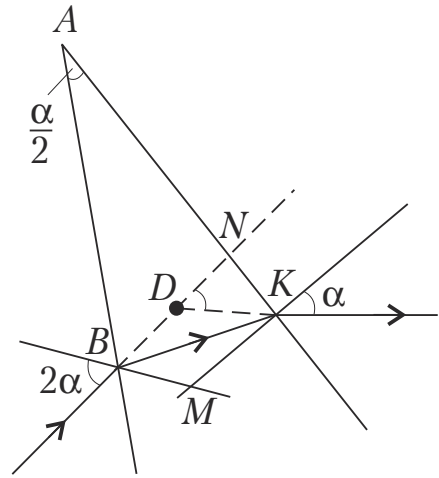


Рис. 42

§ 30

Тест В1

8. При неизменном расстоянии между предметом и экраном четкие изображения на экране будут, если $d_1 = d$; $f_1 = f$ и $d_2 = f$; $f_2 = d$ (это следует из формулы линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$). Поэтому линейное увеличение в первом случае $\Gamma_1 = \frac{H_1}{H} = \frac{f}{d}$, во втором $\Gamma_2 = \frac{H_2}{H} = \frac{d}{f}$, где H — высота предмета. Отсюда $H_1 H = H^2$.

Тест В2

2. В первом случае (действительное изображение)

$$\frac{f_1}{d_1} = \Gamma = 2; \quad \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}.$$

Во втором случае линзу передвигают на $l = 10$ см ближе к предмету, тогда

$$\frac{f_2}{d_1 - l} = \Gamma; \quad \frac{1}{d_1 - l} - \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}.$$

Из приведенной системы уравнений можно определить фокусное расстояние линзы.

4. Одно изображение источника света действительное, а изображение второго источника света мнимое.

5. Из чертежа (рис. 43) следует, что $OC = \frac{OC_1 + OC_2}{2} = 15$ см и теперь можно применить формулу линзы.

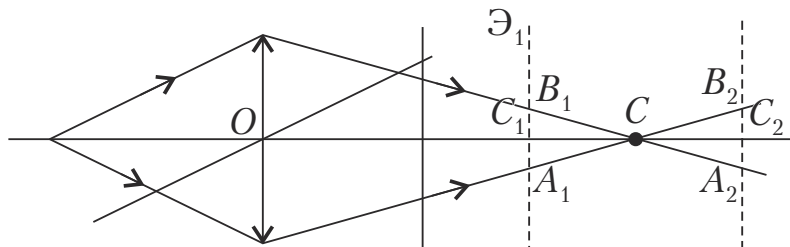


Рис. 43

§ 31

Тест В2

1. Относительно первой инерциальной системы корабль движется со скоростью, модуль которой $v = 0,8c$. Примем эту ИС за неподвижную. Тогда вторая ИС движется относительно первой со скоростью модулем v_{21} , а корабль движется относительно этой ИС со скоростью модулем v . По правилу сложения скоростей модуль скорости корабля относительно первой ИС (неподвижной)

$$v = \frac{v_{21} + v'}{1 + \frac{v_{21} \cdot v'}{c^2}}. \quad \text{Отсюда } v_{21} = \frac{v - v'}{1 - \frac{v \cdot v'}{c^2}}.$$

3. По формуле релятивистского сокращения длины: $\frac{l_0}{2} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.

Кинетическая энергия релятивистского электрона

$$W_{\kappa} = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

и равна работе внешнего электростатического поля $A = eu$, где u — ускоряющая разность потенциалов, e — элементарный электрический заряд.

4. Скорость релятивистской частицы $v = 0,998c$. Промежуток времени, за которое частица преодолела расстояние $s = 600$ м (координатное время), $\Delta t = \frac{s}{v}$. Этот промежуток времени связан с собственным временем t_0 преобразованием Эйнштейна $\Delta t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

§ 32

Тест В2

1. Минимальное значение мощности, при котором глаз ощущает световой поток, $P_{\min} = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N_1}{t}$, где $\frac{N_1}{t} = 50 \frac{1}{c}$. На расстоянии r от точечного источника на зрачок попадает количество световой энергии $W = \frac{PtS_1}{S}$,

где $S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь зрачка глаза, $S = 4\pi r^2$. Максимальное расстояние, на котором можно увидеть этот световой источник: $r = \frac{d}{4} \sqrt{\frac{P\lambda}{hc \frac{N_1}{t}}}$.

4. Скорость электронов соизмерима со скоростью света в вакууме, и кинетическая энергия электронов

$$W_{\text{к}} = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

Если налетающий электрон полностью передает свою кинетическую энергию атому, то энергия рентгеновского фотона $W_{\text{ф}} = W_{\text{к}}$ электрона, тогда

$$\frac{hc}{\lambda} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

5. В результате фотоэффекта шарик заряжается и его заряд $q_1 = 4\pi\epsilon_0 R\phi_1$, где ϕ_1 — потенциал шарика, определяемый по уравнению

Эйнштейна для фотоэффекта: $\varphi_1 = \frac{1}{e} \left(\frac{hc}{\lambda_1} - A \right)$. Аналогичная ситуация

наблюдается и при облучении шарика светом с длиной волны λ_2 . Заряд шарика изменится на $\Delta q = q_2 - q_1$.

6. Смотрите решение задачи № 5.

8. Модуль импульса, полученный пластинкой, $p = p_1 + p_2$, где p_1 — модуль импульса от падающего светового потока, а p_2 — от вылетевших электронов. Энергия падающего светового потока $W_\phi = N_1 \Delta t$; им-

пульс $p_1 = \frac{W}{c}$. Число выбитых электронов равно $\frac{W_\phi}{W} \cdot 0,12$, скорость вы-

битого электрона $v = \sqrt{\frac{(W - A_{\text{вых}}) \cdot 2}{m}}$. Импульс отдачи при вылете элек-

тронов $p_2 = mv \cdot \frac{W_\phi}{W} \cdot 0,12$. При численных расчетах используйте едини-

цы физических величин в СИ.

9. По второму закону Ньютона $\vec{F} \Delta t = \Delta(m\vec{v})$ получим, что модуль импульса фольги $mv = \frac{W}{c}$. Пусть фольга поднялась на высоту h под действием светового импульса, тогда

$$m\sqrt{2gh} = \frac{W}{c}, \quad (1)$$

где $h = l - l \cos \alpha = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}$. Подставляя в (1), для угла отклонения фоль-

ги α получим: $\alpha = 2 \arcsin \left(\frac{W}{2mc\sqrt{gl}} \right)$.

§ 33

Тест В2

3. Длину волны ультрафиолетовой линии в серии Лаймана определим по формуле дифракционной решетки $d \sin \varphi = m\lambda$, где $d = \frac{10^{-3}}{500}$ м (постоянная решетки). Для серии Лаймана длина волны

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

где n — искомая величина.

