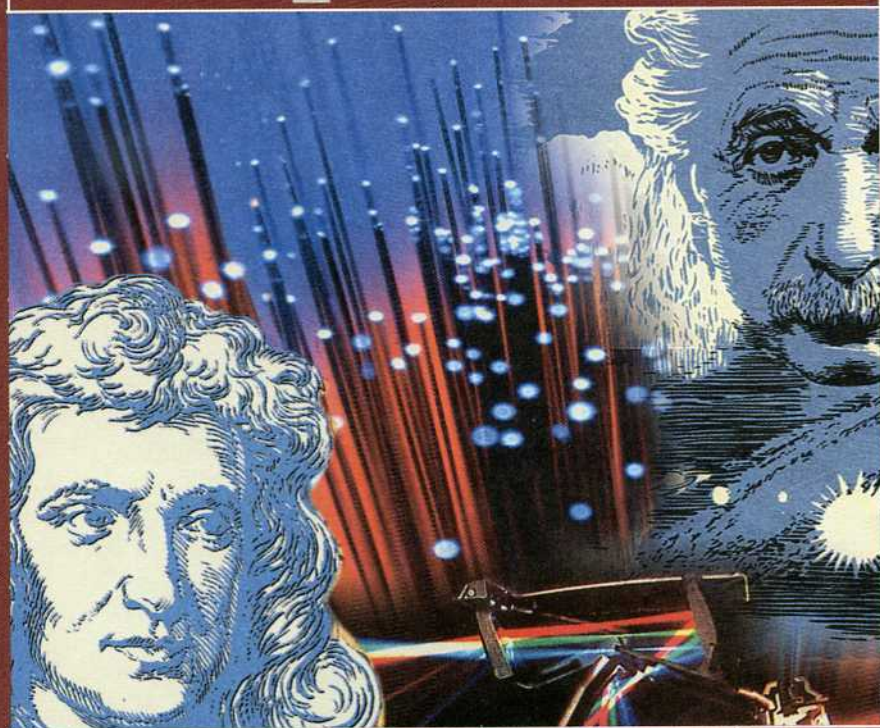


Классический курс

Н. А. Парфентьева

10•11

СБОРНИК задач по физике



ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Классический курс

Н. А. Парфентьева

СБОРНИК задач по физике

10–11 классы

**Учебное пособие
для общеобразовательных
организаций**

Базовый уровень

**7-е издание, переработанное
и дополненное**

**Москва
«Просвещение»
2017**

Серия «Классический курс» основана в 2007 году



Парфентьева Н. А.

- П18** Сборник задач по физике. 10—11 классы : учеб. пособие для общеобразоват. организаций : базовый уровень / Н. А. Парфентьева. — 7-е изд., перераб. и доп. — М. : Просвещение, 2017. — 208 с. — (Классический курс). — ISBN 978-5-09-028567-4.

Сборник задач составлен к классическому курсу физики авторов Г. Я. Мякишева и др. под редакцией Н. А. Парфентьевой. Пособие предназначено для учащихся 10—11 классов.

В первой части сборника представлены задачи практически по всем темам, включённым в названный курс физики, в соответствии с последовательностью изучения материала в учебниках. Вторая часть содержит краткое изложение теории, примеры решения задач и задачи по темам, которые не рассматриваются в учебниках данного курса, но знание которых необходимо для успешной сдачи ЕГЭ и поступления в технические вузы. Приведены также таблицы физических величин и их значений, необходимых для решения задач.

В пособие внесены изменения, связанные с выходом нового издания учебников, переработанных в соответствии с ФГОС.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-09-028567-4

© Издательство «Просвещение», 2007
© Издательство «Просвещение»,
с изменениями, 2017
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2007
Все права защищены

Предисловие

Сборник задач составлен к классическому курсу физики для 10–11 классов авторов Г. Я. Мякишева и др. под редакцией Н. А. Парфентьевой.

Сборник состоит из двух частей. В первой части представлено более тысячи задач практически по всем темам, включённым в названный курс физики, в соответствии с последовательностью изучения материала в учебниках. Задачи в каждом разделе расположены в порядке возрастания сложности: сначала предлагаются задачи-упражнения, в которых для получения ответа достаточно воспользоваться одной формулой; затем следуют более сложные задачи. Во второй части сборника приведены краткая теория, примеры решения задач и задачи по темам, не включённым в классический курс физики (часть этих тем изучалась в основной школе). Умение решать задачи по этим темам необходимо для успешной сдачи ЕГЭ и поступления в технические вузы.

В новом издании сборника большинство задач имеет два номера: первый номер — порядковый в данном издании, второй номер (в скобках) соответствует нумерации задач в предыдущих изданиях (2007–2014 гг.), задачи с одним номером и буквой «Н» — новые.

В конце сборника приведены таблицы физических величин и их значений, данные из которых могут понадобиться при решении задач, а также ответы к задачам. Иногда в ответах даны указания, которые помогут решить задачу.

Приступать к решению задач каждого раздела следует после изучения теории и разбора примеров решения задач в соответствующих параграфах учебника. В процессе решения задач удаётся лучше понять и запомнить законы физики.

При решении необходимо обращать внимание на правильность вычислений. Из таблиц нужно брать значения физических величин с таким же количеством значащих цифр, сколько содержится в числовых данных в условии задачи. Например, дана высота, с которой падает тело, равная 2 м; в этом случае для определения времени полёта значение ускорения свободного падения округляется до 10 м/с^2 . Если же высота равна 2,2 м, то ускорение свободного падения необходимо брать равным $9,8 \text{ м/с}^2$. В некоторых задачах указано значение ускорения свободного падения, которое следует использовать при расчётах. Иногда для удобства в условии задачи приведены табличные

данные, необходимые для её решения. В ответе должно быть столько же значащих цифр, сколько их содержится в числовых данных условия. Также рекомендуется после вывода окончательной формулы проверить единицу полученной физической величины — это один из способов убедиться в правильности решения. Не нужно делать промежуточные вычисления. Числовой ответ следует находить по окончательной формуле, что позволит избежать лишних ошибок в расчётах и даст возможность выполнить вычисления для разных значений физических величин из условия задачи.

10 класс

МЕХАНИКА

Кинематика

Кинематика точки

Положение точки в пространстве.
Векторные величины

- 1 Определите координаты материальной точки на плоскости $ХОУ$, если радиус-вектор, определяющий её положение, составляет угол 30° с осью $ОХ$, а его модуль равен 3 м.
- 2 Модуль радиус-вектора, определяющего положение мухи, сидящей на стене, равен 5 м, а координата по оси $ОХ$, проведённой из угла комнаты вдоль пола, равна 2,5 м. Определите, на какой высоте находится муха.
- 3 Координаты лампы, подвешенной к потолку комнаты на шнуре длиной 1 м, равны $x = 3,32$ м, $y = 4$ м, $z = 3$ м. Определите высоту комнаты, модуль радиус-вектора, определяющего положение лампы, и угол наклона радиус-вектора к плоскости $ХОУ$.
- 4 Координаты двух шаров на бильярдном столе $x_1 = 1$ м, $y_1 = 2$ м и $x_2 = 2$ м, $y_2 = 3$ м. Ось $ОХ$ направлена вдоль короткого края стола, а начало координат совмещено с углом стола. Определите: 1) расстояние между центрами шаров; 2) под каким углом к оси $ОХ$ надо направить кий, чтобы при ударе ближний шар попал в дальний (удар считайте центральным).
- 5 Радиус-вектор, определяющий положение точки A на плоскости $ХОУ$, составляет угол 60° с осью $ОХ$. Модуль вектора $\vec{r}_A$ равен 5 м. Модуль радиус-вектора $\vec{r}_{AB}$, определяющего положение точки B относительно точки A , равен 1,83 м, а его проекции на оси $ОХ$ и $ОУ$ равны соответственно 1,83 м и 0. Определите модуль вектора $\vec{r}_B$ и угол, который он составляет с осью $ОХ$.
- 6 На плоскости $ХОУ$ проведите радиус-вектор, определяющий положение точки A , координаты которой равны $x_A = 1$ м, $y_A = 4$ м, и радиус-вектор, опреде-

ляющий положение точки B , координаты которой равны $x_B = -1$ м, $y_B = -2$ м. Определите проекции на оси OX и OY радиус-вектора, проведённого из точки A в точку B .

- 7 Сложите два вектора $\vec{a}$ и $\vec{b}$, направленные соответственно вдоль осей OX и OY . Модули векторов равны 3 и 5,2 м. Определите модуль полученного вектора и угол, который он составляет с осью OX .

- 8 На рисунке 1 изображены три вектора $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$. а) Сложите векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$. б) Сложите векторы $\vec{b}$ и $\vec{c}$. в) Сложите векторы $\vec{a}$, $\vec{b}$ и $\vec{c}$. Определите модули полученных векторов, если $|\vec{a}| = 3$ м, $|\vec{b}| = 4$ м, $|\vec{c}| = 1$ м.

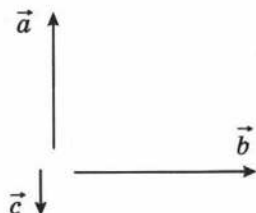


Рис. 1

- 9 Точка A имеет координаты $x_A = 1$ м, $y_A = 1$ м, точка B — координаты $x_B = 4$ м, $y_B = -2$ м. Определите модуль вектора, соединяющего точки A и B , его проекции на оси OX и OY , а также угол, который он составляет с осью OX .
- 10 Векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$ проведены из начала координат и направлены под углом 90° друг к другу, при этом вектор $\vec{a}$ составляет с осью OX угол 30° . Модули векторов равны соответственно 4 и 5 м. Определите проекции векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ на оси OX и OY .
- 11 В чём разница между составляющими вектора по двум заданным неколлинеарным направлениям и проекциями вектора на эти направления?

Системы отсчёта. Перемещение

- 12 Мальчик бежит по прямой дорожке к карусели. Нанесите примерные траектории движения мальчика относительно: 1) камня на дорожке; 2) человека, вращающегося на карусели.
- 13 Можно ли утверждать, что модуль перемещения всегда равен длине пути?
- 14 Определите модуль перемещения конца минутной стрелки часов за 15 мин. Длина стрелки равна 1 см.
- 15 Координаты мячика, движущегося по плоской поверхности, в начальной и конечной точках равны соответственно $x_1 = 1$ м, $y_1 = 1$ м и $x_2 = 4$ м, $y_2 = 5$ м. Определите модуль перемещения мячика.

- 16 Турист прошёл по прямому шоссе 4 км, а затем повернул назад и прошёл 1 км. Определите длину пути и перемещение туриста.

- 17 Для подъёма груза рабочий использует рычаг длиной 1,5 м. Груз находится на расстоянии 0,5 м от конца А (рис. 2). Определите перемещение и длину пути груза и точки В рычага при подъёме груза на высоту $h = 25$ см.

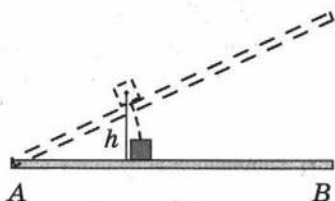


Рис. 2

- 18 Длина подвеса маятниковых часов равна 15 см. Определите модуль перемещения конца маятника, а также длину его пути за 5,25 с. Максимальный угол отклонения подвеса равен 15° . Учтите, что одно полное колебание маятник совершает за одну секунду.

- 19 Конёк фигуриста «выписывает» восьмёрку, состоящую из двух окружностей радиусами 1,5 и 2 м. В начале конёк находится в точке О. Определите длину пути и модуль перемещения в те моменты времени, когда конёк оказывается в точках А, В, С и опять в точке О (рис. 3).

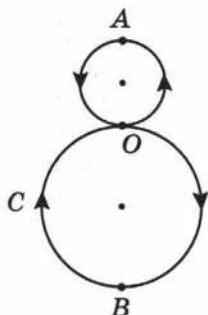


Рис. 3

- 20 Пешеход прошёл 4 км строго на север, а затем 3 км на восток. Определите длину пути и модуль перемещения пешехода.

- 21 На средней линии штрафной площадки футбольного поля, расположенной на расстоянии 20 м от линии ворот, находятся два игрока. Первый игрок посылает мяч вдоль поля в ворота, вратарь отбивает мяч под углом 30° к начальной траектории, и он долетает до второго игрока. Определите модуль перемещения и длину пути мяча.

Равномерное прямолинейное движение

- 22 Запишите в векторной и скалярной формах уравнение движения точки, если она движется в положительном направлении оси OX со скоростью 2 м/с. В начальный момент времени точка находилась на расстоянии 1 м от начала координат.

- 23 Координата мяча, равномерно катящегося по прямой, изменилась от $x_1 = 2$ м до $x_2 = -4$ м за время, равное 2 с. Определите проекцию v_x скорости мяча, считая, что ось OX совпадает с траекторией мяча и направлена вправо.
- 24 Из пункта A выезжает велосипедист со скоростью 18 км/ч. Одновременно с ним из пункта B , находящегося на расстоянии 900 м от пункта A , выходит в том же направлении пешеход со скоростью 9 км/ч. Через какое время велосипедист догонит пешехода? Какое расстояние пройдёт за это время пешеход?

- 25 Постройте график зависимости координаты x точки от времени t , если она движется равномерно со скоростью 2 м/с вдоль оси OX . Учтите, что при $t = 0$ $x = 0$.

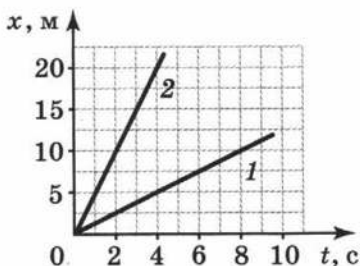


Рис. 4

- 26 На рисунке 4 даны графики зависимости координат двух тел от времени. Определите скорости равномерного движения тел.
- 27 Автомобиль и велосипедист движутся вдоль оси OX . Скорость автомобиля $v_1 = 72$ км/ч, а велосипедиста $v_2 = 18$ км/ч. Постройте графики зависимости координат x_1 и x_2 автомобиля и велосипедиста от времени t . Учтите, что при $t = 0$ $x_1 = x_2 = 0$.

- 28 Точка движется равномерно в сторону, противоположную положительному направлению оси OX , со скоростью 4 м/с. Начальное положение точки $x_0 = 20$ м. 1) Напишите уравнение движения точки. 2) Постройте график зависимости её координаты от времени. 3) Через какой промежуток времени точка будет находиться в начале координат?

- 29 На рисунке 5 представлены графики зависимости координат двух тел от времени. 1) Определите скорости этих тел. 2) Напишите уравнения их движения. 3) Определите момент времени, когда координаты тел будут равны, т.е. когда тела встретятся.

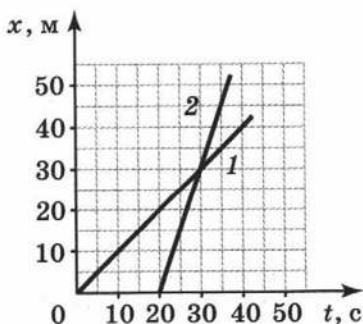


Рис. 5

- 30 В прямой туннель одновременно навстречу друг другу въезжают два поезда: один со скоростью 72 км/ч, а другой со скоростью 90 км/ч. Определите длину туннеля, если известно, что поезда встретятся через 20 мин.

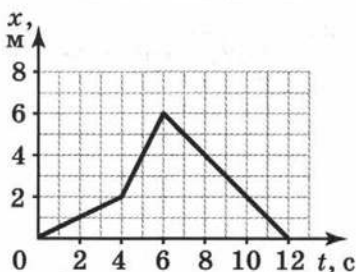


Рис. 6

- 31 На графике (рис. 6) изображена зависимость координаты точки от времени. Опишите движение в промежутках времени 0—4 с, 4—6 с и 6—12 с. Постройте графики зависимости проекции скорости точки от времени и пути от времени.
- 32 Пешеход 30 мин шёл вперёд по прямой дороге равномерно со скоростью 1,8 м/с, затем он на 10 мин остановился, а потом повернул назад и шёл 20 мин со скоростью 1,5 м/с. Постройте график зависимости координаты пешехода от времени, считая, что в начальный момент времени координата была равна нулю.

Сложение скоростей

- 33 На рисунке 7 показана траектория материальной точки, движущейся с постоянной по модулю скоростью v . Начертите векторы скорости материальной точки в точках B , C и D . Чему равны проекции скорости на оси координат в точках C и D ?

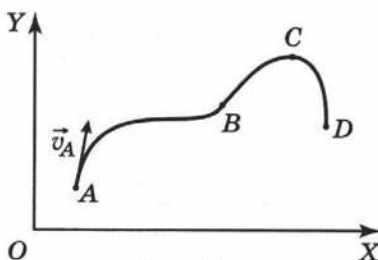


Рис. 7

- 34 При каком движении вектор мгновенной скорости всегда параллелен траектории?
- 35 Материальная точка равномерно движется по окружности. На какой угол поворачивается вектор мгновенной скорости точки в момент времени, когда она проходит: 1) четверть окружности; 2) половину окружности?
- 36 Два автомобиля движутся навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 15$ м/с и $v_2 = 20$ м/с относительно дороги. Определите скорость первого автомобиля относительно второго и скорость второго относительно первого.

- 37 Пассажир сидит у окна в электричке, движущейся со скоростью 36 км/ч. Сколько времени он будет видеть поезд длиной 100 м, движущийся в том же направлении со скоростью 72 км/ч?
- 38 Два автомобиля движутся к перекрёстку по взаимно перпендикулярным дорогам: один со скоростью 54 км/ч, а другой со скоростью 72 км/ч. Вычислите модуль относительной скорости автомобилей.
- 39 В безветренную погоду капли дождя оставляют на боковом окне равномерно движущегося автобуса следы, направленные под углом 60° к вертикали. Чему равна скорость автобуса, если скорость падения капель относительно земли равна 10 м/с?
- 40 Лодочник переправляет пассажиров через реку, скорость течения которой 1 м/с. Ширина реки 100 м, скорость лодки относительно воды 2 м/с. 1) Как лодочник должен направить лодку, чтобы путь лодки был минимальным? Сколько времени в этом случае длится переправа? 2) Определите минимальное время переправы. Где в этом случае окажется лодка?
- 41 Самолёт летит строго на север со скоростью v_c относительно земли. При этом дует северо-западный ветер, скорость которого равна v_v . Чему равна скорость самолёта относительно ветра? Под каким углом β к направлению движения лётчик удерживает самолёт?
- 42 Мальчик, бегущий вдоль длинного забора, бросает мяч и ловит его после удара о забор. Скорость мальчика v_0 , скорость мяча относительно него $v_{отн}$. Под каким углом к забору он бросает мяч?
- 43 Капли воды на лобовом стекле автомобиля, движущегося со скоростью 36 км/ч, поднимаются со скоростью 2 м/с, угол наклона стекла 60° . Определите скорость капель относительно дороги.
- 44 Велосипедист и пешеход, находящиеся друг от друга на расстоянии 1 км, начинают движение в одном направлении со скоростями $\frac{17}{3}$ м/с и 6 км/ч соответственно. Определите скорость, с которой велосипедист догоняет пешехода, а также время, за которое он его догонит.
- 45 Согласно закону Хаббла скорость образовавшихся при взрыве галактик пропорциональна расстоянию r от места взрыва: $v = kr$, где $k = \text{const}$. Докажите, что относительная скорость галактик не зависит от расстояния r , а определяется расстоянием между галактиками, что делает невозможным определение места взрыва.

- 46 Два автомобиля подъезжают к развилке дороги со скоростями 72 и 54 км/ч и разъезжаются по двум дорогам, угол между которыми 60° (рис. 8). Определите скорость первого автомобиля относительно второго: 1) до развилки; 2) после развилки.

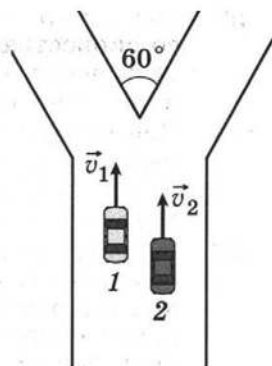


Рис. 8

- 47 Капли дождя падают вертикально со скоростью v_1 . С какой максимальной скоростью $v_{\max}$ должен двигаться человек ростом h , несущий над собой зонт диаметром D , чтобы его одежда оставалась сухой? При ходьбе человек наклоняет зонт.
- 48 По шоссе со скоростью 10 м/с едет автобус. Человек находится на расстоянии 100 м от шоссе и 300 м от автобуса. В каком направлении должен идти человек, чтобы выйти на шоссе раньше автобуса или одновременно с ним? Скорость человека 5 м/с.

Мгновенная и средняя скорости

- 49 Н Одну треть пути тело движется со скоростью 36 км/ч, а остальной путь, равный 300 м, проходит за 1 мин. Определите среднюю скорость прохождения пути.
- 50 Н Пешеход первые два километра пути шёл со скоростью 8 км/ч, следующие 4 км — со скоростью 4 км/ч, а последние 2 км — со скоростью 2 км/ч. Определите среднюю скорость пешехода.
- 51 Н Велосипедист ехал первые полчаса по прямой дороге со скоростью 8 км/ч, следующие полчаса по дороге, перпендикулярной первой, со скоростью 6 км/ч. Определите среднюю скорость перемещения и среднюю путевую скорость движения велосипедиста.
- 52 Н В гонках по круговому треку велосипедист проезжает первые 10 кругов со скоростью 20 км/ч, а следующие 5 кругов со скоростью 40 км/ч. Определите среднюю путевую скорость и среднюю скорость перемещения велосипедиста.
- 53 Н Экспедиция Магеллана совершила кругосветное плавание за 3 года, а Гагарин облетел земной шар за 108 мин. Среднее расстояние космического корабля от поверхности Земли составляло 250 км, радиус Земли равен 6400 км. Определите средние скорости полёта Гагарина и плавания Магеллана и отношение этих скоростей.

- 54 Н** На пути велосипедиста, движущегося по прямой дороге со скоростью 10 км/ч в течение 1 ч , оказалось круглое озеро диаметром 500 м . Он объехал половину озера по берегу со скоростью 8 км/ч и продолжил движение в прежнем направлении. Определите среднюю путевую скорость и среднюю скорость велосипедиста к моменту, когда он закончил объезжать озеро.
- 55 Н** Пешеход прошёл весь путь со средней скоростью 6 км/ч . При этом последние $\frac{2}{3}$ пути он шёл со скоростью, на 2 км/ч меньшей, чем на первой трети пути. Определите среднюю скорость пешехода на первой трети пути.

Ускорение. Движение с постоянным ускорением

- 56 49** За 10 с скорость автомобиля, движущегося по прямому шоссе, изменилась от нуля до 72 км/ч . Определите среднее ускорение автомобиля.
- 57 50** Материальная точка движется равномерно по окружности со скоростью 5 м/с . За 2 с она проходит четверть окружности. Определите среднее ускорение точки. Определите также среднее ускорение точки, когда она сделает половину оборота и целый оборот.
- 58 51** Автомобиль делает поворот за 5 с , при этом его скорость изменяется от 20 до 15 м/с (рис. 9). Определите среднее ускорение автомобиля.
- 59 52** Велосипедист начинает движение по прямой дороге и за первые 2 с набирает скорость 5 м/с , а за следующие 4 с его скорость увеличивается на 15 м/с . Определите разность ускорений, с которыми ехал велосипедист в течение этих двух промежутков времени, а также среднее ускорение за первые 6 с движения.
- 60 53** Тело движется по прямой вдоль оси OX . Запишите зависимость скорости тела от времени, если в начальный момент времени скорость тела была равна 2 м/с , а ускорение равно -4 м/с^2 .
- 61 56** Проекция ускорения тела на оси OX и OY равны соответственно $a_x = 4 \text{ м/с}^2$, $a_y = 3 \text{ м/с}^2$. Определите ускорение тела, а также угол α , под которым направлена к оси OX его скорость, если известно, что начальная скорость тела была равна нулю.

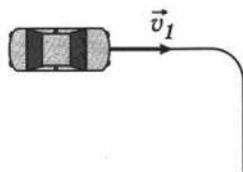


Рис. 9

- 62 Вдоль оси OX тело движется с постоянной скоростью
57 4 м/с, а вдоль оси OY — с начальной нулевой скоростью и постоянным ускорением, равным $1,5 \text{ м/с}^2$. Определите скорость тела через 2 с после начала движения вдоль оси OY .
- 63 Ускорение тела, равное 4 м/с^2 , постоянно и направ-
58 лено под углом 45° к оси OX , начальная скорость равна 5 м/с и направлена под углом 60° к оси OX . 1) Запишите уравнения для проекций скорости на оси OX и OY . 2) Определите скорость тела через 5 с после начала движения.
- 64 Запишите уравнение движения тела вдоль оси OX ,
59 если известно, что проекция его скорости описывается уравнением $v_x = v_{0x} + a_x t$, где $v_{0x} = -2 \text{ м/с}$, проекция ускорения $a_x = 4 \text{ м/с}^2$. В начальный момент времени тело находилось в начале координат. Определите координату и скорость тела через 2 с.
- 65 Тело начинает движение по прямой с ускорением,
60 равным 2 м/с^2 . Через 4 с ускорение становится равным нулю и тело продолжает двигаться равномерно. Определите расстояние, пройденное телом за 10 с.
- 66 При равноускоренном движении велосипедист про-
71 езжает за два одинаковых последовательных промежутка времени, равных 3 с, расстояния 20 и 50 м. Определите начальную скорость и ускорение велосипедиста.
- 67 Два автомобиля движутся навстречу друг другу со
72 скоростями v_1 и $v_2 = 1,5v_1$. Водители одновременно начинают тормозить. Определите отношение ускорений автомобилей, если с момента начала торможения до остановки они проехали одинаковые расстояния.
- 68 Два тела начинают одновременно двигаться навстре-
73 чу друг другу с ускорениями a_1 и $a_2 = 2a_1$. Начальные скорости тел v_{01} и $v_{02} = 2v_{01}$. Определите отношение расстояний l_2/l_1 , пройденных телами до встречи.
- 69 По наклонной плоскости начали скользить с одина-
74 ковыми, направленными вниз ускорениями два тела: одно вверх с начальной скоростью $0,5 \text{ м/с}$, другое вниз из состояния покоя. Через какой промежуток времени тела встретятся? Расстояние между телами в начальный момент времени равно $2,5 \text{ м}$.
- 70 Точка движется в плоскости XOY вдоль оси OX с
75 постоянной скоростью $v_x = 0,5 \text{ м/с}$, при этом уравнение траектории точки имеет вид $y(x) = 4x + 16x^2$.

Определите зависимость координаты y и проекции скорости v_y от времени. Считайте, что при $t = 0$ точка находилась в начале координат.

- 71 При торможении автомобиль движется с ускорением
62 5 м/с^2 . На каком минимальном расстоянии от препятствия водитель должен начать тормозить, если скорость автомобиля: 1) 54 км/ч ; 2) 72 км/ч ?
- 72 Скорость автомобиля за 2 с при торможении умень-
68 шилась от 108 до 36 км/ч . Определите ускорение автомобиля и расстояние, которое он пройдёт за этот промежуток времени.

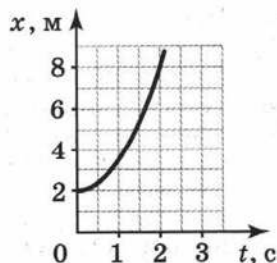
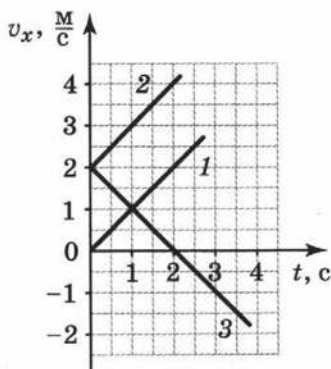
Определение кинематических характеристик движения с помощью графиков

- 73 На рисунке 10 показаны графики зависимости про-
54 екций скоростей трёх тел от времени. Определите начальные скорости и ускорения тел.

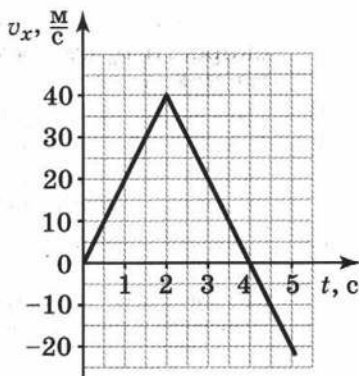
- 74 Проекция скорости тела на
55 ось OX изменяется по закону $v_x = v_{0x} + a_x t$, где $v_{0x} = 5 \text{ м/с}$, $a_x = -2,5 \text{ м/с}^2$. Нанесите графики зависимости $a_x(t)$ и $v_x(t)$.

- 75 Тело движется вдоль ко-
61 ординатной оси OX . В начальный момент времени в точке $x_0 = 4 \text{ м}$ его скорость $v_{0x} = 12 \text{ м/с}$, а ускорение равно -4 м/с^2 . 1) Определите координаты тела в моменты времени $1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ с}$. 2) Постройте график зависимости координаты тела x от времени t . 3) Определите модуль перемещения и путь, пройденный телом за 6 с движения.

- 76 На рисунке 11 показан гра-
63 фик зависимости координаты тела от времени. Запишите уравнение движения тела $x(t)$ и зависимость проекции его скорости от времени $v_x(t)$.



- 77 На рисунке 12 показан
64 график зависимости проекции скорости тела от времени. Постройте графики зависимости проекции ускорения a_x и координаты x тела от времени t . В начальный момент времени $x_0 = 0$.



- 78 Используя рисунок 12,
65 определите модули перемещения тела в моменты времени 2, 3, 4, 6 с.

- 79 На рисунке 13 показан
66 график зависимости координаты тела от времени. По графику определите: 1) момент времени, когда тело изменит направление движения; 2) момент времени, когда тело вернется в начальную точку.

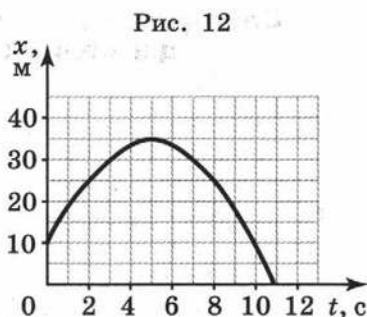


Рис. 12

- 80 Используя рисунок 13,
67 запишите уравнение движения тела $x(t)$ и зависимость проекции скорости от времени $v_x(t)$.

Рис. 13

- 81 Из пункта А в пункт В, расположенный на той же
69 прямой дороге на расстоянии 6 км, выходит пешеход и идёт с постоянной скоростью 4 км/ч. Спустя 0,5 ч из пункта А выезжает велосипедист, который в течение 20 мин движется с ускорением, затем некоторое время равномерно, а последние 20 мин с тем же по модулю ускорением до остановки. В результате велосипедист прибывает в пункт В одновременно с пешеходом. Определите модуль ускорения велосипедиста.

- 82 Используя данные условия задачи 81 (69), начерти-
70 те графики зависимости координаты и проекции скорости пешехода и велосипедиста от времени.

- 83 Точка движется по траектории, уравнение которой
Н имеет вид $y = 2 + 8x - 2x^2$. Вдоль оси OX точка движется с постоянной скоростью 1 м/с. Постройте траекторию на плоскости XOY . По траектории и аналитически определите максимальное смещение точки по оси OY во время движения ($y > 0$). Вычислите модуль перемещения в этот момент времени. Постройте графики зависимости $y(t)$ и $x(t)$.

Свободное падение тел

- 84 Камень падает с высоты 5 м. Пренебрегая сопротив-
76 лением воздуха, определите время падения и конеч-
ную скорость камня.
- 85 Груз срывается с верёвки и свободно падает с высо-
77 ты h . На второй половине пути средняя скорость
груза равна 20 м/с. Чему равна высота h ?
- 86 На какой высоте скорость мяча, брошенного верти-
78 кально вверх со скоростью 4 м/с, уменьшается вдвое
($g = 10 \text{ м/с}^2$)?
- 87 Камень падает с высоты 20 м. Определите время па-
79 дения камня, а также промежутки времени, за ко-
торые камень пролетает первую и вторую половины
пути.
- 88 Груз свободно падает с высоты 44 м. Какие расстояния
80 он пролетит за первую и последнюю секунды полёта?
- 89 С крыши дома падает сосулька. Определите высоту
81 дома, если сосулька пролетела вдоль входной двери
высотой 2 м за 0,13 с. Размерами сосульки можно
пренебречь.
- 90 Тело, брошенное вертикально вверх, на высоте, рав-
82 ной 24,5 м, побывало дважды с интервалом 3 с.
Определите начальную скорость тела.
- 91 Мальчик бросает в колодец два камня с интерва-
83 лом 1 с. Глубина колодца 300 м. Какое расстоя-
ние пролетит второй камень до того, как мальчик
услышит всплеск воды от падения первого? Скорость
звука 300 м/с. Начальная скорость камней равна
нулю.
- 92 С двух разных высот, равных соответственно 20 и
84 30 м, вертикально вниз одновременно бросают два
мяча, причём начальная скорость первого мяча рав-
на 5 м/с. С какой скоростью был брошен второй
мяч, если они достигли земли одновременно?
- 93 Жонглёр подбрасывает вверх шарики с интерва-
85 лом 0,1 с. Определите, сколько шариков одновремен-
но может находиться в воздухе, если начальная ско-
рость шариков одинакова и равна 4 м/с.
- 94 Камень, брошенный горизонтально с вышки, упал на
86 землю на расстоянии 60 м от основания вышки. Вре-
мя падения камня равно 3 с. Определите начальную
и конечную скорости камня.

- 95 С башни высотой 50 м бросили горизонтально ка-
87мень со скоростью 10 м/с. Определите дальность по-
лёта камня и его перемещение.
- 96 Из одной точки с высоты 50 м бросили горизонталь-
88но два тела в противоположные стороны. Начальная
скорость одного тела 10 м/с, другого в 2 раза мень-
ше. Определите скорость одного тела относительно
другого и расстояние между ними в момент падения.
- 97 Мальчик бросает мяч горизонтально со скоростью
89 8 м/с из окна первого этажа, находящегося на рас-
стоянии 5 м от земли. На сколько увеличится даль-
ность полёта мяча, если он бросит мяч с той же ско-
ростью из окна второго этажа, находящегося на 3 м
выше первого?
- 98 Под каким углом α к горизонту надо бросить мяч,
90 чтобы высота его подъёма была в 2 раза больше
дальности полёта?
- 99 Докажите, что траектория тела, брошенного под
91 углом к горизонту, — парабола.
- 100 Камень брошен со скоростью 8 м/с под углом 60° к
Н горизонту. На какой высоте его центростремительное
ускорение будет равно тангенциальному?
- 101 Снаряд вылетает из пушки под углом 15° к горизон-
92ту и падает на расстоянии 500 м. Какой будет даль-
ность полёта снаряда, если угол, под которым он вы-
летает, увеличить на 15° ?
- 102 Камень брошен с башни высотой 10 м под углом 30°
93 к горизонту со скоростью 8 м/с. Определите даль-
ность полёта камня, конечную скорость, а также
среднюю скорость перемещения.
- 103 С высокого берега реки, находящегося на высоте h
94 над поверхностью воды, бросают тело на противопо-
ложный берег, находящийся практически на уровне
воды, под углом α к горизонту. Ширина реки l .
С какой минимальной скоростью нужно бросить
тело, чтобы оно оказалось на другом берегу?
- 104 Вертолёт летит вдоль реки на высоте 500 м со скоро-
95стью 50 м/с. Навстречу вертолёту по реке движется
катер со скоростью 20 м/с, на который с вертолёта
сбрасывают груз. На каком расстоянии от вертолёта
должен находиться катер в момент сброса груза?
- 105 Мальчик бросает мяч под углом 45° к горизонту в
96 вертикальную стенку, расположенную от него на рас-
стоянии 6 м. Перед броском мяч находится в руках

у мальчика на высоте 1,5 м. Определите начальную скорость мяча, если, ударившись о стенку и отскочив от неё, он упал к ногам мальчика. Удар считайте абсолютно упругим.

- 106 Теннисный мяч, поданный под углом 60° к горизонту со скоростью 15 м/с, ударяется о горизонтальную площадку и отскакивает от неё. На какой высоте находится площадка, если дальность полёта мяча увеличивается в 1,8 раза? Удар считайте абсолютно упругим.
- 107 Камень, брошенный под углом 60° к горизонту, побывал на высоте 1 м дважды с интервалом 1 с. Определите начальную скорость камня и дальность его полёта.
- 108 Склон горы образует с горизонтом угол 15° . У подножия горы стоит орудие. Под каким углом к горизонту должен вылететь снаряд, чтобы дальность его полёта вдоль склона была максимальной?
- 109 На вершину наклонной плоскости, угол которой у основания равен 45° , с высоты 5 м падает мяч. Длина наклонной плоскости 50 м. Определите, сколько раз мяч ударится о наклонную плоскость, прежде чем соскочит с неё. Удары мяча о плоскость абсолютно упругие.

Равномерное движение точки по окружности

- 110 Материальная точка равномерно движется по кривой (рис. 14). Определите отношение радиусов кривизны траектории в точках A и B, если известно, что отношение центростремительных ускорений в этих точках равно $\frac{1}{4}$.

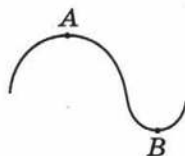


Рис. 14

- 111 Угол α между скоростью и ускорением, с которыми движется материальная точка по окружности, остаётся постоянным и равным $\frac{\pi}{2}$. Как движется точка? Что можно будет сказать о движении точки, если угол α увеличится?
- 112 Определите отношение скоростей и центростремительных ускорений точек земного шара, находящихся на экваторе и на широте 60° .
- 113 Шарик, укрепленный на стержне длиной 60 см, делает 120 оборотов в минуту, вращаясь относительно

неподвижной оси OO' (рис. 15). При этом угол между стержнем и осью равен 30° . Определите угловую и линейную скорости, а также центростремительное ускорение шарика, находящегося на конце стержня.

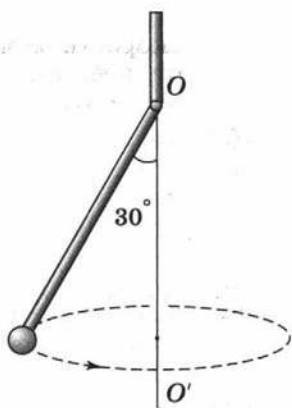


Рис. 15

- 114 Вычислите угловую и линейную
105 скорости орбитального движе-
ния спутника Земли, если пери-
од его обращения 121,16 мин, а
высота полёта 1700 км.
- 115 Определите центростремительное
106 ускорение материальной точки,
движущейся по окружности с
угловой скоростью 2 рад/с и ли-
нейной скоростью 4 м/с.
- 116 Скорость материальной точки за 0,5 с после начала
107 движения по окружности возросла до 4 м/с. Опреде-
лите полное ускорение точки в этот момент времени,
если радиус окружности 1 м.

Кинематика твёрдого тела

Поступательное и вращательное движение твёрдых тел

- 117 Согнутая под прямым углом палочка (рис. 16) вра-
108 щается с постоянной скоростью 10 рад/с относительно
оси, проходящей через точку O . Длина всей па-
лочки равна 80 см, а части AB — 20 см. Определите
линейные скорости v_A и v_B точек A и B .
- 118 Катушку тянут за нить (рис. 17). Радиус катушки
109 $R_1 = 10$ см, радиус барабана $R_2 = 5$ см, скорость нити
относительно земли $v = 1,5$ м/с. Определите скорости центра ка-
тушки и точки A относительно земли.

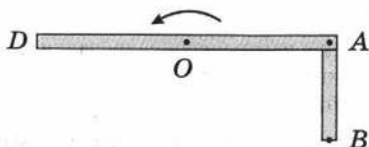


Рис. 16

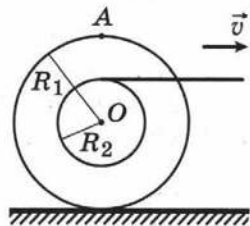


Рис. 17

119 Определите угловую и линейную
110 скорости конца минутной стрел-
ки ручных часов. Длина стрелки
равна 1,5 см.

120 На катушку, поставленную на
111 стол вертикально (рис. 18, вид
сверху), намотаны две нити.
Определите угловую скорость
вращения катушки и скорость
её центра O , если нити разма-
тывают со скоростями v_1 и v_2 ,
при этом $v_1 = 2v_2$. Радиус катуш-
ки R .

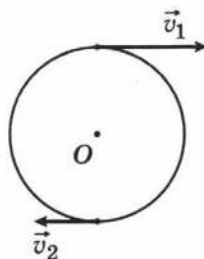


Рис. 18

121 Два диска радиусами $R_1 = 10$ см
112 и $R_2 = 15$ см плотно прижаты
друг к другу (рис. 19). Малень-
кий диск вращается с угловой
скоростью 1,5 рад/с. Определит-
е угловую скорость вращения
большого диска, если диски вра-
щаются без проскальзывания.

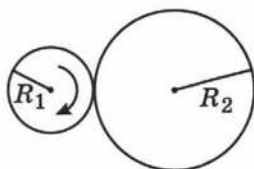


Рис. 19

122 Чему равно ускорение частицы
113 пыли на краю диска радиусом
15 см, вращающегося со скоро-
стью 60 рад/мин?

123 Лестница, стоящая у стены, на-
114 чинает падать, причём верхний
конец скользит вдоль стены
(рис. 20). Когда угол наклона
лестницы к полу равен 30° , ско-
рость нижнего конца лестницы
равна 2 м/с. Определите скорость
верхнего конца лестницы в этот
момент времени.

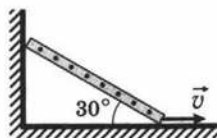


Рис. 20

124 Два трактора вытягивают за-
115 стравившую машину с помощью
нерастяжимых канатов (рис. 21).
Угол между канатами равен α , а
скорости тракторов равны соот-
ветственно v_1 и v_2 . Определите
модуль и направление скоро-
сти v машины.

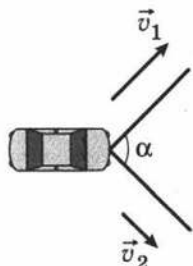


Рис. 21

Динамика

Законы механики Ньютона

Основное утверждение механики.

Сила.

Первый закон Ньютона

- 125** Запишите уравнение движения мяча, брошенного мальчиком вертикально вверх со скоростью v_0 : 1) относительно земли; 2) относительно автомобиля, проезжающего в момент броска мимо мальчика со скоростью v .
- Н**
- 126** Что является причиной изменения скорости ребёнка, скользящего по горизонтальной ледяной дорожке?
- Н**
- 127** Зная высоту, с которой падает тело, и его конечную скорость, можно определить его начальную скорость. Означает ли это, что конечная скорость тела определяет его начальную скорость?
- Н**
- 128** При включённом двигателе автомобиль по прямой дороге движется равномерно. Можно ли утверждать, что он движется по инерции?
- Н**
- 129** Взаимодействие с какими телами определяет движение баскетбольного мяча: 1) в момент броска; 2) при дальнейшем полёте к сетке.
- Н**
- 130** На нити висит шарик. С какими телами он взаимодействует и что можно сказать о значениях действующих на шарик сил?
- Н**
- 131** Пружина динамометра растянулась на два деления. Можно ли по этому значению определить природу силы, вызвавшей растяжение пружины?
- Н**
- 132** Как связан выбор эталонной силы с точностью измерения?
- Н**
- 133** Можно ли утверждать, что во всех инерциальных системах отсчёта уравнения движения тела записываются одинаково?
- Н**
- 134** В некоторой инерциальной системе отсчёта тело движется равномерно и прямолинейно. Относительно второй системы, движущейся с ускорением относительно первой, тело движется с ускорением. Можно ли утверждать, что взаимодействие тела с другими телами зависит от системы отсчёта?
- Н**

Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Масса и сила

- 135 Автомобиль массой 1,5 т за 5 с увеличивает скорость
116 своего движения на 10 м/с. Чему равна сумма сил,
действующих на автомобиль?
- 136 Камень массой 1 кг падает в воде с ускорением
117 8 м/с². Определите силу сопротивления, действующую
на камень.
- 137 Космический корабль массой 10⁵ кг начинает подни-
118 маться вверх. Сила тяги двигателей $3 \cdot 10^6$ Н. Опре-
делите ускорение корабля.
- 138 Груз массой 100 кг лежит на полу лифта. Определит-
119 те ускорение лифта, если груз давит на пол силой
1200 Н. Примите $g = 9,8$ м/с².
- 139 С каким ускорением следует опускать на верёвке
120 груз массой 45 кг, чтобы она не оборвалась? Верёвка
выдерживает максимальное натяжение 400 Н. При-
мите $g = 9,8$ м/с².
- 140 По вертикально висящей верёвке длиной
121 90 см скользит кольцо массой 20 г (рис. 22).
Определите силу сопротивления, действующую
на кольцо во время движения, если
известно, что кольцо соскользнуло за 0,6 с.
Силу сопротивления считайте постоянной.
- 141 Два связанных нитью тела могут двигаться
122 без трения по горизонтальной поверхности.
Когда к первому телу приложена горизон-
тальная сила, равная 30 Н, сила натяжения
нити равна 10 Н. Определите силу натяже-
ния нити, если такую же по модулю силу
приложить ко второму телу.
- 142 Вертолёт поднимает автомобиль массой 5 т с ускоре-
123 нием 0,6 м/с². Определите силу натяжения троса.
- 143 Локомотив тянет за собой два вагона одинаковой
124 массы. Докажите, что при ускоренном движении
натяжение в сцепке локомотива с первым вагоном
в 2 раза больше, чем натяжение в сцепке первого
вагона со вторым. Сопротивление не учитывайте.
- 144 В вагоне, движущемся горизонтально с ускорением
125 12 м/с², висит на шнуре груз массой 200 г. Опреде-
лите силу натяжения шнура.
- 145 Модуль максимального ускорения, с которым может
126 двигаться лифт, равен 0,6 м/с². Масса лифта рав-
на 5 т. В каких пределах будет изменяться сила
натяжения троса при движении лифта? Примите
 $g = 9,8$ м/с².



Рис. 22

- 146 Воздушный шар опускается с ускорением $0,8 \text{ м/с}^2$, направленным вниз. Определите массу балласта, который надо сбросить, чтобы шар начал двигаться с таким же ускорением, но направленным вверх. Масса шара с балластом 200 кг . Сопротивление воздуха не учитывайте.

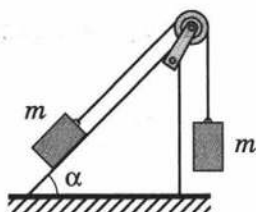


Рис. 23

- 147 Два тела с одинаковой массой m соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Одно из тел без трения скользит по наклонной плоскости с углом $\alpha = 30^\circ$ у основания (рис. 23). Определите ускорение тел. Массы блока и нити не учитывайте. Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

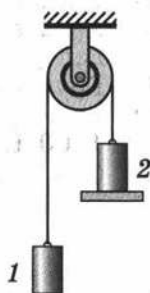


Рис. 24

- 148 Через блок перекинута нерастяжимая нить, к концам которой привязаны два груза массами 2 и 4 кг (рис. 24). Под грузом 2 расположена подставка, удерживающая грузы в равновесии. Разность высот, на которых находятся грузы, 1 м . Подставку осторожно убирают, и грузы начинают двигаться. Определите скорости грузов в тот момент, когда они окажутся на одной высоте. Массы блока и нити не учитывайте. Примите $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

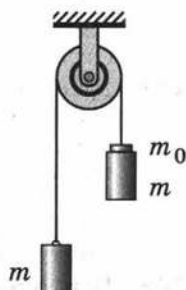


Рис. 25

- 149 Через блок перекинута нерастяжимая нить, к концам которой привязаны два одинаковых груза массой $m = 5 \text{ кг}$ каждый. На один из грузов положили шайбу массой $m_0 = 0,5 \text{ кг}$ (рис. 25). Определите силу давления шайбы на груз во время движения системы. Массы блока и нити не учитывайте.

- 150 Чему равны ускорения грузов массами $m_1 = 3 \text{ кг}$ и $m_2 = 4 \text{ кг}$, а также сила натяжения нити в системе тел, показанной на рисунке 26? Массы блоков и нити не учитывайте.

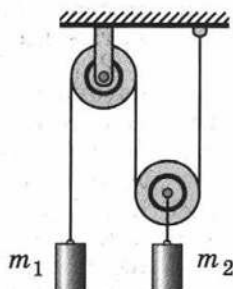


Рис. 26

- 151 Определите радиус выпуклого
132 моста, если при движении автомо-
биля со скоростью 72 км/ч в верх-
ней точке сила давления на мост в
2 раза меньше силы тяжести авто-
мобиля.

- 152 На подвижном диске укрепили
133 математический маятник так,
как показано на рисунке 27. Дли-
на нити $l = 0,5$ м, расстояние
 $r_0 = 10$ см. При какой угловой ско-
рости вращения диска нить маят-
ника отклонится от вертикали на
угол 45° ?

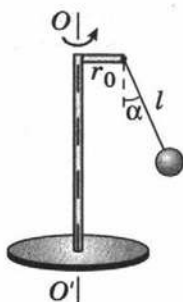


Рис. 27

- 153 Маленький шарик массой 100 г подвесили на длин-
134 ной нити к потолку вагона, равномерно движущего-
ся по криволинейному участку пути со скоро-
стью 72 км/ч. Чему равна сила натяжения нити,
если радиус кривизны участка пути 200 м?

- 154 С какой угловой скоростью внутри сферы радиусом
135 $R = 20$ см должен вращаться небольшой шарик, что-
бы он всё время находился на высоте $h = 5$ см от-
носительно нижней точки сферы (рис. 28)? Трение
не учитывайте.

- 155 Лётчик описывает на самолёте «мёртвую петлю» ра-
136 диусом 200 м. Определите силы давления лётчика на
сиденье в верхней и нижней точках траектории.
Скорость самолёта 180 км/ч, масса лётчика 70 кг.

- 156 Система из двух тел массами m_1 и m_2 , связанных ни-
137 тью, вращается с угловой скоростью ω (рис. 29). Часть
нити, на которой висит груз массой m_1 , остаётся
строго вертикальной. Определите длину части нити,
на которой закреплён вращающийся груз массой m_2 .

- 157 Шарик радиусом r (рис. 30) подвешен на нити дли-
138 ной l к вертикальному стержню, проходящему через
центр основания цилиндра радиусом R . Система при-

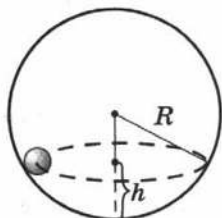


Рис. 28

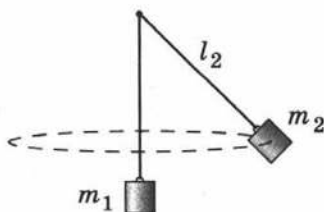


Рис. 29

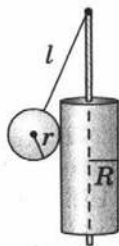


Рис. 30

ведена во вращение. Определите, при какой минимальной угловой скорости вращения ω_0 шарик перестаёт давить на цилиндр.

- 158 В аттракционе «Автомобиль на вертикальной стене»
139 автомобиль движется по внутренней поверхности вертикального цилиндра в горизонтальной плоскости. Какой должна быть скорость v автомобиля, чтобы он не падал? Коэффициент трения между шинами и поверхностью цилиндра μ , радиус цилиндра R .

Геоцентрическая система отсчёта

- 159 На какой угол повернётся плоскость колебаний маятника Фуко на полюсе за 1 ч?
Н
160 Определите скорость и ускорение Земли, обращающейся вокруг Солнца. Средний радиус орбиты Земли 150 млн км.
Н
161 Во сколько раз центростремительное ускорение тела, находящегося на экваторе Земли, отличается от ускорения движения Земли по орбите вокруг Солнца?
Н
162 Мяч брошен под углом α к горизонту со скоростью v_0 . Выберите две системы отсчёта для рассмотрения движения мяча и докажите, что скорость мяча — инвариантная величина.
Н
163 Запишите уравнение траектории тела, движущегося вдоль горизонтальной прямой с постоянной скоростью v , относительно тела, падающего с высоты h . В начальный момент времени тела находились на одной вертикальной прямой.

Силы в механике

Гравитационные силы

Закон всемирного тяготения.

Первая космическая скорость

- 164 Определите массу Земли, считая, что её радиус равен 6400 км, гравитационная постоянная равна $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ и ускорение свободного падения равно $9,8 \text{ м/с}^2$.
140
165 На какой высоте над поверхностью Земли сила притяжения к ней тел уменьшается в 2 раза?
141
166 Искусственный спутник движется по круговой орбите вокруг Земли со скоростью v_1 . Как должна измениться его скорость, чтобы он перешёл на орбиту, радиус которой вдвое больше исходной?
142

- 167 Вокруг планеты, имеющей форму шара радиусом R ,
143 по круговой орбите движется спутник. Определите радиус r орбиты спутника, считая, что ускорение свободного падения у поверхности планеты g и период обращения спутника T .
- 168 Вблизи некоторой планеты по круговой орбите вра-
144 щается спутник с периодом обращения, равным 10 ч. Чему равна средняя плотность планеты? Считайте, что высота, на которой движется спутник, много меньше радиуса планеты.
- 169 Искусственный спутник Земли запущен с экватора и
145 вращается по круговой орбите в плоскости экватора в направлении осевого вращения Земли. Радиус орбиты спутника в 2 раза больше радиуса Земли. Через какой промежуток времени спутник в первый раз пройдёт над точкой запуска?
- 170 Определите скорость спутника Земли при движении
146 его по орбите, радиус которой равен 1,5 радиуса Земли.
- 171 Отношение радиусов Земли и Луны $\frac{R_3}{R_{\text{Л}}} = 3,7$, отноше-
147 ние их масс $\frac{M_3}{M_{\text{Л}}} = 81$. Определите первую космическую скорость спутника Луны, зная, что первая космическая скорость спутника Земли $v_1 = 8$ км/с.