7. Пусть u — скорость атома гелия после удара. По закону сохранения импульса: $mv_1 = -\frac{1}{2}mv_1 + 4mu$, откуда

$$U = \frac{3v}{8}. \quad (1)$$

По закону сохранения энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_1^2}{8} + \frac{4mu^2}{2} + W, \quad (2)$$

где W — энергия возбуждения атома гелия: $W = \frac{3}{32}mv^2$. Атом гелия высвечивает энергию возбуждения и $W = \frac{hc}{\lambda}$.

9. Максимальная длина волны в серии Пашена испускается при переходе электрона в атоме водорода с четвертого энергетического уровня на третий: $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ $m = 3$; $n = 4$, но для этого электроны в атоме водорода должны перейти с уровня $m_1 = 1$ на $n = 4$. Энергия, необходимая при этом переходе, $W = hcR\left(\frac{1}{m_1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$. Эта энергия передается электронам при столкновении атомов со средней кинетической энергией $W_k = \frac{3}{2}kT$. Тогда

$$2W_k = W, \quad \text{или} \quad 2 \cdot \frac{3}{2}kT = hcR\left(\frac{1}{m_1^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

где k — постоянная Больцмана, а R — постоянная Ридберга.

10. Согласно первому постулату Бора для позитрония скорость и радиус вращения частиц относительно их центра масс определяются из уравнения

$$2mvr_n = n\frac{h}{2\pi}. \quad (1)$$

Между частицами действует сила притяжения

$$F = \frac{ke^2}{(2r_n)^2} = \frac{mv^2}{r_n}. \quad (2)$$

Используя эти соотношения для $n = 1$ (минимальный размер), из (1–2) можно получить: $r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi me^2}$.

§ 34

Тест В1

6. В результате теплообмена между одинаковыми массами газа с температурами T_1 и T_2 установится температура $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$. Модуль установившейся скорости молекул в сосудах

$$\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{2}(\langle v_1^2 \rangle + \langle v_2^2 \rangle)}.$$

10. Число молекул идеального газа в единице объема n_0 можно определить из основного уравнения МКТ: $p = n_0 kT$, где $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па, а $T = 273$ К. Объем пространства, приходящийся на одну молекулу, $V_1 = \frac{1}{n_0} = \frac{kT}{p}$. Среднее расстояние между молекулами идеального газа

$$a = \sqrt[3]{V_1} = \sqrt[3]{\frac{kT_1}{p}} \text{ (или, если считать молекулы сферами, то } d = \sqrt[3]{\frac{6V_1}{\pi}}).$$

Тест В2

8. Если $k\%$ молекул газа распадается на атомы (при постоянной температуре), то по закону Дальтона $p' = p_1 + p_2$, где p_1 — давление нераспавшегося двухатомного газа: $p_1 = (1-k)p$; p_2 — давление распавшегося газа: $p_2 = 2kp$; p — начальное давление газа: $\frac{p'}{p} = (1-k) + 2k = 1+k$.

§ 35

Тест А1

6. Температура и масса газа одинаковы. Процесс изотермический и описывается законом Бойля—Мариотта (см. рис. 44): $p_A Sh = (p_A + \rho gx) \left(\frac{h}{2} + x \right) \cdot S$.

Проще всего решать задачу, если p_A и h взять в сантиметрах. Тогда $76 \cdot 60 = (76 + x)(30 + x)$. Длина столбика воздуха $l = \frac{h}{2} + x$.

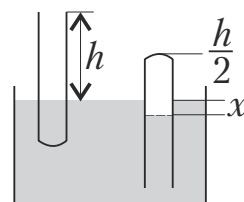


Рис. 44

10. Применяя уравнение Клапейрона, получим $\frac{\text{const} \cdot V}{V^2 T} = \text{const}$;
 $VT = \text{const}$ и $T \sim \frac{1}{V}$. При расширении газа температура уменьшается.

Тест А2

6. По условию $\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2}$ и $V_2 = 2V_1$ (рис. 45). Для части I по уравнению Клапейрона:



Рис. 45

$$\frac{p_1 V_1}{T_0} = \frac{p'_1 V'_1}{T_1}; \tag{1}$$

для части II:

$$\frac{p_1 V_2}{T_0} = \frac{p'_1 (V - V'_1)}{T_2}. \tag{2}$$

Разделив (1) на (2), определим

$$V'_1 = \frac{VT_1}{T_1 + 2T_2}; \quad V'_2 = \frac{2VT_2}{T_1 + 2T_2}, \quad \frac{V'_1}{V'_2} = \frac{T_1}{2T_2} = \frac{400}{300} = \frac{4}{3}.$$

Тест В1

3. Процесс изотермический для состояния 1—2, и $p_1 V_1 = p_A V_2$, где $p_1 = p_A - \rho g h_0$ (рис. 46);

$$(p_A + \rho g l_0) l_1 = p_A l_2. \tag{1}$$

Для состояния 2—3:

$$p_A l_2 = (p_A - \rho g l_0) l_x. \tag{2}$$

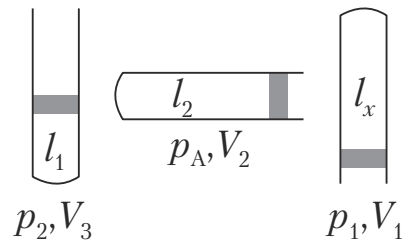


Рис. 46

Решая систему уравнений (1—2), определим длину воздушного столба l_x .

Тест В2

2. Для части трубки I (рис. 47) по уравнению Бойля—Мариотта (изотермический процесс)

$$p_0 \left(\frac{L-l}{2} \right) S = p_1 \left(\frac{L-l}{2} + \Delta l \right) S. \tag{1}$$

Для части II:

$$p_0 \left(\frac{L-l}{2} \right) S = p_2 \left(\frac{L-l}{2} - \Delta l \right) S. \quad (2)$$

p_1 и p_2 — давления в верхней и нижней части трубки, причем

$$p_2 - p_1 = \rho g l, \quad (3)$$

где ρ — плотность ртути. Приравнявая 1 и 2 с учетом (3), определим начальное давление p_0 .

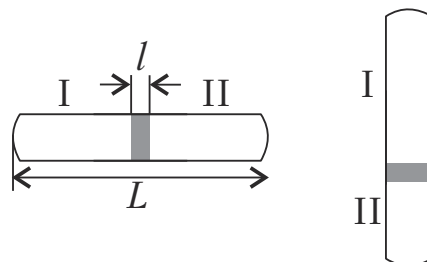


Рис. 47

10. Поршень будет перемещаться, пока давление в обеих частях цилиндра не выровняется. Примените к обоим газам уравнение Клапейрона—Менделеева при одинаковом давлении.

§ 36

Тест В1

8. Введем коэффициент пропорциональности α . $p \sim V$, $p = \alpha V$. График этого процесса представлен на диаграмме $p-V$ (рис. 48). Работа газа равна площади фигуры $V_1 p_1 p_2 V_2$.

$$A = \frac{(p_2 + p_1)}{2} (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2).$$

Применяя уравнение Клапейрона—Менделеева при $\nu = 1$ моль и $p = \alpha V$, получим $\alpha V_2^2 = RT_2$ и $\alpha V_1^2 = RT_1$.

$$A = \frac{1}{2} R (T_2 - T_1).$$

Изменение внутренней энергии $\Delta U = \frac{3}{2} R (T_2 - T_1)$. Сообщенная газу те-

плота $\Delta Q = \Delta U + A = 2R(T_2 - T_1)$ и $\Delta T = \frac{\Delta Q}{2R}$.

9. КПД цикла $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}} + \Delta U}$, где $A_{\text{пол}}$ — полезная работа газа, равная площади фигуры 1—2—3—4 (рис. 49).

$$A_{\text{пол}} = (2p_1 - p_1)(3V_1 - V_1) = 2p_1 V_1.$$

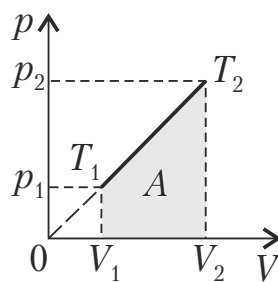


Рис. 48

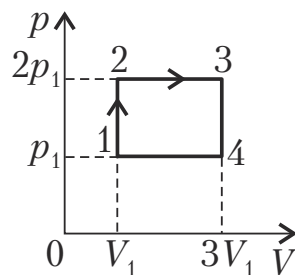


Рис. 49

Затраченная (полная) работа газа на участке 2—3:

$$A_{\text{затр}} = A_{23} = 2p_1(3V_1 - V_1) = 4p_1V_1.$$

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) = \frac{3}{2}(2p_1 \cdot 3V_1 - p_1V_1) = \frac{15}{2}p_1V_1.$$

$$\text{КПД цикла } \eta = \frac{2p_1V_1}{4p_1V_1 + \frac{15}{2}p_1V_1} = \frac{4}{23}; \quad \eta = 17\%.$$

Тест В2

6. Согласно условию $T = \alpha V^2$. По уравнению Клапейрона—Менделеева $pV = \nu R\alpha V^2$; $p = \nu R\alpha V$ (рис. 50). Работа газа

$$\begin{aligned} A &= \frac{p_1 + p_2}{2}(V_2 - V_1) = \\ &= \frac{\nu R\alpha(V_2^2 - V_1^2)}{2} = \frac{\nu R(T_2 - T_1)}{2} = \frac{1}{2}\nu R\Delta T. \end{aligned}$$

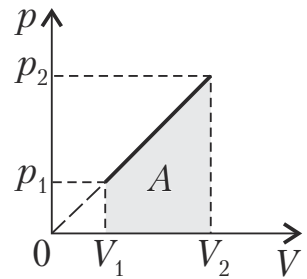


Рис. 50

8. Перейдем от диаграммы цикла в координатах p, U к диаграмме цикла в координатах p, V (рис. 51) при помощи уравнения Клапейрона—Менделеева $pV = \nu RT$. Прямая 1—2 $p \sim U$. Вводя коэффициент пропорциональности, получим

$$p = \alpha U = \alpha \frac{3}{2}\nu RT, \quad pV = \nu \alpha \frac{3}{2}\nu RT = \nu RT;$$

$$V = \frac{2}{3\alpha} = \text{const.}$$

Таким образом, прямые 1—2 и 3—4 — изохоры, причем $V_0 = \frac{\nu RT_0}{p_0}$,

а $V_2 = \frac{4\nu RT_0}{2p} = 2V_0$. КПД цикла $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3 + \Delta U}$, где $A_{\text{п}} = p_0V_0$; $A_3 = 2p_0V_0$;

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu RT_3 - \frac{3}{2}\nu RT_1; \quad \Delta U = \frac{3}{2}(4p_0V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2}p_0V_0.$$

$$\eta = \frac{p_0V_0}{2p_0V_0 + \frac{9}{2}p_0V_0}.$$

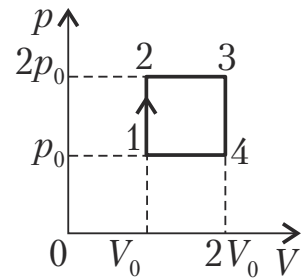


Рис. 51

§ 37

Тест А2

9. КПД идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, $\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. Во втором случае $\eta_2 = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + 40}$.

$\eta_1 > \eta_2$ (сравните знаменатели).

$$\eta_1 - \eta_2 = \frac{(T_1 - T_2) \cdot \Delta T}{T_1 (T_1 + \Delta T)}, \text{ где } \Delta T = 40 \text{ К.}$$

$$\frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1} = \frac{\Delta T}{T_1 + \Delta T} = \frac{40}{(400 + 40)} = 0,091.$$

КПД двигателя уменьшится на 9,1 %.
Аналогично решается и задача В2 № 8.

Тест В2

3. Система замкнутая, и количество теплоты в системе $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = \text{const}$ (рис. 52).

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 = 0, \quad (1)$$

где $\Delta Q_1 = m_{\text{л}} \lambda$, $\Delta Q_2 = m_2 C_{\text{в}} (\Theta - 0)$; $\Delta Q_3 = C(\Theta - 0)$; $\Delta Q_4 = C_{\text{в}} m_1 (\Theta - t_1)$.

Подставляя ΔQ_i в (1), определим массу льда в снеге.

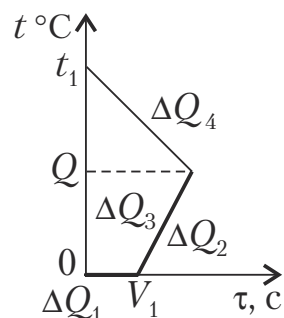


Рис. 52

4. После опускания первого тела, теплоемкость которого c , имеем: $c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_3 - t_1) + c(t_3 - t_2) = 0$, где $t_3 = 40$ °С, $t_1 = 10$ °С, $t_2 = 100$ °С.

$$c = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} \cdot 30}{60} = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}}}{2}. \quad (1)$$

После опускания в воду второго тела уравнение теплового баланса имеет вид:

$$c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_x - t_3) + c(t_x - t_3) + c(t_x - t_2) = 0.$$

Подставим (1):

$$2c(t_x - t_3) + c(t_x - t_3) + c(t_x - t_2) = 0; \quad t_x = \frac{3t_3 + t_2}{4}.$$

§ 38

Тест В2

3. Шарик при нагревании расширяется, и его объем при температурах t_1 и t_2 : $V_1 = V_0(1 + 3\alpha\Delta t_1)$; $V_2 = V_0(1 + 3\alpha\Delta t_2)$; плотность шарика при нагревании уменьшается (керосин увеличивает объем), тогда

$$\rho_1 = \frac{\rho_k}{1 + \beta\Delta t_1}; \rho_2 = \frac{\rho_k}{1 + \beta\Delta t_2}.$$

Сила натяжения нити в первом случае: $T_1 = mg - F_{\text{Арх1}} = mg - \rho_k V_1 g =$
 $= mg - \frac{\rho_k mg(1 + 3\alpha\Delta t_1)}{(1 + \beta\Delta t_1)\rho_{\text{ст}}}$; $T_2 = mg - \frac{\rho_k mg(1 + 3\alpha\Delta t_2)}{(1 + \beta\Delta t_2)\rho_{\text{ст}}}$; $\Delta T = |T_1 - T_2|$.