Сила тяжести и вес. Невесомость

- 172 Определите, на сколько увеличивается вес человека
148 массой 70 кг, находящегося в лифте, движущемся с ускорением $0,2$ м/с², направленным вверх. Примите $g = 9,8$ м/с².
- 173 С каким ускорением надо опускать тело, подвешен-
149 ное на нити, чтобы его вес был в 2 раза меньше, чем в случае покоя?
- 174 С каким ускорением движется автомобиль по горизон-
150 тальной прямой дороге, если водитель давит на сиденье силой давления, в 2 раза превышающей его вес?
- 175 Лётчик массой 69 кг делает «мёртвую петлю» ради-
151 усом 250 м. 1) С какой скоростью должен лететь самолёт, чтобы в наивысшей точке подъёма лётчик испытал состояние невесомости? 2) На сколько при этой скорости увеличивается вес тела в нижней точке траектории? Примите $g = 10$ м/с².
- 176 Чему равна средняя плотность планеты, у которой
152 на экваторе вес тела вдвое меньше, чем на полюсе? Длительность суток на планете 10 ч.

- 177 Сила тяжести, действующая на тело на высоте h над
153 поверхностью планеты радиусом R в районе полюса, равна весу этого же тела на поверхности планеты на экваторе. Ускорение свободного падения у поверхности на полюсе g . Определите период вращения планеты вокруг своей оси. Планету считайте однородным шаром.
- 178 Вес тела на экваторе составляет 0,97 веса этого тела
154 на полюсе. Планета представляет собой однородный шар плотностью $2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Определите период вращения планеты вокруг своей оси.
- 179 Космический корабль движется вокруг Земли под
155 действием силы тяготения по круговой орбите радиусом $R = 2R_3$. Определите, как после включения торможения изменится вес космонавта к тому моменту, когда скорость корабля, продолжающего двигаться по той же орбите, уменьшится на 20 %. Масса космонавта 70 кг.

Силы упругости

Деформация и сила упругости. Закон Гука

- 180 Тело массой 2 кг подвешивают на пружине.
156 При этом пружина растягивается на 0,49 см. Определите жёсткость пружины.
- 181 Тело массой 3 кг, прикреплённое к пружине
157 жёсткостью 10^3 Н/м , поднимают с ускорением a , направленным вверх (рис. 31). При этом пружина дополнительно растягивается на 0,3 см. Определите ускорение a .

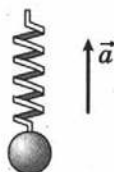


Рис. 31

- 182 Тело массой m , прикреплённое к пружине жёсткостью k , скользит по горизонтальной идеально гладкой поверхности (рис. 32). Определите деформацию пружины, если: 1) тело движется равномерно; 2) тело движется с ускорением a . Массу пружины не учитывайте.
- 183 Тело массой m прикреплено к двум одинаковым
159 пружинам жёсткостью k (рис. 33) и движется с ускорением a . Определите разность деформаций пружин. Обе пружины растянуты. Трением можно пренебречь.



Рис. 32

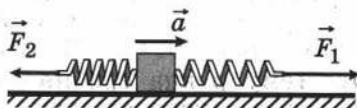


Рис. 33

- 184 Брусок массой 1 кг равномерно соскальзывает с наклонной плоскости. К бруску прикрепляют пружину и, сжимая её, увеличивают его скорость (рис. 34). Определите деформацию пружины, при которой брусок будет двигаться с ускорением 2 м/с^2 . Жёсткость пружины $2 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$.

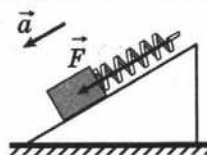


Рис. 34

- 185 К потолку лифта на двух пружинах, жёсткости которых $k_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$ и $k_2 = 10^3 \text{ Н/м}$, подвешены два тела массами $m_1 = 1 \text{ кг}$ и $m_2 = 2 \text{ кг}$ (рис. 35). Лифт движется вверх с ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$, сначала направленным вверх, а в конце пути направленным вниз. Определите деформации пружин в обоих случаях. Массы пружин не учитывайте.

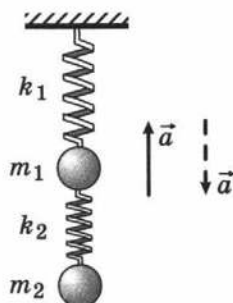


Рис. 35

- 186 Шарик массой 180 г качается на лёгкой пружине жёсткостью 10^2 Н/м (рис. 36). В нерастянутом состоянии при горизонтальном положении длина пружины 40 см. Определите скорость шарика в тот момент, когда он проходит положение равновесия, если при этом пружина растягивается на 5 см.

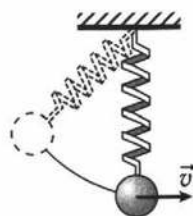


Рис. 36

Силы трения

Силы трения и силы сопротивления

- 187 Чему равна начальная скорость шайбы, пущенной по поверхности льда, если она остановилась через 40 с? Коэффициент трения шайбы о лёд 0,05.
- 188 Кубик равномерно соскальзывает по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 45^\circ$. Определите коэффициент трения кубика о поверхность плоскости.
- 189 С каким максимальным ускорением может двигаться автомобиль, если коэффициент трения между шинами и дорожным покрытием равен 0,6?
- 190 На каком минимальном расстоянии от перекрёстка при красном сигнале светофора водитель должен начать торможение, если автомобиль движется со ско-

ростью 90 км/ч, а коэффициент трения между шинами и дорогой 0,4?

- 191 Брусок массой m находится на наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол α . Определите силу, с которой брусок действует на наклонную плоскость, если: 1) брусок неподвижен; 2) брусок движется вниз с ускорением a .

- 192 Брусок равномерно движется вниз по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 15° . Определите ускорение, с которым будет двигаться брусок, если угол наклона плоскости увеличится до 45° .

- 193 Два бруска массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 1,5$ кг соединены пружиной жёсткостью 10^3 Н/м (рис. 37). На левый брусок действует сила 10 Н. Определите ускорение брусков и деформацию пружины. Коэффициент трения брусков о поверхность 0,1.

- 194 Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол 30° . Вверх по этой плоскости с начальной скоростью начинает двигаться тело, которое, достигнув наибольшей высоты, соскальзывает. Время спуска в 1,5 раза больше времени подъёма. Определите коэффициент трения тела о плоскость.

- 195 На горизонтальной поверхности льда лежит доска. С каким минимальным ускорением мальчик массой 50 кг должен бежать по доске, чтобы она начала скользить по льду? Масса доски 40 кг. Коэффициент трения между поверхностями доски и льда равен 0,01.

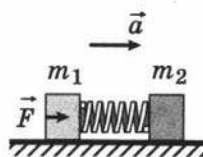


Рис. 37

- 196 На конце доски длиной 2 м помещён брусок длиной 20 см (рис. 38). На доску действует горизонтальная сила 40 Н. Массы бруска и доски равны соответственно 4 и 16 кг. Коэффициент трения между поверхностями бруска и доски 0,01, а между доской и полом 0,05. Через какой промежуток времени с момента начала действия силы брусок соскочит с доски?



Рис. 38

- 197 Рабочий тянет ящик массой 80 кг вверх по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 30° (рис. 39). Ко-

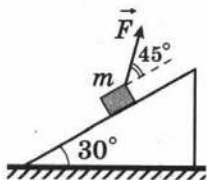


Рис. 39

эффицент трения ящика о плоскость 0,05. Определите силу натяжения верёвки при равномерном движении ящика, если угол между верёвкой и плоскостью 45° ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

- 198 Два одинаковых бруска массой
174 100 г каждый соединены нерастяжимой нитью, перекинутой через блок, установленный на вершине наклонной плоскости (рис. 40). Плоскость образует с горизонтом угол 30° . Коэффициент трения между плоскостью и бруском 0,1. Определите ускорение тел и силу, действующую со стороны нити на блок.

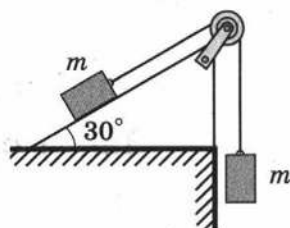


Рис. 40

- 199 Шайба, соскальзывая с ледяной
175 горки высотой 3 м, упруго ударяется о препятствие, поставленное в конце горки (рис. 41). Поверхность горки составляет с горизонтом угол 30° . Коэффициент трения шайбы о ледяную горку равен 0,15. На какую высоту поднимется шайба после двух ударов о препятствие?

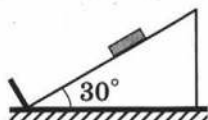


Рис. 41

- 200 Доску массой 20 кг поднимают
176 вверх по наклонной плоскости, действуя силой 195 Н (рис. 42). На доске находится брусок массой 1 кг. Определите ускорения бруска и доски. Коэффициент трения доски о плоскость 0,2, а бруска о доску 0,1. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол 60° .



Рис. 42

- 201 К плавающему в воде диску привязана нерастяжимая невесомая нить. Чему равна скорость установившегося движения диска, если нить тянут параллельно поверхности воды силой 10 Н? Сила сопротивления воды пропорциональна скорости движения диска: $F_c = kv$, где $k = 4 \text{ кг/с}$.

- 202 В сосуд с маслом бросили свинцовый шарик радиусом 2 мм. Определите установившуюся скорость шарика. Сила сопротивления пропорциональна скорости: $F_c = kv$, где $k = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ кг/с}$. Плотность свинца $1,13 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, а плотность масла $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

- 203 Шарик массой 10 г всплывает с постоянной скоростью 0,2 м/с в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Определите коэффициент сопротивления, считая, что сила сопротивления пропорциональна скорости.

Законы сохранения в механике

Закон сохранения импульса

Импульс материальной точки.

Второй закон Ньютона в импульсной форме

- 204 На тело в течение 3 с действовала постоянная сила
180 10 Н. Скорость тела за это время изменилась на 5 м/с. Определите массу тела.
- 205 Автомобиль, трогаясь с места, за 5 с набирает скорость 72 км/ч. Определите коэффициент трения между колёсами и дорогой.
- 206 Мяч массой 150 г подлетает к стенке под углом 30°
182 к её поверхности со скоростью 5 м/с и отскакивает от неё. Время абсолютно упругого удара 0,02 с. Определите среднюю силу, с которой мяч давит на стенку во время удара.
- 207 Мяч массой 100 г подлетает к стенке под углом 45°
183 со скоростью 10 м/с и отскакивает от неё. Скорость мяча после удара равна 6 м/с и направлена под углом 30° к стенке. Определите коэффициент трения между мячом и стенкой.
- 208 Тело массой 1 кг двигалось по окружности. В некоторой точке скорость тела была равна 3 м/с. За одну секунду тело прошло четверть окружности, и его скорость стала равна 4 м/с. Определите значение средней силы, действовавшей на тело.
- 209 Космический корабль должен изменить курс и начать движение под углом 15° к начальному направлению с тем же импульсом, равным $5 \cdot 10^6$ Н·с. На какое наименьшее время нужно включить двигатель, если при этом на корабль начинает действовать сила, равная 10^5 Н?
- 210 Камень массой 1 кг брошен со скоростью 3 м/с под углом 30° к горизонту. Определите изменение импульса камня за время его полёта.
- 211 Из пушки производится выстрел, при этом дальность полёта снаряда в 2 раза больше максимальной высоты

ты подъёма. Импульс снаряда в начальной точке траектории равен $1000 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. Определите импульс снаряда в наивысшей точке траектории. Сопротивление воздуха не учитывайте.

- 212** Мальчик бросает мяч массой 1 кг вслед грузовику, движущемуся со скоростью 7 м/с . Мяч ударяется перпендикулярно поверхности заднего борта грузовика. Определите импульс силы, действовавшей на грузовик. Удар считайте абсолютно упругим. Скорость мяча до удара 15 м/с . Чему равна скорость мяча после удара?

Закон сохранения импульса. Реактивное движение

- 213** Железнодорожный вагон массой 10^4 кг , движущийся со скоростью 25 м/с , сталкивается с неподвижным вагоном массой $1,5 \cdot 10^4 \text{ кг}$. С какой скоростью поедут вагоны, если сработает сцепка между ними?
- 214** Человек массой 80 кг , бегущий со скоростью $3,25 \text{ м/с}$, догоняет тележку массой 100 кг , движущуюся со скоростью 1 м/с , и запрыгивает на неё. С какой скоростью будет двигаться тележка с человеком?
- 215** Пушка, стоящая на гладкой горизонтальной поверхности, стреляет под углом 60° к горизонту. Масса снаряда 100 кг , его скорость при вылете из дула 300 м/с . С какой скоростью начнёт откатываться пушка, если она не закреплена? Масса пушки 10^4 кг .
- 216** Два рыбака, стоя в разных лодках и перехватывая канат, протянутый между лодками, приближаются друг к другу (рис. 43). Массы лодок с рыбаками равны соответственно 300 и 250 кг . Скорость первой лодки 2 м/с . Определите: 1) скорость второй лодки относительно берега; 2) скорость, с которой сближаются лодки.



Рис. 43

- 217** На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска массой m , по ней со скоростью v_0 начинает скользить шайба массой $\frac{m}{4}$. Определите скорость доски в тот момент, когда шайба остановится. Шайба с доски не соскальзывает.

- 218 Лодка длиной 2 м стоит, приткнувшись носом к бе-
194 регу. Масса лодки 90 кг. Человек, сидящий на кор-
ме, хочет сойти на берег. На какое расстояние от
берега сдвинется лодка, если человек перейдёт на её
нос? Масса человека 60 кг.
- 219 На конце соломинки, плавающей в озере, сидит куз-
195 нечик. С какой минимальной скоростью должен
прыгнуть кузнецик, чтобы оказаться на другом кон-
це соломинки? Масса кузнецика m , масса соломин-
ки M , а её длина l .
- 220 Граната разрывается на два осколка, разлетающиеся
196 с импульсами p_1 и p_2 , направленными под углом α
друг к другу. Определите импульс гранаты до раз-
рыва.
- 221 Граната, летевшая горизонтально со скоростью 10 м/с,
197 разорвалась на высоте 8 м над землёй на два оскол-
ка. Отношение масс осколков $m_1 : m_2 = 2 : 3$. Мень-
ший осколок полетел вниз и упал под местом раз-
рыва, при этом его конечная скорость была 25 м/с.
Определите дальность полёта большего осколка.
- 222 Пуля массой 10 г, летящая вдоль стола высотой 1,2 м,
198 попадает в центр шара массой 400 г, лежащего на
краю стола, и застревает в нём. На каком расстоя-
нии от стола упадёт шар, если скорость пули 500 м/с?
- 223 Два человека массами 60 и 70 кг по очереди пры-
199 гивают со скоростью 10 м/с с подвижной платформы
массой 300 кг. 1) Какой человек должен прыгнуть
первым, чтобы платформа начала движение с макси-
мальной скоростью? 2) Чему будет равна скорость плат-
формы, если оба человека прыгнут одновременно?
- 224 Шарик массой 10 г падает с высоты 1,8 м и упруго
200 отскакивает от установленного на неподвижной тележ-
ке щита, плоскость которого наклонена к горизонту
под углом 45° . При этом скорость шарика уменьша-
ется в 2 раза. Масса тележки со щитом 90 г. Опреде-
лите её скорость после отскока шарика. Трение не
учитывайте.
- 225 Ракета массой 400 кг поднялась на высоту 1000 м.
201 Определите скорость, с которой вылетели продукты
сгорания из ракеты. Считайте, что весь запас топли-
ва массой 20 кг сгорел мгновенно.
- 226 Топливо подаётся в двигатель поднимающейся раке-
202 ты со скоростью 200 м/с, а продукты сгорания вы-
ходят из сопла со скоростью 500 м/с. Массовый рас-
ход топлива одним двигателем 30 кг/с. Ракета имеет
40 двигателей. Определите силу тяжести ракеты.
Скорость полёта ракеты постоянна.

- 227** На горизонтальной поверхности лежит деревянный шар, масса которого $m = 1$ кг. Шар пробивается пулей массой $m_0 = 10$ г, проходящей через его центр. Скорость пули до столкновения с шаром $v_0 = 300$ м/с, а после вылета из него $v = 100$ м/с. Коэффициент трения между поверхностью и шаром $\mu = 0,1$. Плотность дерева $\rho = 700$ кг/м³. С какой точностью можно считать систему шар—пуля замкнутой?

Закон сохранения энергии

Работа силы. Мощность

- 228** Рабочий равномерно поднимает кирпич массой 3 кг на высоту 50 см. Определите работу силы тяжести, действующей на кирпич, и работу силы давления кирпича на руку рабочего.
- 229** Санки массой 40 кг тянут за верёвку, составляющую с горизонтом угол 30° (рис. 44). Сила натяжения верёвки 250 Н. Коэффициент трения между полозьями санок и дорогой 0,03. Определите работу каждой из сил, действующих на санки при их перемещении вдоль дороги на 100 м.
- 230** Лифт массой 1 т поднимается с ускорением 1 м/с². Определите работу силы натяжения тросов и работу силы тяжести, действующей на лифт, за первые 2 с движения.
- 231** Груз массой 20 кг равноускоренно опускают на верёвке на высоту 10 м за 4 с. Определите работу силы натяжения верёвки и работу силы тяжести при этом перемещении груза.
- 232** По наклонной плоскости с углом у основания 45° поднимают ящик с песком общей массой 30 кг, привязав к нему верёвку (рис. 45). Ящик подняли на высоту 20 м за 17 с. Коэффициент трения между ящиком и плоскостью 0,2. Определите работу каждой из сил, действующих на ящик. Считайте движение ящика равноускоренным.
- 233** Два одинаковых груза поднимают на высоту h . Один груз тянут равномерно на верёвке вертикально вверх, другой также на верёвке

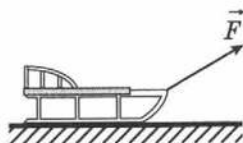


Рис. 44

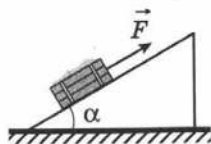


Рис. 45

- равномерно тянут по наклонной плоскости, которая составляет с горизонтом угол 60° . Во сколько раз различаются работы сил натяжения верёвок при подъёме грузов? Трение не учитывайте.
- 234** Мальчик везёт на ледяную горку санки массой 5 кг со скоростью 1 м/с. Угол у основания горки 30° , угол между поверхностью горки и верёвкой 45° . Коэффициент трения между полозьями санок и поверхностью горки 0,05. Какую мощность развивает при этом мальчик?
- 235** Определите среднюю мощность двигателя автомобиля, если его скорость изменяется от 36 до 108 км/ч за 10 с. Масса автомобиля 1,5 т. Силу сопротивления, действующую на автомобиль, считайте постоянной и равной 700 Н.
- 236** Человек массой 80 кг поднимается вертикально вверх по лестнице за 5 с. Высота подъёма 3 м. Определите развиваемую человеком мощность.
- 237** Мощность двигателя подъёмного крана 4,4 кВт. Какой груз можно поднять с помощью этого крана на высоту 12 м за 0,5 мин? КПД двигателя 80 %. Движение груза считайте равноускоренным.
- 238** Автомобиль массой 2 т равноускоренно поднимается в гору с уклоном 30° . Длина подъёма 100 м. Скорость автомобиля в начале подъёма 36 км/ч, в конце 54 км/ч. Сила сопротивления, действующая на автомобиль, постоянна и равна 800 Н. 1) Определите среднюю полезную мощность двигателя автомобиля. 2) Определите мощность двигателя, если его КПД 70 %.
- 239** Флейтист, чтобы сыграть свою партию в опере Моцарта «Дон Жуан», должен за 6 мин взять 5420 нот. Средняя сила, с которой он нажимает на клавиши, 0,644 Н, при этом палец продвигается на 1 см. Определите работу, совершаемую флейтистом, и расходуемую им мощность.
- 240** Бревно длиной 3 м и площадью поперечного сечения 200 см^2 погружают в воду в вертикальном положении (рис. 46). Определите работу, которую совершает выталкивающая сила при полном погружении бревна.

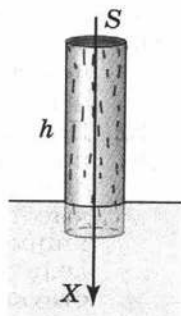


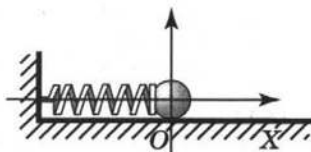
Рис. 46

Кинетическая энергия и её изменение

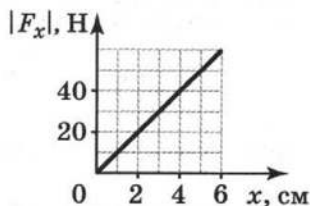
- 241** Определите кинетическую энергию тела массой 1 кг,
216 брошенного со скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту, в конце первой секунды его движения.
- 242** Определите скорость тела, соскальзывающего с высоты h по наклонной плоскости. Угол, который плоскость составляет с горизонтом, α , коэффициент трения тела о плоскость μ .
- 243** Вверх по наклонной плоскости начинает двигаться тело со скоростью 10 м/с. Поднявшись, оно соскальзывает вниз. Определите скорость, с которой оно возвращается в начальное положение. Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол 30° . Коэффициент трения между телом и плоскостью 0,2.
- 244** Скорость автомобиля возросла в 2 раза. Во сколько
219 раз увеличился его тормозной путь?
- 245** Велосипедист, движущийся со скоростью 5 м/с, попадает на дорогу, покрытую толстым слоем песка. Определите среднюю силу сопротивления, действующую на велосипед, если велосипедист остановился, проехав, не крутя педали, по инерции 2 м. Масса велосипеда с велосипедистом 100 кг.
- 246** Груз массой m равномерно поднимают по наклонной плоскости на высоту h , совершив работу A . На этой высоте груз срывается. Какую скорость он будет иметь у основания наклонной плоскости?
- 247** Мяч массой 200 г падает с высоты 1,8 м. Определите работу силы сопротивления, если при падении на землю скорость мяча равна 5 м/с.
- 248** В брусок массой 500 г, лежащий на столе, попадает пуля, летящая со скоростью 400 м/с. Масса пули 10 г. Брусок продвигается вдоль стола на 2,8 м. Чему равен коэффициент трения между бруском и поверхностью стола?
- 249** Мальчик скатывается по ледяному спуску с горки высотой 5 м. Какое расстояние он проедет по горизонтальной части пути до остановки? Коэффициент трения между одеждой мальчика и ледяной поверхностью 0,3. Поверхность горки составляет с горизонтом угол 45° .

Работы сил тяжести и упругости. Потенциальная энергия

- 250** На нерастяжимой нити в вертикальной плоскости
225 вращают шарик массой $0,5$ кг. Длина нити 80 см. Определите работу силы тяжести в моменты времени, когда шарик совершит $2,25$; 4 ; $5,5$ оборота.
- 251** Кубик массой m поднимают на вершину наклонной
226 плоскости на высоту h , а затем отпускают, и он скатывается с неё. Определите: 1) работу при подъёме кубика; 2) работу силы тяжести на всём пути кубика; 3) скорость кубика у основания наклонной плоскости. Трением можно пренебречь.
- 252** Лёгкий шарик массой m и радиусом r удержива-
227 ют под водой на глубине h , затем отпускают. Чему будет равна скорость шарика, когда он приблизится к поверхности воды? Средняя сила сопротивления движению шарика F , плотность воды ρ .
- 253** Камень бросают под углом 45° к горизонту со скоро-
228 стью 10 м/с. Вычислите наибольшую высоту подъёма камня, используя теорему об изменении кинетической энергии.
- 254** На нерастяжимой нити длиной 1 м висит шарик.
229 Нить отклоняют на угол, равный 60° , и отпускают. Определите скорость шарика, когда он проходит положение равновесия.
- 255** Тело массой 1 кг подвешива-
230 ют к пружине жёсткостью 10^2 Н/м. Сравните значения работ силы тяжести и упругости при деформации пружины, когда тело придёт в положение равновесия.
- 256** Шарик прикреплен к пружине, как показано на рисунке 47, а. На рисунке 47, б изображена зависимость модуля проекции силы упругости на ось OX от координаты шарика. 1) Определите жёсткость пружины. 2) По графику определите работу силы упругости при увеличении деформации от 2 до 6 см.



а)



б)

Рис. 47

- 257 Шарик массой 20 г, дви-
232 жущийся со скоростью 4 м/с,
налетает на пружину жёстко-
стью 10^3 Н/м (рис. 48). Опре-
делите максимальную дефор-
мацию пружины.



Рис. 48

- 258 Пружину жёсткостью $2 \cdot 10^3$ Н/м растянули на 4 см,
233 а затем сжали так, что деформация уменьшилась до
1 см. Определите работу силы упругости.
- 259 Шарик массой 1 кг подвешивают на пружине жёст-
234 костью 10^2 Н/м. Затем пружину растягивают на
5 см и отпускают. Используя теорему о кинетиче-
ской энергии, определите скорость шарика в тот мо-
мент, когда он проходит положение равновесия.
- 260 Чему равны работа силы тяжести и изменение по-
235 тенциальной энергии при подъёме тела массой 1 кг
в поле силы тяжести на высоту 2 м?
- 261 Определите изменение потенциальной энергии упру-
236 гого стержня, если сначала его растянули на Δl_1 , а
затем сжали на $\Delta l_2 = \frac{\Delta l_1}{2}$. Жёсткость стержня k .
- 262 Пловец массой 70 кг прыгает в воду с вышки, на-
237 ходящейся на высоте 10 м над поверхностью воды,
и погружается на глубину 3 м. Выбирая за нулевой
уровень отсчёта потенциальной энергии поверхность
воды, определите потенциальную энергию пловца на
вышке и при его максимальном погружении.

Закон сохранения механической энергии. Уменьшение механической энергии системы под действием сил трения

- 263 Тело брошено под углом α к горизонту со скоростью
238 6 м/с. На какой высоте его кинетическая энергия
будет равна половине потенциальной? Считайте, что
в начальной точке его потенциальная энергия равна
нулю.
- 264 С какой скоростью надо бросить вертикально вниз
239 мяч с высоты h , чтобы, ударившись о пол, он под-
скочил на высоту $2h$? Потери энергии при ударе не
учитывайте.
- 265 Нить длиной 1 м с прикрепленным к ней телом от-
240 клонили на угол 90° и отпустили. Определите ско-
рость тела в момент времени, когда нить составляет
с вертикалью угол: 1) 60° ; 2) 45° ; 3) 0° .

- 266** Определите деформацию пружины детского пистолета, из которого шарик массой 20 г вылетает со скоростью 6 м/с. В одном случае дуло пистолета расположено горизонтально, в другом — вертикально. Жёсткость пружины 10^2 Н/м. Объясните результат.



Рис. 49

- 267** На вертикальном невесомом стержне длиной 40 см укреплен маленький шарик (рис. 49). Стержень начинает падать. Определите скорость шарика в тот момент, когда стержень составляет с горизонталью угол 30° . Нижний конец стержня: 1) неподвижен; 2) скользит без трения по поверхности.

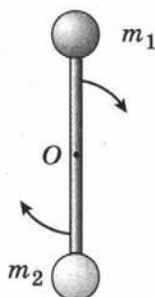


Рис. 50

- 268** На концах невесомого стержня длиной 1 м закреплены два небольших шарика массами 2 и 1 кг (рис. 50). Стержень может вращаться относительно оси, проходящей через точку O. В начальный момент наверху находится более тяжёлый шарик. Вследствие небольшого толчка стержень начинает вращаться. Определите скорость шариков в тот момент, когда они поменяются местами.

- 269** Шар массой 1 кг подвешен на нити длиной 1 м. В шар попадает пуля массой 10 г, летящая со скоростью 400 м/с под углом 60° к горизонту (рис. 51). Определите максимальный угол отклонения нити от вертикали.

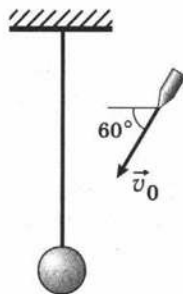


Рис. 51

- 270** На гладкой горизонтальной поверхности лежит деревянный брусок массой 4 кг, прикрепленный к стене пружиной жёсткостью 10^2 Н/м. В центр бруска попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально, и застревает в нём (рис. 52). Определите скорость пули, если максимальное сжатие пружины 30 см.



Рис. 52

- 271** Лёгкая пружина жёсткостью 100 Н/м и длиной $l = 10$ см стоит вертикально на столе (рис. 53). С высоты $H = 1$ м на неё падает небольшой шарик массой 100 г, который после взаимодействия с пружиной летит вверх. Определите максимальную скорость шарика.

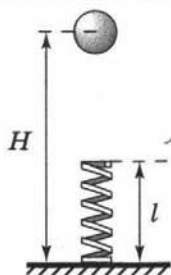


Рис. 53

- 272** Тело массой m начинает соскальзывать с высоты h по гладкому жёлобу, переходящему в петлю радиусом R (рис. 54). Определите минимальную высоту, при которой тело не оторвется от жёлоба ни в одной точке траектории.

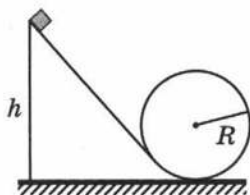


Рис. 54

- 273** На гладкой поверхности лежат два шара, между которыми находится сжатая пружина (рис. 55). Пружину отпускают, она распрямляется, вследствие чего шары разлетаются в разные стороны. Определите скорости шаров, если их массы m_1 и m_2 . Начальная энергия сжатой пружины E . Пружина с шарами не скреплена.



Рис. 55

- 274** Шарик массой m , подвешенный на нити, вращается в вертикальной плоскости. Определите, на сколько сила натяжения нити при прохождении шариком нижней точки больше, чем при прохождении верхней точки. Считайте, что механическая энергия шарика остаётся постоянной.

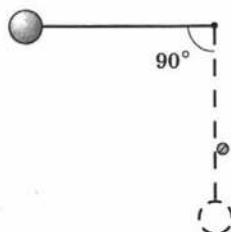


Рис. 56

- 275** Нить длиной 1 м с привязанным к ней грузом массой 100 г отклонили на угол 90° и отпустили (рис. 56). На сколько ниже точки подвеса нужно вбить гвоздь, чтобы нить, налетев на него, порвалась? Максимальное натяжение, выдерживаемое нитью, 10 Н.

- 276** Подвижный трамплин (рис. 57) массой M , расположенный на гладкой поверхности, имеет горизонтальный участок на высо-

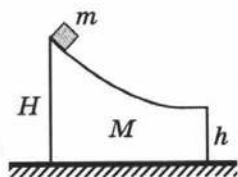


Рис. 57

те h . С трамплина скатывается небольшой кубик массой m с высоты H . На каком расстоянии от трамплина упадёт кубик? Трение не учитывайте.

- 277
252 Два тела, находящиеся на концах горизонтального диаметра гладкой полусферы радиусом 40 см, соскальзывают без начальной скорости навстречу друг другу (рис. 58). После столкновения тела слипаются и движутся как одно целое, поднимаясь на высоту 10 см. Определите отношение масс тел. Какая часть механической энергии теряется при их абсолютно неупругом столкновении?



Рис. 58

- 278
253 Канат длиной 2 м переброшен через блок так, что его свешивающиеся концы оказываются одинаковой длины (рис. 59). При небольшом смещении канат начинает соскальзывать с блока. Чему равна скорость каната в тот момент, когда он полностью соскальзывает с блока? Трением можно пренебречь.



Рис. 59

- 279
254 Пуля массой m пробивает закреплённую доску при минимальной скорости v_0 . С какой скоростью v должна лететь пуля, чтобы пробить незакреплённую доску? Масса доски M .

- 280
255 Брусок массой m , лежащий на горизонтальной поверхности, прикреплён к стенке пружиной жёсткостью k (см. рис. 52). Коэффициент трения между бруском и поверхностью μ . С какой скоростью должна лететь пуля, чтобы после попадания её в брусок он вернулся в исходное положение? Масса пули m_0 . До попадания пули в брусок пружина не деформирована.

- 281
256 Два тела массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 5$ кг соединены нерастяжимой и невесомой нитью, перекинутой через блок (рис. 60). Если толкнуть второе тело вправо, то первое опустится на 20 см; если его толкнуть влево, сообщив ему ту же скорость, то первое тело поднимется на 10 см. Определите коэффициент трения между вторым телом и плоскостью.

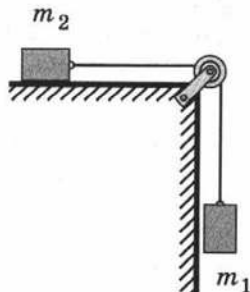


Рис. 60

- 282 Брусок массой m и длиной l ле-
257 жит на стыке двух столов
(рис. 61). Какую работу соверша-
ет сила $\vec{F}$ при равномерном пере-
таскивании бруска с одного стола
на другой? Коэффициенты трения
между бруском и столами μ_1 и μ_2 .

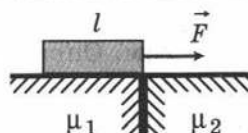


Рис. 61

- 283 Шар массой 1 кг подвешен на нити длиной 1 м.
258 В шар попадает пуля массой 10 г, летящая горизон-
тально со скоростью 400 м/с. Пуля пробивает шар и
вылетает из него со скоростью 200 м/с. Оборвётся ли
нить, если она выдерживает максимальную силу на-
тяжения 13 Н? Считайте, что за время взаимодей-
ствия с пулей шар не смещается.
- 284 Покажите, что после прямого абсолютно упругого
870 удара тела с одинаковыми массами обмениваются
скоростями.
- 285 Определите скорости шаров после абсолютно упруго-
871 го прямого удара. Массы шаров равны 1 и 3 кг, ско-
рости до удара равны 5 и 2 м/с. Рассмотрите два
случая: 1) шары движутся навстречу друг другу;
2) один шар догоняет другой.
- 286 Два шара движутся навстречу друг другу с одинако-
872 выми по модулю скоростями. Определите отношение
скоростей шаров после абсолютно упругого удара,
если отношение их масс равно $2/3$.
- 287 Шар массой m_1 ударяет по неподвижному шару мас-
873 сой m_2 . Считая взаимодействие шаров абсолютно
упругим, а удар центральным, определите, при ка-
ком значении отношения m_1/m_2 подвижный шар:
1) потеряет всю энергию; 2) не потеряет энергию.
- 288 При каких значениях отношения m_1/m_2 шары, дви-
874 жущиеся навстречу друг другу с одинаковыми ско-
ростями, после прямого удара разлетаются в разные
стороны?
- 289 Определите максимальное значение потенциальной
875 энергии при взаимодействии двух упругих шаров
массами m_1 и m_2 , если шары летят: 1) навстречу
друг другу со скоростями v_1 и v_2 ; 2) друг за другом
с теми же скоростями.
- 290 Электрон, движущийся со скоростью v , налетает на
876 неподвижный атом. Массы электрона и атома равны
соответственно m_e и m_a , причём $m_e \ll m_a$. При не-
больших значениях энергии электрона его взаимо-

действие с атомом можно считать абсолютно упругим. Определите энергию, которую передаёт электрон атому.

- 291 Шарик массой m_1 , равной
877 1 кг, висит на нити длинной 0,5 м. Его отклоняют так, что нить составляет с вертикалью угол 60° , и отпускают (рис. 62). Когда шарик проходит положение равновесия, он ударяет шарик массой m_2 , равной 2 кг, лежащий на краю стола высотой 1 м. На каком расстоянии от стола упадёт второй шарик?

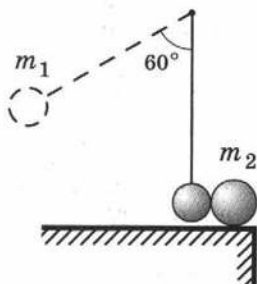


Рис. 62

- 292 Определите, на какой максимальный угол отклонится
878 нить после удара (см. задачу 291 (877)).
- 293 Движущийся шар массой m_1 ударяет по неподвижному шару массой m_2 . В результате этого абсолютно упругого прямого удара шар массой m_1 потерял $\frac{3}{4}$ своей кинетической энергии. Чему равно отношение масс шаров?
- 294 Мяч массой 1 кг, летящий горизонтально со скоростью 6 м/с, ударяется об экран, стоящий на тележке и наклонённый под углом 45° к горизонту. Масса тележки с экраном 10 кг. На какую высоту поднимется мяч после удара? Удар считайте абсолютно упругим. Трением пренебрегите.
- 295 Во сколько раз уменьшится скорость атома гелия после упругого столкновения с неподвижным атомом водорода? Масса атома водорода в 4 раза меньше массы атома гелия.

- 296 Два гладких упругих шара радиусом r каждый
882 лежат, соприкасаясь друг с другом, на гладкой горизонтальной плоскости. Третий упругий шар радиусом $2r$, скользящий со скоростью v , ударяет одновременно оба шара (рис. 63). Определите скорость большого шара после удара. Шары изготовлены из одного материала.

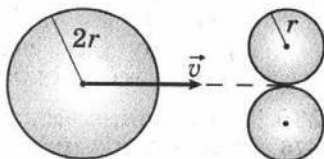


Рис. 63

- 297 Два упругих шарика одинаковой массы налетают
883 друг на друга со скоростями v_1 и v_2 под углом α и
разлетаются после абсолютно упругого удара со скоростями u_1 и u_2 под углом β . Определите угол β .
- 298 Докажите, что после упругого столкновения шаров
884 одинаковой массы, один из которых был неподвижен, в случае непрямого удара они разлетаются под углом 90° .

Работа силы тяготения. Потенциальная энергия в поле тяготения

- 299 Определите скорость тела, запущенного вверх с по-
Н поверхности Земли, если оно отлетело от Земли на расстояние, равное двум радиусам.
- 300 Определите минимальную скорость, которую надо
Н сообщить телу на поверхности Луны, чтобы оно вышло за пределы лунного притяжения.
- 301 Чему равно изменение потенциальной энергии метеоро-
861 рита массой 3 кг при его падении на Землю с расстояния от центра Земли, равного трём радиусам Земли?
- 302 Запишите выражение для потенциальной энергии
862 тела массой m , находящегося на расстоянии, равном двум радиусам Земли, считая от её центра, если за нулевой уровень отсчёта принять поверхность Земли.
- 303 Чему будет равна вторая космическая скорость, если
863 тело запускают с высоты $3R_3$ от поверхности Земли?
- 304 От ракеты, движущейся вверх со скоростью
864 $1,8 \cdot 10^3$ м/с, на расстоянии 1600 км от поверхности Земли отделяется ступень, которая затем падает на Землю. Определите скорость этой ступени в момент падения на Землю. Сопротивлением воздуха пренебрегите.
- 305 В каких пределах может изменяться скорость спут-
865 ников Земли?
- 306 Определите работу, которую надо совершить, чтобы
866 вывести спутник на орбиту радиусом r .
- 307 Чему равна работа двигателя космического корабля
867 массой 2 т при его переводе с орбиты, находящейся на расстоянии 100 км от поверхности Земли, на более высокую орбиту, находящуюся на расстоянии 300 км?
- 308 Какую ошибку мы допускаем, используя формулу
868 $\Delta E_p = mgh$ для определения изменения потенциальной энергии при подъёме тела на высоту $h = 100$ км от поверхности Земли?

- 309** Определите скорость, которую надо сообщить телу, запущенному с поверхности Земли, чтобы оно вышло за пределы Солнечной системы (эта скорость называется третьей космической скоростью v_{III}). Расстояние от Земли до Солнца $R = 1,5 \cdot 10^8$ км, масса Солнца $M = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг.

Динамика вращательного движения абсолютно твёрдого тела

- 310** Через блок массой 1 кг перекинута нерастяжимая нить, к концам которой привязаны два груза массами 2 и 4 кг (рис. 64). Под грузом 2 расположена подставка, удерживающая грузы в равновесии. Разность высот, на которых находятся грузы, 1 м. Подставку осторожно убирают, и грузы начинают двигаться. Определите скорости грузов в тот момент, когда они окажутся на одной высоте. Массой нити и трением в оси блока можно пренебречь. Примите $g = 9,8$ м/с². Сравните ответ с ответом задачи 148 (129).

- 311** На блок массой 0,5 кг намотана нить, к концу которой привязан груз массой 1 кг, а к нему привязан груз массой 2 кг (рис. 65). Грузы движутся вниз, раскручивая нить на блоке. Определите силу натяжения нити, связывающей грузы. Массами и деформациями нитей и трением в оси блока можно пренебречь.

- 312** Два тела массами m_1 и m_2 связаны нитью, перекинутой через блок массой m (рис. 66). Определите работу силы трения за время t после начала движения системы. Нить не проскальзывает по блоку. Массой нити и трением в оси блока можно пренебречь. Коэффициент трения между телом массой m_1 и поверхностью стола равен μ .

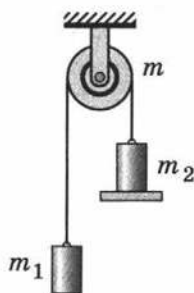


Рис. 64

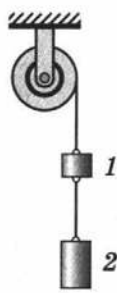


Рис. 65

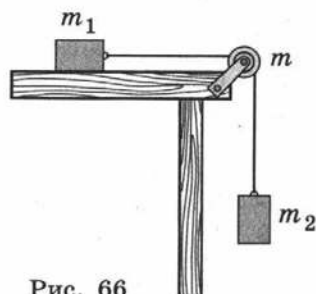


Рис. 66

- 313** Человек держит на лёгком стержне диск массой 4 кг и радиусом 20 см, вращающийся с угловой скоростью 2 рад/с. Чему равен средний момент силы, действовавшей на стержень при повороте его на прямой угол за 2 с (рис. 67)?



Рис. 67

- 314** На лёгком стержне длиной 62 см укреплен шарик массой 200 г. Конец стержня соединён с шарниром (рис. 68). Стержень удерживается в горизонтальном положении пружиной, закреплённой на расстоянии $\frac{2}{3}$ длины стержня от шарнира. Пружину растянули на 2 см и отпустили. Чему равны линейное и угловое ускорения шарика сразу же после того, как он начнёт двигаться? Жёсткость пружины равна 4,6 Н/м.

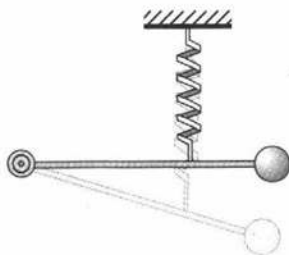


Рис. 68

- 315** Точильный камень радиусом 10 см и массой 4 кг вращается, делая 4 об/с. Определите силу, направленную по касательной к ободу камня и остановившую его вращение за 0,1 с.
- 316** Определите скорость конца доски при её падении из вертикального положения в момент, когда она составляет с вертикалью угол 60° . Длина доски равна 2 м. Ускорение свободного падения примите равным $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.
- 317** Однородный стержень длиной 60 см может вращаться относительно горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. Какую минимальную скорость надо сообщить свободному концу стержня, чтобы он сделал полный оборот?
- 318** Однородный стержень длиной 1 м и массой 1 кг может вращаться относительно горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. В свободный конец стержня попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 100 м/с, и застревает в нём. Определите максимальный угол, на который отклонится стержень.
- 319** Горизонтальный диск массой 600 г и радиусом 10 см вращается со скоростью 4 рад/с относительно верти-

кальной оси, проходящей через центр диска. С какой силой к краю диска прижали брусок, если диск остановился, сделав 4 полных оборота. Коэффициент трения между диском и бруском равен 0,01.

- 320 Н** Скамья Жуковского радиусом 1 м и массой 200 кг вращается с угловой скоростью 4 рад/с. На край скамьи сверху прыгает человек массой 60 кг. Как изменится скорость вращения скамьи?
- 321 Н** Какую работу нужно совершить, чтобы раскрутить скамью Жуковского массой 100 кг и радиусом 60 см так, чтобы она вращалась со скоростью 5 рад/с?
- 322 Н** Ребёнок раскачивается, сидя на качелях. Определите энергию, которую он затратил, поднявшись на качелях на высоту 1 м. Масса верёвки 6 кг, её длина 3 м. Масса ребёнка с доской, на которой он сидит, 30 кг. Чему будет равна максимальная угловая скорость ребёнка во время его движения? Трением и силой сопротивления можно пренебречь.
- 323 Н** Мальчик массой 30 кг, сидя на неподвижной карусели, которая может вращаться вокруг вертикальной оси, ловит мяч массой 1 кг, летящий со скоростью 10 м/с, направленной по касательной к окружности радиусом 4 м, по которой может двигаться мальчик. Момент инерции карусели равен $220 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определите угловую скорость вращения карусели после того, как мальчик поймает мяч.
- 324 Н** На наклонную плоскость с одинаковыми скоростями вкатываются кольцо, однородный диск и шар с одинаковыми радиусами. Найдите отношение максимальных высот, на которые могут подняться тела. Работой силы трения можно пренебречь.

Статика

Равновесие абсолютно твёрдых тел

Равновесие тел.

Первое и второе условия равновесия твёрдого тела

- 325 259** При каком минимальном коэффициенте трения санки не будут скатываться с горки, если угол у её основания равен 30° ?

- 326** Человек удерживает на верёвке, перекинутой через блок, груз массой 20 кг, висящий посередине (рис. 69). Расстояние между точками A и B равно 3 м. Прогиб верёвки 40 см. Определите силу, с которой верёвка тянет человека вверх.

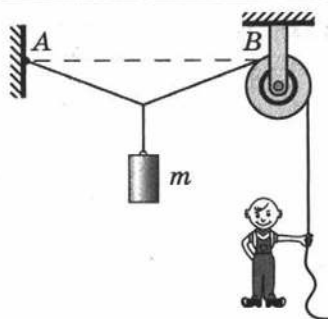


Рис. 69

- 327** Определите силу T_1 , с которой должен тянуть воз Рак, для того чтобы воз стоял на месте (рис. 70), если Щука и Лебедь тянут с силами соответственно $T_2 = 20$ Н и $T_3 = 60$ Н. Угол между векторами сил T_2 и T_3 равен 90° . Определите угол между векторами сил T_3 и T_1 .

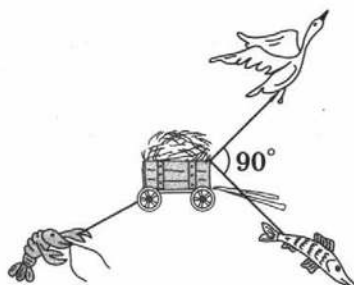


Рис. 70

- 328** Определите силы натяжения двух шнуров, на которых подвешена люстра массой 200 кг (рис. 71). Угол между первым шнуром и потолком 60° , а угол между вторым шнуром и стеной 90° .

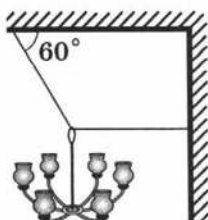


Рис. 71

- 329** Определите, в каких пределах может изменяться сила натяжения перекинутой через блок верёвки, которая удерживает на наклонной плоскости груз массой 100 кг (рис. 72). Угол у основания наклонной плоскости 45° , коэффициент трения 0,4.

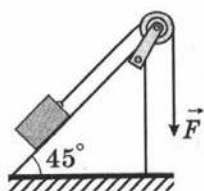


Рис. 72

- 330** Через систему блоков перекинута нить, к одному из концов которой привязан груз массой m . Груз лежит на наклонной плоскости с углом α у основания (рис. 73). Коэффициент трения между поверхностями груза и плоскости равен μ . Какой минимальной силой $F_{\min}$ можно удержать систему в равновесии?

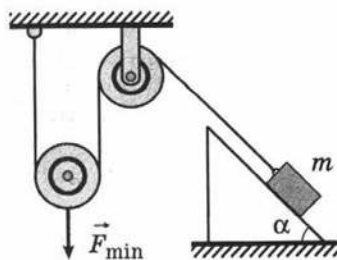


Рис. 73

- 331** Между двумя палочками зажат мяч радиусом R (рис. 74). Коэффициент трения между поверхностями мяча и палочек μ , масса мяча m , угол между палочками 2α . С какой силой мяч давит на палочки?

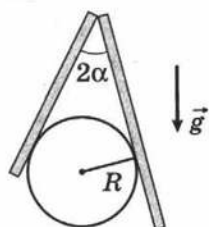


Рис. 74

- 332** Шарик прикреплен ниткой к палочке массой m и длиной l , подвешенной горизонтально на кольцо из проволоки (рис. 75). Определите, на сколько надо передвинуть кольцо, чтобы палочка оставалась расположенной горизонтально, если шарик погрузить в жидкость плотностью ρ . Масса шарика m_0 , его объем V .

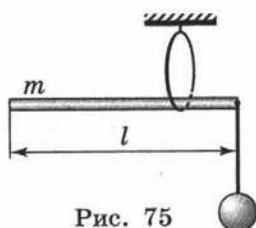


Рис. 75

- 333** К стене прикреплена нить, намотанная на катушку (рис. 76). Катушка висит, касаясь стены, причём нить составляет со стеной угол $\alpha = 30^\circ$. Внутренний и внешний радиусы катушки $r = 1$ см и $R = 6$ см. Определите минимальный коэффициент трения между катушкой и стеной, при котором катушка будет неподвижна.

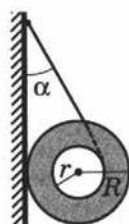


Рис. 76

- 334** С какой минимальной горизонтальной силой надо потянуть за верёвку, прикрепленную к верхнему основанию вертикально стоящего цилиндра массой m , чтобы опрокинуть его? Высота цилиндра h , диаметр основания D .

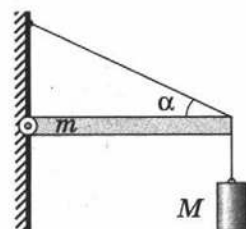


Рис. 77

- 335** Однородная балка массой $m = 30$ кг прикреплена с помощью шарнира к стене (рис. 77). Балка удерживается тросом, составляющим с ней угол $\alpha = 30^\circ$. К концу балки привязан груз массой $M = 315$ кг. Определите силу давления балки на шарнир и силу натяжения троса.

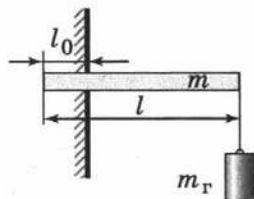


Рис. 78

- 336** Определите максимальную массу m_r груза, который можно подвесить к концу балки (рис. 78), закреплённой в стене, если стена выдерживает максимальную силу

давления $F = 6000$ Н. Масса балки $m = 50$ кг, её длина $l = 2,5$ м, глубина погружения балки в стену $l_0 = 0,5$ м.

- 337** Деревянный брус длиной l несут два человека. На человека, идущего сзади, нагрузка в 2 раза больше, чем на человека, идущего впереди. На каком расстоянии от конца бруса его держит второй человек?

- 338** Лестница длиной $l = 2$ м и массой $m = 10$ кг прислонена к стене под углом $\alpha = 60^\circ$ к полу. На какую максимальную высоту может подняться по этой лестнице человек массой $M = 70$ кг, чтобы лестница не сдвинулась? Коэффициенты трения между лестницей и полом, лестницей и стеной соответственно $\mu_1 = 0,4$ и $\mu_2 = 0,5$.

- 339** катушку тянут за намотанный на неё провод (рис. 79), пытаясь поднять на ступеньку высотой h . Определите минимальное значение силы натяжения провода, при котором это можно сделать. Масса катушки m , внешний радиус катушки R , внутренний радиус r .

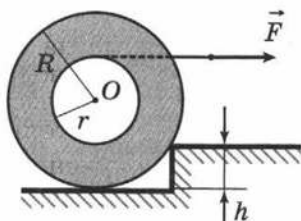


Рис. 79

- 340** Стержень подвешен на нити, как показано на рисунке 80. При каком коэффициенте трения возможно такое положение? Длина нити равна длине стержня.

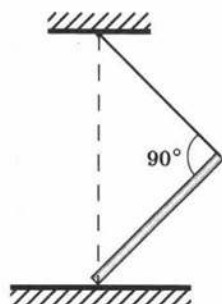


Рис. 80

- 341** На гвозде, вбитом в стену в точке A , висит обруч массой m . Обруч отклоняют на угол α (рис. 81) и вбивают ещё один гвоздь в точке B , симметричной точке A относительно горизонтальной линии OC . Определите силу давления на гвоздь в точке B .