4. При слиянии мелких капель в крупную выделяется энергия $A = \sigma|\Delta S|$, где ΔS — изменение площади поверхности;

$$|\Delta S| = S_1 - S_2 = n \cdot S_m - S_6,$$

где S_m — площадь малой капли, S_6 — площадь большой капли;

$S_m = 4\pi r^2$; $S_6 = 4\pi R^2$; n — число капель; $n = \frac{V_6}{V_m} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{R^3}{r^3}$, R и r — радиусы большой и малой капли.

$$A = \sigma \left(4\pi r^2 \frac{R^3}{r^3} - 4\pi R^2 \right).$$

10. Предел прочности — минимальное напряжение, при котором материал разрушается: $\sigma_{\text{пр}} = \frac{mg}{S}$, где $m = V\rho = hS\rho$ и $h = \frac{\sigma}{\rho g}$.

§ 39

Тест В2

2. Масса ядра углерода в $k = 12$ раз больше массы нейтрона, и при упругом ударе нейтрон отразится от ядра углерода. По закону сохранения импульса: в проекции на ось y , совпадающую с направлением скорости налетающего нейтрона:

$$m_1 v_1 = -m_1 v_2 + m_2 v_3, \quad (1)$$

где v_1, v_2, v_3 — модули скоростей налетающего v_1 и отраженного v_2 нейтронов и ядра v_3 .

При упругом ударе выполняется закон сохранения механической энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_2^2}{2} + \frac{m_2 v_3^2}{2}. \quad (2)$$

Совместное решение (1–2) позволит определить $\Delta W_{\text{к}} = \frac{m_2 v_3^2}{2}$.

3. Примените закон сохранения импульса при условии, что ядро вначале покоилось.

6. Протон и ядро заряжены одноименными зарядами, и на минимальном расстоянии между ними модули скоростей протона и ядра будут одинаковыми. Для этого момента времени закон сохранения импульса $m_1 \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_1$. Закон сохранения энергии для минимального расстояния r_{min} между протоном и ядром:

$$\frac{m_1 v^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_1^2}{2} + \frac{kq_1 q_2}{r_{\text{min}}},$$

где q_1 и q_2 — заряды протона и ядра.

§ 40

Тест В2

3. Примените закон сохранения импульса $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = 0$ для продуктов синтеза.

4. Примените закон сохранения импульса и энергии, учитывая релятивистские формулы

$$\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{W_1}{c} - \frac{W_2}{c}; \quad (1)$$

$$\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = W_1 + W_2, \quad (2)$$

и рассчитайте отношение $\frac{W_1}{W_2}$.

■ § 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	1	4	1	2	2	3	3	4	2	5
A2	3	5	3	4	2	5	4	4	1	2
B1	5,4	0,20	2	6	30	15,0	45	17	-2	2,0
B2	90,0	90	6,0	50	72	20	0,5	87,5	35	7,1

■ § 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	3	3	2	1	4	4	4	2	3
A2	5	2	4	4	3	3	5	5	1	2
B1	4	10	50	9	10	2,1	720	1215	780	5
B2	30	3,5	12	46	5	4,0	7	1,4	11	120

■ § 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	4	3	3	2	5	2	4	4	4
A2	5	2	3	4	3	3	2	1	4	2
B1	1,5	800	30	15	0	730	150	52	6,0	17
B2	0,75	1,00	5,2	3,0	12	7,1	13	33	35	7,2

■ Обобщающий тест № 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОТВЕТ	4	2	2	3	4	2	3	3	3	2
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ОТВЕТ	3	1	3	2	5	4	3	3	3	1

■ § 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	5	1	3	3	3	3	3	1	2
A2	1	4	3	2	5	2	2	4	1	2
B1	10	105	30	240	6,4	48	4,0	2	31	400
B2	2,0	17	4,0	1,9	25	3,3	1,0	0,50	0	10

■ § 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	4	3	1	3	3	3	2	3	3	1
A2	3	2	4	2	3	3	4	3	2	5
B1	2	1,7	5	19	9	5	11	8,3	2,0	24
B2	$3,5 \cdot 10^5$	8,0	$3,0 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^2$	21	5,1	5,0	2,0	2,0	$1,8 \cdot 10^2$

■ Обобщающий тест № 2

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	4	2	4	5	2	3	3	2	2
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	2	4	4	5	2	2	1	3	5	5

■ § 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	4	3	3	2	5	1	4	4	3
A2	3	3	3	4	3	3	3	1	5	1
B1	3,4	20	1,0	1,7	1,0	8,7	2,0	14	5,0	10
B2	30	0,57	5	26	4,0	71	0,40	96	100	12,5

■ § 7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	4	5	3	3	2	2	4	3	3	4
A2	2	3	3	1	3	4	2	3	2	3
B1	-12	41	1,25	0,60	10	0,52	3	3,0	45	20
B2	5,0	77	0,500	125	60	0,50	29	0,96	83	0,50

■ § 8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	4	3	4	3	4	3	3	3	2	2
A2	3	4	3	2	4	3	3	1	5	3
B1	6,0	130	30	5,0	0,90	0	50	4	3	54
B2	0,30	1,8	2,5	60	300	0	7,2	75	1	25

■ § 9

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	4	4	3	3	3	2	2	5	2
A2	2	3	5	5	3	2	1	5	5	3
B1	0	40	20	5,0	2	346	39	133	3	10,0
B2	50	3	10	50	26	50	60	12	18,4	2,0

■ § 10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	1	5	2	2	4	3	3	3	4
A2	1	3	4	5	4	5	1	2	2	4
B1	4	0,35	106	244	120	1,8	1	1250	10	0,17
B2	20	5,8	1,5	6,25	1,0	$2,0 \cdot 10^2$	102	82	1,6	0,40

■ Обобщающий тест № 3

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОТВЕТ	3	3	5	4	4	5	1	4	2	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ОТВЕТ	5	3	4	5	4	1	2	2	3	3

■ § 11

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	1	3	5	2	3	3	4	1	1
A2	2	5	3	1	1	3	4	4	2	3
B1	48	45	25	76	10	90	$2,2 \cdot 10^3$	1,3	0,64	22
B2	47	$\begin{matrix} -45 \\ 20 \end{matrix}$	17	6,1	79	96,6	5,0	60	6,3	23

■ § 12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	4	3	2	4	1	3	5	4	2
A2	3	4	3	5	2	3	2	5	2	5
B1	4,0	5,9	16	8,3	1,0	70	35	20	2	5,6
B2	26	2,3	8,6	51	29	48	0,15	1,0	65	4,2

■ § 13

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	3	5	4	4	4	4	5	4	4
A2	3	4	3	3	3	3	1	1	2	4
B1	1,5	-18	0,25	80	4	10	3,1	27	4	22
B2	-5,0	23	4,4	2,3	63	80	2,8	5,3	23	63

■ § 14

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	1	2	2	3	4	5	3	2	2
A2	3	5	3	2	2	3	3	4	5	2
B1	0,98	51	25	1,0	24	40	0,15	0,55	21	81
B2	$5,4 \cdot 10^3$	12	1,9	1,1	2,0	-3,0 -4,2	1,1	4,3	48	-0,45

■ § 15

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	3	4	1	2	2	5	1	3	2
A2	1	5	4	3	2	2	1	3	3	3
B1	25	15	3,0	30	20	2,0	6,0	2	25	5,0
B2	2	25	4,3	2,4	500	100	70	0,24	1,7	10

■ Обобщающий тест № 4

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	2	3	4	1	4	1	2	3	4
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	3	2	2	3	3	1	1	3	3	1

■ § 16

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	1	5	1	5	1	2	3	2	3	4
A2	3	5	2	4	3	5	3	3	1	3
B1	23	0,5	5,0	18	30	30	50	30	30	0,48
B2	19	184	11	2	0,83	30	1,5	2,4	3,6	33

■ § 17

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	2	5	3	2	3	2	2	2	4
A2	2	3	2	1	4	4	4	3	2	1
B1	0,75	15	0,58	15,4	3	2,0	30	40	4	4,5
B2	200	20,4	4	0,67	4,50	10,3	2,0	4,2	125	3,0

■ § 18

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	3	2	1	3	2	3	2	2	3
A2	2	1	2	4	3	5	3	4	3	4
B1	12	72	5,1	5	90	6	30	12	50	2,9
B2	10	200	45	22	16	21	27	60	226	2,9

■ § 19

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	4	3	3	4	2	3	1	3	2
A2	3	1	3	2	4	5	2	1	1	2
B1	0,23	233	43,0	1,6	30	32	10	21	2,6	3,4
B2	8,9	2,4	4,8	2,1	0,20	1,6	1,6	15	66	27

■ Обобщающий тест № 5

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОТВЕТ	3	3	2	2	2	3	5	5	2	1
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ОТВЕТ	3	4	2	2	4	5	4	4	5	1

■ § 20

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	3	1	1	2	4	3	3	3	5
A2	3	1	2	3	2	2	3	3	1	3
B1	30	2,4	2	0,2	12	2,0	0,25	0,1	3,8	0,50
B2	0,36	16	4	14	16	0,10	240	1,8	42	8,1

■ § 21

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	4	3	3	5	4	2	2	4	2
A2	5	2	1	2	4	4	2	2	2	3
B1	1,4	2,2	1,4	17,6	16	2,9	0,04	0,42	2,8	2,2
B2	30	10	39	1,2	8,5	27	2,7	3,7	1,2	6,3

■ § 22

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	1	2	1	2	4	2	3	4	2
A2	1	3	2	1	2	5	3	2	2	3
B1	18	60	12	31	0,5	0,5	4	10	45	1,2
B2	1,0	0,40	32	34	10	20	80	25	32	10

■ § 23

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	1	2	3	1	3	3	3	2	2	2
A2	2	2	3	4	1	3	3	1	4	1
B1	5,4	3,0	0,60	3	0,32	16	30	0,80	61	-19
B2	31	144	6	0,20	15	0,12	5,6	0,20	0,60	40

■ Обобщающий тест № 6

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	4	2	4	2	3	4	2	4	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	2	4	4	3	4	1	3	4	4	4

■ § 24

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	2	2	1	3	5	2	2	4	1
A2	2	4	4	4	5	2	2	4	3	2
B1	25	12	2,0	99	0,125	1,70	20	1,98	1,45	0,50
B2	0,25	2,0	0,90	562	17	2	5	0,50	2	567

■ § 25

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	5	2	3	1	3	4	4	2	5
A2	1	3	1	2	1	1	2	3	3	2
B1	50,9	1,6	0,32	2,0	50	4	63	0,25	188	38 0,30
B2	27	7	37,5	50	0,12	0,25	20	20	1,3	0,28

■ § 26

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	2	4	4	4	5	2	2	2	2
A2	3	3	4	1	1	4	2	3	4	1
B1	6,0	84,7	18	13	0,59	10,0	3,1	15	60	41,3
B2	0,630	9,7	12,0	1,2	8,6	0,16 8,0	2	25	1,3	61,5

■ Обобщающий тест № 7

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	1	4	4	3	3	3	3	3	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	1	2	2	3	4	1	5	1	2	2

■ § 27

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	4	3	5	3	5	2	4	3	4	5
A2	2	1	4	3	2	3	3	2	5	2
B1	2	500	1,1	10,4	17	0,50	90	5	30	62,5
B2	2	1,5	1,2	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,125	152	74	65	4,70	2,8

■ § 28

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	4	4	1	4	4	5	2	3	3	5
A2	3	3	4	1	4	3	5	5	2	4
B1	0	3	80	1,2	86	12	5,50	173	170	20
B2	3	30	2,1	201	4	13	5,0	1,8	1,0	120

■ § 29

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	4	2	4	2	5	3	1	5	3	2
A2	2	3	2	3	2	3	4	2	4	2
B1	9,3	0,550	5,3	55	1,54	50	62,5°	16	57	60
B2	1,5	30	1,9	10	56	75	30	31	12	4,7

■ § 30

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	1	2	2	4	5	2	3	3	2	3
A2	3	3	3	3	3	4	5	3	3	4
B1	0,15	20	-4,0	40	10	25	87	4	69	6,5
B2	20	10	4	186	10	3	67	-44	-6,0	2,0

■ Обобщающий тест № 8

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	5	5	5	4	1	3	2	4
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	4	2	3	2	4	1	5	3	4	2

■ § 31

	1	2	3	4	5
A1	1	2	1	3	3
A2	3	5	3	2	3
B1	$2,45 \cdot 10^8$	$1,60 \cdot 10^4$	378	0,0110	5,26
B2	0,5	0,38	512	0,13	0,993
	6	7	8	9	10
A1	3	3	4	5	2
A2	2	5	3	4	3
B1	$4,27 \cdot 10^{11}$	22	0,943	4,1	$2,82 \cdot 10^8$
B2	1,67	3,3	$2,88 \cdot 10^{12}$	1,3	0,58