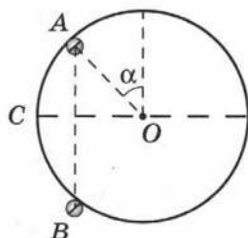


Рис. 81

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Основы молекулярно-кинетической теории

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Молекулы

- 342** Капля масла объёмом $0,003 \text{ мм}^3$ растеклась по поверхности воды тонким слоем и заняла площадь 300 см^2 . Определите диаметр молекулы масла. Считайте, что толщина слоя равна диаметру молекулы.
- 343** Для получения смеси воды и спирта объёмом 100 см^3 при 15°C необходим спирт объёмом 10 см^3 и вода объёмом $90,7 \text{ см}^3$. Почему объём смеси меньше объёма составляющих её компонент?
- 344** Вычислите массу молекулы кислорода.
- 345** Сколько молекул содержится в воде объёмом $V = 1 \text{ л}$?
- 346** В сосуде находится $5,418 \cdot 10^{26}$ молекул кислорода. Определите массу кислорода и количество вещества, находящегося в этом сосуде.
- 347** В сосуде находится азот. Количество вещества равно 200 моль . Определите массу азота.
- 348** Сколько молекул находится в кусочке кремния массой 5 г ?
- 349** В Мировом океане содержится приблизительно $1,3 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$ воды. Если в Океан вылить стакан воды, всю воду перемешать, а затем зачерпнуть стакан воды, то сколько прежних молекул окажется вновь в этом стакане?
- 350** Сколько молекул содержится в водороде массой 10 г ?
- 351** Определите отношение числа молекул в капельке ртути диаметром 2 мм и в капельке воды того же диаметра.
- 352** Относительная молекулярная масса кислорода равна 32 . Отношение масс диоксида углерода CO_2 и кислорода O_2 одинаковых объёмов при нормальных условиях (температура 0°C и давление $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$) составляет $\frac{11}{8}$. Определите относительную молекулярную массу диоксида углерода.

- 353** При нормальных условиях в 1 см^3 любого газа содержится $2,68 \cdot 10^{19}$ молекул (число Лошмидта). Определите, какой объём в среднем занимает одна молекула, а также объём газа в количестве вещества 1 моль при этих же условиях.
- 354** Кубическая кристаллическая решётка железа содержит один атом железа на элементарный куб, повторяющий который можно получить всю решётку. Определите расстояние между атомами железа. Плотность железа $7,9 \text{ г/см}^3$, молярная масса 56 г/моль .
- 355** Кольцо массой 10 г изготовлено из сплава золота и серебра. Сколько атомов золота и серебра содержится в этом кольце, если серебра в нём по массе в 4 раза больше, чем золота?
- 356** Плотность 40% -ного водного раствора соляной кислоты 1200 кг/м^3 . Определите концентрацию молекул HCl в этом растворе.

Молекулярно-кинетическая теория газа

- 357** Молекула кислорода подлетает к стенке со скоростью 400 м/с и упруго ударяется о неё. Определите импульс силы, действовавшей на стенку в результате этого удара.
- 358** Молекулярный пучок азота летит перпендикулярно стенке и ударяется о неё. После соударения молекулы отскакивают от стенки с той же по модулю скоростью. Определите давление пучка на стенку, если скорость молекул 3000 м/с , а их концентрация $1,3 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$.
- 359** На пути молекулярного пучка находится стенка. Скорость молекул 10^3 м/с , их концентрация в пучке $5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$, а масса одной молекулы $3,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Определите давление, испытываемое при этом стенкой, если: 1) она неподвижна; 2) движется навстречу молекулярному пучку со скоростью 50 м/с .
- 360** Спутник с площадью сечения 1 м^2 движется по околоземной орбите на высоте 200 км . Определите число соударений молекул воздуха со спутником за 1 с . Атмосферное давление на этой высоте $1,37 \cdot 10^4 \text{ Па}$, а температура 1226 К .
- 361** С какой скоростью увеличивается толщина слоя серебра на неподвижной пластинке при напылении, если атомы серебра, обладая энергией 10^{-17} Дж , оказывают на пластинку давление $0,1 \text{ Па}$?

- 362** Группа состоит из 22 молекул. Две молекулы имеют скорость 10 м/с, семь — 15 м/с, четыре — 20 м/с, одна — 25 м/с, пять — 30 м/с, одна — 35 м/с, две — 40 м/с. Определите среднюю квадратичную скорость молекул.
- 363** Определите плотность азота при давлении $p = 10^6$ Па, если средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул $v_{\text{ср. кв}} = 5 \cdot 10^3$ м/с.
- 364** Определите концентрацию молекул кислорода, если его давление 0,2 МПа, а средняя квадратичная скорость молекул 700 м/с.
- 365** При атмосферном давлении 10^5 Па плотность воздуха 1,29 кг/м³. Определите среднюю квадратичную скорость молекул.
- 366** Как изменилось бы давление идеального газа, если бы при ударе его молекул о стенку они теряли половину своей скорости?
- 367** Предельное давление газа в неоновой лампе равно $1,5 \cdot 10^5$ Па. Плотность неона в лампе равна 0,9 кг/м³. Определите среднюю квадратичную скорость молекул неона при этом давлении.
- 368** Определите, во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул водорода больше средней квадратичной скорости молекул кислорода, если энергии поступательного движения молекул равны.
- 369** Сколько молекул газа содержится в сосуде объёмом 1 л, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул равна $6 \cdot 10^{-21}$ Дж? Давление в сосуде $2 \cdot 10^5$ Па.
- 370** Молекула массой 10^{-24} кг движется со средней квадратичной скоростью 400 м/с. Определите изменение концентрации молекул при изменении давления от 10^5 до $4 \cdot 10^4$ Па.
- 371** Докажите, что при любом абсолютно упругом ударе молекулы о стенку на стенку действует перпендикулярная ей сила.

Температура. Энергия теплового движения молекул

- 372** Температура в водоёме изменяется с глубиной от 20 до 16 °С и остаётся такой в течение длительного времени. Можно ли сказать, что такое состояние является равновесным?

- 373 Определите среднюю кинетическую энергию молекул
307 неона и гелия при температуре $t = 27^\circ\text{C}$.
- 374 В сосуде содержалось N молекул газа при темпера-
308 туре T . Затем число молекул увеличили на 20 %, а
температуру уменьшили на 10 %. На сколько про-
центов изменилось давление?
- 375 На сколько процентов изменится число молекул в
309 комнате, если температура воздуха увеличится от
 $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до $t_2 = 27^\circ\text{C}$? Давление постоянно.
- 376 Как изменится давление в закрытом сосуде, если
310 при повышении абсолютной температуры в 3 раза
все молекулы водорода распадутся на атомы?
- 377 Температура — мера средней кинетической энергии
311 молекул. Можно ли сказать, что кинетическая энер-
гия молекул — мера температуры?
- 378 В сосуде находится газ. Как изменятся его давление
312 и температура, если средняя скорость молекул уве-
личится на 30 %?
- 379 Средняя кинетическая энергия молекул одноатомно-
313 го газа, находящегося в сосуде вместимостью $V = 4$ л,
равна $\bar{E} = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Давление газа в сосуде рав-
но атмосферному. Определите число молекул газа в
этом сосуде.
- 380 При температуре 300 К плотность газа $1,2 \text{ кг/м}^3$, а
314 средняя квадратичная скорость молекул 500 м/с.
Определите концентрацию газа.
- 381 Оцените число молекул воздуха, попадающих
315 на 1 см^2 стены комнаты за 1 мин. Температура воз-
духа в комнате 27°C , давление 10^5 Па , молярная
масса воздуха $0,03 \text{ кг/моль}$.
- 382 Определите среднюю квадратичную скорость моле-
316 кул гелия при температуре 100°C .
- 383 На сколько изменится энергия теплового движения
317 молекул неона при изменении температуры на
 100°C ? Молярная масса неона 20 г/моль .
- 384 Средняя квадратичная скорость молекул газа равна
318 500 м/с . Какой объём займёт газ массой 1 кг при
атмосферном давлении 10^5 Па ?
- 385 Сколько молекул находится в объёме 10 м^3 при тем-
319 пературе 27°C и давлении 10^5 Па ?
- 386 В сосуде содержится N молекул газа при температу-
320 ре T . Во сколько раз изменится давление газа, если
увеличить число молекул в сосуде на $0,2N$ и умень-
шить температуру газа на $0,2T$?

- 387** В опыте Штерна атомы серебра, вылетающие с поверхности раскалённой нити, проходят через щель внутреннего цилиндра и оседают на охлаждённой стенке наружного цилиндра (рис. 82). Когда система цилиндров приводится в быстрое вращение, изображение щели смещается. Прибор вращается сначала в одну сторону, а затем в другую. При этом расстояние, измеренное между смещёнными изображениями щели, равно $\Delta l = 2,66$ мм. Определите скорость атомов, если радиус внутреннего цилиндра $R_1 = 2$ см, внешнего $R_2 = 8$ см, скорость вращения цилиндров $\omega = 283$ рад/с.
- 388** Скорость вращения цилиндров в опыте Штерна 20 рад/с. Радиус внешнего цилиндра 63 см. Расстояние между внутренним и внешним цилиндрами 10 см. Определите смещение полоски серебра при скорости атомов 300 м/с.

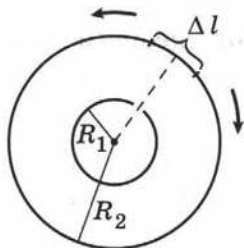


Рис. 82

Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы

Уравнение состояния идеального газа

- 389** В сосуде вместимостью 2 л находится кислород при температуре 27°C и давлении $2 \cdot 10^5$ Па. Определите массу кислорода в сосуде.
- 390** Какое давление необходимо создать в сосуде объёмом 1 л, чтобы при температуре 0°C масса воздуха была равна 1 г? Эффективная молярная масса воздуха 0,029 кг/моль.
- 391** Сосуд, содержащий гелий массой $m = 1$ г, разрывается при температуре $t = 400^\circ\text{C}$. Определите максимальную массу азота, который можно хранить в таком сосуде при температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$, если при этом необходимо иметь пятикратный запас прочности.
- 392** Воздух в сосуде находится под поршнем, причём сосуд не вполне герметичен. Зависимость объёма воздуха от температуры при постоянном давлении показана на рисунке 83. Что можно сказать о массе газа?

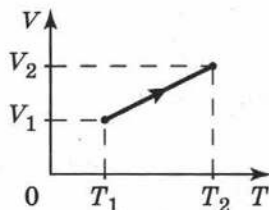


Рис. 83

- 393** В баллоне содержался гелий массой $m = 0,3$ кг. За время хранения абсолютная температура в баллоне уменьшилась на 10 %, а давление упало на 20 %. Сколько молекул гелия вышло из баллона?
- 394** Из баллона вместимостью 100 л со сжатым кислородом из-за неисправности крана выходит газ. При температуре 273 К манометр на баллоне показывает давление $2 \cdot 10^5$ Па. Через некоторое время при температуре 300 К манометр показывает то же давление. Определите массу кислорода, который вышел из баллона.
- 395** Азот массой 42 г находится под давлением $2 \cdot 10^5$ Па при температуре 17 °С. После изобарного расширения азот занял объём 40 л. Определите первоначальный объём азота и его конечную температуру.
- 396** Трёхатомный газ находится в герметичном сосуде при температуре T_1 и давлении p_1 . Газ нагревают до температуры T_2 , при которой он полностью диссоциирует на атомы. Определите давление газа при температуре T_2 .
- 397** Для исследования верхних слоёв атмосферы Венеры используется аэростатный зонд. Определите объём зонда, когда он находится в равновесии на высоте, на которой давление $5 \cdot 10^4$ Па, а температура 10 °С. Считайте, что атмосфера Венеры состоит из углекислого газа CO_2 , а зонд наполнен гелием. Масса зонда 20 кг.
- 398** При изотермическом процессе плотность газа изменилась на $0,2$ кг/м³, а давление увеличилось на 0,4 атм. Первоначальное давление было равно 1 атм. Вычислите плотность газа в начале процесса.
- 399** По газопроводу с площадью поперечного сечения трубы 5 см² пропускают углекислый газ со скоростью 0,9 м/с. Определите температуру газа, если его давление 4 атм, а за 10 мин по газопроводу проходит газ массой 2 кг.
- 400** Из баллона выпустили половину газа, при этом температура понизилась от +127 до -73 °С. Во сколько раз понизилось давление в баллоне?
- 401** При температуре 295 К и давлении 10^5 Па плотность пара равна $2,4$ кг/м³. Определите массу пара количеством вещества 1 моль, считая пар идеальным газом.
- 402** Вертикально установленный цилиндр с тяжёлым поршнем площадью 100 см², движущимся без трения, наполнен кислородом, масса которого 0,2 кг. При увеличении температуры на 100 К поршень поднялся на 50 см. Чему равна масса поршня? Атмосферное давление считайте равным 10^5 Па.

- 403**
337 В цилиндре на пружине подвешен поршень массой 20 кг и площадью поперечного сечения 200 см^2 . В положении равновесия поршень находится у дна сосуда, но на дно не давит. Под поршень закачивают воздух массой 29 г, при этом поршень поднимается на высоту 15 см. Определите жёсткость пружины. Эффективная молярная масса воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$, температура воздуха 17°C .

- 404**
338 В запаянном цилиндре, из которого откачан воздух, на пружине подвешен поршень, масса которого очень мала. Когда поршень находится у дна сосуда, пружина не деформирована (рис. 84). При закачивании между дном цилиндра и поршнем воздуха при температуре 27°C поршень поднимается на высоту 10 см. Определите, на сколько поднимется поршень, если массу закачиваемого воздуха увеличить в 4 раза, а температуру повысить до 47°C .

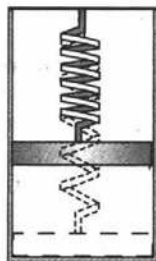


Рис. 84

- 405**
339 Закрытый сосуд заполнен газом при температуре 300 К и давлении 150 кПа . Сосуд снабжён клапаном, открывающимся при давлении 200 кПа . Сосуд нагрели до 600 К . При этом из него вышел газ массой 10 г. Определите массу газа в сосуде до его нагрева.

- 406**
Н Сосуд разделён пополам полупроницаемой перегородкой (рис. 85), пропускающей водород и не пропускающей кислород. В левую половину сосуда впускают кислород массой $m_1 = 32 \text{ г}$ и водород массой $m_2 = 4 \text{ г}$. Вместимость сосуда $V = 20 \text{ л}$, температура $t = 27^\circ\text{C}$. Определите давление в левой и правой половине сосуда после установления равновесия.

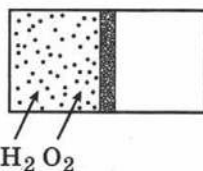


Рис. 85

- 407**
906 Определите плотность смеси газов, содержащей водород массой 4 г и кислород массой 32 г, при температуре 7°C и давлении 10^5 Па .

- 408**
907 Считая, что воздух состоит только из кислорода и азота, определите процентное содержание этих газов в атмосфере. Эффективная молярная масса воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$. (Эффективная молярная масса — это молярная масса такого газа массой, равной сумме масс смеси газов, который в том же объёме и при той же температуре оказывает на стенки сосуда то же давление, что и смесь газов.)

- 409 В баллоне вместимостью 110 л содержится водород
908 массой 0,8 г и кислород массой 1,6 г. Определите
давление смеси на стенки сосуда, если температура
окружающей среды 27°C .
- 410 Чему равен объём, который занимает смесь газов, со-
909 стоящая из кислорода и азота массой 1 кг каждый,
при нормальных условиях?

Газовые законы

- 411 Газ изотермически сжимают от объёма 4 л до объё-
340 ма 2 л. При этом давление возрастает на $1,5 \cdot 10^5$ Па.
Определите начальное давление газа.
- 412 При изотермическом сжатии объём газа уменьшился
341 на 0,5 л, а давление возросло на 10 %. Определите
начальный объём газа.
- 413 Газ перевели из состояния 1 в
342 состояние 2 (рис. 86). Как из-
менилась температура газа?

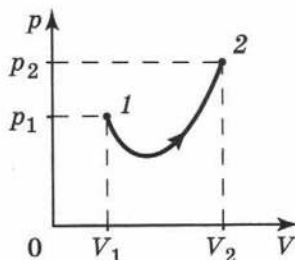


Рис. 86

- 414 Со дна водоёма глубиной 80 м
343 поднимается вверх пузырёк воз-
духа. Атмосферное давление
 10^5 Па. На какой глубине ра-
диус пузырька увеличится в
2 раза? Температуру воздуха в
пузырьке считайте постоянной.
- 415 Трубку длиной 80 см наполю-
344 вину погружают в ртуть, затем
герметично закрывают сверху и вынимают. Определе-
те длину столбика ртути, который останется в трубке.
- 416 Пробирку длиной $l = 80$ см погружают открытым
345 концом в сосуд с водой на глубину $l/2$. Определите
разность уровней воды в пробирке и сосуде.
- 417 Аквалангист, находясь на глубине $h = 15$ м, вдохнул
346 воздух и заполнил $\frac{2}{3}$ объёма лёгких. До какого объ-
ёма расширятся лёгкие, если он, не выдохнув,
всплывёт на поверхность? Объём лёгких акваланги-
ста 5 л. Плотность воды $1,1 \cdot 10^3$ кг/м³.
- 418 Баллон вместимостью 50 л наполнили воздухом до
348 давления 10 МПа. Какой объём воздуха можно вы-
теснить из цистерны подводной лодки с помощью

этого баллона на глубине 40 м? Температура воздуха не меняется.

- 419 Поршень массой 10 кг делит объём закрытого сосуда, расположенного вертикально, на части в отношении $1/2$. С каким ускорением должен двигаться сосуд, чтобы поршень делил сосуд ровно пополам? Начальное давление в нижней половине сосуда 0,01 атм. Площадь поршня $0,05 \text{ м}^2$.

- 420 Узкая трубка, запаянная с одного конца, содержит воздух, отделённый от наружного воздуха столбиком ртути. Если трубка повернута запаянным концом вниз, то высота столбика воздуха l_1 ; если трубка повернута запаянным концом вверх, то высота столбика воздуха l_2 . Высота столбика ртути h , плотность ртути $\rho_{\text{рт}}$. Определите атмосферное давление воздуха.

- 421 Газ перешёл из состояния 1 в состояние 2 (рис. 87). Как изменилось давление газа?

- 422 В процессе изобарного расширения газа его объём увеличился на 10 %. Начальная температура газа была равна 7°C . Определите конечную температуру газа.

- 423 Газ нагревают от 300 до 450 К при постоянном давлении, при этом объём увеличивается на 2 л. Определите конечный объём газа.

- 424 При охлаждении газа температура уменьшилась от 127 до 7°C . Во сколько раз изменилась плотность газа? Масса газа и его давление остались неизменными.

- 425 В цилиндрическом сосуде под поршнем находится газ при температуре 27°C . На сколько градусов по шкалам Цельсия и Кельвина следует изменить температуру газа, чтобы поршень поднялся на высоту h , равную $\frac{1}{4}$ первоначальной высоты поршня над дном сосуда?

- 426 В комнате размером $5 \times 6 \times 3 \text{ м}$ температура повысилась от 15 до 25°C . Определите объём воздуха, который вышел при этом из комнаты. Давление в комнате считайте постоянным, $p = 10^5 \text{ Па}$.

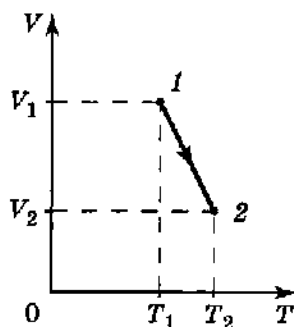


Рис. 87

427 Газ переходит из состояния 1 в
356 состояние 2 (рис. 88). Как изменяется объём газа? Масса газа постоянна.

428 При какой температуре находился
357 газ в закрытом сосуде, если при нагревании его на 140 К давление возросло в 1,5 раза?

429 В закрытом сосуде находится газ.

358 При увеличении абсолютной температуры газа в 1,5 раза давление увеличивается на 10^5 Па. Определите начальное давление газа в сосуде.

430 На сколько процентов увеличится давление газа в
359 сосуде, если абсолютная температура увеличится на 40 %? Объём газа считайте постоянным.

431 В закрытом сосуде находится газ под давлением
360 0,5 атм. Во сколько раз нужно изменить температуру газа, чтобы давление в сосуде увеличилось на 1,5 атм?

432 Давление воздуха внутри бутылки, закрытой пробкой,
361 равно 0,1 МПа при температуре 7°C . На сколько градусов нужно нагреть воздух в бутылке, чтобы пробка вылетела? Без нагревания пробку можно вынуть, приложив к ней силу 30 Н. Площадь сечения пробки 2 см^2 .

433 Автомобильные шины были накачаны до 2 атм при
362 температуре 20°C . В процессе движения шины разогрелись до температуры 60°C . На сколько повысилось давление в шинах?

434 В пятилитровый сосуд, стенки которого рассчитаны
363 на давление 2 МПа, закачивают кислород массой 70 г. Выдержат ли стенки, если температура кислорода 300°C ?

435 Газ, имеющий температуру 300 К и объём 5 л, изо-
364 хорно нагрели до температуры 350 К. Затем газ изотермически расширили до объёма 8 л, при этом его давление понизилось до 80 кПа. Определите первоначальное давление газа.

436 При температуре 15°C и давлении 720 мм рт. ст.
365 гелий занимает объём 3 л. Определите объём гелия при давлении 780 мм рт. ст. и температуре 25°C . Масса газа постоянна.

437 Воздух в открытом сосуде медленно нагрели от 20
366 до 200°C , а затем, герметически закрыв сосуд, охладили до прежней температуры. Изобразите последний процесс на графиках в координатах $p-V$, $p-T$ и $V-T$.

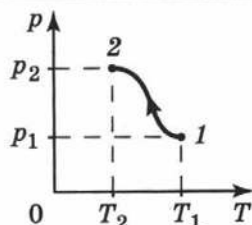


Рис. 88

- 438 В вертикально расположенном цилиндре с площадью сечения 100 см^2 под поршнем, массой которого можно пренебречь, находится воздух при температуре 0°С . На поршень ставят гирию массой 10 кг , при этом поршень опускается. На сколько градусов надо повысить температуру воздуха, чтобы поршень вернулся в прежнее положение? Атмосферное давление нормальное.

- 439 На рисунке 89 дан график изменения состояния идеального газа в координатах $p-V$. Изобразите переход газа из состояния 1 в состояние 4 на графиках в координатах $p-T$ и $V-T$.

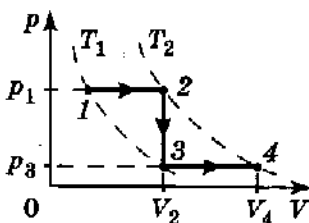


Рис. 89

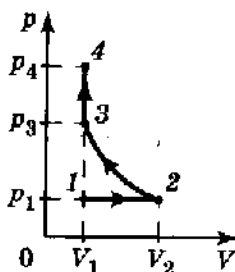


Рис. 90

- 440 На рисунке 90 дан график изменения состояния идеального газа в координатах $p-V$. Изобразите эти процессы на графиках в координатах $p-T$ и $V-T$. Точки 2 и 3 принадлежат гиперболе.
- 441 На рисунке 91 показан цикл, совершаемый над газом. Определите отношение максимальной и минимальной плотностей газа, достигаемых в ходе этого цикла.
- 442 На рисунке 92 показан цикл, совершаемый над идеальным газом. Температуры в состояниях 1 и 3 равны соответственно 300 и 400 К . Определите температуру газа в состоянии 2. Масса газа постоянна.
- 443 На графике в координатах $V-T$ (рис. 93) показан цикл, совершаемый над идеальным газом. Изобразите этот цикл на графиках в координатах $p-V$ и $p-T$.

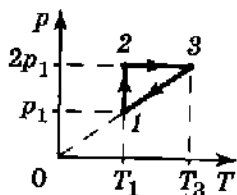


Рис. 91

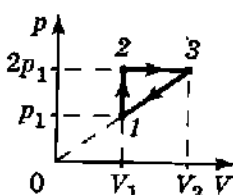


Рис. 92

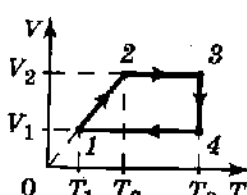


Рис. 93

Взаимные превращения жидкостей и газов.

Влажность

- 444 При нагревании воды сначала вы слышите шипение,
373 затем звук становится более резким, а в конце перед
кипением звук становится мягче. Объясните изменение
звуча при нагревании воды.
- 445 Почему для ускорения процесса охлаждения горячей
374 жидкости на неё дуют?
- 446 Можно ли увеличить концентрацию и давление
375 насыщенного пара, если медленно поднимать пор-
шень? Поршень находится над поверхностью жид-
кости в сосуде. Над жидкостью находится только
пар. Температура не изменяется.
- 447 На графиках в координатах $p-V$ и $p-T$ изобразите
376 зависимость давления насыщенного водяного пара от
температуры и от объёма при $t = 20^\circ\text{C}$.
- 448 В комнате объёмом 200 м^3 при температуре 20°C от-
377 носительная влажность воздуха равна 50% . Опреде-
лите массу водяных паров в комнате. Давление на-
сыщенных паров при этой температуре $2,33\text{ кПа}$.
- 449 Относительная влажность воздуха при температуре
378 20°C равна 70% . Чему будет равна относительная
влажность в закрытом помещении, если воздух на-
греть до 50°C ? При 20°C давление насыщенных па-
ров воды $2,33\text{ кПа}$, при 50°C давление $12,3\text{ кПа}$.
Чему будет равна относительная влажность, если
воздух охладить до 10°C ?
- 450 В комнате объёмом 60 м^3 относительная влажность
379 воздуха 30% , а температура 20°C . Оптимальной для
комфорта считается влажность от 40 до 50% . Опре-
делите массу воды, которую надо испарить для со-
здания комфортных условий в комнате. При 20°C
давление $2,33\text{ кПа}$.
- 451 В закрытом сосуде вместимостью 8 л , из которого
380 откачали воздух, находится вода массой 36 г при
температуре 0°C . Каким будет давление в сосуде,
если его нагреть до температуры 100°C ?
- 452 Определите относительную влажность воздуха при
381 температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$, если металлические предме-
ты, имеющие температуру $t_2 = 5^\circ\text{C}$, запотевают в
нём. Давление насыщенного пара при t_1 и t_2 равно
соответственно $17,5$ и 6 мм рт. ст.

- 453 В комнате объёмом 60 м^3 с закрытыми окнами
382 при температуре 18°C относительная влажность
воздуха равна 50% . Определите массу воды, ко-
торую надо испарить, чтобы пар в комнате стал на-
сыщенным.
- 454 Человек при частоте дыхания $N = 10$ раз в минуту
383 при каждом вдохе вдыхает воздух объёмом 1 л при
температуре 27°C и относительной влажности 30% ,
а выдыхает при температуре 36°C и относительной
влажности 100% . Определите массу воды, которая
теряется организмом за сутки в процессе дыхания.
Давление насыщенного пара при t_1 и t_2 равно соот-
ветственно $3,6$ и 6 кПа .
- 455 Относительная влажность воздуха при температуре
384 27°C равна 75% . Во сколько раз изменится отно-
сительная влажность, если температура понизится
до 10°C ?
- 456 Точка росы — температура, при которой пар ста-
385 новится насыщенным. Дальнейшее понижение тем-
пературы приводит к конденсации пара. При
температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ относительная влажность воз-
духа 20% . На сколько должна увеличиться абсолют-
ная влажность, чтобы выпала роса?
- 457 Днём температура воздуха была 20°C , относитель-
386 ная влажность 60% . Ночью температура понизилась
до 10°C . Выпала ли ночью роса?
- 458 Температура воздуха 20°C , относительная влаж-
387 ность 80% . Определите массу воды, которая вы-
падет в виде росы из воздуха объёмом 1 м^3 при по-
нижении температуры до 12°C .
- 459 Вычислите отношение массы сухого воздуха и массы
905 воздуха с влажностью 70% при температуре 20°C и
атмосферном давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Молярная мас-
са сухого воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$. Объём сухого и
объём влажного воздуха равны 1 м^3 .
- 460 Во сколько раз плотность сухого воздуха больше
910 плотности водяного пара, содержащегося в воздухе
при относительной влажности 90% ? Атмосферное
давление равно 10^5 Па . Температура воздуха рав-
на 19°C .
- 461 В закрытый сосуд вместимостью $V = 10^{-2} \text{ м}^3$, напол-
Н ненный сухим воздухом при давлении $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ и
температуре 0°C , вводят воду массой $m = 3 \text{ г}$. Сосуд
нагревают до 100°C . Чему равно давление влажного
воздуха в сосуде при этой температуре?

Основы термодинамики

Внутренняя энергия. Работа газа

- 462 Н** Температура одноатомного газа массой 36 г уменьшилась на 15°C , при этом его внутренняя энергия уменьшилась на 1660 Дж. Что это за газ?
- 463 Н** Газ охлаждается при изохорном процессе, при этом его внутренняя энергия изменяется в 2 раза. Определите, во сколько раз при этом процессе изменяются другие параметры газа.
- 464 Н** Газ расширяется от объёма V до объёма V' один раз изотермически, а другой раз адиабатно. Сравните изменения внутренней энергии и работу газа при этих процессах.
- 465 Н** 5 моль гелия и 5 моль кислорода изобарно нагревают на 20°C . Одинаковы ли будут при этих процессах изменения внутренней энергии газа и работа, совершённая газом?
- 466 388** Гелий массой 50 г нагревают на 50°C при постоянном давлении. Определите изменение внутренней энергии и количество теплоты, сообщённой газу.
- 467 389** Газ изобарно нагрели, при этом его объём увеличился в 2 раза. Во сколько раз увеличилась внутренняя энергия газа?
- 468 390** Определите внутреннюю энергию одноатомного газа, занимающего объём 1 л. Начальное давление газа 1 атм. Изменяется ли при изотермическом расширении средняя кинетическая энергия молекул газа и его внутренняя энергия?
- 469 391** Идеальный одноатомный газ сначала изотермически расширяется с увеличением объёма на 2 л, а затем изохорно нагревается с повышением давления до начального значения 10^5 Па. Определите изменение внутренней энергии газа.
- 470 392** На рисунке 94 показан график зависимости давления от объёма при переходе идеального одноатомного газа из состояния 1 в состояние 3. Определите изменения внутренней энергии при процессах 1—2, 2—3 и 1—3.

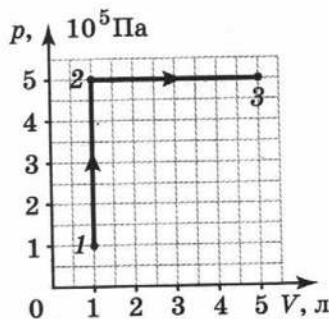


Рис. 94

- 471 Определите изменение внутренней энергии при пере-
393 ходе газа из состояния 1 в состояние 2 при процес-
сах I и II (рис. 95).
- 472 Азот массой 1 кг изобарно нагревают на 100 К при
394 давлении $2 \cdot 10^5$ Па. Определите работу при расшире-
нии азота, изменение его объёма и внутренней энер-
гии, а также количество теплоты, сообщённой азоту.
Удельная теплоёмкость азота $c_V = 742$ Дж/(кг · К).
- 473 Объём одноатомного газа изменяется по закону
395 $V = \alpha T$, где α — коэффициент пропорциональности
($\alpha = \text{const}$). При этом температура газа в начальном
состоянии равна 0°C , в конечном равна 100°C .
Определите количество теплоты, сообщённой газу,
работу газа и изменение его внутренней энергии. Ко-
личество вещества газа 2 моль.
- 474 Состояние идеального газа изменяется по закону
396 $p = \alpha V$. Определите работу идеального газа при по-
вышении его температуры от T_1 до T_2 . Количество
вещества газа 1 моль.
- 475 В сосуде находится газ неон, который изобарно рас-
397 ширяется при подведении к нему количества теплоты
 $Q = 100$ кДж. Чему равна работа, совершённая
газом при расширении? На сколько изменится вну-
тренняя энергия газа?
- 476 Определите работу, совершённую идеальным газом
398 количеством вещества 1 моль при переходе из состо-
яния 1 в состояние 4 (рис. 96). Температура в состо-
янии 1 равна T_1 . Отношение давлений $\frac{p_2}{p_1} = 2$.
- 477 Газ был нагрет при постоянном давлении от темпе-
399 ратуры 285 К до температуры 360 К. Определите ра-
боту, которую совершил газ, если его начальное дав-
ление было $1,9 \cdot 10^5$ Па, а начальный объём — 6 м³.

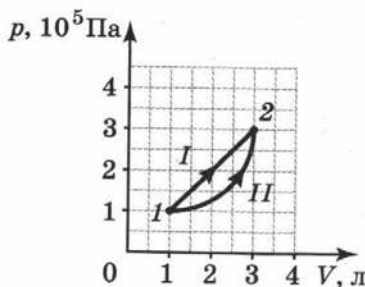


Рис. 95

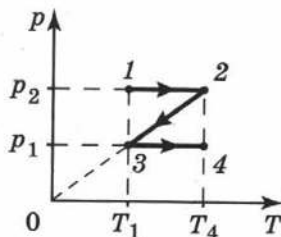


Рис. 96

- 478 Идеальный одноатомный газ, занимающий объём $V_1 = 2 \text{ м}^3$, расширяется. При этом на диаграмме p — V (рис. 97) расширение изображается прямой линией, продолжение которой пересекает ось ординат в точке $p_0 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, начальное давление $p_1 = 10^5 \text{ Па}$. Чему равен объём газа в конце расширения, если известно, что газ совершил работу $A = 6 \cdot 10^5 \text{ Дж}$?

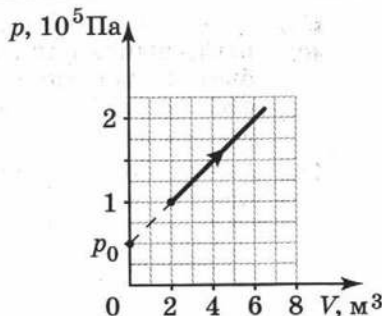


Рис. 97

- 479 Воздух, занимавший объём 120 л, изобарно нагрели до температуры 500 К, при этом объём увеличился до 200 л. Масса воздуха 0,58 кг, молярная масса 0,029 кг/моль. Определите работу, совершённую воздухом.
- 480 На рисунке 98 в координатах p — V изображён цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Температуры газа в состояниях 1 и 3 равны T_1 и T_3 . Точки 2 и 4 принадлежат одной изотерме. Определите работу 1 моля газа за цикл.

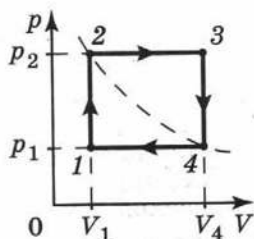


Рис. 98

- 481 Идеальный газ расширяется до удвоенного объёма в процессе 1—2 с линейной зависимостью давления от объёма (рис. 99). Затем его изобарно сжимают в процессе 2—3 до первоначального объёма. Определите отношение работ, совершаемых газом в процессах расширения и сжатия.

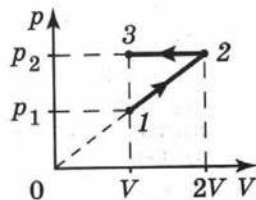


Рис. 99

Количество теплоты. Уравнение теплового баланса

- 482 Какое количество теплоты потребуется для того, чтобы нагреть кусочек олова массой 10 г от комнатной температуры, равной 22°C , до температуры плавления ($t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$)? Удельная теплоёмкость олова $280 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

- 483 Вычислите энергию, затрачиваемую человеком, кото-
405 рый, выпрямляя стальную проволоку массой 100 г, бьёт по ней молотком. При этом проволока нагревается на 10°C . Считайте, что на нагревание проволоки расходуется 60 % механической энергии.
- 484 Какое количество теплоты отдаёт нагретый чайник,
406 внесённый в комнату, если температура в комнате повышается на $0,005^{\circ}\text{C}$? Плотность воздуха $1,29\text{ кг/м}^3$, теплоёмкость воздуха $1010\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$. Размер комнаты $3 \times 4 \times 3\text{ м}$.
- 485 Имеется два сосуда с водой. В первом из них температура воды 20°C , во втором 100°C . Воду из этих двух сосудов сливают в третий, при этом температура воды оказывается равной 40°C . Определите отношение масс воды в первом и втором сосудах. Потери тепла не учитывайте.
- 486 Железный шарик падает с высоты 10 м на идеально
408 гладкую горизонтальную поверхность и отскакивает от неё на высоту 1 м. На сколько повысится температура шарика после удара, если на его нагревание расходуется 80 % выделившейся энергии?
- 487 Два одинаковых железных шарика движутся навстречу друг другу со скоростями 10 и 20 м/с. На сколько повысится температура шариков вследствие неупругого центрального удара, если на их нагрев расходуется половина выделившейся энергии?
- 488 Определите массу пара с температурой 100°C , который надо впустить в сосуд, содержащий 1 кг воды при температуре 20°C , чтобы температура воды стала равна 80°C .
- 489 На плиту поставили чайник и забыли о нём. Вода в
411 чайнике закипела за 15 мин. За какое время вода в чайнике выкипит? Температура воды, когда её налили в чайник, была 10°C . Теплообменом с окружающей средой пренебречь.
- 490 Определите отношение количества теплоты, отдаваемой паром при конденсации, и количества теплоты, выделяемой водой при остывании на 50°C , если массы пара и воды равны.
- 491 В сосуде, из которого быстро откачивают воздух, находится немного воды массой m при температуре 0°C . За счёт интенсивного испарения оставшаяся вода массой m_2 замораживается. Какая часть воды превратится в лёд?
- 492 Кусок олова массой 1 кг расплавился наполовину
414 при сообщении ему количества теплоты 69 кДж. Вычислите начальную температуру олова.

- 493 В калориметр, в котором находится лёд массой 1 кг
415 при температуре 0°C , подаётся пар при температуре 100°C . Определите массу воды, которая окажется в калориметре сразу же после того, как лёд растает.
- 494 В воду, занимающую объём 4 л и нагретую до тем-
416 пературы 20°C , брошен кусок льда массой 250 г при температуре 0°C . Определите температуру воды после того, как лёд растает.
- 495 В калориметр, в котором находится лёд массой 1 кг
417 при температуре -30°C , наливают 0,5 л воды при температуре 60°C . Определите температуру, которая установится в калориметре.
- 496 На кусок льда массой 10 кг с температурой -40°C
418 направили струю водяного пара при температуре 100°C . Определите массу пара, если весь лёд превратился в воду.
- 497 На кусок льда массой 100 г, находящийся в калори-
419 метре при температуре -2°C , положили железный шарик массой 130 г при температуре 800°C . Определите температуру, которая установится в калориметре. Удельные теплоёмкости железа и льда равны соответственно 450 и $2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).
- 498 К чайнику с кипящей водой подводится ежесекундно
420 энергия, равная 1,13 кДж. Определите скорость струи пара из носика, площадь сечения которого равна 1 см^2 . Плотность водяного пара 1 кг/м^3 .
- 499 На зажжённую спиртовку поставили сосуд, в кото-
421 рый налита вода массой 500 г при температуре 20°C . Через какое время выкипит часть воды массой 20 г, если в спиртовке за 1 мин сгорает 4 г спирта, а КПД спиртовки 60 %?
- 500 На сколько километров пути хватит бензина для ав-
422 томобиля с полным баком объёмом 40 л при скорости движения 72 км/ч, если мощность двигателя $2 \cdot 10^4$ Вт, а КПД двигателя 25 %?
- 501 При сгорании бензина массой 1 кг выделяется энер-
423 гия $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг. Расход бензина 7 кг на 50 км пути. Какую мощность развивает двигатель при скорости автомобиля 72 км/ч, если КПД двигателя 25 %?

Первый закон термодинамики

- 502 Газ расширяется от объёма V_1 до объёма V_2 первый
424 раз изотермически, второй раз изобарно и третий раз адиабатно. При каком из процессов: 1) газ совершает большую работу (A_T , A_p , $A_{ад}$); 2) газу передаётся большее количество теплоты (Q_T , Q_p , $Q_{ад}$)?

503 Внутренняя энергия газа
425 уменьшилась на 300 Дж, при этом газ совершил работу 450 Дж. Определите количество теплоты, сообщённой газу.

504 На рисунке 100 изображён график зависимости p от V при переходе газа из состояния 1 в состояние 2. Определите: 1) работу газа; 2) изменение внутренней энергии; 3) количество теплоты, сообщённой газу. Как при этом процессе изменилась температура газа?

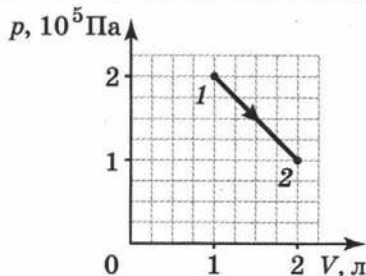


Рис. 100

505 Какое количество теплоты сообщили одноатомному газу количеством вещества 1 моль, если при изобарном расширении он нагрелся на 10 К?

506 Определите, какой газ находится в сосуде, если при нагревании 1 кг этого газа на 1°C при постоянном давлении расходуется 912 Дж, а при постоянном объёме 649 Дж.

507 Азот массой 1 кг нагревают на 100°C при постоянном давлении 2 атм. Определите работу при расширении газа, изменение объёма газа, а также изменение его внутренней энергии. Удельная теплоёмкость азота 745 Дж/(кг · К).

Второй закон термодинамики

508 Идеальный газ количеством вещества 1 моль сначала нагревается при постоянном давлении, а затем при постоянном объёме переводится в состояние с температурой $T_1 = 300\text{ К}$, которая равна начальной. Газу при этом сообщается количество теплоты $Q = 2,24 \cdot 10^4\text{ Дж}$. Во сколько раз изменяется объём газа?

509 До какой температуры вследствие адиабатного сжатия нагреется гелий массой 0,12 кг, находившийся в исходном состоянии при температуре 295 К, если при этом внешними силами была затрачена работа, равная 4,15 кДж?

510 Идеальный одноатомный газ количеством вещества 1 моль совершает процесс, при котором давление растёт пропорционально объёму по закону $p = \alpha V$. Газу сообщают количество теплоты 33,2 Дж. На сколько изменяется температура газа?

- 511 Одноатомный газ переводят из состояния 1 в состояние 2, для чего используют изохорный и изобарный процессы (рис. 101). При этом $V_2 = 2V_1$, $p_2 = 2p_1$. Определите отношение количеств теплоты, необходимой для совершения перехода из состояния 1 в состояние 2 в одном случае через состояние 3, в другом через состояние 4.

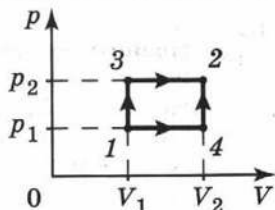


Рис. 101

- 512 Определите количество теплоты, переданной одноатомному газу при переходе его из состояния 1 в состояние 2, как показано на рисунке 102, если $p_1 = 500$ кПа, $V_1 = 1$ л, $V_2 = 4$ л.

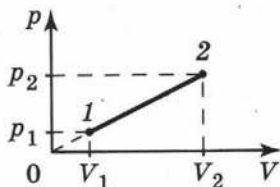


Рис. 102

Тепловые двигатели

- 513 Тепловой двигатель потребляет энергию 7250 Дж, при этом совершая полезную работу 2250 Дж. Определите КПД цикла.

- 514 Рабочее тело идеальной тепловой машины получило от нагревателя количество теплоты 70 кДж при температуре 627 °С. Температура холодильника 27 °С. Определите наибольший КПД машины и количество теплоты, отданной холодильнику.

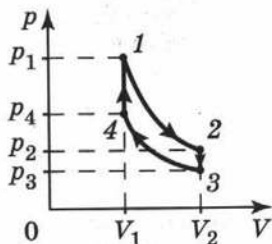


Рис. 103

- 515 Определите КПД цикла, состоящего из двух адиабат и двух изохор (рис. 103), если известно, что $T_2 = 0,75T_1$, $T_3 = 0,75T_4$.

- 516 На рисунке 104 показан цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, который совершает газ количеством вещества 1 моль. Определите КПД цикла, если известно, что в состоянии 1 температура 256 К, в состоянии 3 температура 625 К, в состояниях 2 и 4 температуры одинаковы.

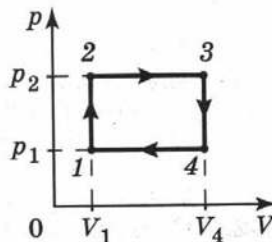


Рис. 104

517 На рисунке 105 изображён
438 график цикла, состоящего
из изохоры 1—2, адиабаты 2—3 и изобары 3—1. При этом в качестве рабочего вещества используется одноатомный газ. Известно, что $V_3 = 1,93V_1$. Определите КПД цикла.

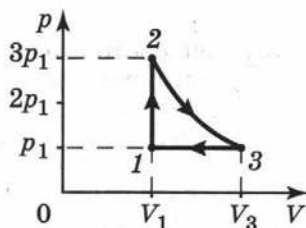


Рис. 105

518 На рисунке 106 изображён
439 график цикла, состоящего
из изохоры 1—2, изотермы 2—3 и изобары 3—1. В качестве рабочего вещества используется одноатомный газ количеством вещества 4 моль. Определите КПД цикла, если известно, что при изотермическом процессе газ совершает работу 330 Дж.

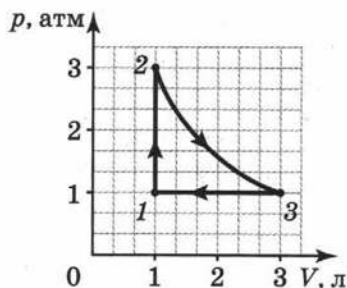


Рис. 106

519 В котле паровой машины
440 температура равна 160°C , а температура холодильника равна 10°C . Определите максимальную работу, которую может совершить машина, считая её идеальной, если в топке с КПД 60 % сожжено 200 кг угля с удельной теплотой сгорания $2,9 \cdot 10^7$ Дж/кг.

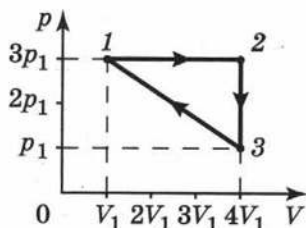


Рис. 107

520 Паровая машина мощностью 14,7 кВт потребляет за
441 1 ч работы 8,1 кг угля с удельной теплотой сгорания $3,3 \cdot 10^7$ Дж/кг. Температура котла (нагревателя) 200°C , а холодильника 58°C . Определите КПД машины и сравните его с КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника.

521 Идеальная тепловая машина имеет температуру на-
442 гретателя 400 K , а температуру холодильника 300 K . Определите, какую мощность развивает эта машина, если расход топлива 10^{-3} кг/с, его удельная теплота сгорания $4 \cdot 10^7$ Дж/кг.

522 С идеальным газом проводят циклический процесс,
443 изображённый на рисунке 107. Определите КПД цикла.

- 523 Идеальная тепловая машина с КПД, равным 40 %, работает по обратному циклу, т. е. у холодильника отбирается количество теплоты Q_2 , а нагревателю передаётся количество теплоты Q_1 . При этом внешними силами совершается положительная работа (рабочее тело двигателя в этом случае совершает отрицательную работу). Какое максимальное количество теплоты можно отобрать у холодильника, совершив работу 400 Дж?
- 524 Холодильный коэффициент — отношение количества теплоты, отобранной у холодильника, к работе, совершаемой внешними силами. Определите количество теплоты, переданной воздуху при работе холодильника мощностью P , и холодильный коэффициент, если вода массой m , взятая при температуре t_1 и помещённая в холодильник, замерзает за время τ . Удельная теплоёмкость воды c_v , удельная теплота плавления льда λ .
- 525 Можно ли, открыв дверцу работающего холодильника, охладить воздух в комнате?

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Электростатика

Электрический заряд. Закон Кулона

- 526 Во сколько раз сила кулоновского взаимодействия двух протонов больше силы их гравитационного взаимодействия?
- 527 Как взаимодействуют заряды q_2 и q_3 , если заряды q_1 и q_2 притягиваются друг к другу, а заряд q_1 отталкивается от заряда q_3 (рис. 108)?
- 528 Толстую незаряженную металлическую пластинку поместили около положительно заряженного шарика (рис. 109). На пластинке будет происходить перерас-

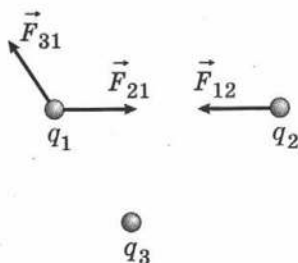


Рис. 108

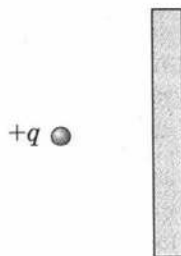


Рис. 109

пределение заряда. Чему будет равен заряд поверхности пластинки со стороны шарика? Изменится ли суммарный заряд пластинки?

529 Какое число электронов соответствует заряду
450 160 мкКл? Можно ли телу сообщить заряд, равный $2,5 \cdot 10^{-19}$ Кл?

530 Определите заряд двух капель воды, если сила кулоновского отталкивания равна силе их гравитационного притяжения. Радиус каждой капли $r = 2$ мм.

531 Какая из сил отталкивания будет меньше: между
452 двумя точечными положительными зарядами q и $2q$, находящимися на расстоянии l друг от друга, или между двумя проводящими шарами радиусами $0,5l$ и $0,3l$ с зарядами q и $2q$? Расстояние между центрами шаров также l .

532 Могут ли находиться в равновесии три заряда одного
453 знака?

533 Два одинаковых по знаку заряда q_1 и q_2 , расположенные на некотором расстоянии друг от друга, будут находиться в равновесии, если между ними поместить заряд в точку, которая делит отрезок, соединяющий заряды q_1 и q_2 , в отношении $l_1 : l_2 = 1 : 3$. Определите отношение зарядов.

534 На нити висит заряженный шарик массой 20 г. Какой
455 заряд q_2 надо поместить на расстоянии 5 см от шарика, чтобы вес шарика уменьшился в 2 раза? Заряд шарика 10^{-6} Кл.

535 В вершинах квадрата находятся одинаковые положительные
456 заряды q . Какой заряд нужно поместить в центр квадрата, чтобы вся система зарядов находилась в равновесии? Будет ли равновесие устойчивым?

536 Два маленьких шарика с одинаковой массой, каждому
457 из которых сообщили заряд $9 \cdot 10^{-7}$ Кл, подвешены на нитях длиной 1 м. Угол, на который разошлись нити, равен 60° . Определите массу шариков.

537 Заряды -8 и 2 мкКл находятся на расстоянии 80 см
458 друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы система зарядов находилась в равновесии?

538 Три одинаковых небольших шарика
459 находятся в углах равностороннего треугольника и соединены одинаковыми нерастяннутыми пружинами длиной 20 см (рис. 110). После того как каждому шарiku сообщили заряд $2 \cdot 10^{-7}$ Кл, каждая пружина растянулась на 0,5 см. Определите жёсткость пружин.

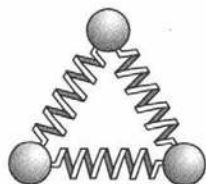


Рис. 110

- 539 Два шарика массой 10 г каждый
460 соединены длинной (L) и корот-
кой (l) нитями, при этом $L = 2l$.
Заряд каждого шарика $5 \cdot 10^{-7}$ Кл.
Систему начинают поднимать за
середину длинной нити (рис. 111)
вверх с ускорением $a = g$. Опреде-
лите натяжение короткой нити,
если её длина 10 см.

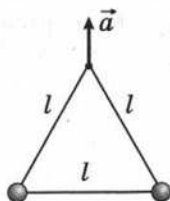


Рис. 111

Электрическое поле

- 540 Определите напряжённость электрического поля в
461 точке, удалённой от точечного заряда на 2 м, если
на расстоянии 20 см от него напряжённость поля
равна $4 \cdot 10^{-4}$ В/м. Определите также заряд, создаю-
щий поле.
- 541 Определите напряжённость поля, создаваемого двумя
462 точечными зарядами $q_1 = 4 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = -4 \cdot 10^{-7}$ Кл
(рис. 112), на оси симметрии в точке A на расстоя-
нии 10 см от линии, соединяющей заряды. Расстоя-
ние между зарядами 20 см.
- 542 Три заряда $q_1 = q_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_3 = -8 \cdot 10^{-8}$ Кл
463 поместили в вершинах равностороннего треугольника
со стороной $a = 30$ см. Определите напряжённость
поля в центре треугольника.
- 543 Заряд q_1 находится в однородном электрическом
464 поле напряжённостью E (рис. 113). На каком рас-
стоянии надо поместить такой же по модулю заряд,
чтобы заряд q_1 находился в покое?
- 544 Определите напряжённость электрического поля,
465 создаваемого в точке M зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-12}$ Кл и
 $q_2 = 4 \cdot 10^{-12}$ Кл (рис. 114). Расстояние между заря-
дами $l = 5$ см, расстояния от точки M до зарядов q_1
и q_2 соответственно $r_1 = 4$ см и $r_2 = 3$ см.