■ § 32

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	4	1	2	2	2	3	1	1	3
A2	3	1	2	4	2	1	2	4	4	1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B1	3,6	0,16	$4,8 \cdot 10^{-27}$	1,2	160	224	1,8	18	1,3	0,35
B2	31	2,8	0,57	27	15	3,6	1,9	120	2,4	0,15

■ § 33

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	3	2	4	3	3	3	1	5	2
A2	2	4	4	1	4	5	3	2	3	4
B1	364	1,33	12,7	$3,30 \cdot 10^{15}$	$1,21 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^{16}$	27	2,2	0,212	$3,1 \cdot 10^{15}$
B2	4	40	2	$5,4 \cdot 10^{-19}$	-27,1	1,1	780	12	2600	53

■ § 34

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	3	3	1	3	3	1	3	2	3
A2	2	4	2	3	4	3	4	1	2	2
B1	4,0	100	12	183	3	453	19	24	66	3,4
B2	2,0	44	113	1	63	48	25	1,5	482	59

■ § 35

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	3	1	4	3	3	3	2	3	2
A2	2	2	2	4	5	5	4	4	1	4
B1	70	2	147	80	57	16	17	0,15	3	125
B2	412	50	360	300	$1,0 \cdot 10^3$	16	14	0,20	0,38	75

■ § 36

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	3	1	2	2	3	2	3	4	1	5
A2	5	4	2	1	3	5	3	2	4	2
B1	-6	0	5	13,7	50	105	0,16	2,00	17	29
B2	4	40	1,7	5,60	3,1	208	500	15	10	1

■ § 37

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	3	5	4	1	3	1	2	5	3
A2	3	1	3	2	4	5	2	4	3	1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B1	175	35	36	39	15	1,0	1,5	1,2	2,00	60
B2	160	20	50	55	52	5,0	18	11	1,0	300

■ § 38

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	5	4	1	3	3	5	4	2	2	4
A2	3	3	3	2	2	4	1	3	5	2
B1	278	25	8	17	24	100	99	24	2	3
B2	25	41	2,8	1	22	27	2,3	16	5,0	4,6

■ Обобщающий тест № 9

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОТВЕТ	5	4	3	1	3	4	2	3	4	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ОТВЕТ	2	1	5	3	3	4	1	1	1	4

■ § 39

	1	2	3	4	5
A1	4	1	2	3	3
A2	4	1	3	2	1
B1	0,36	5	$8,4 \cdot 10^{16}$	$2,57 \cdot 10^{23}$	$1,4 \cdot 10^{16}$
B2	$-9,6 \cdot 10^2$	28,4	80	75	0,130
	6	7	8	9	10
A1	3	2	4	1	4
A2	5	1	1	4	5
B1	237	$11,647 \cdot 10^{-27}$	5,381	1,8695	27,3
B2	$2,5 \cdot 10^{-13}$	1	0,3	24	38,8

■ § 40

	1	2	3	4	5
A1	3	2	4	2	2
A2	2	1	2	2	4
B1	17,7	-1,800	2,23	2,40	1,9
B2	4,80	67,70	80	9,0	1,0

	6	7	8	9	10
A1	5	3	5	3	3
A2	3	4	1	1	4
B1	$8,2 \cdot 10^{10}$	7,32	64	$8,96 \cdot 10^{19}$	18
B2	0,10	3,6	2,72	39	22,3

■ Обобщающий тест № 10

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	5	4	3	3	2	4	4	5	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	5	1	5	3	5	4	3	4	4	3

■ Контрольный тест на знание формул
и единиц СИ

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	5	2	2	4	1	1	2	2	4	3
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ	4	1	4	1	5	2	5	2	5	3

■ Проверь себя

Вариант 1

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Ответ	1	2	2	4	2	4	3	3	4
Балл	7	7	5	5	5	7	7	7	5
№	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Ответ	5	3	4	2	2	5	2	3	3
Балл	5	5	5	5	2	5	2	7	5
№	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Ответ	62,9	490	4,0	1,7	23	8,4	4,0	4,5	6
Балл	14	7	7	10	7	7	7	10	7
№	B10	B11	B12						
Ответ	32	18,6	2,9						
Балл	7	14	7						

Вариант 2

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Ответ	3	3	5	2	4	2	5	2	4
Балл	2	7	5	5	7	7	5	7	7
№	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Ответ	3	4	2	2	3	3	3	3	2
Балл	7	5	5	5	6	5	7	5	2
№	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Ответ	3,0	2,0	2,9	40	260	37	10,3	54	0,50
Балл	7	10	7	7	7	7	14	7	7
№	B10	B11	B12						
Ответ	4,9	0,78	39						
Балл	7	14	7						

Вариант 3

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Ответ	4	2	4	2	5	2	3	4	2
Балл	7	7	5	5	5	5	7	5	5
№	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Ответ	3	1	4	5	4	3	4	2	4
Балл	2	5	5	5	7	2	5	7	7
№	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Ответ	60	73	1,58	0,800	2,8	0,2	0,80	2	1,5
Балл	10	7	7	7	10	7	14	7	7
№	B10	B11	B12						
Ответ	14	10	$\frac{1}{16}$						
Балл	7	14	7						

■ Итоговые тесты

Вариант 1

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Ответ	2	2	4	4	3	4	2	3	3	5
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
Ответ	4	2	4	3	1	2	5	1	51	60

№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	50	17	7,7	6,7	2,9	0,63	48,6	32	11	1,8

Вариант 2

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	3	4	5	4	2	5	3	1	3	3
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	1	1	3	2	3	3	4	5	32	12
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	52	0,30	0,19	13	50	63	0,34	1,7	7,5	82

Вариант 3

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	2	4	4	3	2	3	5	4	2	2
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	5	4	3	4	5	3	5	2	0,33	0,30
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	0,21	61	9,1	18,4	1,7	4,9	20	10	67	4,44

Вариант 4

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	3	4	1	3	3	4	3	4	3	5
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	4	3	2	1	4	4	5	2	35	11
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	15	28	0,80	0,12	30	6,0	270	3,0	483	16

Вариант 5

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	2	3	3	2	4	3	4	1	4	4
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	2	3	1	4	2	5	5	3	4	0,26
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	13	54	12,5	16	100	42,4	2,3	10	17	5,14

Вариант 6

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	3	3	3	3	1	4	3	4	3	2
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	4	4	3	2	5	1	2	2	3,0	61
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	0,913	7,7	10	13	46	2,6	1,41	0,031	1,21	28

Вариант 7

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	4	5	2	2	4	5	1	2	2	5
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	2	1	4	5	3	2	4	4	30	4
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	200	14,5	7,7	3	2,3	3	8,0	4,5	10	8

Вариант 8

№	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
ОТВЕТ	4	4	3	1	2	3	1	3	2	3
№	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	B1	B2
ОТВЕТ	1	3	4	4	2	4	4	2	2,0	6
№	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
ОТВЕТ	35	25	14,9	1,0	3,6	2	63	8,0	4,0	30

■ Основные единицы СИ

Масса — килограмм (кг).

Путь, перемещение — метр (м).

Время — секунда (с).

Температура — кельвин (К).

Сила тока — ампер (А).

Количество вещества — моль (моль).

■ Дополнительные единицы

Фаза, угол на плоскости — радиан (рад).

Телесный угол — стерadian (ср).

■ Производные единицы

Площадь — метр в квадрате (м^2).

Объем — метр в кубе (м^3).

Скорость — метр в секунду (м/с).

Ускорение — метр в секунду за секунду (м/с^2).

Угловая скорость — радиан в секунду (рад/с).

Частота колебаний — герц ($\text{Гц} = \text{с}^{-1}$).

Сила — ньютон ($\text{Н} = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2$).

Момент силы — ньютон на метр ($\text{Н} \cdot \text{м}$).

Жесткость — ньютон, деленный на метр (Н/м).

Давление — паскаль ($\text{Па} = \text{Н/м}^2$).

Энергия, работа — джоуль ($\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}$).

Объемная плотность энергии — джоуль, деленный на метр в кубе (Дж/м^3).

Мощность — ватт ($\text{Вт} = \text{Дж/с}$).

Импульс тела — килограмм, умноженный на метр на секунду ($\text{кг} \cdot \text{м/с}$).

Плотность — килограмм, деленный на метр в кубе (кг/м^3).

Импульс силы — ньютон на секунду ($\text{Н} \cdot \text{с}$).

Молярная масса — килограмм, деленный на моль (кг/моль).

Теплоемкость тела — джоуль, деленный на кельвин (Дж/К).

Удельная теплоемкость — джоуль, деленный на килограмм-кельвин ($\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$).

Удельная теплота плавления, парообразования, теплота сгорания — джоуль, деленный на килограмм (Дж/кг).

Заряд — кулон (Кл).

Напряженность электрического поля — вольт, деленный на метр (В/м).

Потенциал, напряжение, ЭДС — вольт $\left(V = \frac{Дж}{Кл} \right)$.

Емкость — фарад $\left(\Phi = \frac{Кл}{В} \right)$.

Поверхностная плотность заряда — кулон, деленный на метр в квадрате (Кл/м²).

Концентрация частиц — метр в минус третьей степени (м⁻³).

Сопротивление — ом (Ом = В/А).

Удельное сопротивление — ом на метр (Ом·м).

Электропроводность — сименс (См = Ом⁻¹).

Плотность тока — ампер, деленный на метр в квадрате (А/м²).

Индукция магнитного поля — тесла $\left(Tл = \frac{Н}{А \cdot м} \right)$.

Магнитный поток — вебер (Вб = Тл·м²).

Индуктивность — генри (Гн = В·с/А).

Оптическая сила линзы — диоптрия (дптр = м⁻¹).

Удельная энергия связи ядра — джоуль, деленный на нуклон (Дж/нуклон).

■ Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Наименования	Обозначения	Множители
гига	Г	10 ⁹
мега	М	10 ⁶
кило	к	10 ³
гекто	г	10 ²
деци	д	10 ⁻¹
санتي	с	10 ⁻²
милли	м	10 ⁻³
микро	мк	10 ⁻⁶
нано	н	10 ⁻⁹
пико	п	10 ⁻¹²

■ Основные физические постоянные

Число π	$\pi = 3,14$
Ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Постоянная Фарадея	$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Постоянная Ридберга	$R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а. е. м.} \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг (931,5 МэВ)}$
Постоянная Планка	$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Масса Земли	$6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Масса Солнца	$2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

■ Соотношения между различными единицами

Температура	$T \text{ К} = -273,15 + t \text{ }^\circ\text{C}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Энергетический эквивалент атомной единицы массы	$931,5 \text{ МэВ}$
Электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

■ Плотность

Воды	1000 кг/м^3
Пробки	250 кг/м^3
Дерева (сосна)	400 кг/м^3
Керосина	800 кг/м^3
Парафина	900 кг/м^3

Алюминия	2700 кг/м ³
Железа	7870 кг/м ³
Ртуту	13600 кг/м ³

■ Удельная

Теплоемкость воды	$4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Теплоемкость свинца	$130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Теплоемкость меди	$390 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Теплоемкость железа	$640 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Теплота парообразования воды	$2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
Теплота плавления свинца	$2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$
Теплота плавления льда	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$

Нормальные условия: давление $1,0 \cdot 10^5$ Па, температура 0 °С.

■ Молярная масса

Азота	$28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Аргона	$40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Водорода	$2,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Водяных паров	$18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Гелия	$4,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Воздуха	$29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Кислорода	$32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Лития	$7,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Неона	$20 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Серебра	$108 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Молибдена	$96 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Углекислого газа	$44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$

■ Энергия покоя

Электрона	0,511 МэВ
Нейтрона	939,6 МэВ

Протона	938,3 МэВ
Ядра водорода ${}^1_1\text{H}$	938,3 МэВ
Ядра дейтерия ${}^2_1\text{H}$	1875,6 МэВ
Ядра трития ${}^3_1\text{H}$	2809,4 МэВ
Ядра гелия ${}^4_2\text{He}$	3727,4 МэВ
Ядра лития ${}^6_3\text{Li}$	5601,5 МэВ
Ядра лития ${}^7_3\text{Li}$	6533,8 МэВ
Ядра бериллия ${}^9_4\text{Be}$	8392,8 МэВ
Ядра бора ${}^{10}_5\text{B}$	9324,4 МэВ
Ядра азота ${}^{14}_7\text{N}$	13040,3 МэВ
Ядра кислорода ${}^{15}_8\text{O}$	13971,3 МэВ
Ядра кислорода ${}^{17}_8\text{O}$	15830,6 МэВ
Ядра фосфора ${}^{30}_{15}\text{P}$	27917,1 МэВ

Некоторые сведения из математики

■ Правила действия со степенями и корнями

$$\begin{aligned}
 a^x \cdot a^y &= a^{x+y}; & \frac{1}{a^x} &= a^{-x}; & \frac{a^x}{a^y} &= a^{x-y}; \\
 a^x \cdot b^x &= (ab)^x; & (a^x)^y &= a^{xy}; & \sqrt[n]{a^m} &= a^{\frac{m}{n}} = \left(\sqrt[n]{a}\right)^m; \\
 \sqrt[n]{ab} &= \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}; & \frac{1}{\sqrt[n]{a}} &= \sqrt[n]{\frac{b}{a}}.
 \end{aligned}$$

■ Некоторые тождества

$$\begin{aligned}
 (a \pm b)^2 &= a^2 \pm 2ab + b^2; \\
 (a \pm b)^3 &= a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3; \\
 a^2 - b^2 &= (a - b)(a + b); \\
 a^3 - b^3 &= (a - b)(a^2 + ab + b^2); \\
 a^3 + b^3 &= (a + b)(a^2 - ab + b^2).
 \end{aligned}$$

■ Формулы корней квадратных уравнений

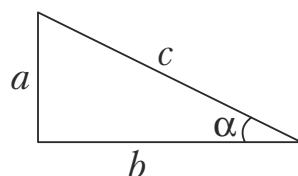
$$ax^2 + bx + c = 0; \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a};$$

$$x^2 + px + q = 0; \quad x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}.$$

■ Тригонометрические функции острого угла

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{c};$$

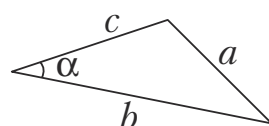
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{b}{a}.$$



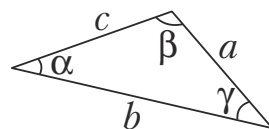
■ Некоторые теоремы

Теорема Пифагора: $c^2 = a^2 + b^2$.