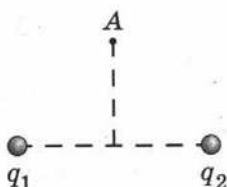


Рис. 112

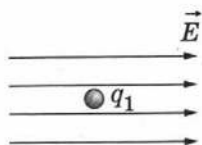


Рис. 113

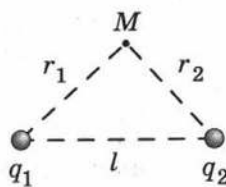


Рис. 114

- 545 В горизонтальном электрическом поле напряжён-
466 ностью $2,83 \cdot 10^5$ В/м на нити висит маленький шарик массой 5 г. Шарику сообщили заряд 10^{-7} Кл. Определите угол, на который нить отклонилась от вертикали.
- 546 Вычислите максимальный вращательный момент,
467 действующий на диполь (электрон—протон) в однородном электрическом поле, напряжённость которого 100 В/м. Расстояние между зарядами диполя $5 \cdot 10^{-11}$ м.
- 547 Заряд q влетает в однородное электрическое поле на-
468 пряжённостью E под углом α к силовым линиям этого поля. На каком расстоянии l от места попадания заряда в поле его скорость станет перпендикулярна силовым линиям поля? Начальная скорость заряда v_0 , его масса m .
- 548 После включения на некоторое время электрического
469 поля вектор скорости частицы повернулся на угол $\varphi = 60^\circ$, а числовое значение скорости увеличилось в 2 раза. На какой угол α повернулся бы вектор скорости, если бы заряд частицы был в 2 раза больше?
- 549 Скорость установившегося движения шарика, несущего
470 заряд $q = 10^{-6}$ Кл, в сосуде с глицерином $v = 2$ м/с. Сила сопротивления движению шарика пропорциональна его скорости ($F_{\text{сопр}} = 10^{-4}v$). Сосуд помещают в электрическое поле напряжённостью $E = 10^2$ В/м, силовые линии которого направлены вертикально, причём в первом случае направления поля и ускорения свободного падения совпадают, во втором противоположны. Определите отношение скоростей установившегося движения шарика. Выталкивающей силой пренебрегите.

Проводники и диэлектрики в электростатическом поле

- 550 Определите напряжённость электрического поля за-
471 ряженного проводящего шарика радиусом 4 см в точках, находящихся на расстояниях 2 и 10 см от его центра. Заряд шарика равен 10^{-7} Кл.
- 551 Радиус проводящего шара и радиус проводящей тон-
472 кой сферы равны 4 см. Заряды шара и сферы одинаковы и равны $4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Вычислите значения напряжённости электрического поля в точках, находящихся на расстояниях 2, 4 и 8 см от центра шара и центра сферы.

- 552 Постройте график зависимости напряжённости электрического поля заряженного проводящего шара радиусом 10 см от расстояния от его центра. Заряд шара равен 10^{-9} Кл.

- 553 Заряженная проводящая сфера радиусом 10 см окружена проводящей оболочкой с внутренним радиусом 15 см и внешним радиусом 25 см (рис. 115). Заряд сферы равен 10^{-8} Кл. Определите напряжённость электрического поля в точках A, B и C, если $r_A = 10$ см, $r_B = 20$ см, $r_C = 30$ см. Постройте график зависимости напряжённости электрического поля от расстояния от центра сферы.

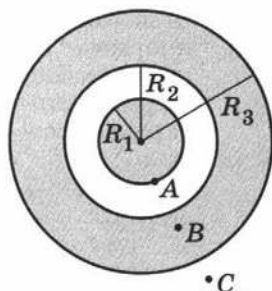


Рис. 115

- 554 Проводящая сфера радиусом 5 см окружена диэлектрической оболочкой, внутренний радиус которой 10 см, а внешний 15 см. Напряжённость электрического поля уменьшается в диэлектрике в 7 раз (стекло). Определите напряжённость в точках A, B, C и D. Постройте график зависимости напряжённости электрического поля от расстояния от центра сферы, если заряд сферы 10^{-7} Кл, $r_A = 2$ см, $r_B = 9$ см, $r_C = 12$ см, $r_D = 20$ см.

- 555 Проводящая сфера, заряд которой $4 \cdot 10^{-7}$ Кл, окружена проводящей оболочкой, несущей заряд $-4 \cdot 10^{-7}$ Кл. Радиус сферы 4 см, внутренний и внешний радиусы оболочки 8 и 10 см. Вычислите значения напряжённости электрического поля в точках A, B, C и D, если $r_A = 2$ см, $r_B = 5$ см, $r_C = 9$ см, $r_D = 12$ см.

- 556 Точечный заряд $q = 10^{-7}$ Кл помещён на расстоянии 3 см от тонкой бесконечной проводящей пластины. Определите силу притяжения заряда к пластине.

- 557 Напряжённость электрического поля в воздухе E_0 , в парафине в 2 раза меньше, чем в воздухе. Изобразите картину силовых линий однородного электрического поля, если перпендикулярно полю поместить парафиновую пластину (рис. 116).

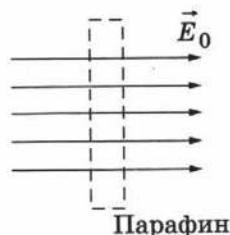


Рис. 116

- 558 Напряжённость электрического поля в керосине уменьшается в 2 раза. Определите силу взаимодействия двух зарядов в керосине, если в вакууме она равна $1,4 \cdot 10^{-5}$ Н.

- 559 Два одинаково заряженных шарика массой 200 г и радиусом 2 см каждый висят на двух одинаковых нитях, угол между которыми $2\varphi_0 = 120^\circ$ (рис. 117). Чему равна плотность жидкого диэлектрика, в который надо поместить систему, чтобы угол между нитями стал $2\varphi = 90^\circ$? Напряжённость электрического поля в диэлектрике уменьшается в 3 раза.

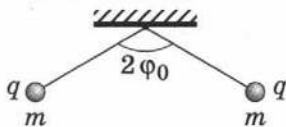


Рис. 117

- 560 В однородное электрическое поле внесли перпендикулярно линиям поля две одинаковые диэлектрические пластины. В первой напряжённость поля уменьшилась в 2 раза, во второй — в 7 раз. У какой из пластин на поверхности собирается больший связанный заряд? Во сколько раз связанный заряд на поверхности одного диэлектрика отличается от связанного заряда на поверхности другого диэлектрика?

- 561 Два маленьких одноимённо заряженных шарика радиусом $r = 1$ см каждый подвешены на двух одинаковых нитях длиной $l = 1$ м и помещены в жидкий диэлектрик. Заряд каждого шарика $q = 4 \cdot 10^{-6}$ Кл. Масса каждого шарика $m = 16$ г. Плотность диэлектрика $\rho = 800$ кг/м³. Угол между нитями $\alpha = 60^\circ$. Определите относительную диэлектрическую проницаемость жидкого диэлектрика.

- 562 Точечный заряд $q = 10^{-9}$ Кл окружён сферической диэлектрической оболочкой, внутренний радиус которой $R_1 = 0,5$ м, а внешний $R_2 = 1$ м. Относительная диэлектрическая проницаемость оболочки $\epsilon = 3$. Определите напряжённости электрического поля в точках, удалённых от заряда на расстояния $r_1 = 0,25$ м, $r_2 = 0,75$ м, $r_3 = 2$ м. Не выполняя дополнительных вычислений, постройте качественную зависимость $E(r)$.

- 563 В однородном электрическом поле напряжённостью $E_0 = 24$ В/м находятся две пластины, относительные диэлектрические проницаемости которых $\epsilon_1 = 4$ и $\epsilon_2 = 6$ (рис. 118). Определите напряжённость электрического поля внутри пластин и начертите график зависимости $E(x)$.

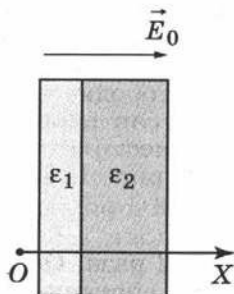


Рис. 118

- 564** Определите силу давления шарика на дно сосуда, заполненного керосином, если сосуд находится в вертикальном однородном электрическом поле, напряжённость которого 20 В/м. Масса шарика 50 г, его радиус 4 см, заряд 9 мКл.

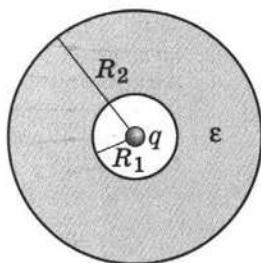


Рис. 119

- 565** Точечный заряд $q = 3 \cdot 10^{-7}$ Кл окружён сферической диэлектрической оболочкой (рис. 119), относительная диэлектрическая проницаемость которой равна 3. Определите заряд и поверхностную плотность заряда на внешней и внутренней поверхностях оболочки, если $R_1 = 10$ см, $R_2 = 30$ см.
- 566** Проводящая сфера радиусом 4 см находится в жидком диэлектрике с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 2. Заряд сферы $\frac{1}{9} \cdot 10^{-9}$ Кл. Начертите график зависимости напряжённости электрического поля от расстояния от центра сферы.
- 567** В однородное электрическое поле перпендикулярно линиям напряжённости вносят заряженную металлическую пластину. Напряжённость поля справа от пластины 30 кВ/м, слева от пластины 50 кВ/м. Сила, действующая на пластину, равна 0,7 Н. Чему равен заряд пластины?

Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов

- 568** Определите работу, совершаемую силами однородного электростатического поля при перемещении заряда 10^{-12} Кл из точки А в точки В и С (рис. 120). Расстояние АС равно 4 см, расстояние СВ равно 3 см. Отрезок АС параллелен силовым линиям поля. Напряжённость поля равна 10 В/м.

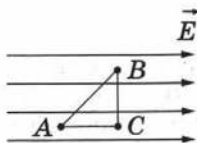


Рис. 120

- 569** На рисунке 121 показаны силовые линии электрического поля в трёх случаях. В каком случае работа поля будет больше при перемещении положительного заряда из точки А в точку В, если расстоя-

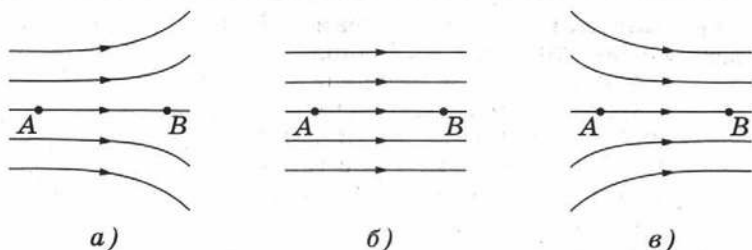


Рис. 121

ние AB везде одинаково? Густота силовых линий в случае a в точках A и B равна густоте силовых линий в случае $в$ в точках B и A .

- 570** Два точечных положительных заряда закреплены на некотором расстоянии друг от друга. Один из зарядов освобождают, и он летит вдоль силовых линий поля другого заряда. Как изменяется потенциальная энергия системы зарядов?
- 571** Потенциалы точек A и B электрического поля равны соответственно $\varphi_A = 10$ В и $\varphi_B = 5$ В. Определите работу, совершаемую силами поля: 1) при перемещении положительного заряда $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл из точки A в точку B ; 2) при перемещении отрицательного заряда $q_2 = -2 \cdot 10^{-7}$ Кл из точки A в точку B . Как при этом изменяется потенциальная энергия зарядов?
- 572** Частица массой 10^{-15} кг, несущая заряд 10^{-11} Кл, движется в электрическом поле. В точке поля, потенциал которой равен 10 В, частица имеет скорость 100 м/с. Определите потенциал точки, в которой скорость частицы становится равной 200 м/с.
- 573** Электрон в кинескопе телевизора ускоряется разностью потенциалов 5000 В. Чему равно изменение потенциальной энергии электрона? Определите скорость, с которой движется электрон в результате этого ускорения.
- 574** Два положительных заряда находятся на расстоянии 10 см друг от друга. В какой точке напряжённость электрического поля равна нулю? В какой точке потенциал поля равен нулю?
- 575** Какую разность потенциалов необходимо создать, чтобы сообщить ядру гелия с зарядом $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл кинетическую энергию $7,68 \cdot 10^{-18}$ Дж?
- 576** Поток электронов, ускоренных разностью потенциалов 1200 В, влетает в пространство между двумя параллельными пластинами длиной 5 см каждая

(рис. 122). Определите разность потенциалов между пластинами, если из пространства между ними вылетает половина электронов. Расстояние между пластинами 0,5 см. Релятивистские эффекты не учитывайте.

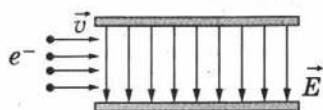


Рис. 122

- 577 Какую работу надо совершить, чтобы перенести заряд 10^{-16} Кл из бесконечно удалённой точки, потенциал которой равен нулю, в точку поля, потенциал которой равен 10 В? Какую работу совершает при этом электростатическая сила?

- 578 Скорость электрона в точке поля, потенциал которой -10 В, равна нулю. Какую скорость будет иметь электрон в бесконечно удалённой точке, в которой потенциал можно считать равным нулю?

- 579 Определите напряжённость однородного электрического поля, если разность потенциалов между точками А и В равна 8 В (рис. 123). Отрезок АВ имеет длину 10 см и расположен под углом 60° к силовым линиям поля.

- 580 Конденсатор массой m подвешен на пружине. Удлинение пружины при этом l_1 . В пространство между пластинами конденсатора впрыскивают четыре капли ртути ($N = 4$), которые остаются неподвижными. Массы капель одинаковы и равны m_0 . На сколько при этом удлинится пружина?

- 581 Экипотенциальные поверхности представляют собой параллельные плоскости, разность потенциалов между которыми постоянна и равна 1 В. Как выглядят силовые линии поля? Какое это поле?

- 582 Как изменяется потенциал вдоль одной из силовых линий электрического поля, совпадающей с осью ОХ (рис. 124)? Начертите график зависимости потенциала φ от координаты x , считая, что в точке О потенциал равен нулю. Напряжённость электрического поля равна 1 В/м.

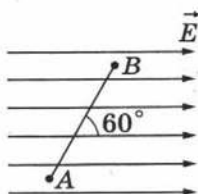


Рис. 123

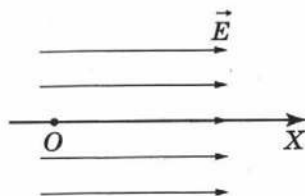


Рис. 124

- 583** Экипотенциальные поверхности изображаются так, что разность потенциалов между двумя поверхностями остаётся постоянной. На рисунке 125 изображена серия экипотенциальных поверхностей. Какое соотношение между напряжённостями электрического поля в точках A , B и C ?

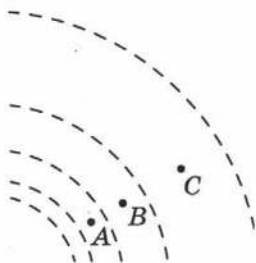


Рис. 125

- 584** Может ли существовать электрическое поле, силовые линии которого представлены на рисунке 126?

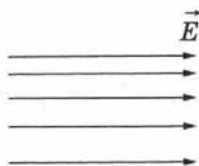


Рис. 126

- 585** Н Одинаковые одноимённые точечные заряды $4 \cdot 10^{-7}$ Кл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 1 м. Определите значения напряжённости и потенциала поля в третьей вершине треугольника (рис. 127).

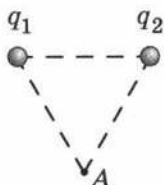


Рис. 127

- 586** Н На расстоянии 40 см от поверхности заряженного металлического шарика радиусом 10 см, несущего заряд $q_1 = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл, помещён точечный заряд $q_2 = 8 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определите потенциал шарика.

- 587** Н Вычислите значения напряжённости и потенциала поля в точке A , находящейся на расстоянии $l = 20$ см от поверхности заряженной проводящей сферы радиусом $R = 10$ см, если потенциал сферы $\varphi_0 = 240$ В (рис. 128).

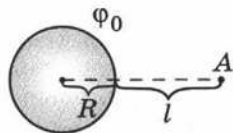


Рис. 128

- 588** Н В центр металлической сферической оболочки с внутренним радиусом R_1 и внешним R_2 помещают заряд q . Определите напряжённость и потенциал поля как функции расстояния от центра сферы.

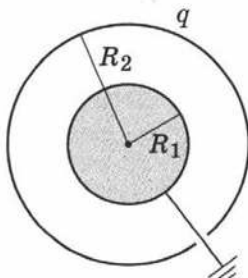


Рис. 129

- 589** Н Проводящую сферу радиусом $R_1 = 20$ см окружили тонкой сферической оболочкой радиусом $R_2 = 40$ см с зарядом $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл (рис. 129). Сферу заземлили. Определите заряд сферы и потенциал оболочки после заземления.

- 590** Протон с начальной скоростью v_0 летит прямо на первоначально покоящееся ядро гелия. Определите скорость частиц в тот момент, когда расстояние между ними минимально. Считайте, что масса ядра гелия в 4 раза больше массы протона.
- Н**
- 591** Два небольших проводящих заряженных шара радиусом r каждый расположены на расстоянии l друг от друга ($l \gg 2r$). Шары поочерёдно на некоторое время заземляют. Определите потенциал первого шара после первых двух последовательных заземлений. Первоначально каждый шар имел заряд q .
- Н**
- 592** Определите потенциал на середине отрезка, соединяющего две точки поля точечного заряда, если потенциалы в этих точках равны 1 и 4 В.
- 932**
- 593** Проводящий шар радиусом 10 см заряжен до потенциала 900 В. Определите работу поля при перемещении заряда $q = -1 \cdot 10^{-7}$ Кл из точки, находящейся на расстоянии 90 см от поверхности шара, к точке вблизи его поверхности.
- 933**
- 594** Капли ртути, заряженные до $4 \cdot 10^{-12}$ и $5 \cdot 10^{-13}$ Кл и имеющие радиусы 2 и 3,82 мм соответственно, соединяются в одну каплю. Определите потенциал этой большой капли.
- 934**
- 595** Два незаряженных неподвижных металлических шарика одного размера поочерёдно соединяют тонкой проволокой с третьим шариком того же размера, заряд которого q_0 . Определите заряды этих трёх шариков. Расстояния между шариками одинаковые.
- 935**
- 596** Мыльному пузырю сообщают заряд, вследствие чего его радиус увеличивается втрое. Определите изменение энергии заряда при увеличении радиуса пузыря.
- 936**
- 597** На расстоянии 40 см от центра равномерно заряженной сферы радиусом 11 см напряжённость электрического поля равна 77 В/м. Определите потенциал сферы и поверхностную плотность заряда на сфере.
- 937**
- 598** В трёх вершинах квадрата со стороной 10 см находятся три положительных точечных заряда 1 нКл каждый. Определите напряжённость и потенциал электрического поля в четвёртой вершине квадрата.
- 938**
- 599** На расстоянии 20 см от центра незаряженного металлического шара радиусом 10 см находится точечный положительный заряд 100 нКл. Определите потенциал шара. Какой заряд приобретёт шар, если его заземлить?
- 939**
- 600** Маленький шарик массой 1 г с зарядом 0,15 мкКл движется к закреплённой сфере из точки, удалённой
- 940**

на большое расстояние от сферы. Заряд сферы 30 мкКл, её радиус 5 см. При какой минимальной скорости шарик достигнет поверхности сферы?

- 601 Три небольших одинаковых металлических шарика, находящиеся в вакууме, помещены в вершинах равностороннего треугольника. Шарики поочерёдно соединяют с удалённым проводником, потенциал которого поддерживают постоянным. В результате заряд первого шарика оказался равным 4 нКл, а второго — 2 мКл. Определите заряд третьего шарика.

Електроёмкость.

Энергия электрического поля конденсатора

- 602 Двум параллельным пластинам, находящимся на расстоянии 2 мм, сообщили заряды $4 \cdot 10^{-7}$ и $-4 \cdot 10^{-7}$ Кл. При этом напряжённость электрического поля между пластинами стала равна 10 В/м. Определите электроёмкость проводников.



- 603 Расстояние между пластинами плоского конденсатора (рис. 130, а) уменьшили в 2 раза, а пластины сдвинули параллельно относительно друг друга так, что площадь перекрытия уменьшилась в 1,5 раза (рис. 130, б). Во сколько раз изменилась электроёмкость?

а)

- 604 Пластины плоского конденсатора погрузили в керосин. Заряд пластин остался постоянным и равным 10^{-8} Кл. До погружения разность потенциалов была равна 10 В. Определите изменение электроёмкости конденсатора и разности потенциалов между пластинами. Известно, что в керосине напряжённость электрического поля в 2 раза меньше, чем в воздухе.



б)

Рис. 130

- 605 Пластины конденсатора ёмкостью 0,4 мкФ могут смещаться параллельно относительно друг друга. Какой максимальный заряд может накопить конденсатор, если его присоединить к источнику напряжения 100 В? Как должны быть расположены пластины, чтобы заряд на них был равен $\frac{3}{4}$ от максимального заряда?

- 606** Заряд пластин конденсатора ёмкостью 2 мкФ равен 10^{-5} Кл . Между пластинами, расположенными на расстоянии 2 мм , находится в равновесии капелька ртути массой 10^{-2} г . Определите заряд капельки.
- 607** От отрицательно заряженной пластины конденсатора отлетает электрон, ускоряется и оседает на положительно заряженной пластине. Определите импульс силы, действовавшей на пластину при попадании на неё электрона. Электроёмкость конденсатора 100 пФ . Заряд конденсатора 10^{-7} Кл . Начальная скорость электрона равна нулю.
- 608** Электрон влетает со скоростью 20 км/с в пространство между пластинами конденсатора ёмкостью 1 мкФ параллельно пластинам. Определите, на какой угол изменится направление скорости электрона на выходе из конденсатора, если модуль заряда пластин 445 пКл , расстояние между пластинами 2 см , а их длина 10 см .
- 609** Разность потенциалов между обкладками конденсатора ёмкостью $0,1 \text{ мкФ}$ равна 100 В . Как изменятся энергия электрического поля конденсатора и заряд на пластинах, если, не отключая его от источника напряжения, расстояние между пластинами уменьшить в 2 раза?
- 610** Конденсатор ёмкостью 4 мкФ зарядили, подключив его к источнику напряжения 200 В , а затем отключили от него. Как изменятся разность потенциалов между пластинами конденсатора и энергия электрического поля при увеличении расстояния между пластинами в 3 раза?
- 611** Расстояние между пластинами плоского конденсатора ёмкостью 2 мкФ , подключённого к источнику напряжения 100 В , увеличивают в 2 раза. Как изменятся энергия электрического поля конденсатора? Изменится ли энергия, если конденсатор сначала отключат от источника, а затем раздвинут пластины?
- 612** Четыре конденсатора электроёмкостями $C_1 = 1 \text{ мкФ}$, $C_2 = 1 \text{ мкФ}$, $C_3 = 3 \text{ мкФ}$, $C_4 = 2 \text{ мкФ}$ соединены, как показано на рисунке 131. К точкам A и B подводится напряжение $U = 140 \text{ В}$. Определите заряд и напряжение на каждом из конденсаторов.

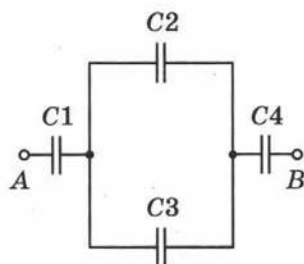


Рис. 131

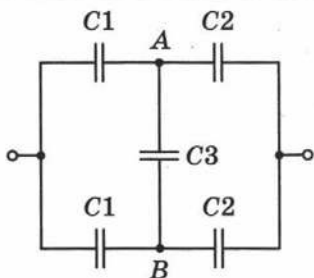


Рис. 132

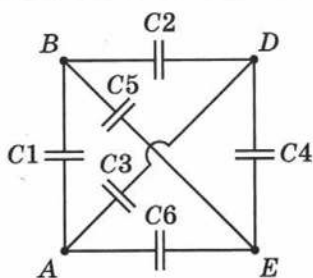


Рис. 133

613 Рассчитайте эквивалентную электрическую ёмкость цепи, изображённой на рисунке 132.

614 Рассчитайте электроёмкость системы одинаковых конденсаторов, изображённой на рисунке 133, если разность потенциалов подводится к точкам: а) А и D; б) А и Е. Электроёмкость каждого конденсатора C .

615 Определите электроёмкость системы конденсаторов, изображённой на рисунке 134, если $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C$, $C_6 = C_7 = \frac{C}{2}$.

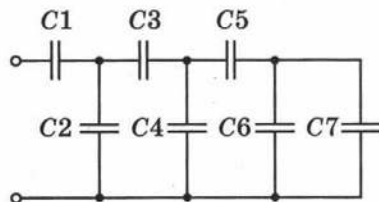


Рис. 134

616 Определите электроёмкость воздушного сферического конденсатора. Радиусы сфер R_1 и R_2 .

617 Конденсатор электроёмкостью $C_1 = 1$ мкФ, заряженный до разности потенциалов $U_1 = 100$ В и отключённый от источника, соединили параллельно с конденсатором электроёмкостью $C_2 = 3$ мкФ, заряженным до разности потенциалов $U_2 = 60$ В. Определите заряд каждого из конденсаторов и разность потенциалов между обкладками после их соединения, если:

- соединяются обкладки, имеющие одноимённые заряды;
- соединяются обкладки, имеющие разноимённые заряды.

618 Энергия плоского воздушного конденсатора $W_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Дж. Определите энергию конденсатора после заполнения его диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$, если:

- конденсатор отключён от источника питания;
- конденсатор подключён к источнику питания.

- 619 Н Пластины плоского конденсатора подключены к источнику тока с $\mathcal{E} = 2$ В. Как изменятся ёмкость и энергия электрического поля конденсатора, если конденсатор наполовину заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$? Расстояние между пластинами $d = 1$ см, площадь пластин $S = 50$ см².

- 620 Н В плоский воздушный конденсатор вставляется металлическая пластина толщиной d_0 . Заряд на обкладках конденсатора q . Конденсатор отключён от источника. Расстояние между пластинами d , площадь пластин S (рис. 135). Определите изменение ёмкости конденсатора и энергии его электрического поля.

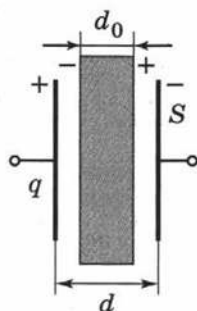


Рис. 135

- 621 Н Определите изменение заряда проводящей сферы радиусом 10 см, первоначально заряженной до потенциала 10^4 В, если с течением времени она частично потеряла заряд и её энергия уменьшилась на $1,5 \cdot 10^{-4}$ Дж.

- 622 942 Два конденсатора ёмкостями C_1 и C_2 соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения U (рис. 136). На сколько изменится заряд конденсаторов, если конденсатор ёмкостью C_2 заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ ?

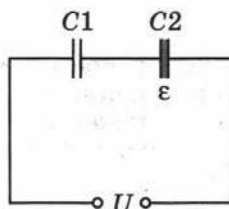


Рис. 136

- 623 943 Рассчитайте эквивалентные ёмкости схем а—г (рис. 137). Ёмкость каждого из конденсаторов равна C .

- 624 944 Определите, какое количество теплоты выделится в проводнике, если через него разрядить плоский конденсатор, заряженный до разности потенциалов 2 кВ. Площадь пластин $0,2$ м², расстояние между ними 1 мм, диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего пространство между пластинами, 10.

- 625 945 Два одинаковых конденсатора соединены параллельно. Заряд на пластинах каждого конденсатора q . Какое количество электричества пройдёт по соединяющим эти конденсаторы проводам, если расстояние между пластинами одного из конденсаторов уменьшить в 4 раза?

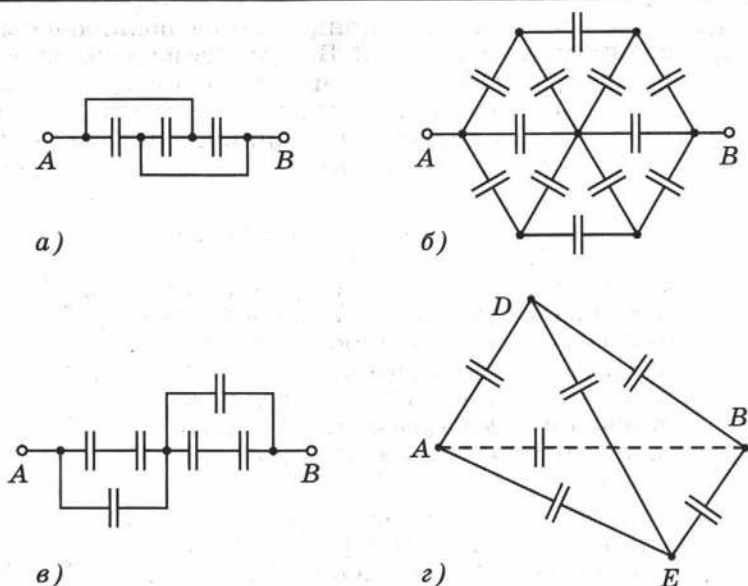


Рис. 137

626 946 Какое количество теплоты выделится в цепи, изображённой на рисунке 138, при переводе ключа из положения 1 в положение 2? Электроёмкость конденсатора C , подаваемое напряжение U .

627 947 Три конденсатора, ёмкости которых равны C_1 , C_2 , C_3 , соединены по схеме, как показано на рисунке 139. Разность потенциалов между точками A и B равна U . Определите разность потенциалов между точками A и D .

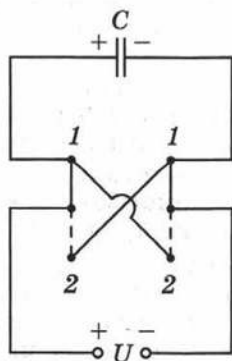


Рис. 138

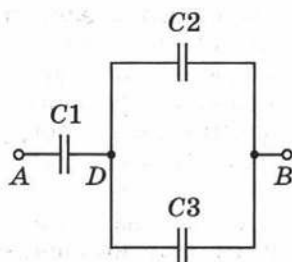


Рис. 139

- 628** 948 Определите заряд, который пройдёт по проводам, соединяющим обкладки плоского воздушного конденсатора и источник тока с ЭДС, равной 8 В, при погружении конденсатора в диэлектрик с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Площадь пластин конденсатора 200 см^2 , расстояние между пластинами 2 мм.
- 629** 949 Конденсатор ёмкостью 3 мкФ и напряжением на обкладках 100 В соединяют параллельно с конденсатором ёмкостью 4 мкФ и напряжением на обкладках 50 В разноимённо заряженными обкладками. Определите заряды конденсаторов после соединения и изменение энергии электрического поля.
- 630** 950 Определите ёмкость батареи конденсаторов и заряд каждого конденсатора в схеме на рисунке 140. Напряжение между точками A и B равно 100 В, ёмкости $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 10 \text{ мкФ}$.
- 631** 951 Два одинаковых конденсатора, в один из которых помещена диэлектрическая пластина с относительной диэлектрической проницаемостью ε , были соединены и заряжены до напряжения U , а затем отключены от источника (рис. 141). Определите работу, которую надо совершить, чтобы вытащить диэлектрическую пластину из конденсатора. Электроёмкость воздушно-го конденсатора равна C .

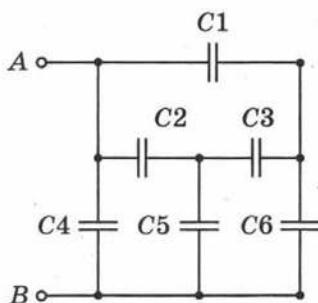


Рис. 140

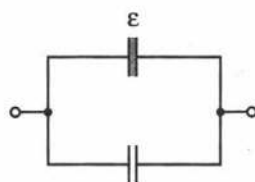


Рис. 141

Законы постоянного тока

Электрический ток. Сила тока

- 632** 509 Определите силу тока, если через поперечное сечение проводника за 1 с прошёл заряд 0,2 Кл.
- 633** 510 По проводнику идёт постоянный ток. Сила тока $I = 1 \text{ А}$. Рассчитайте массу электронов, проходящих через поперечное сечение проводника за интервал времени $\Delta t = 1 \text{ с}$.
- 634** 511 Определите суммарный импульс электронов в проводнике, по которому идёт ток. Сила тока $I = 10 \text{ А}$. Длина проводника $l = 1 \text{ м}$.

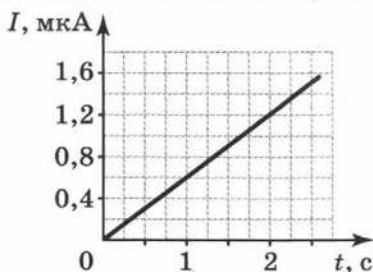


Рис. 142

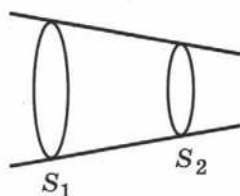


Рис. 143

- 635 Сила тока со временем меняется по закону $I = kt$
 512 (рис. 142). Какой заряд прошёл через поперечное сечение проводника за первые 2 с?
- 636 По проводнику с площадью поперечного сечения
 513 2 мм^2 идёт ток. Определите концентрацию свободных электронов, если сила тока 1 А, скорость направленного движения электронов $5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$.
- 637 В проводнике переменного сечения концентрация
 514 свободных электронов $9 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. Сила тока, идущего по проводнику, равна 1 А. Определите скорости направленного движения электронов в сечениях с площадями $S_1 = 5 \text{ мм}^2$ и $S_2 = 1 \text{ мм}^2$ (рис. 143).
- 638 Чему равна сила, действующая на свободный электр
 515 он в проводнике длиной 30 см при разности потенциалов между его концами 300 В?

Закон Ома для участка цепи. Последовательное и параллельное соединения проводников

- 639 Определите сопротивление проводника, если при на
 516 пряжении 20 В сила тока в проводнике 0,1 А.
- 640 По проводнику длиной 1 м и сопротивлением 20 Ом
 517 идёт ток. Сила тока 1 А. Вычислите разность потенциалов между точками, одна из которых находится посередине проводника, а другая — на расстоянии 10 см от его конца.
- 641 Как изменится сила тока в проводнике, если его со
 518 противление уменьшится в 3 раза, а напряжение увеличится в 2 раза?
- 642 Чему равна сила тока в проводнике при напряжении
 519 100 В, если при напряжении 220 В сила тока равна 4,4 мА?

- 643** Сопротивления двух проводников одинаковы. Как относятся их удельные сопротивления, если они имеют одинаковую длину, а площади их поперечного сечения равны соответственно 1 и $2,5 \text{ мм}^2$?
- 644** Чему равно сопротивление медной проволоки длиной 2 м и диаметром 1 мм?
- 645** Определите площадь поперечного сечения медной проволоки, имеющей такое же сопротивление, что и стальная проволока сечением 1 мм^2 . Длины проволок равны.
- 646** На корпусе портативного магнитофона написано, что напряжение питания должно быть 6 В, а сила тока 200 мА. Определите сопротивление цепи магнитофона.
- 647** Три проводника, сопротивления которых равны 10, 20 и 30 Ом, соединены последовательно. Рассчитайте напряжение на каждом из проводников и разность потенциалов между концами цепи при силе тока 1 А.
- 648** Два проводника, сопротивления которых относятся как 1 : 3, соединены параллельно и подключены к источнику напряжения. Определите отношение сил токов, идущих по проводникам.
- 649** Определите сопротивление участка цепи AB , изображённого на рисунке 144. Сопротивления проводников $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 7,6 \text{ Ом}$.
- 650** К концам цепи AB (см. рис. 144) подводится напряжение 100 В. Вычислите значение силы тока, идущего по каждому из участков цепи.
- 651** Определите сопротивление между точками A и B в схемах, изображённых на рисунке 145, а, б. Сопротивления проводников $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$.

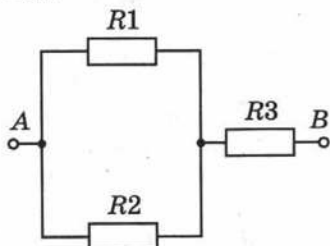


Рис. 144

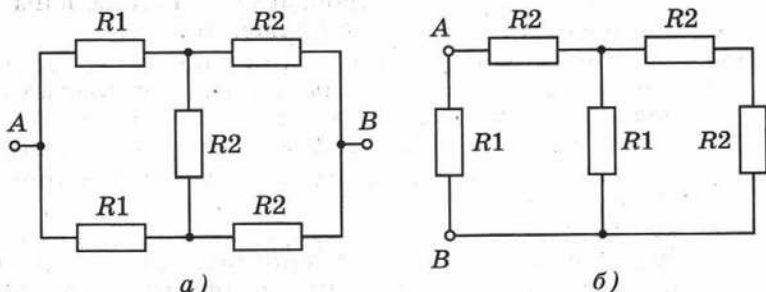


Рис. 145

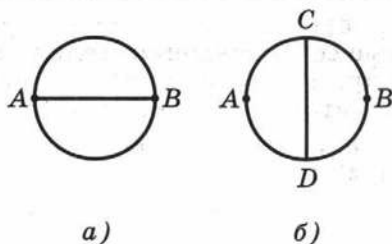


Рис. 146

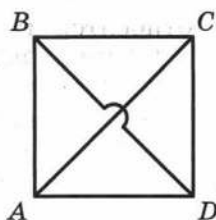


Рис. 147

- 652** Определите сопротивление между точками A и B медной проволоки, согнутой в виде кольца, в двух случаях: 1) точки A и B соединены проводником, длина которого равна диаметру кольца (рис. 146, a); 2) этим же проводником соединены точки C и D (рис. 146, b). Площадь поперечного сечения проволоки 1 мм^2 , диаметр кольца 20 см .
- 653** Определите сопротивление квадратной рамки, изготовленной из проволоки, между точками A и C (рис. 147). Сопротивление каждой стороны квадрата равно 1 Ом . Проволоки, из которых сделаны диагонали квадрата, в центре не соединяются.

Работа и мощность постоянного тока

- 654** Лампочка рассчитана на напряжение 12 В и мощность 6 Вт . Определите силу тока в лампочке при нормальной эксплуатации.
- 655** Сколько стоит за сутки горение лампочки мощностью 40 Вт , если стоимость электроэнергии $1,4 \text{ р. за } 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$?
- 656** Определите отношение количеств теплоты, выделяемой на двух проводниках, если они соединены: 1) последовательно; 2) параллельно. Отношение сопротивлений $1:2$. (Проводники подключены к источнику постоянного напряжения.)
- 657** Определите силу тока в кипятильнике, если, подключённый к напряжению 120 В , он нагревает стакан воды от 20 до 100°C за 5 мин . На нагрев воды расходуется 60% энергии. Масса воды в стакане 200 г .
- 658** Электрическая плитка состоит из двух одинаковых секций. При включении одной секции вода в чайнике, поставленном на плитку, закипает через 20 мин . Через сколько времени закипит вода, если секции подключить к тому же источнику напряжения: 1) параллельно; 2) последовательно?

- 659** Три проводника с одинаковыми сопротивлениями
536 подключены к источнику постоянного напряжения
сначала последовательно, а затем параллельно. В ка-
ком случае потребляется большая мощность?
- 660** Чему равен КПД электродвигателя мощностью
537 360 Вт, если он работает при силе тока 4 А и на-
пряжении от сети 120 В?

Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи

- 661** Сила тока в цепи, состоящей из
538 источника, замкнутого на резистор
сопротивлением 100 Ом, равна
0,1 А. Рассчитайте внутреннее со-
противление источника, если его
ЭДС равна 12 В.

- 662** Два одинаковых источника под-
539 ключены последовательно к рези-
стору сопротивлением 20 Ом. Опре-
делите силу тока в цепи и разность
потенциалов между зажимами ис-
точников. ЭДС источника 5 В, его
внутреннее сопротивление 2,5 Ом
(рис. 148).

- 663** Определите силу тока в каждом
540 из участков цепи (рис. 149), если
ЭДС источника равна 10 В, его
внутреннее сопротивление равно
2 Ом, а сопротивления резисторов
равны 10 и 5 Ом.

- 664** Определите заряд на пластинах
541 конденсаторов (рис. 150), если
 $\mathcal{E} = 20$ В, $r = 4$ Ом, $R_1 = 16$ Ом,
 $C_1 = 5$ мкФ, $C_2 = 15$ мкФ.

- 665** Два последовательно соединённых
542 элемента с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 10$ В и
 $\mathcal{E}_2 = 15$ В и внутренними сопротив-
лениями $r_1 = 2$ Ом и $r_2 = 4$ Ом
замкнуты на резистор сопротивле-
нием $R = 0,5$ Ом. Может ли через
резистор идти больший ток, если
использовать только один из эле-
ментов?

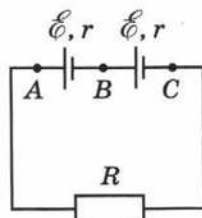


Рис. 148

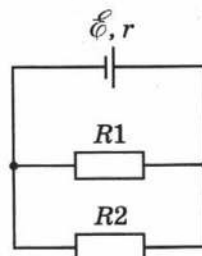


Рис. 149

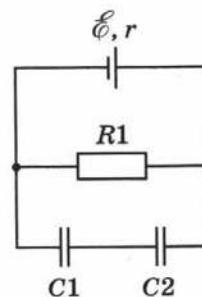


Рис. 150

- 666 Определите заряд на обкладках конденсатора ёмкостью $C = 1$ мкФ в схеме, представленной на рисунке 151. ЭДС источника $\mathcal{E} = 4$ В, внутреннее сопротивление источника $r = 2$ Ом, внешнее сопротивление $R = 14$ Ом.

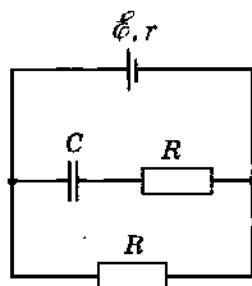


Рис. 151

- 667 Во внешней цепи при силе тока $I_1 = 5$ А выделяется мощность $P_1 = 9,5$ Вт, а при силе тока $I_2 = 8$ А — мощность $P_2 = 14,4$ Вт. Вычислите силу тока короткого замыкания.

- 668 К источнику тока с внутренним сопротивлением $2,4$ Ом подключён проводник, сопротивление которого равно 6 Ом. Чему должно быть равно сопротивление второго проводника, параллельно подключённого к первому, чтобы мощность, выделяемая во внешней цепи, была максимальна?

- 669 Три одинаковых источника тока с внутренним сопротивлением 2 Ом и ЭДС 2 В, соединённые последовательно, замкнуты на резистор сопротивлением 10 Ом. Определите силу тока, идущего по цепи, и разность потенциалов на зажимах каждого из источников.

- 670 Гальванические элементы с ЭДС, равными 4 , 6 и 8 В, соединены, как показано на рисунке 152, и замкнуты на проводник сопротивлением 6 Ом. Внутренние сопротивления элементов равны соответственно $0,5$, $1,5$ и 2 Ом. Определите силу тока в цепи и разность потенциалов между точками A и B , B и C .

- 671 Два гальванических элемента, ЭДС которых 2 и 1 В, соединены по схеме, показанной на рисунке 153. При каком значении сопротивления R ток через второй гальванический элемент не пойдёт? Внутреннее сопротивление первого гальванического элемента равно 1 Ом.

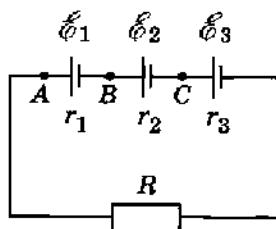


Рис. 152

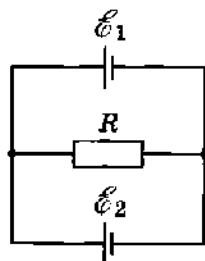


Рис. 153

- 672 В схеме, показанной на рисунке 154, $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$. На резисторе R_3 выделяется мощность 25 Вт. Определите, какая мощность выделяется на резисторах R_1 и R_2 .

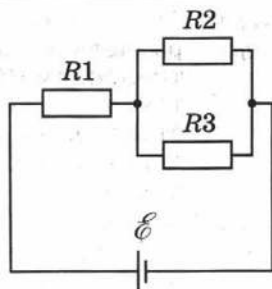


Рис. 154

- 673 Гальванический элемент с ЭДС, равной 4 В, и внутренним сопротивлением 2 Ом подключён к реостату с максимальным сопротивлением 6 Ом (рис. 155). Перемещая движок реостата, исследуют зависимость полезной мощности от силы тока. Начертите график полученной зависимости. При каком значении внешнего сопротивления мощность будет максимальна? Найдите её значение.

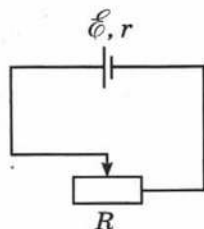


Рис. 155

- 674 Суммарная мощность, выделяющаяся на резисторах, сопротивления которых равны 10 и 30 Ом, одинакова при их последовательном и параллельном соединениях. Определите внутреннее сопротивление источника тока, к которому они подключены.

- 675 Аккумулятор заряжается от источника напряжения 12 В, при этом половина потребляемой мощности источника расходуется на его нагревание. Определите ЭДС аккумулятора.

- 676 Источник тока, замкнутый на проводник, имеет ЭДС $\mathcal{E} = 10 \text{ В}$, его внутреннее сопротивление $r = 2 \text{ Ом}$. Чему равно сопротивление проводника, если известно, что полезная мощность при замыкании цепи $P_{\text{пол}} = 6,94 \text{ Вт}$?

- 677 Источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 30 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 6 \text{ Ом}$ замкнули на два резистора, соединённые параллельно. При этом на резисторе R_1 выделяется количество теплоты в 3 раза больше, а на резисторе R_2 — в 6 раз больше, чем на внутреннем сопротивлении источника. Определите силы токов, идущих во всех участках цепи.

- 678 Рассчитайте массу меди, необходимой для изготовления двухпроводной линии электропередачи длиной $l = 5 \text{ км}$. Напряжение на шинах станции $U_0 = 2400 \text{ В}$; мощность, передаваемая потребителю, $P_{\text{пол}} = 60 \text{ кВт}$; допустимая потеря напряжения в линии $U = 0,08 U_0$.

- 679 Три одинаковых источника тока, соединённые параллельно, замыкают на внешний резистор сопротивлением $R = 3 \text{ Ом}$. При этом на нём выделяется такая же мощность, как и в случае подключения к этому резистору девяти таких же источников, соединённых последовательно. Определите внутреннее сопротивление одного источника.
- 680 Источник с ЭДС, равной 6 В, и внутренним сопротивлением 1 Ом поочерёдно подключают к резисторам, сопротивления которых 11 и 29 Ом. Определите КПД источника в этих случаях. Как нужно подключить эти резисторы — последовательно или параллельно — для получения: 1) максимальной полезной мощности; 2) максимального КПД?
- 681 На внешней нагрузке, подключённой к аккумуляторной батарее, выделяется мощность 1 Вт. Чему равен КПД источника в этом случае, если при подключении той же нагрузки к двум таким же батареям, соединённым последовательно, мощность, выделяемая на нагрузке, равна 1,44 Вт?

Электрический ток в различных средах

Электронная проводимость металлов

- 682 По проводнику идёт ток 0,5 А. Сколько электронов **Н** проходит через поперечное сечение проводника за 1 с?
- 683 Считая электронный газ в металле идеальным, считайте среднюю квадратичную скорость теплового движения электронов при температуре 27°C .
- 684 Используя закон Ома для однородного участка цепи и выражение для силы тока $I = q_0 n v S$, где q_0 — заряд электрона; n — концентрация свободных электронов; v — скорость их направленного движения; S — площадь поперечного сечения проводника, выведите зависимость скорости упорядоченного движения электронов от напряжённости электрического поля в проводнике, удельное сопротивление которого равно ρ .
- 685 По медному проводнику диаметром 3,2 мм идёт ток. **561** Сила тока 5 А. Определите: 1) скорость направленного движения электронов; 2) среднюю квадратичную скорость теплового движения, считая электронный газ идеальным газом. Температура проводника 20°C . Концентрация свободных электронов $1,08 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$.

- 686** Через железный проводник с площадью поперечного сечения 4 мм^2 и длиной 1 м в течение $0,5 \text{ ч}$ пропускается электрический ток. Сила тока поддерживается постоянной и равной 1 А . Оцените увеличение сопротивления проводника за это время. Следует ли учитывать изменение силы тока вследствие нагрева?
- 687** Сопротивление вольфрамовой нити выключенной лампочки при комнатной температуре 25°C равно 60 Ом , а при нормальном накале — 612 Ом . Определите температуру нити горящей лампочки. Изменением размеров нити можно пренебречь.
- 688** При подключении платиновой проволоки к источнику напряжения 220 В сила тока была равна $0,2 \text{ А}$. Через некоторое время сила тока стала равна $0,19 \text{ А}$. На сколько градусов изменилась температура в среде, где находится платиновая проволока ($\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$)?
- 689** При нагревании сопротивление графитового стержня уменьшается ($\alpha = -5 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$). Последовательно к нему подключают нихромовый резистор. Определите сопротивления стержня и резистора, если их полное сопротивление не изменяется при повышении температуры и равно $5,4 \text{ Ом}$.
- 690** При нагревании тела расширяются. Выясните, что главным образом определяет изменение сопротивления при нагревании железного проводника диаметром 2 мм и длиной 40 см от 0 до 100°C — изменение размера или зависимость удельного сопротивления от температуры.

Электрический ток в полупроводниках

- 691** Концентрация свободных электронов в металле порядка 10^{29} м^{-3} , а в полупроводнике при 20°C порядка 10^{17} м^{-3} . Во сколько раз сопротивление полупроводника меньше сопротивления металла? Геометрические размеры проволок, изготовленных из этих материалов, одинаковы.
- 692** В четырёхвалентный германий вводится примесь: 1) пятивалентного мышьяка; 2) трёхвалентного индия. Каким будет основной тип проводимости в первом и во втором случаях?
- 693** Собственную проводимость полупроводников обеспечивают свободные электроны и дырки, причём их концентрации равны. При создании электрического поля в полупроводнике возникает ток. Какой ток больше — электронный или дырочный?

- 694** Концентрация свободных электронов в кремнии при температуре 20°C равна $3 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$. Какую часть от общего числа электронов составляют электроны проводимости? Плотность кремния $2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
- 695** Сопротивление проволоки, изготовленной из германия, равно 3 кОм . Когда её опустили в горячую воду, сила тока через неё при напряжении 10 В стала равна 5 мА . Определите изменение сопротивления проволоки при нагревании.
- 696** Определите сопротивление полупроводникового диода в двух случаях: 1) при прямом напряжении $0,5 \text{ В}$ сила тока через диод 5 мА ; 2) при обратном напряжении -10 В сила тока через диод $0,1 \text{ мкА}$.
- 697** Рассчитайте сопротивление цепи (рис. 156) в двух случаях: 1) $\varphi_A > \varphi_B$; 2) $\varphi_B > \varphi_A$. Считайте полупроводниковый диод идеальным, т. е. если ток идёт в прямом направлении, сопротивление равно нулю, если в обратном направлении, сопротивление бесконечно большое. Сопротивление резисторов R_1 равно 4 Ом , а сопротивление резисторов R_2 равно 6 Ом .

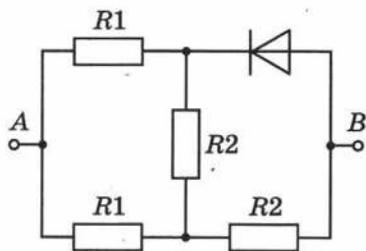


Рис. 156

Электронно-лучевая трубка

- 698** В телевизионном кинескопе ускоряющее анодное напряжение 16 кВ , расстояние между катодом и анодом 30 см . За какое время электроны проходят это расстояние? Начальную скорость электрона считайте равной нулю.
- 699** К горизонтально отклоняющим пластинам конденсатора в электронно-лучевой трубке приложено напряжение $3,2 \text{ В}$. Электроны влетают в пространство между пластинами параллельно им со скоростью $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Определите смещение электронного пучка. Расстояние между пластинами 2 см , их длина 4 см .
- 700** К горизонтально отклоняющим пластинам кинескопа приложено напряжение $U_1 = k_1 t$, а к вертикально отклоняющим пластинам — напряжение $U_2 = k_2 t$. Что мы увидим на экране?
- 701** К горизонтально отклоняющим пластинам кинескопа приложено напряжение $U_1 = U_0 \sin \omega t$, а к вертикально отклоняющим — напряжение $U_2 = U_0 \cos \omega t$. Какую картину мы увидим на экране?

Закон электролиза

- 702** При электролизе раствора сернокислого цинка в течение 1 ч выделилось 2,45 г цинка. Внешнее напряжение 8,7 В. Электрохимический эквивалент цинка $3,9 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. Определите сопротивление раствора.
- 703** Сколько времени потребуется для покрытия пластинки слоем меди толщиной 0,01 мм при электролизе раствора CuSO_4 ? Плотность тока в электролите 0,5 А/дм².
- 704** При электролизе раствора хлористого цинка было затрачено 3,6 МДж электроэнергии. Определите массу выделившегося цинка, если на зажимах ванны поддерживалось напряжение 4 В. Электрохимический эквивалент цинка $3,9 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.
- 705** При пропускании тока через раствор медного купороса за время $t = 15$ мин выделилась медь массой $m = 1,485 \cdot 10^{-3}$ кг. Электрохимический эквивалент меди $k = 3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. Определите потреблённую при этом мощность, если сопротивление раствора $R = 0,8$ Ом.
- 706** Сколько электроэнергии нужно затратить, чтобы из воды получить 2,5 л водорода при давлении 1 атм и температуре 25 °С? Электролиз проводится при напряжении 5 В, КПД установки 75 %. Электрохимический эквивалент водорода $8,29 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл.
- 707** Определите массу меди, выделившейся при электролизе, если израсходовано 5 кВт·ч электроэнергии. Напряжение на клеммах ванны 10 В. КПД установки 75 %.
- 708** Никелирование металлической пластинки с площадью поверхности 50 см² продолжалось 4 ч при силе тока 0,15 А. Определите толщину слоя никеля. Электрохимический эквивалент никеля $3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.
- 709** При серебрении пластинки через раствор азотнокислого серебра идёт ток. Плотность тока 0,3 А/м². С какой средней скоростью увеличивается толщина серебряного покрытия? Электрохимический эквивалент серебра $k = 1,12 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

Электрический ток в газах

- 710 Н Поток электронов создаёт силу тока I , при этом средняя скорость электронов v . Определите концентрацию электронов в потоке, если площадь поперечного сечения потока S .
- 711 Н На электроны и ионы в поле газового разряда действуют одинаковые силы. Почему считается, что основными носителями тока в разряде являются электроны?
- 712 Н Определите скорость электрона в конце свободного пробега длиной 5 мкм при напряжённости электрического поля 100 В/м. Сравните эту скорость со скоростью теплового движения, считая электронный газ идеальным газом. Температура газа 10^3 К.
- 584 713 Определите силу тока насыщения при несамостоятельном разряде, если ионизатор ежесекундно образует 10^9 пар одновалентных ионов в 1 см^3 . Площадь электродов 100 см^2 , расстояние между ними 5 см.
- 585 714 Вольт-амперная характеристика газового разряда имеет вид, показанный на рисунке 157. Определите соотношение между сопротивлениями газа при значениях напряжений, соответствующих точкам А, В, С, D. Чем объясняется изменение сопротивления?
- 586 715 Сколько пар одновалентных ионов в секунду возникает под действием ионизатора в объёме газоразрядной трубки длиной 40 см и площадью поперечного сечения 5 см^2 ? Сила тока насыщения $2 \cdot 10^{-7} \text{ мА}$.
- Н 716 Определите энергию ионизации молекул воздуха, если известно, что при нормальных условиях искровой разряд происходит при напряжённости $3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$. Средняя длина пробега электронов в воздухе 1 мкм.
- Н 717 При какой напряжённости электрического поля начнётся самостоятельный разряд в газе, если энергия ионизации молекул газа $2,4 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$, а средняя длина пробега электронов 5 мкм?

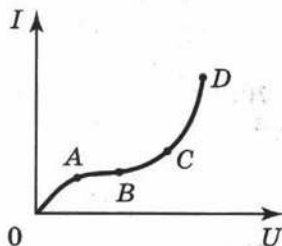


Рис. 157

11 класс

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
(продолжение)

Магнитное поле

Взаимодействие токов.
Вектор магнитной индукции.
Закон Ампера718
587

Два проводника с током расположены под углом друг к другу (рис. 158). Сила тока, идущего по проводнику 1, равна I_1 . Определите силу тока, идущего по проводнику 2, и его направление, если известно, что индукция магнитного поля равна нулю в любой точке биссектрисы: 1) угла α ; 2) угла β .

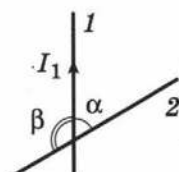


Рис. 158

719
588

Какое положение займёт магнитная стрелка, если к ней приблизить проводник с током (рис. 159) в случаях 1) проводник параллелен стрелке; 2) проводник перпендикулярен стрелке?

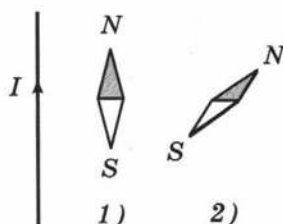


Рис. 159

720
589

Параллельные токи взаимодействуют, как показано на рисунке 160. Укажите возможные направления токов.

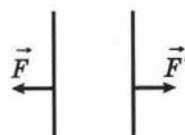


Рис. 160

721
590

На проводник с током, помещённый в поле постоянного магнита, действует сила F_A , направленная так, как показано на рисунке 161. Укажите расположение полюсов магнита.

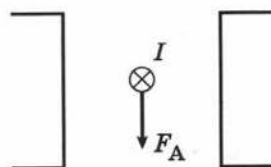


Рис. 161

722
591

Проводник с током удерживается в магнитном поле в состоянии покоя силой 2 Н. Длина проводника 1 м. Сила тока 0,1 А. Индукция магнитного поля 40 Тл. Определите, под каким углом к линиям магнитной индукции расположен проводник.

- 723 Проводник массой 10 г и длиной 10 см висит в горизонтальном положении на двух проводящих нитях в однородном магнитном поле с индукцией, равной 10 Тл. Линии магнитной индукции горизонтальны и перпендикулярны проводнику. При какой силе тока через проводник сила натяжения нитей увеличится в 1,5 раза?

- 724 Н Индукция магнитного поля прямого тока изменяется по закону $B = \frac{10^{-5}}{r}$ (величина r измеряется в метрах).

Рамка со стороной 10 см находится в магнитном поле прямого тока, при этом и рамка, и прямой проводник принадлежат одной плоскости. Определите равнодействующую сил, действующих на рамку, при силе тока, идущего по ней, 1 А. Ближайшая к проводнику сторона находится от него на расстоянии 20 см.

- 725 Квадратная рамка с током расположена в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл, как показано на рисунке 162. Определите механический вращательный момент, действующий на рамку. Сила тока, идущего по рамке, 10 мА, сторона рамки 20 см.

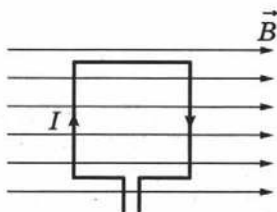


Рис. 162

- 726 Под каким углом к линиям магнитной индукции надо расположить рамку (см. задачу 725 (594)), чтобы вращательный момент, действующий на неё, уменьшился в 2 раза?

- 727 Стержень массой 0,2 кг лежит на двух горизонтальных рельсах перпендикулярно им (рис. 163). Силы давления стержня на оба рельса равны. Расстояние между рельсами 40 см. Индукция магнитного поля 40 мТл. Линии магнитной индукции направлены вертикально. Коэффициент трения скольжения о рельсы 0,01. Определите минимальную силу тока, который нужно пропустить по стержню, чтобы стержень начал двигаться. Примите $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

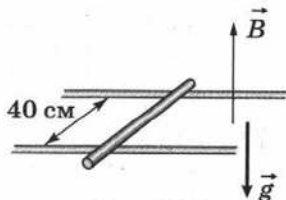


Рис. 163

- 728 Определите силу, действующую на часть прямолинейного проводника длиной 20 см в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл при разных углах

между направлениями тока и вектором магнитной индукции: 1) 90° ; 2) 60° ; 3) 30° ; 4) 0° . Сила тока равна 10 А.

729 В амперметре магнитоэлектрической системы момент силы упругости, удерживающий рамку в равновесии в магнитном поле с индукцией 10 мТл, равен 10^{-6} Н·м. При этом рамка отклоняется от горизонтального положения на угол 60° . Определите измеряемую силу тока. Длина стороны рамки 5 мм.

730 Стержень массой 200 г лежит на двух параллельных рельсах перпендикулярно им (рис. 164). Рельсы, расстояние между которыми 60 см, находятся на наклонной плоскости с углом у основания 30° . Линии магнитной индукции поля с индукцией 80 мТл направлены вертикально вверх. Коэффициент трения скольжения равен 0,7. Определите силу тока, идущего по стержню, в двух случаях: 1) стержень начинает подниматься вверх; 2) стержень начинает спускаться с наклонной плоскости.

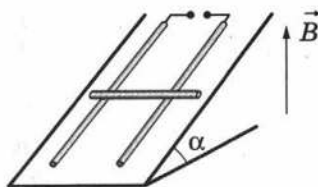


Рис. 164

Сила Лоренца

731 Частица массой 10^{-8} г, имеющая заряд 10^{-7} Кл, движется в плоскости, перпендикулярной направлению линий индукции однородного магнитного поля с индукцией 1 Тл. Определите период обращения частицы.

732 Определите отношение заряда частицы к её массе $\frac{q}{m}$, если она движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл перпендикулярно направлению линий магнитной индукции поля по окружности радиусом 20 см. Скорость частицы 100 м/с.

733 Электрон влетает под углом 30° в область однородного магнитного поля шириной 3 мм (рис. 165), а вылетает под углом 60° . Скорость электрона 10^6 м/с. Определите индукцию магнитного поля.

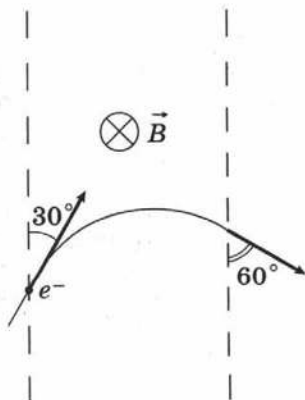


Рис. 165

- 734** Две частицы с равными зарядами влетают в однородное магнитное поле под углом α к его границе. Определите, во сколько раз будут различаться максимальные расстояния, на которые частицы могут отлететь от границы, если отношение их масс равно $1:4$. Скорости частиц равны.

- 735** Расстояние между катодом и анодом равно L . Электроны вылетают из катода под разными углами (рис. 166). Максимальная скорость электронов v_0 . Между катодом и анодом создано однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$. При каком минимальном значении магнитной индукции электроны не будут достигать анода?

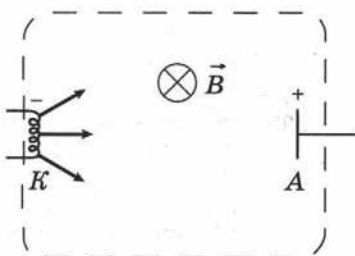


Рис. 166

- 736** Электрон влетает в однородное магнитное поле под углом 60° к линиям магнитной индукции. Скорость электрона 2000 м/с, индукция магнитного поля $0,1$ Тл. Определите радиус и шаг спирали, по которой будет двигаться электрон.

- 737** На каком максимальном расстоянии от границы однородного магнитного поля окажутся ионы калия с атомной массой 39, если ионы с атомной массой 41 оказываются на расстоянии 1 м? Заряды ионов одинаковы, и они ускоряются, прежде чем попасть в магнитное поле, одним и тем же электрическим полем. Скорости ионов перпендикулярны вектору магнитной индукции.

- 738** Электрон ускоряется электрическим полем, пройдя разность потенциалов 10^3 В, а затем влетает в магнитное поле перпендикулярно его границе. На расстоянии 5 см от точки A находится мишень M (рис. 167). Угол между скоростью электрона в точке A и отрезком AM равен 60° . Чему равна индукция магнитного поля, если известно, что электрон попадает в мишень?

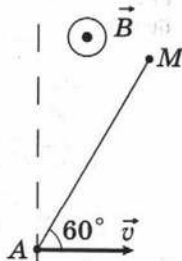


Рис. 167

Электромагнитная индукция

Магнитный поток. Правило Ленца. ЭДС индукции

- 739 Определите магнитный по-
608 ток через плоскую поверх-
ность, ограниченную кон-
туром радиусом 10 см. Вектор магнитной индукции и нормаль к плоскости составляют угол 30° (рис. 168). Магнитное поле однородно, индукция поля 10^2 Тл. Будет ли отличаться магнитный поток, если в качестве поверхности выбрать полусферу, опирающуюся на тот же контур?

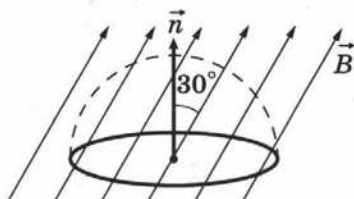


Рис. 168

- 740 Квадратная рамка с длиной стороны 20 см находит-
609 ся в однородном магнитном поле, причём линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости рамки (рис. 169). Определите изменение магнитного потока при повороте рамки на угол 30° : 1) вокруг одной из сторон; 2) вокруг диагонали. Индукция магнитного поля равна 100 мТл.

- 741 Проволочный виток перемещают в неоднородном
610 магнитном поле (рис. 170) в одном случае вправо, а в другом влево. Определите направление тока, возникающего в витке, и направление силы, действующей на виток.

- 742 Проволочное кольцо находится в однородном маг-
611 нитном поле, индукция которого изменяется по закону $B = kt$, где $k = 2 \cdot 10^{-4}$ Тл/с. Определите силу тока, возникающего в витке. Радиус витка 10 см, сопротивление 2 Ом. Плоскость витка перпендикулярна линиям магнитной индукции.

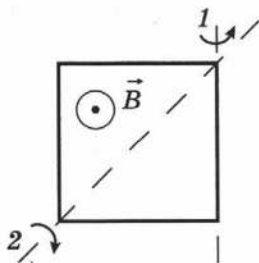


Рис. 169

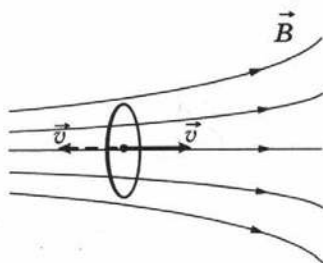


Рис. 170

- 743 Радиус проволочного витка, соединяющего пластины плоского конденсатора ёмкостью 10 мкФ, равен 20 см. Чему равен заряд на пластинах конденсатора, если виток помещён в однородное магнитное поле (рис. 171), индукция которого изменяется по закону $B = B_0 + kt$, где $k = 0,005$ Тл/с и вектор $\vec{B}$ направлен под углом 30° к плоскости витка.

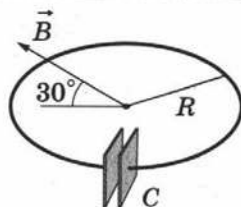


Рис. 171

- 744 Проводник AC, сопротивление которого мало, скользит со скоростью v по согнутому проводнику, сопротивление единицы длины которого r . Проводники находятся в однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 172). Угол сгиба проводника 2α . Определите силу тока в проводнике.

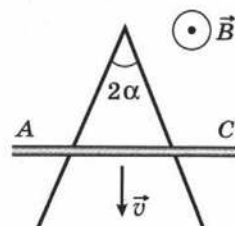


Рис. 172

- 745 Контур из проволоки, согнутой в виде прямоугольника со сторонами a и b , движется с постоянной скоростью v в магнитном поле, индукция которого изменяется по закону $B = B_0 + kx$, где k — постоянная величина (рис. 173). Сопротивление контура R . Определите силу тока в контуре.
- 746 Мальчик вращает на верёвке длиной 20 см в вертикальной плоскости металлический прут длиной 10 см с частотой 2 об/с. Определите максимальную разность потенциалов, которая может возникнуть между концами прута. Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли 0,2 мТл.
- 747 По параллельным рельсам, лежащим на наклонной плоскости, соскальзывает без трения металлический стержень AC (рис. 174) массой 100 г. Рельсы на-

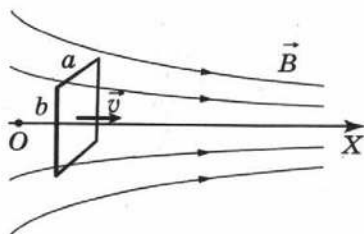


Рис. 173

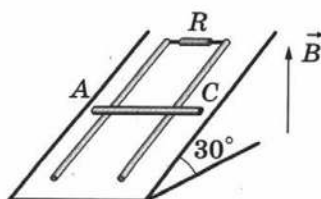


Рис. 174

верху замкнуты резистором сопротивлением 20 Ом. Вся система находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены вертикально. Угол у основания наклонной плоскости 30° . Чему равна сила тока, идущего по цепи, если известно, что стержень скользит с постоянной скоростью 1 м/с? Сопротивлением стержня и рельсов можно пренебречь.

- 748** Проволочный квадратный контур со стороной 5 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл (рис. 175). Сопротивление контура 5 Ом. Контур поворачивают вокруг оси OO' в одном случае на угол 90° , а в другом на угол 180° . Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проволоки. В начальный момент времени линии магнитной индукции параллельны плоскости контура.

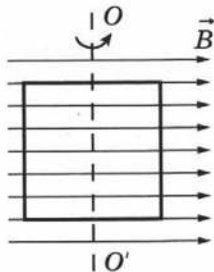


Рис. 175

- 749** Круговой проволочный контур длиной l находится в однородном магнитном поле, индукция которого равна B . Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости контура. Проводник свернули в виде восьмёрки (рис. 176). Удельное сопротивление проволоки ρ , площадь поперечного сечения S . Определите заряд, прошедший по проводнику.

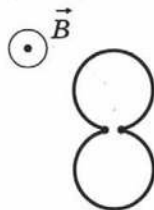


Рис. 176

- 750** Какой заряд пройдёт по проводнику, если верхнюю часть восьмёрки (см. задачу 749 (618)) повернуть на 180° вокруг вертикальной оси симметрии?

Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля

- 751** Определите магнитный поток, сцепленный с контуром, индуктивность которого равна 0,001 Гн, при силе тока, идущего по контуру, 0,1 А.
- 752** Чему равна индуктивность контура, если при изменении силы тока в нём на 10 мА за 20 с возникает ЭДС самоиндукции 10^{-4} В?
- 753** Короткозамкнутая катушка сопротивлением 20 Ом и индуктивностью 0,01 Гн находится в переменном магнитном поле. Когда создаваемый этим полем маг-

нитный поток увеличивается на 10^{-3} Вб, сила тока в катушке возрастает на 0,05 А. Какой заряд за это время проходит по катушке?

- 754 За какое время энергия магнитного поля катушки изменилась на 8 Дж, если возникающая ЭДС самоиндукции равна 4 В, а средняя сила тока равна 2 А? В начальный момент времени сила тока была равна нулю.

- 755 При внесении ферромагнитного стержня в катушку её индуктивность увеличивается в 1000 раз. Определите, во сколько раз надо изменить силу тока в катушке, чтобы не изменились: 1) поток, сцепленный с ней; 2) энергия магнитного поля катушки.

- 756 В цепь источника тока с ЭДС, равной 8 В, параллельно подключены катушка индуктивностью $5 \cdot 10^{-2}$ Гн и электролампа (рис. 177). Сопротивление электролампы много больше сопротивления катушки, равного 2 Ом. Какое количество теплоты выделится в электролампе при отключении источника?

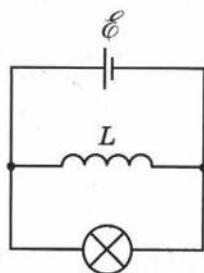


Рис. 177

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Механические колебания

**Свободные колебания.
Гармонические колебания.
Превращения энергии**

- 757 Грузик на пружине колеблется по закону $x = 4 \sin \pi(t + 0,25)$, где x — смещение грузика, измеряемое в сантиметрах, а t — время, измеряемое в секундах. Определите амплитуду, период и начальную фазу колебаний.
- 758 Шарик массой 10 г подвешен к пружине жёсткостью 10 Н/м. Определите частоту и период колебаний шарика.
- 759 Амплитуда колебаний материальной точки 2 см, а максимальное значение ускорения 8 см/с^2 . Определите частоту и период колебаний.

- 760** Определите длину нити математического маятника, период колебаний которого равен 1 с. Ускорение свободного падения считайте равным $9,8 \text{ м/с}^2$.
- 761** Как надо изменить длину нити математического маятника, чтобы частота его колебаний уменьшилась в 2 раза?
- 762** Определите длину математического маятника, который за 10 с совершает на 4 полных колебания меньше, чем математический маятник длиной 0,6 м.
- 763** Маленький шарик колеблется на нити длиной 1 м. Когда шарик проходит положение равновесия, нить цепляется за гвоздь, находящийся на расстоянии 75 см по вертикали от точки подвеса. Определите период колебаний шарика.
- 764** Через какой наименьший промежуток времени от начала движения из положения равновесия тело, подвешенное на нити, смещается на половину амплитуды? Данную систему нить — тело считайте математическим маятником, период колебаний которого 12 с. За какое время тело проходит оставшуюся часть пути до максимального смещения?
- 765** Шарiku массой 100 г, висящему на пружине жёсткостью $1,6 \text{ Н/м}$, сообщили скорость $0,04 \text{ м/с}$, направленную вертикально вниз, и одновременно включили секундомер. Запишите закон изменения координаты x шарика от времени. Ось Ox направлена вертикально вверх.
- 766** Грузик, надетый на гладкую горизонтальную спицу, соединён с двумя невесомыми пружинами (рис. 178). Свободные концы пружин прикреплены к неподвижным стенкам. В положении равновесия пружины не деформированы. Определите период колебаний грузика, если известно, что при его поочерёдном подвешивании к каждой из пружин по отдельности они удлиняются соответственно на 4 и 6 см.
- 767** Тело массой 1 кг колеблется на пружине с амплитудой $0,02 \text{ м}$. Максимальное ускорение тела равно $0,3 \text{ м/с}^2$. Определите полную механическую энергию колебаний.
- 768** Энергия колеблющегося на пружине груза равна $2 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$. Жёсткость пружины 10^2 Н/м . Определите амплитуду колебаний груза.

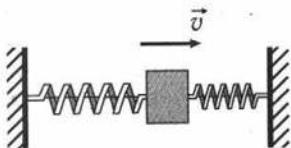


Рис. 178

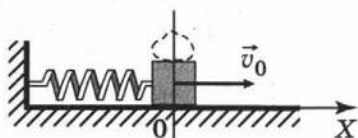


Рис. 179

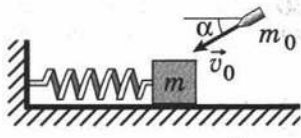


Рис. 180

- 769** Брусок массой 1 кг, прикрепленный пружиной к стене, совершает гармонические колебания по гладкой горизонтальной поверхности (рис. 179). В момент прохождения бруском положения равновесия на него падает вертикально кусок пластилина массой 0,2 кг и прилипает к нему. Как изменятся частота и амплитуда колебаний бруска?
- 770** На гладкой горизонтальной поверхности находится брусок массой m , соединённый с пружиной жёсткостью k . Свободный конец пружины прикреплен к стене. В брусок попадает пуля, летящая со скоростью v_0 под углом α к горизонту, и застревает в нём (рис. 180). Масса пули, равная m_0 , много меньше массы бруска. Определите энергию колебаний системы и запишите уравнение колебаний бруска вдоль горизонтальной оси OX , считая за нуль его начальное положение.
- 771** Цилиндр высотой 30 см плавает, погрузившись в воду на $\frac{2}{3}$. Его слегка толкнули вниз. Определите период колебаний цилиндра.
- 772** По дну сферической чаши радиусом R колеблется без трения маленький кубик. Чаша поставлена в лифт. С каким ускорением движется лифт, если период колебаний кубика: 1) увеличивается в 2 раза; 2) уменьшается в 2 раза?
- 773** Небольшой шарик массой 20 г, подвешенный на нерастяжимой непроводящей нити, совершает колебания в однородном электрическом поле напряжённостью 20 В/м, силовые линии которого вертикальны. После того как ему сообщили некоторый заряд q , период колебаний изменился в 1,2 раза. Определите заряд q .
- 774** Ускорение свободного падения на поверхности Марса $3,7 \text{ м/с}^2$. Сравните периоды колебаний математического и пружинного маятников на Марсе и Земле.

- 775 Н** Два одинаковых шарика, несущие одинаковые одноимённые заряды, соединены пружиной, жёсткость которой $k = 20 \text{ Н/м}$, а длина $l_0 = 4 \text{ см}$. Шарiki колеблются так, что расстояние между ними меняется от 3 до 6 см. Определите заряд шариков.

Затухающие и вынужденные колебания. Резонанс

- 776 Н** Брусok массой 1 кг, привязанный к закреплённой с одного конца пружине жёсткостью 100 Н/м, находится на горизонтальной поверхности. Пружину растягивают на 4 см, и брусok движется к положению равновесия. Определите максимальное сжатие пружины, если коэффициент трения между бруском и поверхностью 0,1, а до остановки он сделал $\frac{3}{4}$ полного колебания.
- 777 Н** Брусok массой 200 г находится на горизонтальной поверхности, коэффициент трения между ними равен μ . Брусok привязан к пружине жёсткостью 20 Н/м, другой конец пружины закреплён и неподвижен. Брусok отклоняют от положения равновесия и отпускают. За какое время брусok совершит половину полного колебания? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.
- 778 Н** Какую энергию должен терять за 10 колебаний ребёнок, качающийся на качелях с постоянной амплитудой, если за одно колебание сила сопротивления воздуха совершает работу 18 Дж?
- 779 Н** Чему равна работа силы сопротивления, действующей на математический маятник при одном полном колебании, если известно, что для поддержания колебаний на подвешенный шарик за один период каждый раз в момент максимального отклонения должен действовать импульс силы, равный 1 Н·с? Масса шарика 500 г.
- 780 Н** С какой скоростью движется поезд в тот момент, когда математический маятник начинает активно раскачиваться? Расстояние между стыками рельсов равно 30 м. Длина нити математического маятника 40 см.
- 781 Н** Определите угловую скорость вращения диска при резонансе в колебательной системе (рис. 3.10 учебника). Жёсткость пружин 100 Н/м, масса шарика 200 г.

- 782 Н** Два пружинных маятника подвешены на одном стержне (рис. 181). Жёсткости невесомых пружин равны 200 и 400 Н/м. Масса шарика, прикрепленного к первой пружине, равна 800 г. Потянув за первый шарик, пружину растягивают, затем его отпускают, и маятник колеблется. Чему равна масса второго шарика, если он через некоторое время тоже начинает колебаться без внешнего воздействия?

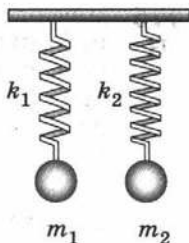


Рис. 181

Электромагнитные колебания

Свободные и вынужденные электромагнитные колебания

- 783 Н** Если провести аналогию между электромагнитными колебаниями и колебаниями математического маятника, то каким механическим величинам будут соответствовать энергия магнитного поля соленоида и энергия поля конденсатора?
- 784 644** В каких пределах должна изменяться индуктивность катушки колебательного контура, чтобы в контуре могли происходить колебания с частотой от 400 до 500 Гц? Электроёмкость конденсатора равна 10 мкФ.
- 785 645** Определите электроёмкость конденсатора, который надо включить в колебательный контур, чтобы частота колебаний была равна 400 Гц. Индуктивность катушки 0,76 Гн.
- 786 646** В колебательный контур включён плоский конденсатор. Как надо изменить расстояние между пластинами, чтобы частота колебаний в контуре увеличилась в 2 раза?
- 787 647** Колебательный контур состоит из воздушного конденсатора с площадью пластин 100 см^2 и катушки индуктивностью 10^{-5} Гн . Период колебаний в контуре 10^{-7} с . Определите расстояние между пластинами конденсатора.
- 788 648** Колебательный контур состоит из катушки и двух конденсаторов, которые можно подключать по отдельности и параллельно. При подключении поочерёдно одного из конденсаторов периоды колебаний в

колебательном контуре равны 3 и 4 с. Определите период колебаний при параллельном подключении обоих конденсаторов.

- 789** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,01 Гн и конденсатора ёмкостью 4 мкФ. Амплитудное значение заряда на пластинах конденсатора $4 \cdot 10^{-6}$ Кл. Определите максимальное значение силы тока.

- 790** Заряд на пластинах конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $q = 10^{-6} \sin(100\pi t + \frac{\pi}{2})$ (Кл).

Время измеряется в секундах. Запишите закон, по которому изменяется сила тока в контуре, и определите период колебаний.

- 791** В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью 2 Гн и конденсатора ёмкостью 1,5 мкФ, максимальное значение заряда на пластинах $2 \cdot 10^{-6}$ Кл. Определите значение силы тока в контуре в тот момент, когда заряд на пластинах конденсатора станет равным 10^{-6} Кл. В начальный момент времени конденсатор не заряжен.

- 792** В колебательном контуре, состоящем из конденсатора ёмкостью 10 мкФ и катушки индуктивностью 0,4 Гн, происходят затухающие колебания. В некоторый момент времени сила тока в контуре 10^{-3} А, а заряд на пластинах конденсатора 10^{-6} Кл. Определите количество теплоты, выделившееся в проводниках начиная с этого момента до полного прекращения колебаний.

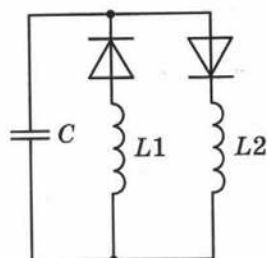


Рис. 182

- 793** Определите период колебаний в контуре (рис. 182). В цепь включены два идеальных полупроводниковых диода. $C = 0,25$ мкФ, $L_1 = 2,5$ мГн, $L_2 = 4,9$ мГн.

- 794** Чему равна ёмкость конденсатора в колебательном контуре, если индуктивность катушки 0,1 Гн, а резонансная частота 50 Гц?

- 795** В колебательный контур с конденсатором ёмкостью 10 мкФ и катушкой индуктивностью 0,1 Гн последовательно включили источник переменной ЭДС. При какой частоте ЭДС амплитуда тока в контуре будет максимальной?

**Переменный электрический ток.
Конденсатор и катушка индуктивности в цепи.
Резонанс. Автоколебания**

- 796** Рамка равномерно вращается
654 в однородном магнитном поле так, что магнитный поток через поверхность, ограниченную рамкой, изменяется по закону $\Phi = 0,1\cos(50\pi t)$ (Вб). Определите максимальное значение ЭДС, возникающей в рамке.

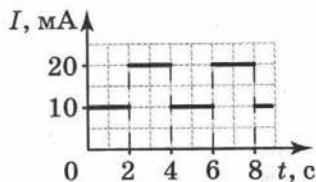


Рис. 183

- 797** На рисунке 183 показан график зависимости силы
655 переменного тока от времени. Определите действующее значение силы тока.
- 798** Расстояние между обкладками конденсатора, под-
Н ключённого к источнику постоянного напряжения U_0 , изменяется по закону $d = d_0 + D\cos\omega t$, $d_0 \gg D$. Площадь обкладок S . Определите силу тока, идущего по цепи. Активным сопротивлением проводников можно пренебречь.
- 799** Действующее напряжение в сети переменного тока с
656 периодом T равно 100 В. Какую часть полупериода горит включённая в эту сеть неоновая лампочка, если она загорается при напряжении 70 В?
- 800** На участке цепи сила тока меняется по закону
657 $I = 4\cos\pi t$, а напряжение — по закону $U = 25\cos\pi t$. Определите мощность P переменного тока на этом участке.
- 801** К генератору переменного тока подключили печь со-
658 противлением 440 Ом. Определите количество теплоты, выделившейся в печи за 2 мин работы, если амплитуда напряжения 220 В.
- 802** К источнику переменного напряжения с амплитудой
659 220 В и частотой 50 Гц подключили конденсатор ёмкостью 10 мкФ. Запишите закон изменения заряда конденсатора и силы тока, идущего по цепи, от времени.
- 803** Как изменится ёмкостное сопротивление, если вме-
660 сто конденсатора ёмкостью 10 мкФ в цепь переменного тока включить конденсатор ёмкостью 20 мкФ? Частота равна 100 Гц.
- 804** Конденсатор ёмкостью $4 \cdot 10^{-4}$ Ф включён в цепь пере-
661 менного тока с частотой 50 Гц. Чему равно действу-

ющее значение силы тока на участке цепи с конденсатором, если сопротивление подводящих проводов 6 Ом, а действующее значение напряжения на всём участке 14 В?

- 805** Сначала в цепь переменного тока с частотой 100 Гц
662 подключают конденсатор ёмкостью 10 мкФ. Затем вместо конденсатора подключают катушку индуктивности. Чему равна индуктивность катушки, если индуктивное и ёмкостное сопротивления цепи равны?

- 806** В цепи, изображённой на рисунке 184,
663 индуктивность катушки равна 2,53 мГн, а ёмкость конденсатора равна 10 мкФ, частота источника переменного тока равна 10^3 Гц. Определите силу тока, идущего через резистор.

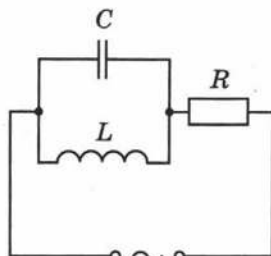


Рис. 184

- 807** Вычислите индуктивность катушки,
664 если при подключении её в сеть постоянного тока при напряжении 100 В сила тока в цепи 5 А, а при подключении её в сеть переменного тока с частотой 50 Гц и амплитудным значением напряжения 100 В в цепи идёт ток, амплитуда колебаний которого 4 А.

- 808** Определите амплитуду установившихся колебаний
665 силы тока при резонансе в колебательном контуре, если активное сопротивление равно 5 Ом, а амплитудное значение внешнего напряжения равно 100 В.

- 809** В электрической цепи ток и напряжение изменяются
Н по законам $I = 50\cos 100\pi t$ (А) и $U = 30\cos(100\pi t + \frac{\pi}{3})$ (В). Найдите мощность, выделяемую в цепи.

- 810** Чему равен сдвиг фаз между током и напряжением
Н в электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора сопротивлением 50 Ом, конденсатора ёмкостью 100 мкФ и катушки индуктивностью 0,05 Гн? Амплитудное значение напряжения 200 В, частота 50 Гц. Определите также мощность, выделяемую в цепи.

- 811** В цепь переменного тока последовательно включены
Н резистор сопротивлением 25 Ом, катушка индуктивностью 0,3 Гн и конденсатор ёмкостью 12 мкФ. Эта цепь подключена к источнику переменного тока напряжением 100 В (действующее напряжение) и частотой 50 Гц. Определите действующее значение

силы тока в цепи, сдвиг фаз между током и напряжением, а также эффективное напряжение на каждом элементе цепи.

- 812** Определите мощность, выделяемую в цепи (см. задачу 811).
Н

Производство, передача и использование электрической энергии

Трансформаторы

- 813** При включении первичной обмотки трансформатора в сеть переменного тока на вторичной обмотке возникает напряжение 1,2 В. При включении вторичной обмотки в эту же сеть на первичной обмотке возникает напряжение 120 В. Определите отношение числа витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.
668
- 814** Во вторичной обмотке трансформатора, состоящей из 1000 витков, возникает ЭДС 400 В. Сколько витков имеет первичная обмотка, если трансформатор подключён к источнику переменного тока с ЭДС 120 В?
669
- 815** Трансформатор повышает напряжение от 220 В до 22 кВ. Первичная обмотка трансформатора содержит 800 витков. Определите число витков во вторичной обмотке и коэффициент трансформации.
Н
- 816** Трансформатор повышает напряжение от значения 220 В до значения 660 В. Первичная обмотка трансформатора состоит из 840 витков. Сколько витков содержит вторичная обмотка и чему равен коэффициент трансформации этого трансформатора?
671
- 817** Сила тока и напряжение в первичной обмотке трансформатора равны 10 А и 110 В. Напряжение во вторичной обмотке равно 2200 В. Определите силу тока во вторичной обмотке.
672
- 818** Первичная обмотка понижающего трансформатора включена в сеть переменного тока с напряжением 220 В. Напряжение на зажимах вторичной обмотки 20 В, её сопротивление 1 Ом, сила тока в ней 2 А. Определите коэффициент трансформации и КПД трансформатора. Потерями в первичной обмотке можно пренебречь.
673
- 819** Амплитудное значение ЭДС индукции, возникающей в первичной обмотке трансформатора, равно 1000 В. В обмотке 100 витков. Определите максимальное значение магнитного потока в сердечнике трансформатора при частоте переменного тока 50 Гц.
674

- 820** Для определения числа витков в первичной обмотке трансформатора на его сердечник намотали 10 витков провода и концы подключили к вольтметру. При подаче на первичную обмотку переменного напряжения 220 В вольтметр показал напряжение 1,1 В. Чему равно число витков в первичной обмотке трансформатора?
- 821** Оцените потери энергии за сутки в линии электропередачи, если длина линии 50 км, передаваемое напряжение 40 кВ при передаче мощности 40 кВт. Сопротивление единицы длины провода 10^{-3} Ом/м, сдвиг фаз между током и напряжением $\cos\varphi = 0,8$.
- 822** Во сколько раз надо повысить напряжение при передаче энергии, чтобы снизить потери энергии в проводах в 100 раз?
- 823** Первичная обмотка трансформатора имеет 1200 витков. Сопротивление вторичной обмотки 0,2 Ом, а напряжение на её зажимах 20 В. Напряжение в сети 120 В, передаваемая мощность 110 Вт. Определите число витков во вторичной обмотке трансформатора.

Механические волны

Длина волны. Скорость волны. Уравнение бегущей волны

- 824** Длина волны 5 м, а её частота 3 Гц. Определите скорость волны.
- 825** По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. На поверхности воды плавает листок дерева. Определите частоту и период колебаний листка, если длина волны 3 м.
- 826** Рыбак заметил, что гребни волн проходят мимо носа неподвижной лодки каждые 5 с. Расстояние между гребнями приблизительно равно 1,5 м. Определите скорость волны.
- 827** Поперечная волна распространяется со скоростью 1000 м/с. Длина волны 10 м. Определите частоту колебаний, возбуждаемых этой волной. Изменится ли ответ, если распространяется продольная волна, имеющая те же параметры?
- 828** Камень брошен со скалы. Всплеск от его падения в воду был услышан через 5,3 с. Определите высоту скалы. Скорость звука в воздухе 330 м/с.

- 829** С берега высотой 5 м горизонтально бросают камень со скоростью 10 м/с. Скорость бегущей волны, образующейся на поверхности воды, равна 6 м/с. Через какой промежуток времени с момента броска камня волна дойдёт до берега?
- 830** По длинному шнуру начинает бежать волна со скоростью 200 м/с. Амплитуда колебаний точек шнура 5 см, частота колебаний 5 Гц. Запишите уравнение бегущей волны, взяв за начало отсчёта координат конец шнура ($x = 0$), а за начало отсчёта времени — момент начала колебаний этого конца.
- 831** Уравнение волны имеет вид $s = 0,2 \sin \left[20\pi \left(t - \frac{x}{300} \right) \right]$.
 Определите амплитуду и период колебаний точек среды, длину волны и запишите уравнение колебаний в точке, находящейся на расстоянии 15 м от источника.
- 832** Волна распространяется вдоль прямой со скоростью 50 м/с. Определите разность фаз колебаний в точках, находящихся на этой прямой и отстоящих на расстоянии 50 см друг от друга. Период колебаний 0,05 с.
- 833** Волна возбуждается источником, уравнение колебаний которого $s = 0,1 \sin 5\pi t$. Скорость распространения волны 100 м/с. Запишите уравнение волны и найдите смещение от положения равновесия, скорость и ускорение точки, находящейся на расстоянии 180 м от источника колебаний в момент времени, равный 2 с.
- 834** Человек определяет длину озера, слушая эхо своего голоса, отражённого от скалы на противоположном берегу. Он слышит эхо через 1 с после крика. Чему равна длина озера? Скорость звука 330 м/с.
- 835** По бетонной плите ударил упавший на неё камень. Человек, наблюдавший этот удар, услышал два звука: один пришёл по воздуху, другой — по бетону. Промежуток времени между ними составил 1,2 с. Скорость звука в воздухе 343 м/с, в бетоне 5000 м/с. На каком расстоянии от человека упал камень?
- 836** Моряк ударяет по борту корабля ниже уровня воды. Волна, отражённая от дна моря (эхо), приходит через 2,1 с. Определите глубину моря в этом месте, считая, что скорость звука в морской воде равна 1560 м/с.
- 837** Определите расстояние от наблюдателя до места, где вспыхнула молния, если промежуток времени между вспышкой и громом был равен 5 с. Скорость звука в воздухе 330 м/с, скорость света $3 \cdot 10^8$ м/с.

- 838** Звуковая волна переходит из воздуха в стекло. Скорость распространения звуковой волны в стекле 4500 м/с. Во сколько раз изменяется длина волны?
- 839** Частота звуковых волн может быть от 17 до 20 000 Гц. Определите диапазон длин звуковых волн, считая, что скорость звука в воздухе равна 343 м/с.
- 840** Наибольшая частота волн, воспринимаемых ухом как звук, равна 20 000 Гц. При повышении температуры от 0 до 20 °С скорость звука возрастает на 12 м/с. Определите, на сколько увеличивается при этом наименьшая длина звуковых волн.

Интерференция, дифракция и поляризация механических волн

- 841** Два громкоговорителя расположены на расстоянии 8 м друг от друга. Человек встаёт, как ему кажется, на середине этого расстояния. Тем не менее он не слышит звук с частотой 115 Гц. Скорость распространения звука 330 м/с. На каком расстоянии от середины находится человек?
- 842** Струна длиной 60 см закреплена с двух концов. Н Определите наибольшую длину волны, которая может быть возбуждена в этой струне. Напишите формулу, позволяющую определить все длины стоячих волн в этой струне.
- 843** Два источника находятся на расстояниях 2,1 и 4,5 м от наблюдателя. Источники излучают волны частотой 125 Гц с равными амплитудами. Услышит ли наблюдатель звук? Скорость звука примите равной 300 м/с.
- 844** Два источника звуковых волн частотой 170 Гц с одинаковой мощностью излучения находятся друг от друга на расстоянии 50 м. На каком расстоянии от одного из источников находится наблюдатель, если он практически не слышит звука, хотя ему кажется, что он стоит посередине? Как будет меняться громкость звука для наблюдателя, если он пойдёт в сторону одного из источников? Скорость звука в воздухе 340 м/с.
- 845** Длина закрытой с одного конца трубки равна 0,75 см. Н Определите собственные частоты колебаний воздуха в трубке в звуковом диапазоне длин волн. Скорость звука примите равной 300 м/с.

- 846 Н Труба длиной 6 см закрыта с двух сторон, с одной стороны подвижным поршнем, с другой тонким диском с прикреплённым к нему стержнем длиной 60 см, закреплённым в середине. В трубе возбуждается стоячая волна, соответствующая самой низкой собственной частоте. Чему равна скорость звука в стержне, если скорость звука в воздухе равна 342 м/с?
- 847 Н Чему равна длина струны, если при её укорачивании на 10 см частота колебаний увеличивается в 1,5 раза?
- 848 Н Два источника волн одинаковой частоты находятся на расстоянии d и возбуждают колебания в одном направлении. При этом разность начальных фаз колебаний источников равна π . Определите геометрическое место точек на оси OX , в которых колебания не будут наблюдаться. Ось OY проходит через источники, начало координат находится в середине отрезка d .
- 849 Н Скорость распространения волн в струне определяется по формуле $v = \sqrt{\frac{F_n}{\rho}}$, где F_n — сила натяжения струны; ρ — масса 1 м струны. Наименьшая частота колебаний струны рояля массой 9 г и длиной 1,1 м равна 65 Гц. Определите силу натяжения струны в этом случае.
- 850 Н Определите частоты звуковых волн, которые хорошо будут слышны за препятствием размером 40 см.

Электромагнитные волны

Электромагнитная волна.

Плотность потока электромагнитного излучения.

Свойства электромагнитных волн

- 851 693 Электромагнитная волна распространяется с севера на юг. В некоторый момент времени вектор индукции магнитного поля направлен вертикально вверх. Куда в этот момент направлен вектор напряжённости электрического поля?
- 852 694 Как изменится направление распространения электромагнитной волны, если изменить на противоположное: 1) направление вектора $\vec{B}$; 2) направление вектора $\vec{E}$; 3) одновременно направления векторов $\vec{B}$ и $\vec{E}$?

- 853** Может ли электромагнитная волна распространяться
695 в вакууме?
- 854** Определите, на каком расстоянии от источника плот-
696 ность потока излучения уменьшится в 100 раз по сравнению с плотностью потока излучения на расстоянии 100 м от источника.
- 855** Плотность потока солнечного излучения, падающего
697 на границу земной атмосферы, равна 1350 Вт/м^2 . Чему равна плотность электромагнитной энергии солнечного излучения?
- 856** Определите длины волн электромагнитного излуче-
698 ния с частотами 60 и 1240 Гц в вакууме.
- 857** Какой диапазон частот соответствует коротким вол-
699 нам, если длина волны изменяется в диапазоне от 10 до 100 м?
- 858** Почему все телевизионные антенны на домах в од-
700 ном посёлке ориентированы одинаково?
- 859** Ёмкость конденсатора колебательного контура может
701 изменяться от C_0 до $9C_0$. Определите диапазон длин волн, принимаемых этим контуром, если при ёмкости C_0 контур настроен на длину волны 3 м.
- 860** Колебательный контур состоит из катушки индук-
702 тивностью 4 мкГн и конденсатора, ёмкость которого можно изменять от 0,02 до 0,006 мкФ. На какой диапазон длин волн можно настроить этот колеба-
тельный контур?
- 861** Какие длины волн используются в радиолокацион-
703 ных установках, если частоты колебаний изменяются в диапазоне от 10^8 до 10^{11} Гц?
- 862** На какое расстояние распространится коротковолно-
Н вый сигнал, идущий под углом 60° к поверхности Земли, после трёх отражений от слоя ионосферы, находящегося на расстоянии 200 км от поверхности Земли?
- 863** Определите время запаздывания сигнала, передавае-
Н мого при использовании геостационарного спутника. Сравните это время со временем передачи сигнала от телевизионной башни зрителю, находящемуся на расстоянии 60 км от неё.
- 864** Корабельный радиолокатор расположен на высоте
Н 10 м. На каком максимальном расстоянии радиолокатор может обнаружить находящийся на поверхности моря объект?

ОПТИКА

Световые волны

Скорость света. Законы отражения и преломления света

- 865** На предмет AB высотой h
705 (рис. 185), стоящий на плоском зеркале, падает параллельный пучок лучей. Определите размер геометрической тени этого предмета на экране.

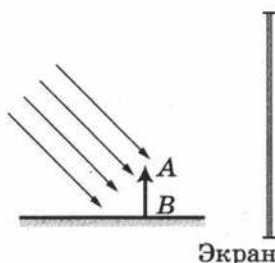


Рис. 185

- 866** В ставне, закрывающем окно, сделано круглое отверстие диаметром 1 см. Определите ширину комнаты, если на противоположной стене образуется светлое пятно диаметром 4,7 см. Угловой диаметр Солнца приблизительно равен $0,5^\circ$.

- 867** Человек ростом 1,6 м отходит от фонаря, подвешенного на высоте 10 м. Определите размер тени человека, падающей на горизонтальную дорогу, в тот момент, когда он отойдет от фонаря на расстояние 5 м. Будет ли постоянной скорость тени головы человека, если скорость человека постоянна?

- 868** К зеркалу, расположенному под углом 135° к полу (рис. 186), подходит человек ростом 1,6 м со скоростью 2 м/с. С какой скоростью движется его изображение в зеркале и на каком расстоянии от зеркала человек начинает видеть своё изображение?



Рис. 186

- 869** Плоское зеркало движется к предмету со скоростью 1 м/с. С какой скоростью движется изображение предмета?

- 870** С Земли мы наблюдаем солнечное затмение. Определите приблизительно диаметр Солнца, если известно, что диаметр Луны $d_{\text{л}} = 3,48 \cdot 10^6$ м. Расстояние от Земли до Луны $r = 3,8 \cdot 10^8$ м, а расстояние от Земли до Солнца $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м.

- 871** Луч света падает на вращающееся с угловой скоростью ω плоское зеркало перпендикулярно оси вращения. С какой скоростью движется отражённый луч?

872 Н Параллельный пучок лучей падает на полусферу, находящуюся на плоском зеркале, под углом α к зеркалу. Определите размер тени на вертикальном экране. Поверхность полусферы свет не отражает. Радиус полусферы R .

873 713 Два взаимно перпендикулярных луча падают на поверхность воды. Показатель преломления воды 1,33. Угол падения одного из лучей 30° . Определите угол между лучами в воде.

874 714 Луч падает на границу раздела двух сред под углом 30° . Показатель преломления первой среды $n_1 = 2,4$. Определите показатель преломления n_2 второй среды, если преломлённый и отражённый лучи перпендикулярны друг другу.

875 715 Луч падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной 2 см под углом 30° (рис. 187). На какое расстояние сместится луч: 1) пройдя через пластинку; 2) испытав двойное отражение от её граней?

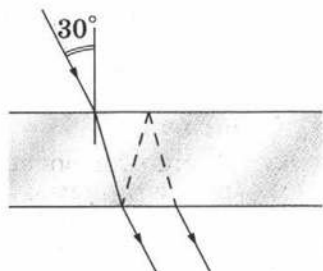


Рис. 187

876 716 Пучок параллельных лучей шириной 30 см падает из однородной прозрачной среды на плоскую границу с воздухом под углом 30° (рис. 188). Определите показатель преломления среды, если ширина пучка в воздухе стала равна 25 см.

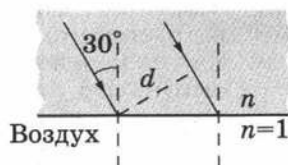


Рис. 188

877 717 Луч AB (рис. 189) падает на границу раздела двух сред под углом 45° и преломляется под углом 60° . Как будет преломляться луч DE , если между ним и границей раздела угол 30° ?

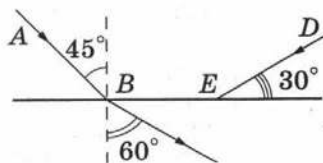


Рис. 189

878 718 Свая длиной 2 м выступает над поверхностью воды на 1 м. Определите длину тени от сваи на дне озера. Угол падения лучей света составляет 30° .

879 719 Человек заходит в воду, погрузившись на половину своего роста. Рост человека 1,8 м, показатель преломления воды 1,33. Какого роста кажется человек

наблюдателю, если луч, отражённый от ног человека в воде и преломлённый, попадает в глаз наблюдателя под углом 60° к поверхности воды?

- 880 Н** На дне сосуда высотой 30 см лежит монетка. В сосуд наливают воду слоем толщиной 20 см, а затем масло слоем толщиной 10 см. Показатели преломления воды и масла равны соответственно 1,33 и 1,52. Какой глубины кажется сосуд человеку, смотрящему по вертикали вниз на монетку?

- 881 721** Самолёт пролетает над озером на высоте 1 км. Какой покажется эта высота водолазу, погрузившемуся на дно озера? Считайте, что водолаз смотрит на самолёт, когда тот пролетает почти над его головой.

- 882 722** Рассеянный пучок лучей падает на верхнюю грань стеклянного куба (рис. 190). Показатель преломления стекла 1,5. Будут ли лучи выходить через боковые грани куба?

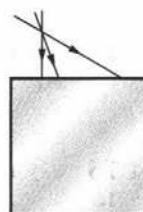


Рис. 190

- 883 723** Можно ли воспользоваться алмазным кубиком в качестве призмы для преломления света, чтобы свет входил через одну грань и выходил через смежную? Показатель преломления алмаза 2,42.

- 884 Н** Равнобедренная стеклянная призма с малым углом α при основании помещена в параллельный пучок лучей, падающих нормально на основание призмы. Длина основания 5 см. За призмой находится экран на расстоянии 1 м от основания, на котором наблюдается неосвещённый участок шириной 6,4 см. Определите угол α .

- 885 725** Под водой солнечные лучи образуют с нормалью угол 50° . Под каким углом к горизонту находится Солнце? Показатель преломления воды 1,3.

- 886 726** Под каким углом должен направить луч фонаря ныряльщик, находящийся далеко от берега, чтобы человек, стоящий на берегу, его увидел? Показатель преломления воды 1,3.

- 887 727** Плоскопараллельная пластинка составлена из двух треугольных призм с разными показателями преломления, причём $n_2 < n_1$. Свет падает на боковую грань перпендикулярно ребру AB (рис. 191). При каком угле α свет не пройдёт через границу раздела BD ?

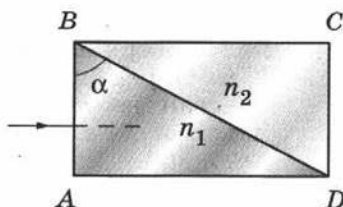


Рис. 191

888 Тело в форме конуса с углом 60° между его осью и образующей погрузили целиком в прозрачную жидкость вершиной вниз. При этом боковую поверхность конуса нельзя видеть ни из какой точки пространства над поверхностью жидкости. Чему равен показатель преломления жидкости?

889 На дне широкого сосуда высотой 15 см, полностью наполненного водой, установлен точечный источник света. Определите наименьший радиус непрозрачной круглой пластины, которую нужно поместить на поверхности воды, чтобы свет из воды не выходил. Показатель преломления воды 1,3.

890 На дне наполненного водой цилиндрического сосуда с радиусом основания 10 см и высотой 0,6 м находится точечный источник света. Стенки сосуда непрозрачны. Радиус светлого пятна на горизонтальном экране, находящемся сверху сосуда на расстоянии 1 м от его дна, равен 0,18 м. Показатель преломления воды 1,33. Определите уровень воды в сосуде.

891 Призма составлена из двух призм с малым углом $\alpha = 0,01$ рад у вершины (бипризма Френеля). На основание этой призмы перпендикулярно падает параллельный пучок лучей. Показатель преломления призмы 1,4. Определите ширину области, в которой пучки, преломлённые в верхней и нижней призмах, будут перекрываться на экране, находящемся на расстоянии 1,5 м от призмы.

892 Определите угол отклонения луча стеклянной призмой при нормальном падении луча на её боковую грань. Преломляющий угол призмы равен 3° . Показатель преломления стекла 1,5.