Теорема косинусов: $a^2 = c^2 + b^2 - 2cb \cos \alpha$.



Теорема синусов: $\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$.



■ Значения тригонометрических функций некоторых углов

α°	0°	30°	45°	60°	90°	180°
α рад	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1
$\operatorname{tg} \alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	—	0
$\operatorname{ctg} \alpha$	—	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	—

■ Формулы приведения

α	$\alpha + \frac{\pi}{2}$	$\alpha + \pi$	$\alpha + \frac{3\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} - \alpha$	$\pi - \alpha$	$\frac{3\pi}{2} - \alpha$
sin	cos α	-sin α	-cos α	cos α	sin α	-cos α
cos	-sin α	-cos α	sin α	sin α	-cos α	-sin α
tg	-ctg α	tg α	-ctg α	ctg α	-tg α	ctg α
ctg	-tg α	ctg α	-tg α	tg α	-ctg α	tg α

■ Тригонометрические функции

Половинного аргумента	Двойного аргумента
$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$	$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$
$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$	$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$
$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha}$	$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$

■ Формулы сложения

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta + \sin \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}.$$

■ Тригонометрические тождества

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1;$$

$$1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha};$$

$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha};$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha};$$

$$1 + \cos 2\alpha = 2\cos^2 \alpha;$$

$$1 - \cos 2\alpha = 2\sin^2 \alpha.$$

■ Тригонометрические преобразования

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}.$$

■ Площади и объемы

Площадь треугольника: $S = \frac{ah}{2}$; $S = \frac{ab}{2} \sin \alpha$.

Площадь прямоугольника: $S = a^2$; $S = ab$.

Площадь трапеции: $S = \frac{a+b}{2}h$.

Площадь круга радиусом R (диаметром D) и длина окружности:

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4}; l = 2\pi R = \pi D.$$

Площадь и объем сферы радиусом R (диаметром D):

$$S = 4\pi R^2 = \pi D^2; V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6}\pi D^3.$$

Объем цилиндра высотой H с радиусом основания R : $V = \pi R^2 H$.

Объем куба со стороной a : $V = a^3$.

Объем конуса высотой H с радиусом основания R : $V = \frac{1}{3}\pi R^2 H$.

■ Некоторые производные

$$y = \text{const}; y' = 0$$

$$y = Ax; y' = A$$

$$y = Ax^n; y' = Anx^{n-1}$$

$$y = \sin Ax; y' = A \cos Ax$$

$$y = \cos Ax; y' = -A \sin Ax$$

Предисловие	3
РАЗДЕЛ 1. Механика	
Глава 1. Основы кинематики	
§ 1. Равномерное прямолинейное движение	7
§ 2. Равноускоренное прямолинейное движение. Свободное падение	13
§ 3. Движение по окружности. Криволинейное движение	19
Обобщающий тест № 1	26
Глава 2. Основы динамики	
§ 4. Закон Ньютона. Силы в механике	30
§ 5. Динамика движения по окружности	39
Обобщающий тест № 2	45
Глава 3. Законы сохранения в механике	
§ 6. Импульс тела. Закон сохранения импульса	49
§ 7. Механическая работа. Мощность. Энергия	56
§ 8. Закон сохранения энергии	63
§ 9. Статика	69
§ 10. Механика жидкостей и газов	75
Обобщающий тест № 3	81
РАЗДЕЛ 2. Электродинамика	
Глава 4. Электростатика	
§ 11. Закон Кулона	86
§ 12. Напряженность электростатического поля	93
§ 13. Потенциал. Разность потенциалов	101
§ 14. Электростатическое поле в веществе	109
§ 15. Электроемкость. Конденсаторы	117
Обобщающий тест № 4	126
Глава 5. Постоянный ток	
§ 16. Закон Ома для однородного участка электрической цепи	131
§ 17. Закон Ома для замкнутой цепи	139
§ 18. Работа и мощность тока	147
§ 19. Электрический ток в металлах, газах, вакууме, полупроводниках и электролитах	154
Обобщающий тест № 5	163
Глава 6. Магнитное поле	
§ 20. Индукция магнитного поля. Сила Ампера	167
§ 21. Сила Лоренца	176
§ 22. Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции	185
§ 23. Явление самоиндукции. Индуктивность	195
Обобщающий тест № 6	203

РАЗДЕЛ 3. Колебания и волны

§ 24. Механические колебания и волны	208
§ 25. Электромагнитные колебания	216
§ 26. Переменный электрический ток	224
Обобщающий тест № 7	231

РАЗДЕЛ 4. Оптика

§ 27. Световые волны. Интерференция и дифракция	236
§ 28. Прямолинейное распространение света. Отражение света.....	243
§ 29. Преломление света.....	249
§ 30. Линзы. Оптические приборы	255
Обобщающий тест № 8	262

РАЗДЕЛ 5. Элементы теории относительности

§ 31. Постулаты специальной теории относительности (СТО).....	266
---	-----

РАЗДЕЛ 6. Квантовая физика

§ 32. Квантовая физика. Фотоэффект. Давление света	273
§ 33. Ядерная модель атома. Квантовые постулаты Бора	280

РАЗДЕЛ 7. Молекулярная физика и термодинамика

§ 34. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.....	287
§ 35. Газовые законы. Уравнение Клапейрона—Менделеева	294
§ 36. Теплота и работа. Первое начало термодинамики.....	301
§ 37. Уравнение теплового баланса. Тепловые двигатели	307
§ 38. Свойства паров, жидкостей и твердых тел.....	314
Обобщающий тест № 9	322

РАЗДЕЛ 8. Физика атомного ядра

§ 39. Строение ядра атома. Дефект массы и энергия связи атомного ядра. Радиоактивность	328
§ 40. Ядерные реакции. Закон радиоактивного распада	334
Обобщающий тест № 10.....	340

РАЗДЕЛ 9. Тесты

Контрольный тест на знание формул и единиц СИ.....	344
Проверь себя.....	349
Итоговые тесты.....	364

РАЗДЕЛ 10. Решения и указания

Указания к итоговым тестам	405
Указания к решению задач §§ 1—40	415
Ответы	457
Приложение	471