893 Луч света падает нормально на переднюю грань прямоугольной призмы с углом 30° у вершины (рис. 192). Определите показатель преломления материала призмы, если угол отклонения луча также равен 30° .

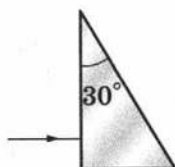


Рис. 192

894 Каким должен быть угол у основания равнобедренной стеклянной призмы, чтобы луч, пройдя через основание и отразившись от боковых поверхностей, остался параллелен самому себе?

Линза

- 895 Определите построением положения линзы и её фокусов на рисунке 193, если S — точечный источник света, S' — его изображение, OO' — оптическая ось линзы.

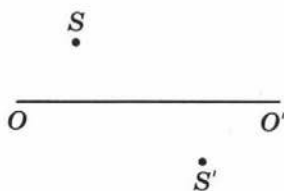


Рис. 193

- 896 Определите положение линзы, если AB — изображение, CD — предмет, OO' — оптическая ось линзы (рис. 194).

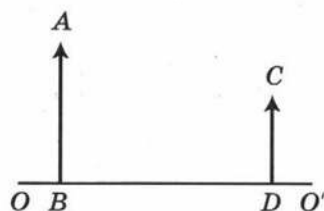


Рис. 194

- 897 Луч AB , преломляясь в линзе, идёт вдоль прямой BC (рис. 195). Как преломляется луч DE ?

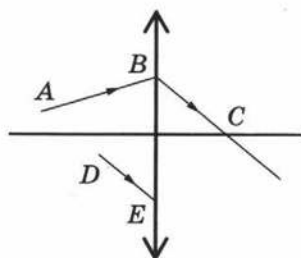


Рис. 195

- 899 Постройте изображение предмета AB в рассеивающей линзе (рис. 197).

- 900 Предмет находится на расстоянии $4F$ от собирающей линзы. Определите отношение размеров изображения и предмета.

- 901 Расстояние между двумя источниками света 24 см. На каком расстоянии от источников следует поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием 9 см, чтобы изображения обоих источников оказались в одной точке?

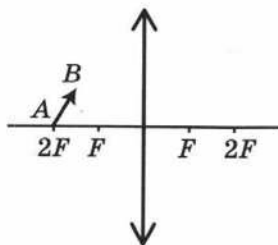


Рис. 196

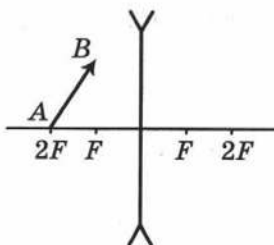


Рис. 197

902 Собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 6$ см даёт изображение, размер которого в 2 раза больше размера предмета. На каком расстоянии от этой линзы надо поставить другую линзу с таким же фокусным расстоянием F , чтобы размеры предмета и изображения, полученного с помощью двух линз, были одинаковыми?

903 Точечный источник света находится на расстоянии 40 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 30 см. На каком расстоянии от линзы нужно установить экран, чтобы светлое пятно на нём было диаметром 2 см? Диаметр линзы 4 см. (На экран падает только свет, прошедший через линзу.)

904 Определите минимальное расстояние между источником света и его действительным изображением, полученным с помощью тонкой собирающей линзы с фокусом F .

905 На поверхность тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см падает луч света на расстоянии 5 см от оптического центра под углом 5° к её главной оптической оси (рис. 198). Под каким углом к главной оптической оси выходит луч из линзы?

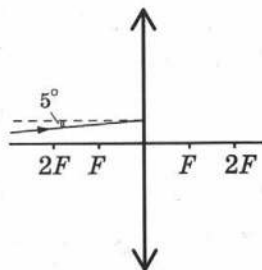


Рис. 198

906 На каком расстоянии от рассеивающей линзы находится точечный источник света, если при продолжении рассеянных ею лучей они пересекутся на расстоянии 5 см от оптического центра линзы? Фокусное расстояние линзы 10 см.

907 Вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 5 см ползёт жук со скоростью 1 м/мин. С какой скоростью надо начать перемещать экран в момент времени, когда расстояние от жука до линзы равно $3F$, чтобы на нём всё время было чёткое изображение жука?

908 На главной оптической оси тонкой собирающей линзы диаметром D находится точечный источник света. Из линзы выходит пучок расходящихся лучей с углом расхождения α . Определите угол расхождения лучей β в случае рассеивающей линзы. Расстояние от источника света до оптического центра линзы равно d . Фокусные расстояния линз одинаковы.

- 909** Предмет в виде стержня расположен вдоль главной
749 оптической оси тонкой собирающей линзы так, что его концы удалены от линзы на расстояния $d_2 = \frac{3}{2}F$ и $d_1 = \frac{5}{4}F$. Во сколько раз длина $\Delta l'$ изображения больше длины Δl самого предмета?
- 910** С помощью собирающей линзы на экране получено
750 изображение предмета с увеличением 3. Расстояние между линзой и экраном 80 см. Чему равно фокусное расстояние линзы?
- 911** Собирающая линза даёт на экране, перпендикулярном её главной оптической оси, чёткое изображение предмета с увеличением 4. Линзу сдвигают перпендикулярно оптической оси на 1 мм. На сколько при этом сместится изображение?
- 912** Между собирающей линзой с фокусным расстоянием F и точечным источником света устанавливают плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d с относительным показателем преломления стекла n . Источник находится на двойном фокусном расстоянии от линзы. На какое расстояние сместится изображение, если убрать пластинку?
- 913** В фокусе рассеивающей линзы с фокусным расстоянием F находится точечный источник света. На каком расстоянии от этой линзы надо поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием $2F$, чтобы на выходе такой системы лучи были параллельны?
- 914** Пучок параллельных лучей проходит через две тонкие собирающие линзы, оставаясь параллельным.
754 Расстояние между линзами 15 см. Определите фокусное расстояние первой линзы, если у второй линзы оно равно 9 см.
- 915** Собирающая линза с фокусным расстоянием $F_1 = 10$ см
755 и рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F_2 = 20$ см имеют общую главную оптическую ось. Расстояние между линзами $l = 30$ см. Точечный источник света установлен на расстоянии $d = 10$ см от рассеивающей линзы. Определите расстояние от изображения источника света, созданного обеими линзами, до собирающей линзы.

Интерференция света

- 916** В некоторую точку пространства от двух когерентных источников попадает излучение с разностью хода лучей $\Delta d = 1,8$ мкм. Определите отношение интенсивности света в этой точке к максимальной интенсивности, если длина волны: 1) $\lambda_1 = 600$ нм; 2) $\lambda_2 = 400$ нм. Интенсивности излучения источников считайте одинаковыми.
- 917** Две щели находятся на расстоянии 0,2 мм друг от друга и отстоят на расстоянии 1,5 м от экрана. На щели падает поток монохроматического света ($\lambda = 500$ нм) от удалённого источника. Определите расстояние между соседними интерференционными полосами.
- 918** Точка мыльного пузыря, ближайшая к наблюдателю, кажется ему зелёной ($\lambda = 540$ нм). Определите минимальную толщину мыльной плёнки. Показатель преломления мыльной плёнки 1,35.
- 919** Объектив фотоаппарата покрыт слоем прозрачного диэлектрика толщиной 525 нм. Обеспечивает ли это покрытие просветление объектива для зелёного света с длиной волны 546 нм? Показатель преломления диэлектрика 1,31.
- 920** Определите минимальную толщину воздушного зазора между двумя прозрачными стеклянными пластинками, чтобы стекло при нормальном падении на него света с длиной волны 600 нм в отражённом свете казалось тёмным.
- 921** В опыте Юнга расстояние между щелями 0,4 мм, расстояние до экрана 4 м. Для какой длины световой волны расстояние между максимумами яркости света на экране равно 5 мм?
- 922** При отражении волн на границе с оптически более плотной средой происходит потеря половины длины волны. Исходя из этого, скажите, что наблюдается в центре интерференционной картины, называемой кольцами Ньютона.
- 923** На экране наблюдается интерференционная картина в красном свете ($\lambda_{\text{кр}} = 760$ нм). Разность хода лучей до некоторой точки экрана равна $5\lambda_{\text{кр}}$. Что мы будем наблюдать — максимум или минимум — в этой точке экрана в фиолетовом свете ($\lambda_{\text{ф}} = 400$ нм)?

- 924 Чему должна быть равна минимальная толщина тон-
767 кой плёнки, покрывающей стеклянную поверхность, чтобы при нормальном падении белого света она гасила красный цвет ($\lambda = 8 \cdot 10^{-7}$ м)? Показатель преломления плёнки 1,2, стекла — 1,5.
- 925 Чему равна минимальная толщина оптического по-
768 крытия веществом MgF_2 ($n = 1,38$), предназначенным для гашения света в окрестности длины волны 550 нм при нормальном падении белого света на стекло с показателем преломления 1,5?

Дифракция света. Дифракционная решётка

- 926 Можно ли утверждать, что при облучении световым
769 потоком линзы отсутствует явление дифракции?
- 927 Почему дифракцию механических волн мы наблюда-
770 ем чаще, чем дифракцию света?
- 928 Чему равна постоянная дифракционной решётки,
771 если при освещении её монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм лучи, отклоняющиеся на угол $\alpha = 15^\circ$, образуют максимум четвёртого порядка?
- 929 Спектр получен с помощью дифракционной решётки
772 с периодом 30 мкм. Линия в спектре второго порядка находится на расстоянии 5 см от центрального максимума и на расстоянии 150 см от линзы. Определите длину световой волны.
- 930 На дифракционную решётку, имеющую 100 штри-
773 хов на 1 мм, по нормали к ней падает белый свет. Определите длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 2 м. Видимым считайте свет в диапазоне длин волн 400—760 нм.
- 931 Вычислите максимальный порядок спектра дифрак-
774 ционной решётки с периодом $2 \cdot 10^{-6}$ м при облучении её светом с длиной волны $5,89 \cdot 10^{-7}$ м.
- 932 Один миллиметр дифракционной решётки содержит
775 $N = 20$ штрихов. Под каким углом идут лучи красного света, дающие на экране максимум второго порядка ($k = 2$)? Считайте, что длина волны красного света $\lambda = 600$ нм.

Элементы теории относительности

Постулаты теории относительности.

Основные следствия.

Связь между массой и энергией

- 933** Длина неподвижного стержня 1 м. Чему будет равна
776 длина стержня для наблюдателя, относительно которого стержень движется со скоростью $0,6c$? Вектор скорости параллелен стержню.
- 934** Космический корабль пролетает мимо Земли со скоростью $0,8c$. Один из членов экипажа поворачивает
777 метровый стержень из горизонтального положения вдоль скорости движения в вертикальное. Как изменится длина стержня с точки зрения: 1) другого члена экипажа; 2) наблюдателя, находящегося на Земле?
- 935** В неподвижном состоянии тело имеет строго сферическую форму. С какой скоростью движется это тело,
778 если относительно неподвижного наблюдателя его диаметр вдоль направления движения составляет $0,98$ вертикального диаметра?
- 936** При какой скорости релятивистское сокращение
779 длины движущегося тела составляет 20% ?
- 937** Пассажир сидит в микроавтобусе, стоящем на обочине дороги. Мимо него проносится спортивный автомобиль со скоростью $0,18c$. (Предположим, что это автомобиль будущего.) Гонщик утверждает, что длина его автомобиля 6 м, а длина микроавтобуса $6,15$ м. Чему равна длина спортивного автомобиля и микроавтобуса с точки зрения пассажира?
- 938** Космическая частица движется со скоростью $0,95c$.
782 Определите время движения частицы относительно неподвижного наблюдателя, если собственное время жизни частицы равно 1 мкс.
- 939** Собственное время жизни μ -мезона $2,6 \cdot 10^{-8}$ с. С какой скоростью должна лететь эта частица, чтобы до
783 распада пролететь 20 м?
- 940** Ракета движется относительно Земли со скоростью $0,6c$. Во сколько раз замедляется ход времени
784 в ракете с точки зрения земного наблюдателя?
- 941** Какой должна быть точность часов на борту реактивного самолёта, летящего со скоростью 10^3 км/ч, для того чтобы обнаружить эффект замедления времени при облёте вокруг земного шара? Радиус Земли 6400 км.

- 942 Ракета летит со скоростью $0,6c$ относительно Земли.
786 Её обгоняет вторая ракета, летящая со скоростью $0,6c$ относительно первой. Определите скорость второй ракеты относительно Земли.
- 943 Радиоактивное ядро, вылетев из ускорителя со скоростью $0,4c$, испускает β -частицу (электрон), летящую со скоростью $0,8c$ относительно ускорителя. Определите скорость β -частицы относительно ядра. Считайте, что излучение β -частицы не повлияло на скорость ядра.
- 944 Частица движется со скоростью $0,6c$. Во сколько раз
788 энергия частицы больше её собственной энергии?
- 945 Человек массой 60 кг находится в космическом корабле, движущемся со скоростью $0,6c$ относительно Земли. Определите его релятивистский импульс.
- 946 При движении тела его размер вдоль направления
790 движения сократился в $1,5$ раза. Во сколько раз изменилась при движении энергия тела?
- 947 Определите релятивистский импульс частицы, летящей со скоростью $0,8c$, если её масса равна 10^{-25} кг.
791
- 948 Частица летит со скоростью $0,5c$. Определите ошибку, которую мы сделаем, вычислив импульс частицы по законам классической механики.
792
- 949 На сколько изменяется импульс частицы, если на неё
793 действует сила 1 Н в течение 1 с? Одинаково ли при этом изменяется скорость частицы, если в одном случае её начальная скорость 10 м/с, а в другом 10^6 м/с?
- 950 Определите собственную энергию электрона. Масса
794 электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
- 951 Ракета А запущена со скоростью $0,7c$ относительно
Н ракеты В, движущейся со скоростью $0,8c$ относительно Земли. Определите скорость ракеты А относительно Земли.
- 952 При движении тела его энергия изменилась в $1,25$ раза.
795 Определите скорость движения тела.
- 953 Импульс частицы, летящей со скоростью $0,8c$, равен
796 $1,2 \cdot 10^{-15}$ кг·м/с. Определите массу частицы.
- 954 Масса Солнца $1,99 \cdot 10^{30}$ кг. За год Солнце излучает
797 энергию $1,26 \cdot 10^{34}$ Дж. За какое время масса Солнца уменьшится в 2 раза?
- 955 Определите изменение массы вещества, находящегося
Н в сосуде, после превращения 2 л воды в пар при температуре 100°C .

- 956 Определите скорость движения частицы, если её
799 полная энергия в 1,1 раза больше её собственной
энергии.
- 957 Начальный импульс частицы равен нулю. На части-
800 цу массой m начинает действовать сила F . Выразите
зависимость скорости частицы от времени и покажи-
те, что при сколь угодно большом значении времени
действия силы скорость частицы не превысит ско-
рость света.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Световые кванты

Фотоэффект. Фотоны. Корпускулярно-волновой дуализм

- 958 Будет ли наблюдаться фотоэффект, если работа вы-
801 хода электрона из металла $3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж, а длина
волны падающего на металл излучения $5 \cdot 10^{-7}$ м?
- 959 Определите задерживающее напряжение для электро-
802 нов, испускаемых с поверхности цезия под действием
излучения с длиной волны $2200 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).
Работа выхода электрона из цезия $1,89 \text{ эВ}$.
- 960 Красная граница фотоэффекта для бария $\lambda_{\text{max}} =$
803 $= 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Определите задерживающее напря-
жение при облучении бариевого катода светом с дли-
ной волны $4,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Постоянная Планка $h =$
 $= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.
- 961 Работа выхода электрона из натрия $2,27 \text{ эВ}$. Вычис-
804 лите красную границу фотоэффекта для натрия.
- 962 Ультрафиолетовый свет ($\lambda_1 = 0,3 \text{ мкм}$), попадая на
805 катод фотоэлемента, выбивает поток фотоэлектронов,
движущихся со скоростью $v_1 = 10^6 \text{ м/с}$. Определите
длину волны λ_2 света, который выбьет фотоэлектро-
ны с кинетической энергией $E_e = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.
- 963 Красная граница фотоэффекта для некоторого метал-
806 ла равна 700 нм . Отношение скоростей вылетающих
электронов при освещении светом с длинами волн λ_1
и λ_2 равно $\frac{3}{4}$. Определите λ_2 , если $\lambda_1 = 600 \text{ нм}$.

- 864 Максимальная скорость фотоэлектронов при освещении металла монохроматическим светом с длиной волны 400 нм равна $8,2 \cdot 10^5$ м/с, а при освещении того же металла монохроматическим светом с длиной волны 600 нм она равна $5,5 \cdot 10^5$ м/с. Вычислите значение постоянной Планка.
- 808 965 Металлический шарик облучают светом с длиной волны 2000 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10}$ м). Шарик заряжается до максимального потенциала 3 В. Определите работу выхода электрона из металла.
- 809 966 С какой максимальной скоростью вылетают электроны с поверхности цезия при освещении её жёлтым светом с длиной волны 590 нм? Работа выхода электрона из цезия $3,02 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- 810 967 Максимальная скорость электронов, вырванных с поверхности меди при фотоэффекте, $9,3 \cdot 10^6$ м/с. Определите длину волны излучения, вызывающего фотоэффект.
- 811 968 При падении света с длиной волны 200 нм на металл задерживающее напряжение равно 1,64 В. Что это за металл?
- 812 969 При какой длине электромагнитной волны энергия фотона была бы равна $E_{\phi} = 1,326 \cdot 10^{-19}$ Дж?
- 813 970 Определите энергию фотона для света с длиной волны 700 нм.
- 814 971 Рубиновый лазер излучает импульс из 10^{20} фотонов с длиной волны 693 нм. Длительность импульса $5 \cdot 10^{-4}$ с. Вычислите среднюю мощность излучения лазера.
- 815 972 Определите абсолютный показатель преломления среды, в которой свет с энергией фотонов $6,63 \cdot 10^{-19}$ Дж имеет длину волны $1,5 \cdot 10^{-5}$ см. Постоянная Планка $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.
- 816 973 Используя связь массы и энергии, определите отношение масс фотонов, соответствующих излучениям с длинами волн 800 нм (инфракрасное излучение) и 200 нм (ультрафиолетовое излучение).
- 817 974 Определите длину волны излучения, кванты которого имеют такую же энергию, что и электрон, прошедший разность потенциалов 82 В.
- 818 975 Интенсивность солнечного света, достигающего Земли, равна 1300 Вт/м^2 . Сколько фотонов падает на 1 см^2 за 1 с? Средняя длина волны считается равной 550 нм.

- 976** Кристалл рубина облучается вспышкой света длительностью 10^{-3} с и мощностью 200 кВт. Длина световой волны 0,7 мкм. Кристалл поглощает 10 % энергии излучения. Определите число квантов света, поглощённых кристаллом.
- 977** Определите максимальный заряд, который может быть накоплен на конденсаторе ёмкостью $2 \cdot 10^{-4}$ Ф, одна из обкладок которого облучается светом с длиной волны $5 \cdot 10^{-7}$ м. Работа выхода электрона равна $3 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- 978** Металл освещается светом с длиной волны 0,25 мкм. Определите максимальный импульс, передаваемый металлу при вылете каждого электрона. Красная граница фотоэффекта 0,28 мкм. Импульсом фотона можно пренебречь.
- 979** Определите длину волны де Бройля для электрона, ускоренного разностью потенциалов 1000 В.
- 980** Сравните длину волны де Бройля для частицы с импульсом 10^{-23} кг·м/с с минимальной длиной волны в спектре видимого света.

Атомная физика

Строение атома. Модель атома водорода

- 981** Электрон в атоме водорода перешёл из основного стационарного состояния с энергией $-13,6$ эВ в возбуждённое состояние с энергией $-3,4$ эВ. Определите энергию фотона, излучённого атомом при возвращении в основное состояние.
- 982** Определите частоту излучения при переходе электрона из третьего стационарного состояния ($E_3 = -1,5$ эВ) во второе ($E_2 = -3,6$ эВ).
- 983** Определите скорость движения электрона в атоме водорода, находящегося на второй орбите, радиус которой равен $2,11 \cdot 10^{-10}$ м.
- 984** Можно ли возбудить атом водорода, если его облучать фотонами с энергией 10 эВ (см. задачу 981)?
- 985** Увидим ли мы излучение атома водорода при переходе электрона из третьего стационарного состояния во второе?
- 986** Объясните, почему в спектре водорода много линий, хотя в атоме только один электрон.

- 987 Определяет ли период обращения электрона в атоме частоту излучения атома?
- 988 Чему должна быть равна минимальная частота фотона, при которой возможна ионизация атома водорода, находящегося в основном состоянии?
- 989 Оцените размер атома водорода, если скорость электрона на первой боровской орбите равна $2,19 \cdot 10^6$ м/с.
- 990 Вычислите отношение гравитационной и электростатической сил, действующих на электрон в атоме водорода.
- 991 Какую минимальную ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы, передав энергию атому водорода, перевести его из второго стационарного состояния в третье?
- 992 Стержень рубинового лазера имеет длину 30 см. Сколько раз отразится волна от торцов лазера за «время жизни» атома в возбуждённом состоянии 2 (рис. 199)?
- 993 Определите длину волны де Бройля, соответствующую электрону, движущемуся по второй стационарной орбите в атоме водорода.

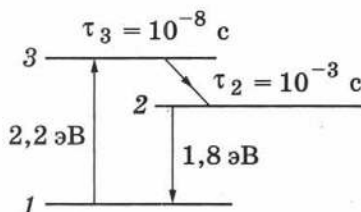


Рис. 199

Физика атомного ядра

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Изотопы. Нейтрон

- 994 Какое ядро образуется в результате α -распада ядра изотопа урана $^{232}_{92}\text{U}$?
- 995 Какое ядро образуется в результате электронного β -распада ядра трития (изотопа водорода ^3_1H)?
- 996 Какое ядро образуется в результате α -распада изотопа радия $^{226}_{88}\text{Ra}$?
- 997 Какой химический элемент образуется после четырёх α -распадов и двух β -распадов элемента тория $^{232}_{90}\text{Th}$?
- 998 Вследствие радиоактивного распада уран $^{238}_{92}\text{U}$ превращается в свинец $^{206}_{82}\text{Pb}$. Сколько α - и β -превращений при этом он испытывает?

- 999 Определите, реакция деления какого ядра про-
841 изошла под действием нейтрона по схеме
 ${}_Z^AX + {}_0^1n \rightarrow 2{}_2^4\text{He} + 2{}_1^1\text{H} + 3{}_0^1n$.
- 1000 Период полураспада изотопа иода ${}_{53}^{131}\text{I}$ равен 8 сут.
842 Сколько радиоактивных изотопов останется в образце через месяц, если начальная масса образца 50 г?
- 1001 Период полураспада изотопа радия ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ равен
843 1600 лет. Сколько ядер изотопа испытывает распад за 3200 лет? Начальное число радиоактивных ядер равно 10^9 .
- 1002 Процентное содержание калия в организме человека
844 около 0,19 % от его массы. При этом радиоактивные ядра калия составляют 0,012 %, период полураспада изотопа ${}_{19}^{40}\text{K}$ 1,24 млрд лет. Сколько ядер изотопа распадается в тканях организма человека с массой 50 кг за 1 с?
- 1003 При каком из процессов требуется большая энергия:
845 при возбуждении атома или при возбуждении ядра?

Строение атомного ядра. Энергия связи

- 1004 Определите дефект массы и энергию связи ядра гелия ${}_2^4\text{He}$.
846
- 1005 Вычислите дефект массы и энергию связи ядра углерода ${}_6^{12}\text{C}$.
847
- 1006 Сравните энергию связи электрона с ядром в атоме водорода и удельную энергию связи ядра изотопа водорода ${}_1^2\text{H}$. Масса ядра изотопа водорода 2,014102 а. е. м. Энергия связи электрона с ядром рассчитывается по формуле $E_{\text{св. эл.}} = k \frac{q^2}{r_1}$, где r_1 — радиус первой боровской орбиты.
848
- 1007 Определите дефект массы и энергию связи ядра трития ${}_1^3\text{H}$ ($m_{\text{н}} = 3,016049$ а. е. м.).
849
- 1008 Определите энергию, которая может выделяться при образовании из протонов и нейтронов гелия ${}_2^4\text{He}$ массой 8 г.
850
- 1009 Вычислите полную и удельную энергию связи ядра лития ${}_3^6\text{Li}$.
851

Искусственная радиоактивность. Ядерные реакции

- 1010** Радиоактивный азот $^{13}_7\text{N}$ при распаде превращается в изотоп углерода $^{13}_6\text{C}$. Напишите уравнение ядерной реакции. Какая частица при этом излучается?
- 1011** Ядро какого элемента образуется в результате α -распада ядра радия $^{226}_{88}\text{Ra}$?
- 1012** Вычислите энергию, выделяющуюся при ядерной реакции $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0n$.
- 1013** Какая энергия выделяется в ходе реакции $^6_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + ^4_2\text{He}$?
- 1014** Определите энергетический выход реакций синтеза:
 1) $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + ^1_0n$; 2) $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0n$.
- 1015** При делении одного ядра урана высвобождается энергия порядка 200 МэВ. Какое количество энергии высвобождается при делении урана массой 3 кг? Какое количество нефти надо сжечь, чтобы получить такую же энергию?
- 1016** Может ли произойти реакция $^{13}_6\text{C} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^{13}_7\text{N} + ^1_0n$ при бомбардировке ядра углерода протонами с энергией 2 МэВ?
- 1017** При каком значении коэффициента k размножения нейтронов возможна цепная реакция деления? Чему должен быть равен коэффициент k для стационарного течения реакции?
- 1018** Средняя поглощённая доза излучения сотрудником, работающим с рентгеновской установкой, равна 7 мкГр в час. Опасна ли эта работа, если человек работает 200 дней в году по 6 ч в сутки? Допустимая доза облучения за год 0,05 Гр.
- 1019** После аварии на Чернобыльской АЭС в некоторых местах регистрируется гамма-излучение мощностью 160 мкГр в час. Во сколько раз доза излучения там за год отличается от предельно допустимой дозы для человека?
- 1020** Больного массой 80 кг облучают γ -квантами с энергией 1,25 МэВ. При этом на больного попадает 2 % излучения и только 40 % взаимодействует с тканями тела. Активность источника равна $3,7 \cdot 10^{13}$ распадов в секунду. Рассчитайте дозу, получаемую больным за 1 с.

В этой части книги дано краткое изложение тем, которые не освещены в классическом курсе физики, однако знание их требуется на вступительных экзаменах в вузы и при сдаче ЕГЭ.

После краткой теории приведены примеры решения задач, а затем задачи для самостоятельного решения.

Гидростатика. Закон Архимеда

В гидромеханике изучаются условия равновесия и движения жидкости. Хотя любое тело состоит из молекул и, следовательно, дискретно, в гидромеханике рассматриваются объекты таких размеров, при которых дискретностью можно пренебречь.

Одним из основных понятий гидромеханики является давление. Выделим в жидкости некоторую поверхность (рис. 200), S — её площадь, вектор $\vec{n}$ — нормаль к ней.

($\vec{n}$ — единичный вектор, направленный перпендикулярно (по нормали) к поверхности.) В общем случае на неё может действовать сила $\vec{F}$, направленная под углом α к нормали. Разложим эту силу на две составляющие: $\vec{F}_\tau$ и $\vec{F}_n$ — касательную и нормальную к поверхности.

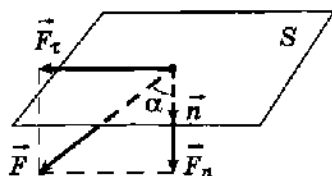


Рис. 200

В жидкостях отсутствует сила трения покоя, поэтому сколь угодно малая сила $\vec{F}_\tau$ вызывает перемещение жидкости. В случае жидкости, находящейся в покое, касательная составляющая $\vec{F}_\tau$ равна нулю. Касательная составляющая определяет силу вязкого трения, возникающую между слоями жидкости, движущимися относительно друг друга с разными скоростями. Жидкость считается идеальной, если силы вязкого трения малы и ими можно пренебречь. В двух случаях, а именно когда жидкость находится в покое и когда вязкость отсутствует, сила, действующая на выделенную поверхность, имеет только нормальную составляющую, т. е. направлена перпендикулярно поверхности. Эта сила называется силой давления. Сила давления тем больше, чем больше площадь поверхности жидкости. Чтобы исключить зависимость силы от площади, вводится физическая величина, называемая давлением.

Давление определяется отношением модуля силы $\vec{F}_n$ к площади поверхности S , на которую эта сила действует:

$$p = \frac{F_n}{S}.$$

Давление может изменяться при переходе от одной точки жидкости к другой, и, следовательно, давление является функцией координат x, y, z : $p(x, y, z)$. Для определения давления в заданной точке M (рис. 201) рассмотрим элемент поверхности (ΔS — его площадь) и найдём давление как предел отношения

силы F_n к ΔS при $\Delta S \rightarrow 0$: $p = \frac{F_n}{\Delta S}$, при-

чём точка M должна принадлежать элементу ΔS .

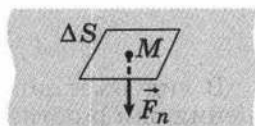


Рис. 201

Закон Паскаля: внешнее давление, производимое на поверхность жидкости, передаётся ею по всем направлениям без изменения.

Можно сформулировать закон Паскаля по-другому, а именно: давление, определяемое в данной точке жидкости, не зависит от ориентации выбранного в ней элемента поверхности.

Это означает, что давление в точке A внутри сосуда будет равно давлению на стенку сосуда в точке B (рис. 202), так как давление в обеих точках определяется силой тяжести жидкости над уровнем AB . Если в открытый сосуд налита жидкость, то давление в точке A определится как сумма атмосферного давления $p_{\text{атм}}$ и давления p столба жидкости над уровнем AB , которое равно:

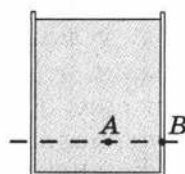


Рис. 202

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho h S g}{S} = \rho g h. \quad (1)$$

Здесь S — площадь основания сосуда; ρ — плотность жидкости. Давление $p = \rho g h$ называется **гидростатическим давлением**.

Итак,

$$p_A = p_{\text{атм}} + \rho g h.$$

Закон Паскаля позволяет объяснить принцип действия устройства, используемого для получения больших сил, называемого **гидравлическим прессом**. Гидравлический пресс состоит из двух цилиндров разных диаметров, снизу соединённых трубкой (рис. 203). Обозначим площадь боль-

шого сечения S_1 , малого — S_2 . В сосуды налита жидкость, сверху находятся поршни. Давления под обоими поршнями равны. Если на малый поршень действует сила $F_2 = pS_2$, то для удержания большого поршня в равновесии на него должна действовать сила $F_1 = pS_1$. Так как давление p одинаково, то

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2},$$

откуда

$$F_1 = F_2 \frac{S_1}{S_2},$$

т. е. сила F_1 больше силы F_2 во столько раз, во сколько раз площадь S_1 больше площади S_2 . Заметим, что $\vec{F}'_1$ и $\vec{F}'_2$ — силы давления жидкости на поршни: $\vec{F}'_1 = -\vec{F}_1$, $\vec{F}'_2 = -\vec{F}_2$. С помощью гидравлического пресса малой силой можно удерживать тяжёлые грузы или действовать большими силами. Получая выигрыш в силе, мы не выигрываем в работе (**золотое правило механики**).

Пусть малый поршень перемещается на высоту h_2 , тогда сила F_2 совершает работу

$$A_2 = F_2 h_2 = p S_2 h_2,$$

сила F_1 совершает работу

$$A_1 = F_1 h_1 = p S_1 h_1.$$

Жидкость несжимаема, поэтому объём, вытесненный малым поршнем из сосуда с малым сечением, равен увеличению объёма в сосуде с большим сечением:

$$h_1 S_1 = h_2 S_2.$$

Следовательно, $A_1 = A_2$.

Для измерения атмосферного давления Торричелли изобрёл прибор (рис. 204), который назвал **ртутным барометром**. Длинная стеклянная трубка заполняется ртутью и опускается открытым концом в сосуд с ртутью. Уровень ртути в трубке опускается, и в верхней части образуется вакуум. Силу тяжести оставшегося столбика ртути в трубке компенсирует сила атмосферного давления. Таким образом, давление столбика ртути высотой 760 мм равно атмосферному.

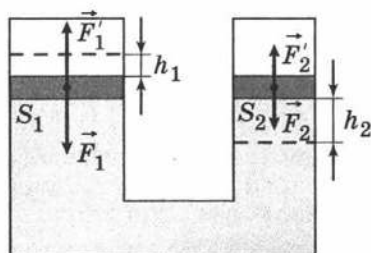


Рис. 203

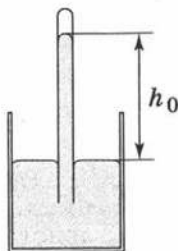


Рис. 204

Атмосферное давление — это давление атмосферы (газовой оболочки Земли) на поверхность Земли и все тела, находящиеся на ней. Оно равно давлению столбика ртути высотой $h_0 = 760$ мм:

$$p_{\text{атм}} = \rho_{\text{рт}} g h_0 = 1,36 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 \cdot 0,76 \text{ м} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Более распространённым прибором для измерения давления является барометр-анероид. Стрелка в нём прикреплена к крышке коробки, из которой откачан воздух. Стенки коробки гибкие и могут деформироваться тем сильнее, чем больше давление.

Формула (1) показывает, что давление на разных уровнях в жидкости различно. Вследствие этого на тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила.

Закон Архимеда: на тело, погружённое в жидкость (или газ), действует сила, равная весу вытесненной жидкости (вытесненного газа).

Погрузим в жидкость цилиндр высотой h и площадью основания S (рис. 205). Давление на глубине h_1 равно:

$$p_1 = p_{\text{атм}} + \rho g h_1,$$

а на глубине h_2 равно:

$$p_2 = p_{\text{атм}} + \rho g h_2.$$

Силы давления, действующие на основания цилиндра, равны:

$$F_1 = p_1 S = (p_{\text{атм}} + \rho g h_1) S,$$

$$F_2 = p_2 S = (p_{\text{атм}} + \rho g h_2) S.$$

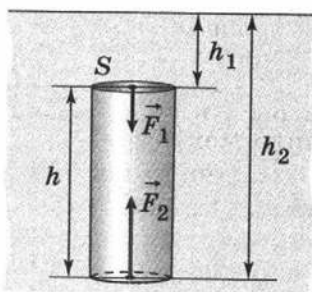


Рис. 205

Суммарная сила давления на боковую поверхность в силу симметрии равна нулю. Отсюда результирующая сила давления, действующая на цилиндр,

$$F = F_2 - F_1 = \rho g V$$

и равна весу вытесненной жидкости ($V = hS$ — объём вытесненной жидкости). Эта сила называется **выталкивающей силой** $F_{\text{выт}}$ или **силой Архимеда**.

Обратим внимание на то, что выталкивающая сила равна весу вытесненной жидкости, а не силе тяжести. Если сосуд с жидкостью будет падать с ускорением свободного падения, то верхние слои жидкости не будут давить на нижние и сила $F_{\text{выт}}$ будет равна нулю. Если же сосуд будет подниматься вверх с ускорением a , то выталкивающая сила, действующая на рассматриваемый цилиндр, будет

$$F_{\text{выт}} = \rho V(g + a).$$

Точка приложения выталкивающей силы обязательно должна совпадать с центром тяжести тела. Выталкивающая сила приложена к телу в точке, совпадающей с центром тяжести объёма вытесненной жидкости, эту точку называют центром давления. При погружении тела линии действия силы тяжести и выталкивающей силы не всегда совпадают (рис. 206, а). Пусть C — точка приложения

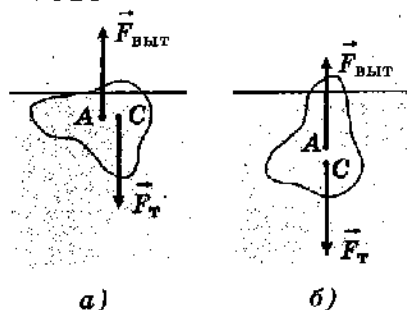


Рис. 206

силы тяжести, действующей на тело, A — точка приложения выталкивающей силы. Сумма моментов этих сил относительно любой оси вращения, перпендикулярной плоскости чертежа, не равна нулю. Так как в жидкостях нет силы трения покоя, то под действием этих моментов сил тело начнёт поворачиваться в жидкости до тех пор, пока силы не станут направлены вдоль одной прямой. Тогда суммарный момент сил станет равным нулю (рис. 206, б).

Равнодействующая выталкивающей силы и силы тяжести называется подъёмной силой. Если плотность ρ тела больше плотности $\rho_{ж}$ жидкости, то выталкивающая сила $F_{\text{выт}}$ меньше силы тяжести F_T : $F_{\text{выт}} < F_T$, т. е. при $\rho_{ж} < \rho$ тело тонет.

Подвесим тело на пружине и поместим систему в жидкость (рис. 207). На тело будут действовать силы: тяжести, выталкивающая и натяжения пружины. Тогда

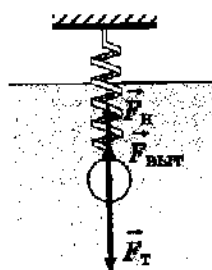


Рис. 207

$$F_T = F_{\text{выт}} + F_n,$$

где F_n — сила натяжения пружины. Вес тела определяется силой натяжения пружины:

$$P = F_T - F_{\text{выт}} = mg - \rho_{ж} Vg.$$

Если плотность тела равна плотности жидкости ($\rho = \rho_{ж}$), то тело находится в состоянии безразличного равновесия (сила натяжения равна нулю):

$$F_{\text{выт}} = mg.$$

Если же плотность тела меньше плотности жидкости ($\rho < \rho_{ж}$), то выталкивающая сила больше силы тяжести:

$$F_{\text{выт}} > F_T, \quad \rho_{ж} Vg > \rho Vg.$$

Для того чтобы удержать тело под водой, должна действовать внешняя сила. Тело в этом случае может находиться в равновесии, если оно не полностью погружено в жидкость.

Условие равновесия, или условие плавания, тела:

$$F_{\text{выт}} = F_{\text{т}}, \quad \rho_{\text{ж}} V_1 g = \rho V g, \quad \rho_{\text{ж}} V_1 = \rho V,$$

где V_1 — объём погружённой в жидкость части тела.

Примеры решения задач

1. В сообщающихся сосудах разных диаметров находится ртуть. После того как в более узкий сосуд налили столб масла высотой $h_0 = 60$ см, уровень ртути в широком сосуде повысился относительно первоначального положения AA' на высоту $H = 0,7$ см (рис. 208). Определите отношение диаметров $\frac{D}{d}$ сообщающихся сосудов, если плотность масла $\rho_{\text{м}} = 800 \text{ кг/м}^3$, плотность ртути $\rho_{\text{рт}} = 1,36 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$. Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Решение. Из закона Паскаля следует, что однородная жидкость в сообщающихся сосудах устанавливается таким образом, что давления во всех точках горизонтальной поверхности одинаковы и высоты столбов жидкости в обоих сосудах одинаковы. Если в один из сосудов налить жидкость другой плотности, не смешивающуюся с первой, то высоты столбов жидкости в сосудах будут различны.

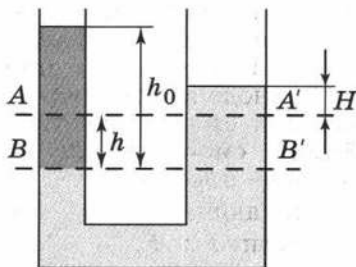


Рис. 208

Давление на границе двух жидкостей в первом сосуде и давление жидкости во втором сосуде на том же горизонтальном уровне должны быть равны.

В узком сосуде уровень ртути понизился на высоту h , в широком повысился на высоту H . Запишем условие равенства давлений для уровня BB' :

$$\rho_{\text{м}} h_0 g = \rho_{\text{рт}} (h + H) g,$$

откуда

$$h + H = \frac{\rho_{\text{м}} h_0}{\rho_{\text{рт}}}, \quad h = \frac{\rho_{\text{м}} h_0}{\rho_{\text{рт}}} - H.$$

Жидкость несжимаема, объём ртути, вытесненный из узкого сосуда, равен объёму ртути, вошедшему в широкий сосуд, т. е.

$$h \frac{\pi d^2}{4} = H \frac{\pi D^2}{4}, \quad \text{или} \quad h d^2 = H D^2.$$

Отношение диаметров сосудов

$$\frac{D}{d} = \sqrt{\frac{h}{H}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} h_0}{\rho_{\text{рт}} h}} - 1 \approx 2,2.$$

2. Определите плотность однородного тела, вес которого в воздухе $P_1 = 10$ Н, а в воде $P_2 = 6$ Н.

Решение. Плотность тела $\rho = \frac{m}{V}$.

Следовательно, для определения плотности ρ необходимо знать массу m тела и его объём V .

Силой Архимеда в воздухе можно пренебречь ($\rho_{\text{воз}} \ll \rho_{\text{в}}$), поэтому

$$P_1 = mg \text{ и } m = \frac{P_1}{g}.$$

В воде на тело действуют силы: тяжести, натяжения (равная весу тела) и выталкивающая (Архимеда) (рис. 209). Условие равновесия запишем в виде

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{выт}} + \vec{F}_H = 0.$$

В проекции на ось OY $F_H + F_{\text{выт}} - mg = 0$, откуда

$$F_H = P_2 = mg - \rho_{\text{в}} g V = P_1 - \rho_{\text{в}} g V.$$

$$\text{Объём тела } V = \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{в}} g}.$$

$$\text{Таким образом, } \rho = \frac{P_1 \rho_{\text{в}} g}{g(P_1 - P_2)} = \rho_{\text{в}} \frac{P_1}{P_1 - P_2};$$

$$\rho = \frac{10 \cdot 10^3}{4} = 2,25 \cdot 10^3 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

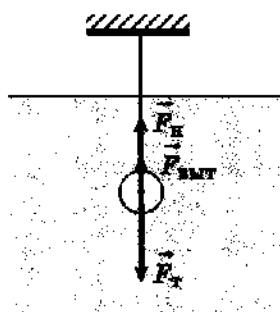


Рис. 209

3. Тонкая палочка, плотность которой $\rho_{\text{п}} = 750$ кг/м³, одним концом опущена в воду, а другим шарнирно закреплена невысоко над водой (рис. 210). Какая часть длины палочки находится в воде?

Решение. На палочку действуют следующие силы: тяжести $m\vec{g}$, Архимеда $\vec{F}_{\text{выт}}$ и реакции опоры $\vec{N}$ в месте закрепления одного конца. Обратим внимание на точки приложения этих сил. Сила Архимеда определяется длиной l_1 погружённой части палочки, и точка её приложе-

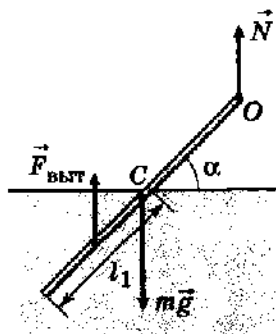


Рис. 210

ния совпадает с центром тяжести вытесненного объёма воды. Условие равновесия палочки — равенство нулю алгебраической суммы моментов сил относительно оси, проходящей через точку O :

$$mg \frac{l}{2} \cos \alpha - F_{\text{выт}} \left(l - \frac{l_1}{2} \right) \cos \alpha = 0,$$

$m = \rho_{\text{п}} S l$, $F_{\text{выт}} = \rho_{\text{в}} S l_1 g$, где S — площадь поперечного сечения палочки.

$$\text{Итак, } \rho_{\text{п}} S l g \frac{l}{2} - \rho_{\text{в}} S l_1 g \left(l - \frac{l_1}{2} \right) = 0,$$

$$\frac{\rho_{\text{в}} l_1^2}{2} - \rho_{\text{в}} l_1 l + \rho_{\text{п}} \frac{l^2}{2} = 0, \text{ или } \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 - 2 \frac{l_1}{l} + \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}}} = 0,$$

$$\frac{l_1}{l} = 1 \pm \sqrt{1 - \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}}}}; \frac{l_1}{l} = 1 \pm \sqrt{1 - 0,75} = 1 \pm 0,5.$$

Очевидно, что $l_1 < l$, следовательно, $\frac{l_1}{l} = 0,5$.

4. Вес пустотелого медного шара в воздухе $P_1 = 17,8$ Н, а в воде $P_2 = 14,2$ Н. Определите объём полости, если плотность меди $\rho_{\text{м}} = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Решение. В воздухе на шар действуют две силы (рис. 211, а): сила тяжести $\vec{F}_T = m\vec{g}$ и сила натяжения $\vec{F}_{\text{н1}} = -\vec{P}_1$. Запишем условие равновесия:

$$\vec{F}_{\text{н1}} + m\vec{g} = 0,$$

или в проекции на ось OY :

$$F_{\text{н1}} - mg = 0,$$

$$P_1 = mg = \rho_{\text{м}} V_{\text{м}} g,$$

где $V_{\text{м}}$ — объём стенок шара,

$$V_{\text{м}} = \frac{P_1}{\rho_{\text{м}} g}.$$

В воде на шар действуют три силы: сила тяжести $\vec{F}_T = m\vec{g}$, сила натяжения $\vec{F}_{\text{н2}}$ ($F_{\text{н2}} = P_2$) и выталкивающая сила $\vec{F}_{\text{выт}}$ (рис. 211, б). Условие равновесия в этом случае

$$\vec{F}_{\text{н2}} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{выт}} = 0.$$

Это уравнение в проекции на ось OY имеет вид

$$F_{\text{н2}} + F_{\text{выт}} - mg = 0, \text{ где } F_{\text{выт}} = \rho_{\text{в}} (V_{\text{пол}} + V_{\text{м}}) g,$$

где $V_{\text{пол}}$ — объём полости в шаре.

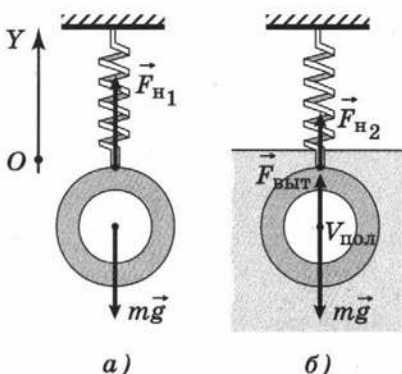


Рис. 211

Тогда $F_{\text{выт}} = mg - P_2 = P_1 - P_2 = \rho_{\text{в}}(V_{\text{пол}} + V_{\text{м}})g =$
 $\rho_{\text{в}}\left(V_{\text{пол}} + \frac{P_1}{\rho_{\text{м}}g}\right)g$, откуда $V_{\text{пол}} = \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{в}}g} - \frac{P_1}{\rho_{\text{м}}g}$;
 $V_{\text{пол}} = \frac{17,8 - 14,2}{10^3 \cdot 10} - \frac{17,8}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 10} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3\text{)}.$

5. Бревно высотой h и площадью поперечного сечения S погружают в воду в вертикальном положении (рис. 212, а). Определите работу, которую совершает выталкивающая сила при полном погружении бревна.

Решение. Выталкивающая сила $F_{\text{выт}} = \rho_{\text{в}}gSx$, где x — глубина погружения бревна. Величина x изменяется от 0 до h , и соответственно выталкивающая сила, действующая на бревно, изменяется от 0 до значения $F_{\text{выт max}} = \rho_{\text{в}}gSh$. На рисунке 212, б изображена зависимость выталкивающей силы от глубины погружения. Работа этой силы равна площади заштрихованного треугольника и определяется выражением

$$A = -F_{\text{выт max}} \frac{h}{2} = -\frac{\rho_{\text{в}}Sh^2g}{2}.$$

Знак «-» означает, что выталкивающая сила направлена в сторону, противоположную перемещению. В случае подъёма бревна выталкивающая сила совершает положительную работу.

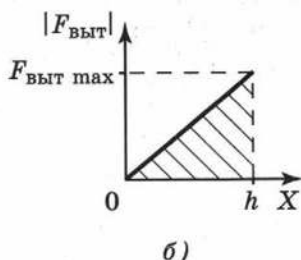
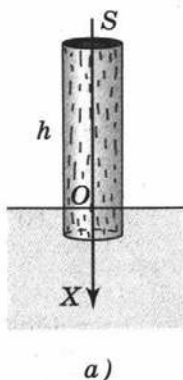


Рис. 212

Задачи

- 1021** В цилиндрический сосуд налиты ртуть и вода, причём их массы одинаковы. Общая высота столба жидкости 1 м. Определите давление жидкостей на дно сосуда. Плотность ртути $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
- 1022** В открытый сосуд налиты вода и керосин, массы жидкостей одинаковы. Общая высота двух слоёв жидкостей 1,125 м. Определите давление на дно сосуда. Плотность керосина 800 кг/м^3 . Атмосферное давление $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

- 1023** Полый шар плавает в жидкости, погружившись на $\frac{1}{3}$ объёма. Плотность жидкости в 4 раза меньше плотности вещества, из которого сделан шар. Какую часть объёма шара составляет полость?
- 1024** Определите вес тела в воздухе, если известно, что в воде его вес равен 10 Н. Объём тела 0,5 л.
- 1025** Шарик, подвешенный на пружине, опускают в воду. Растяжение пружины уменьшается при этом в 1,5 раза. Вычислите плотность материала шарика.
- 1026** Деревянный кубик с ребром 9 см плавает в воде, на $\frac{2}{3}$ своего объёма погружённый в воду. Определите массу груза, который надо положить на кубик, чтобы он полностью погрузился в воду.
- 1027** На границе раздела двух жидкостей плотностями ρ_1 и ρ_2 плавает шайба плотностью ρ ($\rho_1 < \rho < \rho_2$). Высота шайбы h . Определите глубину погружения шайбы во вторую жидкость.
- 1028** Однородное тело плавает на поверхности керосина так, что объём погружённой части составляет 0,92 объёма тела. Определите, какая часть объёма будет погружена, если поместить тело в воду. Плотности воды и керосина равны соответственно 10^3 и 800 кг/м^3 .
- 1029** В стакан до краёв налита вода. Определите объём воды, которая выльется из стакана, если в него опустить тело массой 20 г. Плотность материала тела 800 кг/м^3 . Какая часть объёма тела будет при этом погружена в воду?
- 1030** Деревянный кубик ($\rho = 850 \text{ кг/м}^3$) плавает в воде ($\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$). Поверх воды наливают слой масла ($\rho_{\text{м}} = 800 \text{ кг/м}^3$) так, что кубик полностью погружается в жидкость. Определите толщину слоя масла, если длина ребра кубика 10 см.
- 1031** Небольшой пробковый шарик погружают в воду на глубину 0,5 м и отпускают. На какую высоту над поверхностью воды подскочит шарик? Поверхностным натяжением и сопротивлением воды пренебрегите. Плотность пробки $2 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$.
- 1032** Брусok изготовлен из сплава железа и никеля. Определите процентное содержание сплава, если из-

вестно, что брусок весит в воздухе 33,52 Н, а в воде 29,6 Н. Плотность железа $7,8 \cdot 10^3$ кг/м³, никеля $8,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

- 1033** Свая массой 73,5 кг, длиной 10 м и площадью поперечного сечения 10 см² полностью погружена в воду. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы вытащить её из воды?
- 1034** Тело плавает в воде так, что под водой находится половина его объёма. С каким ускорением надо перемещать сосуд вверх, чтобы тело полностью погрузилось в воду?
- 1035** Шарик всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Определите силу сопротивления жидкости при движении в ней шарика, считая эту силу постоянной. Масса шарика 10 г.
- 1036** Льдина площадью 1 м² и толщиной 0,4 м плавает в воде. Какую работу надо совершить, чтобы полностью погрузить её в воду?
- 1037** Сосуд с жидкостью движется горизонтально с ускорением a . Определите угол наклона поверхности жидкости к горизонту.
- 1038** В один из сообщающихся сосудов одинакового сечения налита вода плотностью ρ_1 , в другой — масло плотностью ρ_2 . На какое расстояние переместится граница раздела жидкостей в горизонтальной трубке, соединяющей сосуды, если на поверхность воды налить слой этого же масла толщиной h ? Площадь поперечного сечения горизонтальной трубки в k раз меньше площади поперечного сечения сосудов.
- 1039** При подъёме груза массой $m = 200$ кг с помощью гидравлического пресса затрачена работа $A = 40$ Дж. При этом малый поршень сделал $n = 10$ ходов, перемещаясь за один ход на $h = 10$ см. Во сколько раз площадь сечения большого поршня больше площади сечения малого?
- 1040** Площади сечений поршней гидравлического пресса, заполненного водой, равны соответственно 100 и 10 см². На больший поршень помещают груз массой 2 кг. На какую высоту поднимается при этом малый поршень?

Свойства жидкости

Расстояние между молекулами жидкости существенно меньше, чем расстояние между молекулами газа, поэтому силы взаимодействия определяют многие свойства жидкости. Так как эти силы быстро убывают при увеличении расстояния между молекулами, то для отдельной молекулы самым существенным является взаимодействие с соседними молекулами.

Рассмотрим молекулу 1 (рис. 213), находящуюся на поверхности жидкости, и молекулу 2, находящуюся внутри жидкости. Молекула 2 со всех сторон притягивается соседними молекулами, и вследствие этого результирующая сил, действующих на неё со стороны этих молекул, равна нулю. Концентрация молекул жидкости больше, чем концентрация молекул пара, находящегося над жидкостью, следовательно, сила, действующая на молекулу 1 со стороны окружающих её молекул, отлична от нуля и направлена внутрь жидкости.

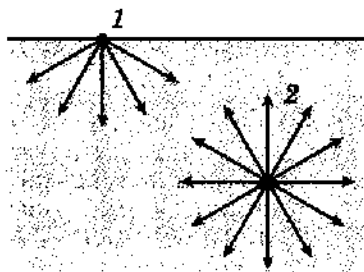


Рис. 213

Переход молекулы из толщ жидкости в поверхностный слой сопровождается совершением работы против этой силы, т. е. молекулы на поверхности обладают большей потенциальной энергией. Всякая система стремится перейти в состояние с минимальной потенциальной энергией, поэтому поверхность жидкости стремится сжаться, на поверхности жидкости должно оставаться как можно меньше молекул. Например, свободно летящая капля жидкости имеет сферическую форму, так как при данном объёме минимальной является площадь поверхности сферы.

Пусть плёнка жидкости натянута на рамку, у которой одна сторона AB подвижна (рис. 214). Для удержания в покое подвижной стороны рамки должна действовать сила $\vec{F}$, направленная в сторону, противоположную силе поверхностного натяжения $\vec{F}_{\text{п.н.}}$, стремящейся уменьшить площадь поверхности плёнки. Сила поверхностного натяжения направлена по касательной к поверхности жидкости и прямо пропорциональна длине l стороны рамки:

$$F = 2\sigma l,$$

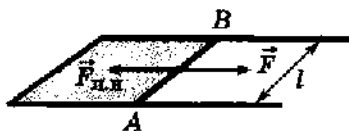


Рис. 214

где σ — коэффициент поверхностного натяжения, равный силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины контура, ограничивающего поверхность жидкости. У плёнки две поверхности, поэтому в выражении для силы есть множитель 2.

$$\text{Коэффициент поверхностного натяжения } \sigma = \frac{F}{2l}.$$

При увеличении площади поверхности жидкости внешними силами должна быть совершена работа

$$A = 2\sigma l x = \sigma \Delta S,$$

где ΔS — изменение площадей двух поверхностей плёнки.

Отсюда $\sigma = \frac{A}{\Delta S}$, т. е. коэффициент поверхностного натяжения численно равен работе, которую надо совершить, чтобы увеличить площадь поверхности жидкости на единицу. Коэффициент поверхностного натяжения выражается в ньютонах на метр (Н/м).

На поверхности твёрдого тела форма капли может быть разной.

1) Капля может растекаться по поверхности твёрдого тела (рис. 215). Это означает, что сила взаимодействия молекул жидкости меньше, чем сила взаимодействия молекул жидкости и твёрдого тела. В этом случае жидкость смачивает поверхность



Рис. 215

твёрдого тела (силами взаимодействия молекул воздуха с молекулами жидкости и твёрдого тела можно пренебречь). Угол θ (краевой угол) между плоскостью, касательной к поверхности жидкости в точке А, и поверхностью твёрдого тела меньше $\frac{\pi}{2}$.

2) Капля может собираться на поверхности твёрдого тела (рис. 216). В этом случае сила взаимодействия молекул жидкости больше, чем сила взаимодействия молекул жидкости и твёрдого



Рис. 216

дого тела ($\theta > \frac{\pi}{2}$), т. е. жидкость не смачивает поверхность твёрдого тела. Если $\theta = 0$, то наблюдается полное (идеальное) смачивание; если $\theta = \pi$ — полное несмачивание.

Наличие поверхностного натяжения объясняет форму поверхности жидкости в тонких трубках — капиллярах. Если капилляр радиусом r_0 опустить в жидкость, смачивающую поверхность капиллярной трубки, то поверхность жидкости

в трубке будет иметь форму вогнутого мениска и жидкость будет подниматься по капилляру. Высоту подъёма жидкости можно оценить из условия равновесия столбика жидкости (рис. 217). На столбик жидкости действуют сила тяжести и сила поверхностного натяжения. На каждый элемент контура C действует сила, равная $\Delta F = \sigma \Delta l$ и направленная по касательной к поверхности жидкости. В силу симметрии суммарная сила поверхностного натяжения

$$F_{\text{п. н}} = \sigma \pi r_0 \cos \theta$$

и направлена вертикально вверх. Сила тяжести, действующая на столбик жидкости, $F_{\text{т}} = mg = \rho h \pi r_0^2 g$.

Из условия равновесия жидкости $\sigma 2\pi r_0 \cos \theta = \rho h \pi r_0^2 g$ получаем

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r_0}. \quad (2)$$

Если капилляр опустить в жидкость, не смачивающую поверхность капилляра, то жидкость будет опускаться в капилляре, поскольку сила поверхностного натяжения направлена вниз (рис. 218). Высота, на которую опустится жидкость в капилляре, также может быть рассчитана по формуле (2).

Давление под искривлённой поверхностью жидкости отличается от давления под горизонтальной поверхностью. Так, под выпуклой поверхностью давление больше, а под вогнутой меньше, чем под горизонтальной поверхностью.

Суммарное добавочное давление

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Эта формула называется **формулой Лапласа**.

Радиус кривизны считается положительным, если центр кривизны находится в жидкости. На рисунке 219 $R_1 > 0$ и $R_2 > 0$. Радиус кривизны считается отрицательным, если центр кривизны находится вне жидкости (рис. 220).

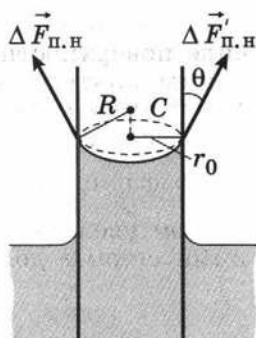


Рис. 217

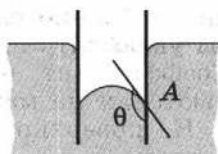


Рис. 218

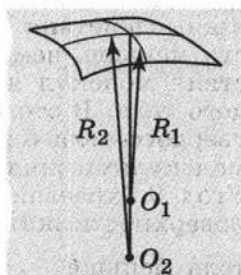


Рис. 219

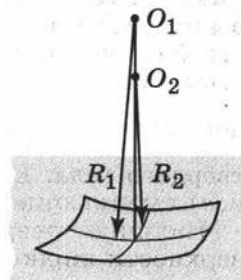


Рис. 220

Примеры решения задач

1. С какой минимальной высоты должна упасть капля радиусом R , чтобы она разбилась на n одинаковых маленьких капель? Коэффициент поверхностного натяжения σ , плотность жидкости ρ . Температура жидкости не изменяется.

Решение. При образовании n капель полная площадь поверхности жидкости увеличивается на ΔS :

$$\Delta S = n4\pi r^2 - 4\pi R^2,$$

где r — радиус маленьких капель. Для увеличения площади поверхности должна быть совершена работа

$$A = \sigma 4\pi(r^2 n - R^2). \quad (3)$$

Эта работа равна увеличению потенциальной энергии поверхностного слоя жидкости, которое будет происходить за счёт уменьшения потенциальной энергии капли, обусловленного работой силы тяжести:

$$-\Delta W_n = mgh.$$

Масса капли $m = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$. Объём жидкости сохраняется, поэтому $\frac{4}{3}\pi R^3 = n \frac{4}{3}\pi r^3$, откуда $r = \frac{R}{\sqrt[3]{n}}$.

Подставим эти выражения в равенство (3):

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho gh = \sigma 4\pi R^2 (\sqrt[3]{n} - 1), \text{ откуда } h = \frac{3\sigma(\sqrt[3]{n} - 1)}{\rho Rg}.$$

2. Левое колено U-образной трубки имеет радиус 0,5 мм, а правое — 1 мм (рис. 221). Чему равна разность уровней воды в этой трубке? Коэффициент поверхностного натяжения воды 0,073 Н/м, краевой угол $\theta = 0^\circ$, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Решение. Чем меньше радиус кривизны поверхности жидкости, тем больше добавочное давление. Радиусы кривизны поверхностей жидкости меньше нуля, давление под более искривлённой поверхностью (в левом колене) меньше, чем в правом. Разность давлений под поверхностями жидкости

в капиллярах $\Delta p_1 = \frac{2\sigma}{r_1} \cos \theta$ и

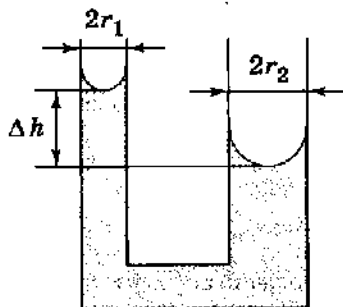


Рис. 221

$\Delta p_2 = \frac{2\sigma}{r_2} \cos\theta$ ($\cos\theta = 1$) определит разность уровней воды в коленях капиллярной трубки:

$$\rho g \Delta h = 2\sigma \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \text{ откуда } \Delta h = \frac{2\sigma(r_2 - r_1)}{\rho g r_1 r_2};$$

$$\Delta h = 2 \cdot 0,073 \cdot \left(\frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{1 \cdot 10^{-3}} \right) \frac{1}{10^3 \cdot 10} = 0,0146 \text{ (м)} \approx 15 \text{ (мм)}.$$

3. Определите силу, способную растащить два стекла, между которыми попала капля воды массой m (рис. 222). Расстояние между стёклами d , коэффициент поверхностного натяжения воды σ , плотность воды ρ . Вода полностью смачивает поверхности стёкол.

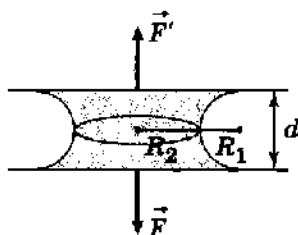


Рис. 222

Решение. Из-за искривления поверхности давление в жидкости меньше атмосферного и стёкла прижаты друг к другу. Радиусы кривизны поверхности жидкости $R_1 = \frac{d}{2} < 0$, $R_2 > 0$. Объём

капли $V = \pi R_2^2 d$ (пренебрегаем тем, что образующая цилиндра — вогнутая кривая, и считаем объём капли равным объёму цилиндра). Объём капли можно выразить иначе:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ откуда } R_2 = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho d}}.$$

Поскольку $R_2 > |R_1|$ (расстояние между стёклами малó), то

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{|R_1|} \right) < 0.$$

Искомая сила

$$F = F' = \Delta p S = \Delta p \pi R_2^2, \quad F = \sigma \left(\sqrt{\frac{\pi \rho d}{m}} - \frac{2}{d} \right) \frac{m}{\rho d}.$$

4. В двух длинных, открытых с обеих сторон капиллярах, расположенных вертикально, находятся столбики воды высотой 1 и 2 см. Определите радиус кривизны нижнего мениска в каждом из капилляров. Внутренний диаметр капилляра 1 мм, смачивание полное.

Решение. Для того чтобы определить форму нижнего мениска, найдём, на какую высоту h_0 поднимается вода в капилляре диаметром d_0 , опущенном в воду (рис. 223).

По формуле (2)

$$h_0 = \frac{2\sigma}{\rho g r_0} \quad (\theta = 0^\circ, \cos\theta = 1);$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot 0,073}{10^3 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}} = 0,0149 \text{ (м)}.$$

Мы видим, что $h_1 < h_0 < h_2$.

Следовательно, в первом капилляре нижний мениск вогнутый (рис. 224, а), а во втором — выпуклый (рис. 224, б).

Запишем условие равновесия столбика воды в капилляре:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0. \quad (4)$$

В случае а силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ направлены в противоположные стороны. В проекции на ось ОУ уравнение (4) примет вид

$$F_1 - mg - F_2 = 0,$$

где $F_1 = \sigma \pi d_0$, $F_2 = \sigma \pi d_0 \cos\varphi$.

Из рисунка 224, а видно, что $\frac{r_0}{R_1} = \cos\varphi$.

$$\text{Тогда } F_2 = \sigma \pi d_0 \frac{r_0}{R_1} = \frac{\sigma \pi d_0^2}{2R_1}.$$

$$\text{Масса столбика воды } m = \rho \frac{\pi d_0^2}{4} h_1.$$

Подставляя F_1 и F_2 в формулу (4),

$$\text{имеем } \sigma \pi d_0 - \rho \frac{\pi d_0^2}{4} h_1 g - \frac{\sigma \pi d_0^2}{2R_1} = 0,$$

$$\text{откуда } R_1 = \frac{\sigma d_0}{2\left(\sigma - \frac{\rho g d_0 h_1}{4}\right)}.$$

Аналогично в случае б $F_1 + F_2 - mg = 0$ (см. рис. 224, б).

$$\text{Тогда } \sigma \pi d_0 + \frac{\sigma \pi d_0^2}{2R_2} - \rho \frac{\pi d_0^2}{4} h_2 g = 0, \text{ откуда}$$

$$R_2 = \frac{\sigma d_0}{2\left(\frac{\rho g d_0 h_2}{4} - \sigma\right)}.$$

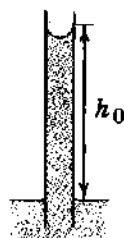
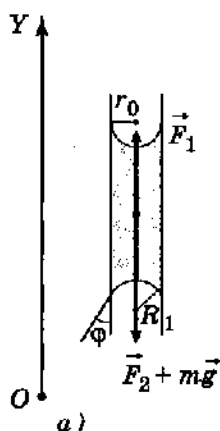
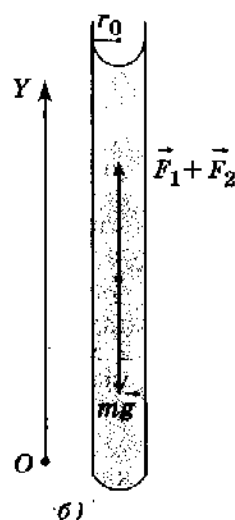


Рис. 223



а)



б)

Рис. 224

Окончательно имеем

$$R_1 = \frac{0,073 \cdot 10^{-3}}{2 \left(0,073 - \frac{10^3 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}}{4} \right)} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} = 0,75 \text{ (мм)},$$

$$R_2 = \frac{0,073 \cdot 10^{-3}}{2 \left(\frac{10^3 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{4} - 0,073 \right)} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} = 1,5 \text{ (мм)}.$$

Задачи

- 1041** Какую работу надо совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь радиусом 10 см? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $4 \cdot 10^{-2}$ Н/м.
- 1042** Тридцать капель ртути радиусом 1 мм каждая сливаются в одну каплю. Определите количество выделившейся при этом теплоты. Коэффициент поверхностного натяжения ртути 0,47 Н/м.
- 1043** Определите разность уровней жидкости плотностью ρ в двух сообщающихся капиллярах радиусом r каждый, если один из них полностью смачивается, а другой полностью не смачивается жидкостью. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ .
- 1044** Определите давление воздуха в пузырьке радиусом 20 мкм, находящемся в воде на глубине 2 м. Плотность воды 10^3 кг/м³, атмосферное давление $1,013 \cdot 10^5$ Па.
- 1045** В вертикальной капиллярной трубке из смачиваемого водой материала находится вода. Определите высоту столбика воды в капилляре, если сосуд с жидкостью поднимается с ускорением $4,9$ м/с². Радиус капилляра 1 мм, коэффициент поверхностного натяжения воды 0,073 Н/м.
- 1046** На сколько давление воздуха в мыльном пузырьке радиусом 1 мм больше, чем в пузырьке радиусом 2 мм? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $4 \cdot 10^{-2}$ Н/м.
- 1047** Три капли воды находятся между двумя горизонтальными стеклянными пластинами массой 500 г каждая. Определите расстояние между пластинами, если известно, что стекло смазано и вода его не смачивает. Масса каждой капли 1 г. Коэффициент поверхностного натяжения воды 0,073 Н/м.

Тепловое расширение жидких и твёрдых тел

Из опыта известно, что большинство веществ при нагревании расширяется, т. е. объём их увеличивается, а при охлаждении уменьшается.

С точки зрения молекулярного представления о строении вещества это понятно, так как при увеличении температуры возрастает кинетическая энергия движения молекул, молекулы, преодолевая силы притяжения, разлетаются на большие расстояния, и вследствие этого среднее расстояние между ними увеличивается.

При нагревании, как показали эксперименты, линейные размеры твёрдых тел (длина, ширина и т. д.) изменяются по закону

$$l = l_0(1 + \alpha t), \quad (5)$$

где l и l_0 — размеры тела при температурах t ($^{\circ}\text{C}$) и 0 $^{\circ}\text{C}$ соответственно; α — коэффициент линейного расширения. Значения α для разных материалов представлены в таблице 4 (в Приложении). В широком диапазоне изменения температуры значение α можно считать постоянным. Если начальная температура тела не равна 0 $^{\circ}\text{C}$, а равна некоторому значению t_1 ($^{\circ}\text{C}$), то для определения линейного размера l_2 тела при температуре t_2 ($^{\circ}\text{C}$) часто можно пользоваться формулой

$$l_2 = l_1(1 + \alpha \Delta t), \quad (6)$$

где l_1 — размер тела при температуре t_1 ($^{\circ}\text{C}$); $\Delta t = t_2 - t_1$.

Оценим ошибку при расчёте по формуле (6). Если известен размер l_1 тела при температуре t_1 ($^{\circ}\text{C}$), то из формулы (5) можно определить длину при 0 $^{\circ}\text{C}$:

$$l_0 = \frac{l_1}{1 + \alpha t_1}. \quad (7)$$

Тогда из формулы (6), считая, что $t_1 = 0$ $^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = t_2$ ($^{\circ}\text{C}$), $l_1 = l_0$, определим длину l_2 : $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$.

Подставляя l_0 из формулы (7) в это выражение, получаем

$$l_2 = l_0(1 + \alpha t_2) = \frac{l_1(1 + \alpha t_2)}{1 + \alpha t_1}, \quad (8)$$

где αt — маленькая величина, поэтому, пренебрегая величинами порядка $(\alpha t)^2$, можно считать, что $\frac{1}{1 + \alpha t_1} \approx 1 - \alpha t_1$.

Тогда с точностью до членов того же порядка можно преобразовать выражение (8) для l_2 :

$$l_2 = l_1(1 + \alpha t_2)(1 - \alpha t_1) \cong l_1(1 + \alpha \Delta t).$$

Заметим, что изменения температуры, измеренной по шкалам Цельсия и Кельвина, совпадают: $\Delta t = \Delta T$. Поэтому можно записать

$$\Delta l = l - l_0 = \alpha l_0 \Delta T.$$

При нагревании объём тела изменяется также по линейному закону:

$$V = V_0(1 + \beta t), \text{ или } V = \beta V_0 \Delta T, \quad (9)$$

где V_0 — объём тела при 0°C (273 К); β — коэффициент объёмного расширения; $\Delta T = T - 273$ (К).

О линейном расширении жидкости говорить не имеет смысла, так как жидкость принимает форму сосуда, в который она налита. Имеет смысл говорить только о её объёмном расширении. Формула (9) справедлива для расчётов изменения объёма твёрдых и жидких тел.

Найдём связь между коэффициентами линейного и объёмного расширения. Пусть длина ребра кубика при 0°C равна l_0 , тогда его объём при температуре t ($^\circ\text{C}$)

$$V = l^3 = l_0^3(1 + \beta t).$$

В то же время $l = l_0(1 + \alpha t)$ и соответственно $l^3 = l_0^3(1 + \alpha t)^3$. Приравняв выражения для объёмов, получаем

$$1 + 3\alpha t + 3(\alpha t)^2 + (\alpha t)^3 \approx 1 + \beta t,$$

откуда $\beta = 3\alpha$, если пренебречь членами порядка $(\alpha t)^n$, где $n > 1$. Это соотношение справедливо для небольших значений температуры, пока произведение αt действительно мало. Заметим, что α — величина порядка $10^{-6} - 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. При нагревании тела изменяется плотность вещества, масса остаётся постоянной, а объём увеличивается:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Подставив в эту формулу значение объёма из формулы (9), получим

$$\rho = \frac{m}{V_0(1 + \beta t)} = \frac{\rho_0}{1 + \beta t},$$

где ρ_0 — плотность вещества при 0°C .

Примеры решения задач

1. Стержень длиной l_{10} , изготовленный из материала с коэффициентом линейного расширения α_1 , и стержень длиной l_{20} , изготовленный из материала с коэффициентом линейного расширения α_2 , спаяли, и получился стержень длиной $l_{10} + l_{20}$. Определите коэффициент линейного расширения нового стержня.

Решение. При нагревании на Δt длина каждого стержня увеличивается:

$$l_1 = l_{10}(1 + \alpha_1 t), \quad l_2 = l_{20}(1 + \alpha_2 t).$$

Длина нового стержня

$$l = (l_{10} + l_{20})(1 + \alpha t),$$

где α — искомый коэффициент.

В то же время эта длина равна сумме $l_1 + l_2$:

$$(l_{10} + l_{20})(1 + \alpha t) = l_{10}(1 + \alpha_1 t) + l_{20}(1 + \alpha_2 t),$$

откуда
$$\alpha = \frac{\alpha_1 l_{10} + \alpha_2 l_{20}}{l_{10} + l_{20}}.$$

2. На сколько изменится вес тела, помещённого в керосин, если керосин нагреть на 50°C ? Тело представляет собой медный шарик радиусом $r = 2$ см. Коэффициент линейного расширения меди $\alpha_m = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, плотность керосина $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ при $t = 20^\circ\text{C}$.

Решение. Изменение веса обусловлено изменением выталкивающей силы при нагревании: $\Delta P = \Delta F_{\text{выт}}$.

Выталкивающая сила при 20°C равна: $F_{\text{выт1}} = \rho_{k1} V_1 g$, а при 50°C равна: $F_{\text{выт2}} = \rho_{k2} V_2 g$.

Объём шарика $V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3$, $V_2 = V_1(1 + \beta_m \Delta t)$, поскольку $\beta_m = 3\alpha_m$, $V_2 = V_1(1 + 3\alpha_m \Delta t)$.

При изменении температуры изменяется и плотность керосина, т. е.

$$\rho_{k2} = \frac{\rho_{k1}}{1 + \beta_k \Delta t}.$$

Следовательно,

$$\Delta P = \left(\frac{\rho_{k1}}{1 + \beta_k \Delta t} V_1(1 + 3\alpha_m \Delta t) - \rho_{k1} V_1 \right) g = \rho_{k1} \left(\frac{1 + 3\alpha_m \Delta t}{1 + \beta_k \Delta t} - 1 \right) g \frac{4}{3} \pi r^3;$$

$$\Delta P = 0,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 \cdot \left(\frac{1 + 3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 50}{1 + 0,001 \cdot 50} - 1 \right) = 0,251 \text{ (Н)}.$$

3. Стальной бензобак автомобиля вместимостью $V_0 = 70$ л полностью заполнили бензином при температуре 20°C и автомобиль оставили на солнце. Бак разогрелся до 50°C . Сколько бензина вытечет из бака? Коэффициент объёмного расширения бензина $1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, коэффициент линейного расширения стали $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Решение. При нагревании расширяются бензин и бак. Объём бензина при нагревании изменяется по закону

$$V_1 = V_0(1 + \beta_6 \Delta t).$$

Изменение объёма бензина

$$\Delta V_1 = V_1 - V_0 = V_0 \beta_6 \Delta t.$$

Изменение объёма бака

$$\Delta V_2 = V_2 - V_0 = V_0 \beta_{\text{ст}} \Delta t.$$

Объём вытекшего бензина

$$\Delta V = \Delta V_1 - \Delta V_2 = V_0 \Delta t (\beta_6 - \beta_{\text{ст}}).$$

Коэффициент объёмного расширения стали

$$\beta_{\text{ст}} = 3\alpha_{\text{ст}} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}.$$

Тогда

$$\Delta V = 7 \cdot 10^{-2} \cdot 30(10^{-3} - 3,6 \cdot 10^{-5}) = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)};$$

$$\Delta V \approx 2 \text{ л.}$$

4. Стальная балка закреплена между двумя стенами при температуре 10°C . С какой силой концы балки будут давить на стену при температуре 35°C ? Площадь поперечного сечения балки $S = 50 \text{ см}^2$. Модуль упругости стали $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$.

Решение. Сила, с которой балка давит на стену, $F = \sigma S$; здесь σ — напряжение, возникающее в балке при её деформации. Из закона Гука следует, что

$$\frac{\Delta l}{l_1} = \frac{1}{E} \sigma, \quad (10)$$

где $\Delta l = l_2 - l_1$ — удлинение балки при нагревании.

Поскольку

$$l_2 = l_1(1 + \alpha \Delta t), \quad (11)$$

то $\Delta l = l_1 \alpha \Delta t$.

Выразив Δl из формулы (10) и подставив в выражение (11), получим $\alpha \Delta t = \frac{\sigma}{E}$, откуда $\sigma = E \alpha \Delta t$.

Тогда искомая сила

$$F = \sigma S = E \alpha S \Delta t;$$

$$F = 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 3,15 \cdot 10^5 \text{ (Н)}.$$

Задачи

- 1048** Длина алюминиевой проволоки при температуре
918 0°C равна 430 см, а длина стальной проволоки при этой же температуре равна 433 см. При какой температуре длины этих проволок будут одинаковы? Коэффициенты линейного расширения алюминия и стали равны соответственно $2,4 \cdot 10^{-5}$ и $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
- 1049** На сколько градусов нужно нагреть тонкое стальное
919 кольцо, чтобы через него проходил шарик радиусом 4 см? Радиус кольца до нагревания 3,98 см. Коэффициент линейного расширения стали $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
- 1050** На сколько градусов необходимо нагреть алюминие-
920 вую проволоку с площадью поперечного сечения 6 мм^2 , чтобы у неё была та же длина, что и под действием растягивающей силы 508 Н? Коэффициент линейного расширения алюминия $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, модуль Юнга $7 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.
- 1051** При температуре 0°C диаметр колёс вагона равен
921 1 м. На сколько будет отличаться число оборотов колёс вагона летом ($t_1 = 25^\circ\text{C}$) от числа оборотов этих колёс зимой ($t_2 = -25^\circ\text{C}$) на длине пути 60 км? Коэффициент линейного расширения материала колеса $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
- 1052** Покажите, что изменение площади однородной пря-
922 моугольной пластинки длиной a и шириной b при нагревании на ΔT равно $2\alpha ab\Delta T$. Коэффициент линейного расширения α , величинами порядка $(\alpha\Delta T)^2$ можно пренебречь.
- 1053** На сколько изменится площадь поверхности медного
923 шарика диаметром 10 см при нагревании его на 800°C ? Коэффициент линейного расширения меди $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
- 1054** Медный лист площадью 1 м^2 нагрели от 20 до 600°C .
924 Определите изменение площади листа.
- 1055** Железные линейку и стержень нагревают на 20°C ,
925 причём начальная температура линейки 0°C , стержня 10°C , а их длины при этих температурах одинаковы и равны 58 см. На сколько увеличиваются при нагревании длины линейки и стержня?
- 1056** Стальная струна длиной 3 м натянута над окном
926 между двумя стенами. Как изменяются сила натяжения и потенциальная энергия струны при охлаждении её на 30°C ? Площадь поперечного сечения струны 1 мм^2 . Считайте, что до охлаждения деформацией струны можно пренебречь.

Правила Кирхгофа

Правила Кирхгофа позволяют достаточно просто решать задачи на определение значений силы тока в разветвлённых цепях, содержащих несколько источников тока.

Точка соединения проводников в разветвлённой электрической цепи называется узлом. Узел есть точка цепи, в которой сходится не меньше трёх ветвей.

Первое правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_i I_i = 0,$$

т. е. сумма токов, входящих в узел, равна сумме токов, выходящих из узла.

Договоримся считать токи, идущие к узлу, положительными, а токи, идущие от узла, отрицательными.

Для узла, изображённого на рисунке 225, согласно первому правилу Кирхгофа запишем

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0.$$

Второе правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма падений напряжения в замкнутом контуре разветвлённой цепи равна алгебраической сумме ЭДС:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k.$$

Рассмотрим участок разветвлённой цепи, изображённый на рисунке 226. Чтобы записать уравнение для замкнутого контура согласно второму правилу Кирхгофа, выберем направление обхода контура. Выбираем его произвольно, например против часовой стрелки. Если направление тока на отрезке цепи совпадает с направлением обхода контура, то падение напряжения на резисторе берётся со знаком «+», если не совпадает, то со знаком «-». Заметим, что направление токов в каждом контуре разветвлённой цепи мы также выбираем произвольно. Если данный источник вызывает ток в направлении обхода контура, то ЭДС берётся со знаком «+», если не совпадает, то со знаком «-». Итак, запишем уравнение для падений напряжения:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2.$$

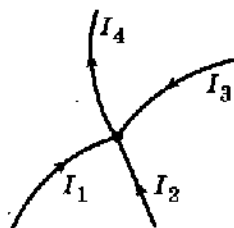


Рис. 225

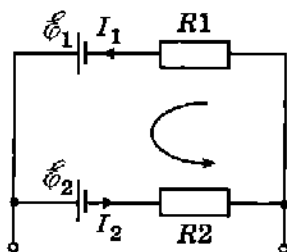


Рис. 226

Выбрав несколько узлов и контуров в цепи, запишем уравнения Кирхгофа для каждого из них и составим систему уравнений, причём уравнения должны быть линейно независимы и число уравнений должно быть равно числу неизвестных. Если в результате решения значение силы тока получается отрицательным, то это означает, что направление тока на этом участке противоположно выбранному.

Примеры решения задач

1. Рассчитайте силу тока на всех участках цепи (рис. 227), если $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 4$ В, $r_1 = r_2 = 2$ Ом, $R = 9$ Ом.

Решение. Выберем направление токов на каждом участке цепи и направление обхода контуров, как показано на рисунке 227 (напоминаем, что выбор делается произвольно).

Для узла А согласно первому правилу Кирхгофа имеем

$$I_1 + I_2 - I = 0. \quad (12)$$

Для узла В писать подобное уравнение бессмысленно, так как оно аналогично уравнению (12), умноженному на -1 .

Рассмотрим замкнутый контур, в который входит источник $\mathcal{E}_1$ и резистор R .

Согласно второму правилу Кирхгофа

$$I_1 r + IR = \mathcal{E}_1. \quad (13)$$

Для контура, включающего источник $\mathcal{E}_2$ и резистор R , запишем:

$$I_2 r + IR = \mathcal{E}_2. \quad (14)$$

Уравнения (12), (13), (14) — система трёх уравнений относительно трёх неизвестных I_1, I_2, I_3 .

Из уравнений (13), (14) имеем

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 - IR}{r_1}, \quad I_2 = \frac{\mathcal{E}_2 - IR}{r_2}. \quad (15)$$

Подставив последние выражения в уравнение (12), получим

$$I \left(1 + \frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} \right) = \frac{\mathcal{E}_1}{r_1} + \frac{\mathcal{E}_2}{r_2}.$$

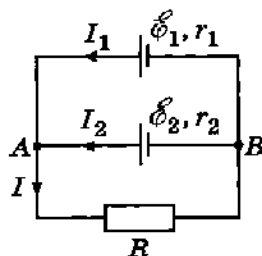


Рис. 227

Окончательно;

$$I = \frac{\frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}}{1 + \frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2}} = 0,3 \text{ A.} \quad (16)$$

Подставив это значение и данные задачи в равенство (15) для токов, получим значения на двух других участках цепи: $I_1 = -0,35 \text{ A}$, $I_2 = 0,65 \text{ A}$.

Знак «-» означает, что направление тока I_1 было выбрано неверно.

Для проверки правильности решения рассмотрим частный случай, когда ЭДС источников равны. Для силы тока, идущего через резистор, из выражения (16) получим

$$I = \frac{2\mathcal{E}_1}{r_1 \left(1 + \frac{2R}{r_1}\right)} = \frac{\mathcal{E}_1}{\frac{r_1}{2} + R}.$$

Последнее выражение совпадает с выражением для силы тока в цепи, созданного двумя источниками, соединёнными параллельно.

Вычислим также разность потенциалов между точками A и B , обходя разные участки цепи. Разность потенциалов равна падению напряжения на резисторе R :

$$\varphi_A - \varphi_B = IR = 2,7 \text{ В.}$$

Для участка цепи, содержащего источник с ЭДС $\mathcal{E}_1$, согласно закону Ома для неоднородного участка цепи имеем

$$I_1 r = -(\varphi_A - \varphi_B) + \mathcal{E}_1,$$

откуда

$$\varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E}_1 - I_1 r = 2,7 \text{ В,}$$

что совпадает со значением, вычисленным ранее.

Аналогично можно рассмотреть участок цепи, содержащий источник с ЭДС $\mathcal{E}_2$.

2. В мосте Уитстона движок реохорда устанавливают таким образом, чтобы сила тока, проходящего через гальванометр, была равна нулю (рис. 228). Реохорд представляет собой проволоку, натянутую между точками A и B ; K — подвижный контакт. Чему равно сопротивление R_x , если точка K делит отрезок AB в отношении $AK:KB = 1:4$, а R — известная величина?

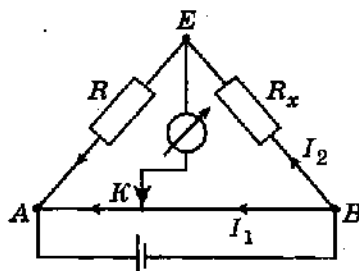


Рис. 228

Решение. Так как ток по участку цепи EK (см. рис. 209) не идёт, то $\varphi_E - \varphi_K = 0$, откуда

$$I_2 R_x = I_1 r_2; \quad (17)$$

$$I_2 R = I_1 r_1, \quad (18)$$

где r_1 и r_2 — сопротивления участков KB и AK , причём сопротивление r_1 прямо пропорционально длине части KB реохорда: $r_1 \sim l_{KB}$. Аналогично $r_2 \sim l_{AK}$.

Разделив левые и правые части уравнений (17) и (18), получим

$$\frac{R_x}{R} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{l_{AK}}{l_{KB}} = 4; \quad R_x = 4R.$$

Задачи

- 1057** Н Сила тока через резистор R_1 сопротивлением 10 Ом равна 0,01 А (рис. 229). Определите ЭДС источников, если амперметр A_2 показывает значение силы тока, равное нулю. Сопротивлениями источников и амперметров можно пренебречь. Сопротивления резисторов R_1 и R_2 равны.

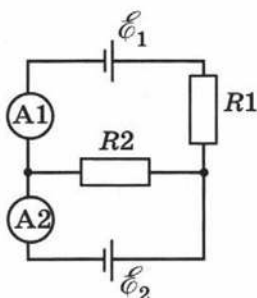


Рис. 229

- 1058** Н При каком соотношении ЭДС источников (рис. 230) ток через резистор R_2 не пойдёт? Значения $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$, R , R_1 известны.

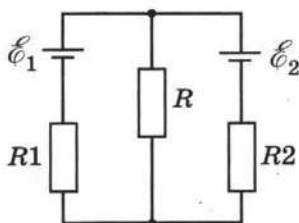


Рис. 230

- 1059** Н Определите силы токов во всех участках цепи (рис. 231), если ЭДС $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 60$ В, $\mathcal{E}_3 = 100$ В, сопротивления резисторов $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = R_3 = 20$ Ом.

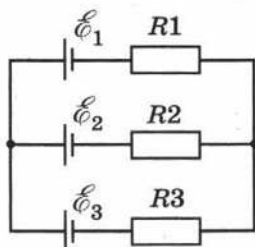


Рис. 231

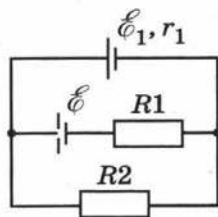


Рис. 232

1060 На рисунке 232 изображена схема электрической цепи. Определите ЭДС и сопротивление источника, который надо подключить в участок цепи, содержащий резистор R_1 , чтобы сила тока на этом участке стала равна нулю. ЭДС $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $r_1 = 1$ Ом, $R_2 = 9$ Ом.

1061 Определите ЭДС и внутреннее сопротивление батареи (рис. 233, а), которая обеспечивает ту же силу тока в резисторе, подключённом к ней, что и система источников (рис. 233, б), соединённая с тем же резистором. ЭДС и внутренние сопротивления источников равны соответственно $\mathcal{E}_1 = 10$ В, $\mathcal{E}_2 = 20$ В, $\mathcal{E}_3 = 30$ В, $r_1 = r_2 = r_3 = 2$ Ом.

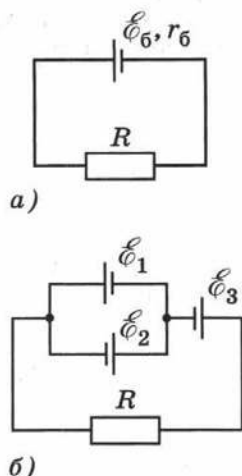


Рис. 233

Реальные газы

Реальный газ можно считать идеальным тогда, когда давление невелико и температура газа выше температуры фазового перехода. Именно в этом случае объём, занимаемый всеми молекулами, существенно меньше объёма сосуда и им можно пренебречь, а расстояние между молекулами настолько велико, что силами их взаимодействия также можно пренебречь.

При больших плотностях, которые обычно наблюдаются вблизи фазового перехода, поведение реального газа отличается от поведения идеального газа.

На рисунке 234 изображены изотермы реального газа при разных температурах.

Рассмотрим изотермический процесс, происходящий при температуре T_2 .

Участок кривой от T_2 до C (см. рис. 234) соответствует газообразному состоянию. При дальнейшем уменьшении объёма, как мы видим, давление не изменяется, пар становится насыщенным и происходит фазовое превращение пара в жидкость.

Участок $C-B$ кривой соответствует двухфазному со-

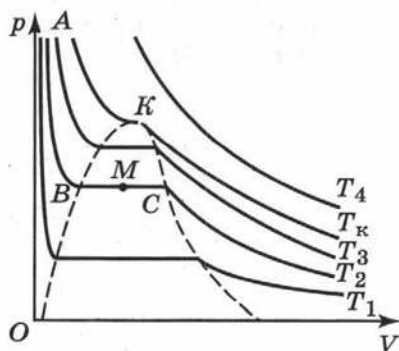


Рис. 234

стоянию системы — одновременному существованию насыщенного пара и жидкости.

При параметрах, соответствующих точке В, весь пар перешёл в жидкое состояние. Дальнейшее уменьшение объёма приводит к резкому увеличению давления, так как жидкость слабосжимаема.

При более высокой температуре (например, T_3) горизонтальный участок изотермы становится короче, и при температуре T_k кривая имеет только точку перегиба К, называемую критической точкой. Температура T_k называется критической температурой, т. е. при этой температуре вещество находится в критическом состоянии.

Критическое состояние — это состояние, при котором плотность жидкости и плотность пара равны, соответственно отсутствует граница между жидкостью и паром.

При температурах выше T_k невозможно сжижение газа, поэтому газообразное состояние вещества при температурах ниже критической называется паром, при температурах выше критической — газом.

Для реального газа справедливо уравнение

$$\left(p + v^2 \frac{a}{V^2}\right)(V - vb) = vRT, \quad (19)$$

которое называется уравнением Ван-дер-Ваальса, по имени учёного, который первым записал его. В этом уравнении коэффициенты a и b — постоянные Ван-дер-Ваальса — различны для разных газов.

Уравнение (19) более точно описывает состояния реального газа.

Для одного моля вещества уравнение Ван-дер-Ваальса имеет вид

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT. \quad (20)$$

Критическое состояние характеризуется тремя критическими параметрами, связанными с коэффициентами a и b следующими соотношениями:

критический объём $V_k = 3b$;

критическое давление $p_k = \frac{a}{27b^2}$;

критическая температура $T_k = \frac{8a}{27bR}$.

На рисунке 235 изображены изотермы реального газа, построенные согласно уравнению Ван-дер-Ваальса: в заштрихованной области они отличаются от изотерм реального газа, показанных на рисунке 234. Обычно на реальной кривой максимум и минимум (точки Е и D) не

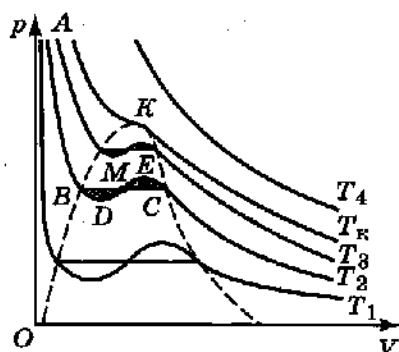


Рис. 235

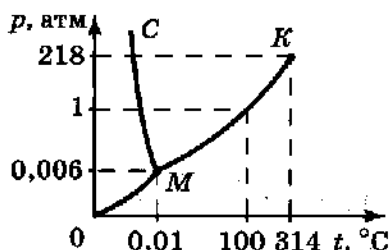


Рис. 236

наблюдаются, но, если вещество чистое, то состояния, соответствующие участкам BD и EC , могут быть реализованы: они соответствуют переохлаждённой жидкости и перенасыщенному пару. Эти состояния неустойчивы.

На рисунке 236 показано поведение вещества (воды) на p - T -диаграмме.

Кривая OM соответствует зависимости процесса сублимации от температуры. Сублимация — это процесс превращения твёрдого тела в газообразное без прохождения жидкой фазы.

Кривая MC соответствует значениям температуры и давления, при которых жидкая и твёрдая фазы вещества находятся в равновесии; кривая MK — значениям температуры и давления, при которых жидкость и газ (пар) находятся в равновесии; K — критическая точка.

Точка M — тройная точка: она определяется параметрами, при которых все три фазы вещества могут существовать в равновесном состоянии.

Примеры решения задач

1. Проанализируйте графики на рисунке 236 и определите по ним: 1) какая из кривых соответствует зависимости температуры замерзания от давления; 2) какая из кривых соответствует зависимости температуры кипения от давления; 3) почему кривая MK обрывается в точке K . Обратите внимание, что шкалы на осях неравномерные (логарифмические).

Решение.

1) Кривая MC : при давлении, равном 1 атм, температура близка к 0°C ; известно, что это температура фазового превращения воды в лёд и обратно.

2) Кривая MK : при атмосферном давлении температура равна 100°C , что соответствует температуре кипения воды.

3) Обрыв кривой *МК* объясняется тем, что при температуре выше критической вещество не может находиться в жидком состоянии.

2. Выразите давление из уравнения Ван-дер-Ваальса и вычислите значение давления углекислого газа в количестве вещества 1 моль при температуре 27 °С в сосуде объёмом 0,3 л. Постоянные Ван-дер-Ваальса для углекислого газа: $a = 0,36 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Решение. Из формулы (20) выразим давление:

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2};$$

$$p = \frac{8,31 \cdot 300}{3 \cdot 10^{-4} - 4,3 \cdot 10^{-5}} - \frac{0,36}{(3 \cdot 10^{-4})^2} = 5,7 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Если считать газ идеальным, то давление согласно уравнению Менделеева—Клапейрона будет равно

$$p = \frac{RT}{V} = 8,31 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Таким образом, используя модель реального газа — идеальный газ — при расчётах давления, получаем ошибку почти 50 %.

3. Определите газ, если известно, что при количестве вещества 80 моль в объёме 20 л при температуре 287 К его давление на стенки сосуда равно $8,83 \cdot 10^6 \text{ Па}$, а при температуре 336 К его давление на стенки сосуда равно $1,069 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Решение. Так как давление в обоих случаях почти в 100 раз больше атмосферного, то очевидно, что газ не-идеальный.

Запишем уравнение Ван-дер-Ваальса для одного моля, занимающего в данном случае объём $V_m = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, и подставим в него данные задачи. Получим два уравнения относительно двух неизвестных a и b :

$$\left(8,83 \cdot 10^6 + \frac{a}{2,5^2 \cdot 10^{-8}}\right)(2,5 \cdot 10^{-4} - b) = 8,31 \cdot 287;$$

$$\left(1,069 \cdot 10^7 + \frac{a}{2,5^2 \cdot 10^{-8}}\right)(2,5 \cdot 10^{-4} - b) = 8,31 \cdot 336.$$

Разделив одно из этих уравнений на другое, получим линейное уравнение относительно a , решением которого является $a = 0,13 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$. Подставив найденное значение в одно из этих уравнений, получим значение $b = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

По таблице значений постоянных Ван-дер-Ваальса находим, что близкие к найденным значениям постоянные у кислорода. Следовательно, исследуемый газ — кислород.

Таблица

Вещество	Формула	a , $\text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$	b , $10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$
Азот	N_2	0,137	3,76
Вода (водяной пар)	H_2O	0,545	3,04
Водород	H_2	0,025	2,67
Воздух	—	1,308	11,41
Гелий	He	0,0034	2,36
Кислород	O_2	0,136	3,17
Углекислый газ	CO_2	0,361	4,28
Хлор	Cl_2	0,650	5,62

Задачи

- 1062** Чем объясняется уменьшение давления при низких температурах реального газа?
- 1063** Различаются ли значения внутренней энергии газа при низких температурах, рассчитанные для идеального газа и для реального, когда моделью «идеальный газ» пользоваться нельзя?
- 1064** Для водяного пара постоянные Ван-дер-Ваальса равны: $a = 0,55 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$. Вычислите критические параметры для водяного пара, взятого в количестве вещества 1 моль.
- 1065** Используя уравнение Ван-дер-Ваальса, покажите, что при одном и том же давлении при некоторых температурах возможны три значения объема газа.
- 1066** В сосуде объемом 10 л находится 0,28 г азота. Постоянные Ван-дер-Ваальса для азота $a = 0,137 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$. Определите объем, занимаемый молекулами, и добавочное давление, обусловленное взаимодействием молекул.

- 1067** Рассчитайте давление, обусловленное силами взаимодействия молекул газа, взятого в количестве вещества 1 кмоль и находящегося при нормальных условиях. Критическая температура для этого газа 417 К, критическое давление 76 атм.

Разные задачи

- 1068** В заряженный плоский конденсатор с расстоянием d между пластинами внесли диэлектрическую пластину толщиной $d/3$ с диэлектрической проницаемостью ϵ . Напряжённость электрического поля воздушного конденсатора была равна E . Определите напряжённость поля в диэлектрической пластине для двух случаев: 1) конденсатор присоединён к источнику; 2) конденсатор отключён от источника.

- 1069** Из одной точки, находящейся на высоте $h = 10$ м над поверхностью земли, одновременно брошены два тела со скоростями $v_1 = 4$ м/с и $v_2 = 9$ м/с, направленными горизонтально в противоположные стороны (рис. 237). На какой высоте их скорости станут взаимно перпендикулярны, и чему будет равно расстояние между телами в этот момент времени?

- 1070** Пассажирский и товарный поезда движутся по параллельным путям со скоростями 72 км/ч и 36 км/ч. За какое время пассажирский поезд проедет мимо товарного, если длина товарного поезда 1200 м, а пассажирского поезда 240 м?

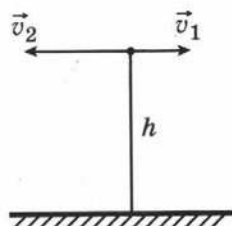


Рис. 237

- 1071** Два электрона, находящиеся на расстоянии 10^{-4} м, одновременно влетели в область однородного электрического поля со скоростью 100 м/с перпендикулярно силовым линиям (рис. 238). Чему должна быть равна напряжённость электрического поля, чтобы при расчётах траектории их движения силой кулоновского взаимодействия зарядов можно было пренебречь? Считайте, что для этого сила кулоновского взаимодействия должна быть на три порядка меньше электростатической силы.

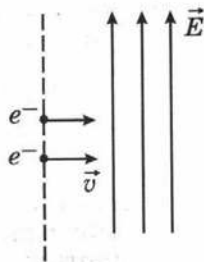


Рис. 238

- 1072** Тело поочерёдно соскальзывает по двум гладким поверхностям A и B , как показано на рисунке 239. Радиусы кривизны поверхностей одинаковы. Время соскальзывания по какой поверхности будет больше?

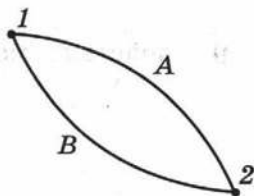


Рис. 239

- 1073** При движении по какой из поверхностей (см. задачу 1072 и рис. 239) скорость тела в конечной точке будет больше? Рассмотрите два случая: 1) без учёта трения; 2) с учётом трения.

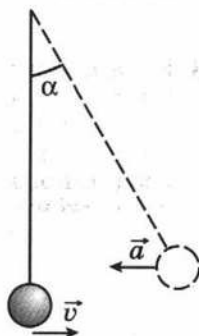


Рис. 240

- 1075** Маятник, состоящий из жёсткого невесомого стержня длиной l и прикрепленного к нему заряженного шарика массой m с зарядом $-q$, подвешен в точке O (рис. 241). На расстоянии a от точки O помещён заряд $+q$. При каком соотношении параметров задачи шарик, располагаясь в нижнем положении, будет находиться в состоянии устойчивого равновесия?

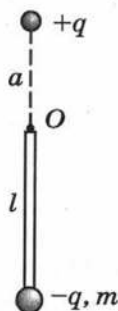


Рис. 241

- 1076** На рисунке 242 изображена призма Френеля, состоящая из двух призм с малым углом $\alpha = 0,001$ рад при вершине. Показатель преломления призмы равен 1,44. Длина призмы $AB = 4$ см. На каком максимальном расстоянии от призмы ещё можно наблюдать интерференционную картину, если на призму падает параллельный пучок лучей?

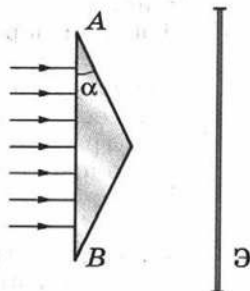


Рис. 242

- 1077** Небольшое плоское зеркало массой 10^{-5} кг подвешено вертикально на невесомой нити длиной 10 см. На зеркало по нормали к нему попадает пучок света от импульсного лазера. На какой максимальный угол может отклониться нить от вертикали, если энергия лазерного импульса равна 10 Дж?
- 1078** Запишите выражение для реактивной силы, действующей на работающий закреплённый воздушный вентилятор, потребляющий мощность N . Диаметр лопастей вентилятора D , коэффициент полезного действия η , плотность воздуха ρ . Считайте, что скорость воздуха по всему сечению струи, создаваемой вентилятором, постоянна.
- 1079** Изобразите картину силовых линий электрического поля, созданного точечным положительным зарядом, расположенным внутри незаряженной проводящей сферической оболочки с внешним и внутренним радиусами r_1 и r_2 соответственно.
- 1080** Пучок параллельных лучей диаметром 2 см падает на собирающую линзу с фокусным расстоянием 10 см. На каком расстоянии от этой линзы надо поместить линзу с фокусным расстоянием 5 см, чтобы выходящий из системы линз пучок был также параллелен? Определите диаметр этого пучка.
- 1081** Как изменится плотность сухого воздуха при увеличении влажности от 10 до 90 %? Температура воздуха 20°C , давление влажного воздуха постоянно.
- 1082** Спортивный молот представляет собой небольшое ядро на тросе длиной l . На какое максимальное расстояние L может улететь ядро спортивного молота, если перед броском сила натяжения троса превышала вес ядра в n раз?
- 1083** К источнику постоянного тока параллельно подключили конденсатор ёмкостью 20 мкФ и катушку индуктивности 0,02 Гн (рис. 243). Значения установившихся напряжений на конденсаторе и силы тока в катушке равны соответственно 100 В и 2 А. После отключения источника в контуре возникают колебания. Какой заряд будет на пластинах конденсатора в тот момент, когда ток в катушке станет равным 1 А? Контур считайте идеальным, активное сопротивление проводов не учитывайте.

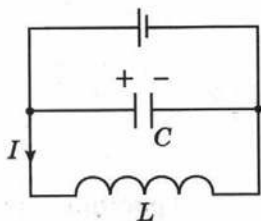


Рис. 243

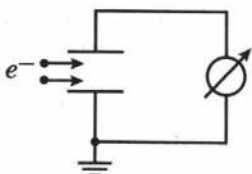


Рис. 244

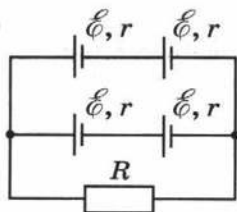


Рис. 245

- 1084** Пластины плоского конденсатора соединены через гальванометр (рис. 244). Одна из пластин конденсатора заземлена. Покажет ли гальванометр наличие тока, если между пластинами пропустить поток электронов?
- 1085** Четыре одинаковых источника тока соединены так, как показано на рисунке 245. Определите количество теплоты, выделившейся во внешнем сопротивлении за 10 мин. ЭДС каждого источника равна 5 В, внутреннее сопротивление — 1 Ом, внешнее сопротивление равно 4 Ом. Определите ещё одно значение внешнего сопротивления, при котором выделится то же количество теплоты.
- 1086** Лампа накаливания мощностью 20 Вт используется для обогрева аквариума объёмом 4 л. За 5 мин вода в аквариуме нагревается на $1,5^\circ\text{C}$. Определите КПД такого обогревателя.
- 1087** В холодильник ставят 5 л воды, температура которой 20°C . За 1 ч вода превращается в лёд с температурой 0°C , при этом воздуху комнаты передаётся 2,16 МДж. Вычислите мощность, потребляемую холодильником.
- 1088** В вершинах равностороннего треугольника со стороной a находятся неподвижные заряды q . В центре треугольника располагается шарик с зарядом q_0 и массой m (рис. 246). Шарику сообщают скорость v_0 и он начинает двигаться перпендикулярно одной из сторон. Определите скорость шарика в точке D , симметричной центру треугольника относительно стороны, которую пересекает шарик при движении.
- 1089** Во сколько раз скорость метеорита, входящего в атмосферу Земли, больше скорости звука. Скорость звука считайте равной 330 м/с. Граница атмосферы находится приблизительно на расстоянии 1000 км от поверхности Земли.

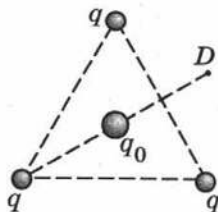


Рис. 246

- 1090** Н Со дна водоёма поднимается пузырёк воздуха. У поверхности воды его объём увеличивается в 4 раза. Определите глубину водоёма в предположении, что температура воды в нём везде одинакова.
- 1091** Н На рисунке 247 показана система блоков. Через первый блок перекинута нить, к концам которой привязаны второй блок и тело массой m_1 . К нити, перекинутой через второй блок, привязаны два тела массами m_2 и m_3 . Определите ускорение тела массой m_1 . Массами блоков и нитей можно пренебречь.
- 1092** Н В кузове автомобиля близко к задней стенке лежит груз массой 500 кг. Коэффициент трения груза о пол кузова равен 0,05. Определите зависимость силы, действующей на стенку, от ускорения автомобиля. Постройте график этой зависимости.
- 1093** Н Два тела движутся навстречу друг другу с одинаковой постоянной по модулю скоростью v_0 сначала по одной прямой (рис. 248), а затем — с момента, когда расстояние между ними было равно L , — по дуге окружности с ускорением a и с той же по модулю скоростью. Найдите расстояние l между телами как функцию времени.
- 1094** Н В цилиндре под невесомым поршнем площадью 1200 см² находится 2 л воды при температуре 0 °С. В воду опускают кусок стали массой 0,5 кг, нагретый до температуры 1000 °С. На какую высоту поднимется поршень?
- 1095** Н При ремонте электроплитки её спираль укоротили на 20 %. Как изменилась мощность плитки?
- 1096** Н Во время тренировки на горизонтальном треке два велосипедиста движутся со скоростями 20 км/ч и 30 км/ч по двум окружностям с общим центром. Коэффициент трения между шинами велосипедов и треком равен μ . Через какие промежутки времени велосипедисты оказываются друг от друга на минимальном расстоянии?

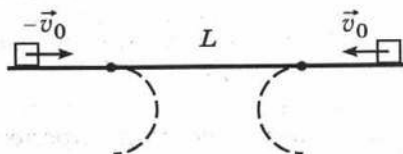


Рис. 248

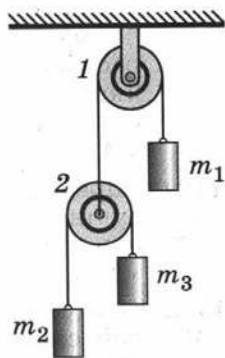


Рис. 247

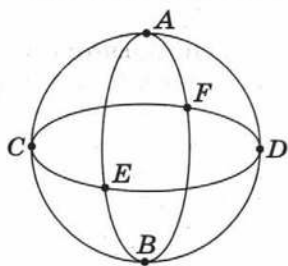


Рис. 249

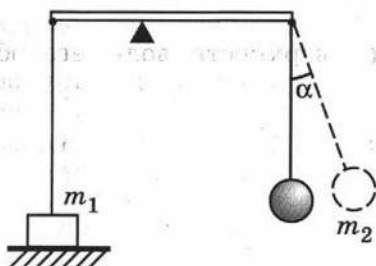


Рис. 250

- 1097** Три одинаковых проволочных кольца соединены в точках A, B, C, D, E, F (рис. 249). Сопротивление проволоки, из которой сделано одно кольцо, равно R . Чему равно сопротивление между точками A и B ?
- 1098** Определите точку пересечения водяных струй, бьющих из двух труб навстречу друг другу. Трубы расположены под углами 30° и 60° к горизонту. Концы труб находятся на одной высоте, при этом расстояние между ними равно 2 м. Скорость истечения воды одинакова и равна 6 м/с.
- 1099** Два тела массами $m_1 = 1,5$ кг и $m_2 = 0,45$ кг подвешены на нитях, прикрепленных к концам лёгкого коромысла, длины плеч которого равны 0,6 м и 1 м (рис. 250). Первое тело лежит на подставке. На какой минимальный угол надо отклонить нить со вторым телом, чтобы, после того как его отпустят, первое тело оторвалось от подставки?
- 1100** Три велосипедиста в начальный момент находятся в точках, являющихся вершинами правильного треугольника со стороной l . Они начинают двигаться по часовой стрелке с одинаковой по модулю скоростью v , причём каждый из них постоянно направляет свой велосипед на велосипед, движущийся перед ним. Через какой промежуток времени они встретятся?
- 1101** Определите силу притяжения пластин плоского воздушного конденсатора, подключённого к источнику напряжения 40 В. Площадь пластин и расстояние между ними равны соответственно 600 см^2 и 2 см.
- 1102** Тело массой 1 кг падает с высоты 39,2 м без начальной скорости и в последнюю секунду пролетает расстояние 17,1 м. Рассчитайте силу сопротивления воздуха, считая её постоянной.

- 1103** Расстояние между пластинами конденсатора изменяется по гармоническому закону: $d = d_0 + D \cos \omega t$, причём $d_0 \gg D$. Напряжение на конденсаторе поддерживается постоянным и равным U_0 . Площадь пластин конденсатора S . Пренебрегая активным сопротивлением проводов, определите силу тока в цепи.
- 1104** Два велосипедиста ездят по круговому треку. Радиус окружности дорожки первого велосипедиста в 3 раза больше радиуса окружности дорожки второго, а угловая скорость второго велосипедиста в 6 раз больше угловой скорости первого. Велосипедисты начинали движение в одном направлении из точек, находящихся на одном радиусе. Определите ближайшие моменты времени, когда они окажутся: 1) опять на одном радиусе; 2) на взаимно перпендикулярных радиусах. Время тренировки 6 ч.
- 1105** Проводник длиной l и массой m подвешен в вертикальной плоскости на двух пружинах жёсткостью k , прикрепленных к диэлектрику в однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 251). Пружины соединены через конденсатор ёмкостью C . Определите период колебаний системы. Индуктивностью пружин, сопротивлением и ёмкостью проводников следует пренебречь.
- 1106** Проводник сопротивлением 20 Ом и массой 200 г лежит на рельсах, расстояние между которыми 40 см. Вся система находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого параллельны рельсам (рис. 252). Проводник подключён к источнику с ЭДС 10 В и сопротивлением 5 Ом. В какой-то момент времени индукция магнитного поля начинает изменяться по закону $B = kt^2$ ($k = 2$ Тл/с²). Через какое время ток, идущий по проводнику, станет равным нулю?

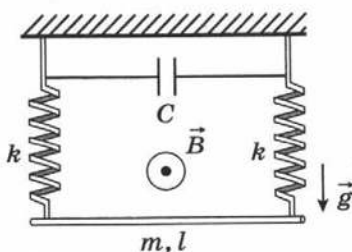


Рис. 251

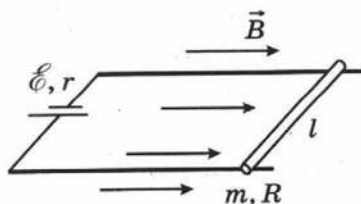


Рис. 252

- 1107** Концы тонкой проволоки, согнутой в виде полукольца радиусом R , соединены жёстким стержнем. Эта конструкция подвешена в точке O , как показано на рисунке 253. Определите период её колебаний.

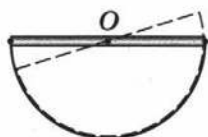


Рис. 253

- 1108** Проводник длиной l и массой m подвешен в вертикальной плоскости на двух пружинах жёсткостью k , прикрепленных к диэлектрику, в однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 254). Пружины соединены катушкой индуктивностью L . Определите частоту ω колебаний проводника. Сопротивлением проволок и их индуктивностью можно пренебречь.

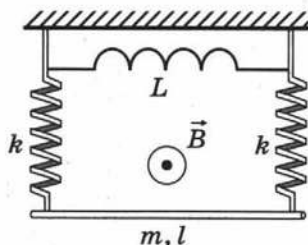


Рис. 254

- 1109** Энергия ионизации атомов газа равна 15 эВ. Определите длину свободного пробега электрона, если при напряжённости $3 \cdot 10^6$ В/м в газе происходит разряд.

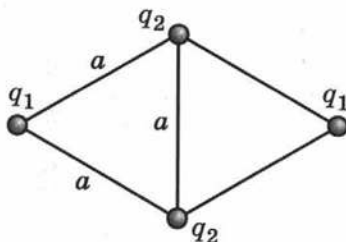


Рис. 255

- 1110** Четыре заряда связаны нитями длиной a каждая, образуя ромб (рис. 255). Определите силу натяжения нити, связывающей заряды q_2 .

Приложение

Физические величины и их значения, необходимые для решения задач

Таблица 1

Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Атомная единица массы $\left(\frac{1}{12}\right.$ массы нуклида углерода ^{12}C)	а. е. м.	$1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2$
Скорость света в вакууме	c	$2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Гравитационная постоянная	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	μ_0	$1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008665 \text{ а. е. м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,007276 \text{ а. е. м.}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,110 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.}$
Элементарный заряд (заряд электрона)	e, q_e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = \frac{R}{N_A}$	$1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Планка	h	$6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

Продолжение

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Универсальная газовая постоянная	R	8,314 Дж/(моль · К)
Постоянная Фарадея	$F = N_A e$	$9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль
Удельный заряд электрона	$\frac{e}{m_e}$	$1,759 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Постоянная Ридберга	R_d	$1,097 \cdot 10^{-7}$ м ⁻¹

Таблица 2

Плотности веществ (ρ)

Твёрдое вещество	$\rho, 10^3 \text{ кг / м}^3$	Жидкость	$\rho, 10^3 \text{ кг / м}^3$	Газ (при нормальных условиях)	$\rho, 10^3 \text{ кг / м}^3$
Алюминий	2,7	Ацетон	0,79	Азот	1,25
Железо	7,8	Вода	1,00	Водород	0,09
Золото	19,3	Глицерин	1,26	Воздух	1,29
Лёд	0,9	Масло	0,9	Кислород	1,43
Медь	8,9	касторовое		Углекислый газ	1,98
Свинец	11,3	Керосин	0,8	Хлор	3,21
Серебро	10,5	Ртуть	13,6		
Сталь	7,8				

Таблица 3

Модули упругости (E)

Материал	$E, \text{ ГПа}$	Материал	$E, \text{ ГПа}$
Алюминий	70	Свинец	16
Железо	200	Сталь	210
Медь	130	Стекло	60

Таблица 4

Коэффициенты теплового расширения

Твёрдое вещество	Коэффициент линейного расширения α , 10^{-5} К^{-1}	Жидкость	Коэффициент объёмного расширения β , 10^{-4} К^{-1}
Алюминий	2,4	Глицерин	5
Железо	1,2	Керосин, бензин	10
Медь	1,7	Ртуть	1,8
Сталь	1,1	Спирт	1,1
Стекло	0,9	Вода	2 (0,5—6)

Таблица 5

Давление насыщенного пара воды ($p_{\text{н. п}}$) при различных температурах (t)

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н. п}}, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н. п}}, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н. п}}, \text{кПа}$
1	0,653	11	1,31	21	2,49
2	0,706	12	1,39	22	2,64
3	0,759	13	1,49	23	2,81
4	0,813	14	1,59	24	2,98
5	0,880	15	1,71	25	3,17
6	0,933	16	1,81	26	3,36
7	0,999	17	1,93	27	3,56
8	1,07	18	2,07	28	3,78
9	1,15	19	2,19	29	3,99
10	1,23	20	2,33	30	4,24

Таблица 6

Удельная теплота плавления (λ) и температура плавления ($t_{\text{пл}}$)

Вещество	$\lambda, 10^3 \text{ Дж/кг}$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$
Лёд	333	0
Медь	175	1083
Свинец	25	327
Олово	59	232

Таблица 7

Удельные теплоёмкости (с)

Вещество	$c, 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Вещество	$c, 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Алюминий	0,90	Свинец	0,13
Вода	4,19	Серебро	0,23
Железо	0,46	Серная кислота	1,59
Керосин	2,14	Спирт	2,43
Лёд	2,10	Сталь	0,46
Медь	0,38	Стекло	0,83
Олово	0,28		

Таблица 8

**Удельная теплота парообразования (r)
и температура кипения (t)
при нормальном давлении**

Вещество	$r, 10^6 \text{ Дж/кг}$	$t, ^\circ\text{C}$
Вода	2,26	100
Вольфрам	4,80	5900
Кислород	0,21	-183
Ртуть	0,28	357
Серебро	2,30	558
Спирт	0,85	78

Таблица 9

Удельная теплота сгорания (q)

Вещество	$q, 10^6 \text{ Дж/кг}$	Вещество	$q, 10^6 \text{ Дж/кг}$
Бензин	46,0	Нефть	44,0
Газ	44,0	Порох	3,8
Дерево	0,8—1,5	Спирт	27,0
Дизельное топливо	42,7	Каменный уголь	29,0

Таблица 10

Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ)

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Вода	81,0	Слюда	7,0
Кварц	4,5	Спирт	26,0
Керосин	2,0	Стекло	7,0
Масло	2,0	Фарфор	6,0
Парафин	2,0	Эбонит	2,7

Таблица 11

**Удельное сопротивление (ρ)
и температурный коэффициент (α)**

Вещество	$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\alpha, 10^{-3} \text{ К}^{-1}$
Алюминий	2,5	4,5
Вольфрам	5,3	4,6
Железо	8,7	6,2
Медь	1,7	4,3
Нихром	100,0	0,4
Свинец	21,0	4,2
Серебро	1,5	4,1
Сталь	15,0	6,0
Уголь	400,0	0,8

Таблица 12

Показатель преломления среды (n)

Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,42	Масло	1,52
Вода	1,33	Спирт	1,36
Кварц	1,54	Стекло	1,54

Таблица 13

Работа выхода электрона из металла ($A_{\text{вых}}$)

Вещество	$A_{\text{вых}}, \text{ эВ}$	Вещество	$A_{\text{вых}}, \text{ эВ}$
Вольфрам	4,50	Натрий	2,27
Калий	2,15	Платина	5,29
Литий	2,39	Цезий	1,89
Медь	4,47	Цинк	3,74

Таблица 14

Массы изотопов*

Изотоп	Масса изотопа, а. е. м.	Изотоп	Масса изотопа, а. е. м.
^1H (водород)	1,00783	^{10}B (бор)	10,01294
^1H , D (дейтерий)	2,01410	^{12}C (углерод-12)	12,00000
^3H , T (тритий)	3,01605	^{13}C (углерод-13)	13,003355
^3He (гелий-3)	3,01602	^{13}N (азот-13)	13,005739
^4He (гелий-4)	4,00260	^{14}N (азот-14)	14,00301
^6Li (литий-6)	6,01513	^{16}O (кислород-16)	15,99491
^7Li (литий-7)	7,01601	^{17}O (кислород-17)	16,99913
^9Be (бериллий-8)	8,00531	^{21}Al (алюминий)	25,98146
^9Be (бериллий-9)	9,01218	^{210}Po (полоний)	209,98297

* Для нахождения массы ядра данного изотопа необходимо вычесть суммарную массу электронов из массы изотопа.

Таблица 15

**Периоды полураспадов ($T_{\frac{1}{2}}$)
радиоактивных элементов**

Зарядовое число	Изотоп	Тип распада	T
27	Co (кобальт)	β	5,2 года
38	Sr (стронций)	β	28 лет
84	Po (полоний)	α	138 сут.
86	Rn (радон)	α	3,8 сут.
88	Ra (радий)	α	1620 лет
92	U (уран)	α	$4,5 \cdot 10^9$ лет

Таблица 16

Астрономические величины

Косми- ческое тело	Средний радиус, м	Масса, кг	Средняя плотность, 10^3 кг/м^3	Период обраще- ния вокруг оси, сут.
Солнце	$6,96 \cdot 10^8$	$1,99 \cdot 10^{30}$	1,41	25,4 (средн.)
Земля	$6,38 \cdot 10^6$	$5,96 \cdot 10^{24}$	5,52	1,0
Луна	$1,74 \cdot 10^6$	$7,35 \cdot 10^{22}$	3,30	27,3

Таблица 17

Параметры орбит

Планета	Среднее расстояние от Солнца, 10^6 км	Период обращения вокруг Солнца, годы
Меркурий	59,8	0,24
Венера	104,7	0,62
Земля	149,6	1,00
Марс	224,4	1,88
Юпитер	777,9	11,86
Сатурн	1421,2	29,46
Уран	2871,0	84,01
Нептун	4497,0	164,79

Таблица 18

Множители и приставки для обозначения десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозначение	Пример
10^{12}	тера	Т	терагерц, ТГц
10^9	гига	Г	гигаватт, ГВт
10^6	мега	М	мегаом, МОм
10^3	кило	к	километр, км
10^2	гекто*	г	гектолитр, гл
10^1	дека*	да	декалитр, дал
10^{-1}	деци*	д	дециметр, дм
10^{-2}	санτι*	с	сантиметр, см
10^{-3}	милли	м	милливольт, мВ
10^{-6}	микро	мк	микроампер, мкА
10^{-9}	нано	н	наносекунда, нс
10^{-12}	пико	п	пикофарад, пФ

* Звёздочкой отмечены приставки, которые допускается применять только для широко используемых единиц, например: дециметр, сантиметр, декалитр, гектолитр.

Физические величины и их единицы

Величина		Единица		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Размерность
Время	t	секунда (минута, час, сутки)	с (мин, ч, сут.)	$\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$
Давление	p, P	паскаль (атмосфера, миллиметр ртутного столба)	Па (атм, мм рт. ст.)	
Длина	l	метр	м	$\text{А} \cdot \text{с}^4/(\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ $\text{А} \cdot \text{с}$
Длина волны	λ	метр	м	
Ёмкость электрическая	C	фарад	Ф	
Заряд электрический, количество электриче- ства	q, Q	кулон	Кл	
Индуктивность	L	генри	Гн	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/(\text{А}^2 \cdot \text{с}^2)$ $\text{кг}/(\text{А} \cdot \text{с}^2)$
Индукция магнитная	B	тесла	Тл	
Количество вещества	ν	моль	моль	К^{-1} ($^{\circ} \text{C}^{-1}$)
Коэффициент линейного расширения	α	кельвин в минус первой степени (градус Цельсия в минус первой степени)	К^{-1} ($^{\circ} \text{C}^{-1}$)	
Коэффициент объёмного расширения	β	кельвин в минус первой степени (градус Цельсия в минус первой степени)	К^{-1} ($^{\circ} \text{C}^{-1}$)	

Коэффициент поверхностного натяжения	σ	ньютон на метр	Н/м	кг/с ²
Масса	m	килограмм, атомная единица массы	кг, а. е. м.	
Масса молярная	M	килограмм на моль	кг/моль	
Модуль упругости	E	паскаль	Па	кг/(м · с ²)
Момент силы	M	ньютон-метр (дина-сантиметр)	Н · м (дин · см)	кг · м ² /с ²
Мощность	P, N	ватт	Вт	кг · м ² /с ³
Напряжение электрическое	U	вольт	В	кг · м ² /(А · с ³)
Напряжённость магнитного поля	H	ампер на метр	А/м	
Напряжённость электрического поля	E	вольт на метр (ньютон на кулон)	В/м (Н/Кл)	кг · м/(А · с ³)
Объём	V	кубический метр (литр)	м ³ (л)	
Период	T	секунда	с	
Период полураспада радионуклида	$T_{1/2}$	секунда (минута, час, сутки)	с (мин, ч, сут.)	
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м ³	
Плотность электрического заряда объёмная	ρ	кулон на кубический метр	Кл/м ³	А · с/м ³
Плотность электрического заряда поверхностная	σ	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	А · с/м ²

Величина		Единица		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Размерность
Площадь	S, s	квадратный метр	m^2	$кг \cdot м^2 / (A \cdot c^2)$
Поток магнитный	Φ	вебер	Вб	$кг \cdot м^2 / c^2$
Работа	A	джоуль (киловатт-час)	Дж (кВт·ч)	$кг \cdot м^2 / (A \cdot c^3)$
Разность потенциалов	$\phi_1 - \phi_2, \Delta\phi$	вольт	В	
Сила	F	ньютон	Н	$кг \cdot м / c^2$
Сила оптическая линзы	D	метр в минус первой степени (диоптрия)	m^{-1} (дптр)	
Сила электрического тока	I	ампер	A	
Сила электродвижущая	$\mathcal{E}$	вольт	В	$кг \cdot м^2 / (A \cdot c^3)$
Скорость линейная	v	метр в секунду (километр в час)	$м/с$ (км/ч)	$м/с$
Скорость угловая	ω	радиан в секунду	рад/с	$1/c$
Сопротивление электрическое	R, r	ом	Ом	$кг \cdot м^2 / (A^2 \cdot c^3)$
Сопротивление электрическое удельное	ρ	ом-метр	Ом·м	$кг \cdot м^3 / (A^2 \cdot c^3)$
Температура	T, t	кельвин (градус Цельсия)	К (°C)	

Теплоёмкость удельная	c	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг · К)	$\text{м}^2/(\text{К} \cdot \text{с}^2)$
Теплота	Q	джоуль	Дж	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$
Теплота парообразования удельная	r	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2/\text{с}^2$
Теплота плавления удельная	λ	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2/\text{с}^2$
Теплота сгорания топлива удельная	q	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2/\text{с}^2$
Угол плоский	α, β, γ	радиан (градус)	рад (°)	
Угол телесный	ω, Ω	стерадиан	ср	
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	м/с ²	
Частота	ν	герц	Гц	1/с
Частота вращения	n	секунда в минус первой степени	с ⁻¹	1/с
Энергия	W, E	джоуль (электрон-вольт)	Дж (эВ)	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$
Энергия внутренняя	U	джоуль	Дж	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$

Примечание. 1 атм. = 760 мм рт. ст. = $1,013 \cdot 10^6$ Па;

1 а. е. м. = $1,6604 \cdot 10^{-27}$ кг = 931,5 МэВ/с² (с — скорость света);

1 кВт · ч = $3,6 \cdot 10^6$ Дж; 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж = $1,6 \cdot 10^{-16}$ кг · м²/с².

В Международной системе единиц (СИ) килограмм (кг), метр (м), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль и кандела являются основными единицами, остальные — производными.

**Периодическая таблица химических элементов
Д. И. Менделеева**

периоды	I	II	III	IV	V
1	{H}				
2	Li ³ 6,941 литий	Be ⁴ 9,01218 бериллий	5 10,811 бор	6 12,011 углерод	7 14,0067 азот
3	Na ¹¹ 22,9898 натрий	Mg ¹² 24,305 магний	13 26,9815 алюминий	14 28,086 кремний	15 30,9738 фосфор
4	K ¹⁹ 39,0983 калий	Ca ²⁰ 40,078 кальций	Sc ²¹ 44,956 скандий	Ti ²² 47,88 титан	V ²³ 50,942 ванадий
	29 63,546 Cu медь	30 65,39 Zn цинк	31 68,723 Ga галлий	32 72,61 Ge германий	33 74,9216 As мышьяк
5	Rb ³⁷ 85,47 рубидий	Sr ³⁸ 87,62 стронций	Y ³⁹ 88,906 иттрий	Zr ⁴⁰ 91,224 цирконий	Nb ⁴¹ 92,906 ниобий
	47 107,868 Ag серебро	48 112,41 Cd кадмий	49 114,82 In индий	50 118,710 Sn олово	51 121,75 Sb сурьма
6	Cs ⁵⁵ 132,9054 цезий	Ba ⁵⁶ 137,33 барий	La * ⁵⁷ 138,9056 лантан	Hf ⁷² 178,48 гафний	Ta ⁷³ 180,948 тантал
	79 196,967 Au золото	80 200,59 Hg ртуть	81 204,383 Tl таллий	82 207,2 Pb свинец	83 208,9804 Bi висмут
7	Fr ⁸⁷ [223] франций	Ra ⁸⁸ [226] радий	Ac ** ⁸⁹ [227] актиний	Rf ¹⁰⁴ (261) резерфордий	Db ¹⁰⁵ (262) дубний

*** ЛАНТАНОИДЫ**

Ce ⁵⁸ 140,12 церий	Pr ⁵⁹ 140,9077 празеодим	Nd ⁶⁰ 144,24 неодим	Pm ⁶¹ [145] прометий	Sm ⁶² 150,36 самарий	Eu ⁶³ 151,96 европий	Gd ⁶⁴ 157,26 гадолиний
Tb ⁶⁵ 158,925 тербий	Dy ⁶⁶ 162,50 диспрозий	Ho ⁶⁷ 164,930 гольмий	Er ⁶⁸ 167,26 эрбий	Tm ⁶⁹ 168,934 тулий	Yb ⁷⁰ 173,04 иттербий	Lu ⁷¹ 174,97 лютеций

VI		VII		VIII	
		1 1,0079 H водород	2 4,0028 He гелий	Обозначение элемента Атомный номер Литий Относительная атомная масса	
8 15,9994 O кислород	9 18,9984 F фтор	10 20,179 Ne неон			3 6,939 Li литий
16 32,066 S сера	17 35,463 Cl хлор	18 39,948 Ar аргон			
Cr 24 51,996 хром	Mn 25 54,9380 марганец	Fe 26 55,847 железо	Co 27 58,933 кобальт	Ni 28 58,69 никель	
34 78,96 Se селен	35 79,904 Br бром	36 83,80 Kr криптон			
Mo 42 95,94 молибден	Tc 43 [98] технеций	Ru 44 101,07 рутений	Rh 45 102,908 родий	Pd 46 106,4 палладий	
52 127,60 Te теллур	53 126,9045 I йод	54 131,30 Xe ксенон			
W 74 183,84 вольфрам	Re 75 186,2 рений	Os 76 190,2 осмий	Ir 77 192,22 иридий	Pt 78 195,08 платина	
84 [209] Po полоний	85 [210] At астат	86 [222] Rn радон			
Sg 106 [286] сигборгий	Bh 107 [267] борий	Hs 108 [269] хассий	Mt 109 [268] мейтнерий	Ds 110 [271] дармштадтий	

** АКТИНОИДЫ

Th 90 232,038 торий	Pa 91 [231] протактиний	U 92 238,03 уран	Np 93 [237] нептуний	Pu 94 [244] плутоний	Am 95 [243] амерций	Cm 96 [247] курий
Bk 97 [247] берклий	Cf 98 [251] калifornий	Es 99 [252] эйнштейний	Fm 100 [257] фермий	Md 101 [258] менделевий	No 102 [259] нобелий	Lr 103 [260] лоуренсий

Ответы

Часть 1

МЕХАНИКА

1. 2,6 м; 1,5 м. 2. $\approx 4,3$ м. 3. 4 м; 6 м; 30° . 4. $\approx 1,4$ м; 45° . 5. $\approx 6,12$ м; вектор $\vec{r}_B$ составляет угол 45° с осью OX . 6. -2 м; -6 м. 7. 6 м; 60° . 8. 5 м; $\approx 4,12$ м; $\approx 4,47$ м. 9. $\approx 4,2$ м; 3 м; -3 м; -45° . 10. $a_x \approx 3,46$ м; $a_y = 2$ м; 1) $b_x = -2,5$ м, $b_y = 4,3$ м; 2) $b_x = 2,5$ м, $b_y = -4,3$ м. 11. Составляющими вектора $\vec{a}$ по двум неколлинеарным направлениям являются векторы $\vec{b}$ и $\vec{c}$, причём $\vec{a} = \vec{b} + \vec{c}$. Проекциями вектора являются числа, равные произведениям модуля вектора на косинус угла между вектором и заданными направлениями. 13. Нет. Модуль перемещения $|\Delta \vec{r}| \leq l$, где l — длина пути. 14. 1,41 см. 15. 5 м. 16. 5 км; 3 км. 17. $|\Delta \vec{r}| = l \approx 26$ см; $|\Delta \vec{r}_B| \approx 77,6$ см; $l_B \approx 78,5$ см. 18. $\approx 3,9$ см; $\approx 82,4$ см. 19. $l_A = 4,71$ м; $l_B \approx 15,7$ м; $l_C \approx 18,8$ м; $l_O \approx 22$ м; $|\Delta \vec{r}_A| = 3$ м; $|\Delta \vec{r}_B| = 4$ м; $|\Delta \vec{r}_C| \approx 2,83$ м; $|\Delta \vec{r}_O| = 0$. 20. 7 км; 5 км. 21. $|\Delta \vec{r}| = 20 \text{tg} 30^\circ \approx 11,5$ м; $l = 20 \left(1 + \frac{1}{\cos 30^\circ} \right) \approx 43,1$ м. 22. $x = 1 + 2t$ (м); $\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}t$,

- где $|\vec{r}_0| = 1$ м; $|\vec{v}| = 2$ м/с. 23. -3 м/с. 24. 0,1 ч; 0,9 км. 26. $v_1 = 1,25$ м/с, $v_2 = 5$ м/с. 28. 1) $x = 20 - 4t$; 3) 5 с. 29. 1) 1 м/с; 3 м/с; 2) $x_1 = t$ (м); $x_2 = 3(t - 20)$ (м); 3) через 10 с от момента пачала движения второго тела. 30. 54 км. 31. 0—4 с — движение равномерное со скоростью $v_x = 0,5$ м/с; 4—6 с — движение равномерное со скоростью $v_x = 2$ м/с; 6—12 с — движение равномерное со скоростью $v_x = -1$ м/с. 33. $v_{Cx} = v$, $v_{Cy} = 0$; $v_{Dx} = 0$, $v_{Dy} = -v$. 34. При прямолинейном движении. 35. 1) 90° ; 2) 180° . 36. 35 м/с; 35 м/с. 37. 10 с. 38. 25 м/с. 39. $10 \text{tg} 60^\circ \approx \approx 17$ м/с. 40. 1) Лодочник должен направить лодку под углом 60° к берегу, $t_1 = 58$ с; 2) $t_2 = 50$ с, лодка сместится на 50 м вниз по течению реки. 41. $v_{\text{отн}} = \sqrt{v_c^2 + v_n^2 + \sqrt{2}v_n v_c}$; $\sin \beta = \frac{v_n \sqrt{2}}{2v_{\text{отн}}}$. 42. $\text{tg} \alpha = \frac{v_{\text{отн}}}{v_0}$. 43. $\approx 9,2$ м/с. 44. 4 м/с; $\approx 4,2$ мин. 45. Указание. Представьте, что вы находитесь на одной из галактик и определяете скорость остальных галактик, движущихся относительно вас. 46. 18 км/ч;

- ≈ 65 км/ч. 47. $v = v_1 \frac{D}{\sqrt{h^2 - D^2}}$. Указание. Для того чтобы зонт задерживал максимальный поток, скорость каплей должна быть перпендикулярна его поверхности. Считайте, что зонт плоский и верхний край зонта почти касается головы человека. 48. $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$, где α — угол между направлением движения человека и перпендикуляром к шоссе; $\sin \alpha_1 = \frac{2}{3}$, $\sin \alpha_2 = \sin(180^\circ - \alpha_1)$. 49. 6 м/с. 50. 3,2 км/ч. 51. 5 км/ч; 7 км/ч. 52. 24 км/ч; 0. 53. $2,32 \cdot 10^4$ км/ч; 1,53 км/ч; $1,52 \cdot 10^4$. 54. 9,44 км/ч; 7,9 км/ч. 55. 7,46 км/ч. 56. 2 м/с². 57. $\approx 3,5$ м/с²; 2,5 м/с²; 0. 58. 5 м/с². 59. 1,25 м/с²; $\frac{10}{3}$ м/с². 60. $v_x = 2 - 4t$ (м/с). 61. $a = 5$ м/с²; $\tan \alpha = \frac{3}{4}$, $\alpha \approx 37^\circ$. 62. 5 м/с. 63. 1) $v_x = 5 \cos 60^\circ + 4t \cos 45^\circ$, $v_y = 5 \sin 60^\circ + 4t \sin 45^\circ$; 2) $v \approx 25$ м/с. 64. $x = -2t + 2t^2$ (м); 4 м; 6 м/с. 65. 64 м. 66. $\frac{5}{3}$ м/с, $\frac{10}{3}$ м/с². 67. $\frac{a_2}{a_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = 2,25$. 68. 2. 69. 5 с. 70. $y = 2t + 4t^2$; $v_y = 2 + 8t$. 71. 1) 22,5 м; 2) 40 м. 72. 10 м/с²; 40 м. 73. 1) $v_1 = 0$, $a_{1x} = 1$ м/с²; 2) $v_2 = 2$ м/с, $a_{2x} = 1$ м/с²; 3) $v_3 = 2$ м/с, $a_{3x} = -1$ м/с². 75. $x(1) = 14$ м, $x(2) = 20$ м, $x(3) = 22$ м, $x(4) = 20$ м, $x(5) = 14$ м, $x(6) = 4$ м; $|\Delta \vec{r}| = 0$; $l = 44$ м. 76. $x = 2 + 1,5t^2$ (м); $v_x = 3t$ (м/с). 78. $|\Delta \vec{r}_1| = 40$ м; $|\Delta \vec{r}_2| = 70$ м; $|\Delta \vec{r}_3| = 80$ м; $|\Delta \vec{r}_4| = 40$ м. 79. $t_1 = 5$ с, $t_2 = 10$ с. 80. $x(t) = 10 + 10t - t^2$ (м); $v_x(t) = 10 - 2t$ (м/с). 81. 7,5 м/мин². 83. 8 м; $\approx 8,3$ м. 84. 1 с; 10 м/с. 85. ≈ 27 м. 86. 0,6 м. 87. 2 с; $\approx 1,4$ с; $\approx 0,6$ с. 88. 4,9 м; ≈ 24 м. 89. 13 м. 90. ≈ 27 м/с. 91. ≈ 300 м. 92. ≈ 11 м/с. 93. 8. 94. 20 м/с; 36 м/с. 95. ≈ 32 м; ≈ 59 м. 96. 15 м/с; 48 м. 97. ≈ 2 м. 98. $\tan \alpha = 2$, $\alpha = 63^\circ$. 99. Указание. Запишите уравнения движения тела по горизонтальной и вертикальной осям и исключите время. В результате получите зависимость y от x . По виду этой зависимости вы можете определить тип кривой. 100. 1,64 м. 101. ≈ 870 м. 102. ≈ 13 м; ≈ 16 м/с; $\approx 8,8$ м/с. 103. $v_{\min} = \frac{l}{\cos \alpha \sqrt{2(l \tan \alpha + h)}}$. 104. 700 м. 105. ≈ 10 м/с. 106. 3 м. 107. 7,6 м/с; 5,1 м. 108. $37,5^\circ$. 109. 2 раза. 110. $\frac{R_A}{R_B} = 4$.

111. Равномерно по окружности. Замедленное движение по окружности. 112. 2; 2. 113. 12,56 рад/с; $\approx 3,8$ м/с; ≈ 47 м/с². 114. $8,64 \cdot 10^{-4}$ рад/с; $\approx 7 \cdot 10^3$ м/с. 115. 8 м/с². 116. ≈ 18 м/с². 117. $v_A = 6$ м/с; $v_B = 6,3$ м/с. 118. 1 м/с; 2 м/с. 119. $\approx 1,74 \cdot 10^{-3}$ рад/с; $\approx 2,6 \cdot 10^{-3}$ см/с. 120. $\omega = \frac{3v_1}{4R}$; $v_0 = \frac{v_1 - v_2}{2}$. 121. 1 рад/с. 122. 0,15 м/с². 123. $\approx 3,46$ м/с.

$$124. \sqrt{v_1^2 + \frac{(v_2 - v_1 \cos \alpha)^2}{\sin^2 \alpha}}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{v_1 - v_2 \cos \alpha}{v_2 \sin \alpha}, \quad \text{где } \gamma \text{ — угол между}$$

векторами скоростей $\vec{v}$ и $\vec{v}_2$. Указание. Проекции скорости машины на оси, направленные вдоль канатов, равны скоростям канатов.

$$125. 1) x = 0; \quad y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}; \quad 2) x = -vt; \quad y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

126. Сила трения, возникающая при движении ребёнка по льду и равная нулю, когда он неподвижен относительно льда. 127. Нет, не означает; конечную скорость определяют начальные условия. 128. Нет, движение по инерции — это движение, продолжающееся без действия внешних сил, а в этом случае на автомобиль действуют внешние силы, но действие их скомпенсировано. 129. 1) С руками баскетболиста и Землёй; 2) с Землёй и воздухом (сила сопротивления). 130. С нитью и Землёй, модули сил равны. 131. Нельзя. 132. Чем меньше эталонная сила, тем точнее измерение. 133. Нельзя, в инерциальных системах отсчёта одинаково записываются законы динамики. 134. Нельзя. 135. 3 кН. 136. 2 Н. 137. 20 м/с². 138. 2,2 м/с², направлено вверх. 139. $\approx 0,91$ м/с². 140. 0,1 Н. 141. 20 Н. 142. ≈ 52 кН. 144. $\approx 3,1$ Н. 145. $52 \text{ кН} \geq T \geq 46 \text{ кН}$. 146. 30 кг. 147. 2,5 м/с². 148. $\approx 1,8$ м/с. 149. 4,8 Н. 150. 2,5 м/с²; 1,25 м/с²; 22,5 Н; 45 Н. 151. ≈ 82 м. 152. $\approx 4,6$ рад/с. 153. 1 Н. 154. $\approx 8,2$ рад/с. 155. 189 Н;

$$1560 \text{ Н. } 156. l_2 = \frac{m_1}{m_2} \frac{g}{\omega^2}. \quad 157. \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{(l-R)(R+l+2r)}}.$$

$$158. v \geq \sqrt{\frac{gr}{\mu}}. \quad 159. \approx 15^\circ. \quad 160. \approx 30 \text{ км/с}^2; \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2.$$

$$161. 5,8. \quad 163. x = -vt; \quad y = h - \frac{gx^2}{2v^2}.$$

164. $\approx 6 \cdot 10^{24}$ кг. 165. $(\sqrt{2} - 1)R_3 \approx 0,4R_3$. 166. $v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}}$.
 167. $r = \sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}$. 168. ≈ 110 кг/м³. 169. 4,8 ч. 170. $\approx 6,5$ км/с.
 171. 1,7 км/с. 172. На 14 Н. 173. 4,9 м/с². 174. $\sqrt{3}g$.
 175. 1) 180 км/ч; 2) на 690 Н. 176. ≈ 220 кг/м³.
 177. $\frac{2\pi(R+h)}{\sqrt{gR\left(\frac{R+h}{R}\right)^2 - 1}}$. 178. ≈ 12 ч. 179. Увеличится на 60 Н.
 180. 4 кН/м. 181. 1 м/с². 182. 1) 0; 2) $\frac{ma}{k}$. 183. $\Delta x = \frac{ma}{k}$.
 184. 1 мм. 185. 1,8 см; 2,4 см; 1,2 см; 1,6 см. 186. $\approx 2,8$ м/с.
 187. 20 м/с. 188. 1. 189. 6 м/с². 190. ≈ 78 м. 191. 1) $mg\cos\alpha$;
 2) $m\sqrt{(g\sin\alpha - a)^2 + g^2\cos^2\alpha}$. 192. 5 м/с². 193. 3 м/с²; 6 мм.
 194. 0,22. 195. $\approx 0,18$ м/с². 196. Через 1,5 с. 197. ≈ 570 Н.
 198. ≈ 2 м/с²; $\approx 1,4$ Н. 199. ≈ 1 м. 200. ≈ 8 м/с²; 2,1 м/с².
 201. 2,5 м/с. 202. 0,1 м/с. 203. $\approx 1,5$ кг/с.
 204. 6 кг. 205. 0,4. 206. 37,5 Н. 207. 0,19. 208. 5 Н.
 209. 13 с. 210. 3 кг · м/с. 211. ≈ 450 кг · м/с.
 212. 16 Н · с; 1 м/с. 213. 10 м/с. 214. 2 м/с. 215. 1,5 м/с.
 216. 1) 2,4 м/с; 2) 4,4 м/с. 217. $\frac{1}{5}v_0$. 218. 0,8 м. 219. $\sqrt{\frac{gIM}{m+M}}$.
 220. $\sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2\cos\alpha}$. 221. 57 м. 222. ≈ 6 м. 223. 1) Пер-
 вым должен прыгнуть человек с большей массой; 2) ≈ 3 м/с.
 224. $\frac{1}{3}$ м/с. 225. $\approx 2,8 \cdot 10^3$ м/с. 226. $3,6 \cdot 10^4$ Н. 227. 99,96 %.
 Указание. Оцените значение силы F взаимодействия пули
 и шара по изменению импульса пули, вычисляя время
 взаимодействия по формуле $\Delta t = \frac{2d}{v_1 + v_0}$. Затем найдите от-
 ношение $\frac{F - F_{\text{тр}}}{F}$, где $F_{\text{тр}}$ — сила трения шара о поверх-
 ность, на которой он лежит.
 228. -15 Дж; -15 Дж. 229. $A_{\text{тяж}} = 0$; $A_N = 0$; $A_{\text{нат}} \approx$
 $\approx 2,2 \cdot 10^4$ Дж; $A_{\text{тр}} \approx -800$ Дж. 230. $2,2 \cdot 10^4$ Дж; $-2 \cdot 10^4$ Дж.
 231. -1710 Дж; 1960 Дж. 232. $A_{\text{тяж}} = -5880$ Дж; $A_N = 0$;
 $A_{\text{тр}} = -1180$ Дж; $A_{\text{нат}} = 7200$ Дж. 233. Работы равны.
 234. 25 Вт. 235. 74 кВт. 236. ≈ 470 Вт. 237. ≈ 900 кг.

238. 1) ≈ 140 кВт; 2) ≈ 190 кВт. 239. 35 Дж; 0,097 Вт.
 240. -900 Дж. 241. 150 Дж. 242. $\sqrt{2gh(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha)}$.
 243. ≈ 7 м/с. 244. В 4 раза. 245. 625 Н. 246. $\sqrt{\frac{2(2mgh - A)}{m}}$.
 247. ≈ -1 Дж. 248. 1,1. 249. ≈ 10 м. 250. -4 Дж; 0; -8 Дж.
 251. 1) $-mgh$; 2) 0; 3) $\sqrt{2gh}$. 252. $v = \sqrt{\frac{2\left(gh\left(\frac{4}{3}\rho\pi r^3 - m\right) - Fh\right)}{m}}$.
 253. 2,5 м. 254. ≈ 3 м/с. 255. 1 Дж; -0,5 Дж; $A_{\text{тяж}} \geq |A_{\text{упр}}|$.
 256. 1) 10^3 Н/м; 2) -1,6 Дж. 257. 1,8 см. 258. 0,1 Дж.
 259. 0,5 м/с. 260. -20 Дж; +20 Дж. 261. $\frac{k\Delta l_1^2}{8}$. 262. 7000 Дж;
 -2100 Дж. 263. 1,2 м. 264. $\sqrt{2gh}$. 265. 1) 3 м/с; 2) 2,4 м/с;
 3) 4,4 м/с. 266. $\approx 8,5$ см; $\approx 8,5$ см; потенциальная энергия
 шарика в поле силы тяжести существенно меньше потен-
 циальной энергии деформированной пружины. 267. 1) 2 м/с;
 2) 2 м/с. 268. $\approx 2,6$ м/с. 269. 40° . 270. 600 м/с. 271. 4,3 м/с.
 272. $\frac{5}{2} R$. 273. $\sqrt{\frac{2m_2 E}{m_1(m_1 + m_2)}}$; $\sqrt{\frac{2m_1 E}{m_2(m_1 + m_2)}}$. 274. На $6mg$.
 275. Ниже на 78 см. 276. $2\sqrt{\frac{(M - m)h(H - h)}{M}}$. 277. 3; $\frac{3}{4}$.
 278. 3,1 м/с. 279. $v > v_0\sqrt{\frac{m + M}{M}}$. 280. $\frac{2\mu g(m + m_0)}{m_0}\sqrt{\frac{2(m + m_0)}{k}}$.
 281. 0,6. 282. $\frac{mgl(\mu_1 + \mu_2)}{2}$. 283. Оборвётся, так как сила натя-
 жения будет равна 14 Н. 285. 1) 5,5 м/с; 1,5 м/с; 2) 0,5 м/с;
 3,5 м/с. 286. $\frac{7}{3}$. 287. 1) 1; 2) $\frac{m_1}{m_2} \rightarrow \infty$. 288. $\frac{1}{3} < \frac{m_1}{m_2} < 3$.
 289. $\frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{2}$; $\frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$. 290. $\frac{2m_e^2 v^2}{m_a}$. 291. $\frac{2}{3}$ м.
 292. $\cos \alpha_{\max} = \frac{17}{18}$; $\alpha_{\max} \approx 19^\circ$. 293. $\frac{m_1}{m_2} = 3$. 294. 1,6 м.
 295. В $\frac{5}{3}$ раза. 296. $0,64v$. 297. $\frac{v_1 v_2 \cos \alpha}{v_1 u_2}$. 299. $9,1 \cdot 10^3$ м/с.
 300. 2,4 км/с. 301. $-1,25 \cdot 10^8$ Дж. 302. $\frac{mgR_3}{2}$. 303. 5,6 км/с.
 304. 5,3 км/с. 305. $v_1 = 7,9 < v < v_{\Pi} = 11,2$ (км/с).

306. $A = GmM_3 \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{2r} \right)$. 307. $2 \cdot 10^9$ Дж. 308. 1,6 %.
309. 42 км/с. 310. $\approx 1,74$ м/с. 311. $\approx 1,5$ Н.
312. $-\frac{\mu m_1 g^2 (m_2 - \mu m_1) t^2}{m_1 + m_2 + \frac{m}{2}}$. 313. $0,16\sqrt{2}$ Н·м. 314. 3,1 м/с²;
- 5 рад/с². 315. ≈ 5 Н. 316. $\approx 5,4$ м/с. 317. 6 м/с.
318. $\approx 46^\circ$. 319. ≈ 1 Н. 320. $-1,5$ рад/с. 321. 225 Дж.
322. ≈ 323 Дж, $\approx 1,5$ рад/с. 323. $\approx 0,056$ рад/с.
324. $h_1 : h_2 : h_3 = 10 : 5 : 4$. 325. $\mu = \operatorname{tg} 30^\circ \approx 0,58$. 326. ≈ 380 Н.
327. 68 Н; 162° . 328. 2260 Н; 1130 Н. 329. $420 \leq T \leq 970$ Н.
330. $\frac{mg}{2} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$. 331. $\frac{mg}{2(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}$. 332. На
- $\frac{ml\rho V}{2(m + m_0)(m + m_0 - \rho V)}$. 333. $\frac{1}{3}$. 334. $\frac{mgD}{2h}$. 335. ≈ 5600 Н;
- ≈ 6500 Н. 336. 97 кг. 337. $\frac{l}{4}$. 338. 0,34 м. 339. $\frac{mg\sqrt{h(2R - h)}}{R + r - h}$.
340. 0,33. 341. $\frac{mg}{2\cos \alpha}$.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

342. 10^{-7} мм. 343. Между молекулами есть промежутки. Молекулы одного вещества заполняют промежутки между молекулами другого вещества. 344. $5,3 \cdot 10^{-26}$ кг.
345. $3,3 \cdot 10^{25}$. 346. 28,8 кг; 900 моль. 347. 5,6 кг.
348. $1,075 \cdot 10^{24}$. 349. 1030. 350. $3,01 \cdot 10^{24}$. 351. 1,2.
352. 44. 353. $3,73 \cdot 10^{-20}$ см³; 22,4 л. 354. $2,3 \cdot 10^{-10}$ м.
355. $6,11 \cdot 10^{21}$ атомов золота; $4,46 \cdot 10^{22}$ атомов серебра. 356. $8 \cdot 10^{27}$ м⁻³. 357. $4,25 \cdot 10^{-23}$ Н·с. 358. ≈ 109 Па.
359. 1) $3,3 \cdot 10^6$ Па; 2) $3,6 \cdot 10^5$ Па. 360. $6,3 \cdot 10^{27}$.
361. $9 \cdot 10^{-10}$ м/с. 362. ≈ 24 м/с. 363. $0,12$ кг/м³.
364. $2,3 \cdot 10^{26}$ м⁻³. 365. ≈ 480 м/с. 366. Уменьшилось бы в $\frac{4}{3}$ раза. 367. ≈ 710 м/с. 368. В 4 раза. 369. $5 \cdot 10^{22}$.
370. $1,1 \cdot 10^{24}$ м⁻³. 371. Указание. Рассмотрите изменение импульса молекулы, летящей к стенке под некоторым углом, и примените второй закон Ньютона.
372. Нет. 373. $6,2 \cdot 10^{-21}$ Дж. 374. Увеличилось на 8 %.
375. Уменьшится на 4 %. 376. Увеличится в 6 раз.
377. Нет. 378. Увеличится на 69 %. 379. $1,9 \cdot 10^{21}$ мо-

- лекул. 380. $2,4 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$. 381. $\approx 1,2 \cdot 10^{25}$.
 382. $\approx 1500 \text{ м/с}$. 383. На $2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ (изменение энергии движения молекулы атомного газа не зависит от того, какой это газ). 384. $\approx 0,83 \text{ м}^3$. 385. $2,4 \cdot 10^{26}$. 386. $\frac{P_2}{P_1} = 0,96$.
 387. 1020 м/с . 388. $4,2 \text{ мм}$.
 389. $\approx 5,1 \text{ г}$. 390. $0,78 \text{ атм}$. 391. $3,1 \text{ г}$.
 392. Масса газа уменьшилась. 393. $5 \cdot 10^{24} \text{ молекул}$.
 394. $\approx 25 \text{ г}$. 395. 18 л ; $370 \text{ }^\circ\text{C}$. 396. $3p_1 \frac{T_2}{T_1}$. 397. $\approx 24 \text{ м}^3$.
 398. $0,5 \text{ кг/м}^3$. 399. 290 К . 400. Понизилось в 4 раза.
 401. $0,059 \text{ кг/моль}$. 402. 960 кг . 403. $\approx 10^5 \text{ Н/м}$.
 404. На 21 см . 405. 30 г . 406. $4,96 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $2,48 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
 407. $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. 408. $28 \% \text{ O}_2$; $72 \% \text{ N}_2$. 409. $\approx 10^4 \text{ Па}$.
 410. $1,5 \text{ м}^3$. 411. $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 412. $5,5 \text{ л}$. 413. Повысилась; точка 2 принадлежит изотерме, находящейся выше изотермы, которой принадлежит точка 1. 414. $1,25 \text{ м}$. 415. 22 см .
 416. $\approx 23 \text{ см}$. 417. $8,8 \text{ л}$. 418. 10^3 л . 419. 5 м/с^2 .
 420. $\frac{\rho_{\text{рт}} g h (l_1 + l_2)}{l_2 - l_1}$. 421. Увеличилось. 422. $35 \text{ }^\circ\text{C}$. 423. 6 л .
 424. В $\frac{10}{7} \approx 1,43$ раза. 425. Увеличить на $75 \text{ }^\circ\text{C}$; на 75 К .
 426. $3,1 \text{ м}^3$. 427. Уменьшается. 428. 280 К . 429. $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
 430. На 40% . 431. В 4 раза. 432. На 140 К .
 433. $\approx 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 434. Выдержат. Указание. Сосуд может взорваться, если давление внутри сосуда превысит наружное давление на 2 МПа . 435. $1,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 436. $2,9 \text{ л}$.
 438. На 27 К . 441. 2 . 442. 346 К .
 444. Сначала на дне появляются пузырьки, образование которых сопровождается щелчком. Более резкий звук вызывается тем, что пузырьки лопаются, переходя в менее нагретые слои воды. При дальнейшем нагревании пузырьки достигают поверхности воды и разрываются, вода кипит, и возникает звук плещущейся воды. 445. Над жидкостью образуется пар, и процесс испарения происходит менее интенсивно. Сдувая пар, вы ускоряете процесс испарения жидкости, что приводит к её охлаждению.
 446. Нет, так как давление и плотность насыщенного пара зависят только от температуры. 448. $\approx 1,72 \text{ кг}$. 449. 15% ; 100% . 450. $0,103 \leq m \leq 0,206 \text{ кг}$. 451. $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

452. 34 %. 453. 0,46 кг. 454. 0,5 кг. 455. В $\frac{4}{3}$ раза, влажность станет равной 100 %. 456. На 14 г/м³. 457. Выпала. 458. 3,1 г. 459. 1,006. 460. В 80 раз. 461. $1,89 \cdot 10^5$ Па. 462. Гелий. 463. $\frac{p_2}{p_1} = 2$; $\frac{V_2}{V_1} = 1$; $\frac{T_2}{T_1} = 2$. 464. $A_1 > A_2$; $\Delta U_1 > \Delta U_2$. 465. $\Delta U_{He} = 1246,5$ Дж ($\Delta U_{He} < \Delta U_O = 2077,5$ Дж); $A_{He} = A_O = 831$ Дж. 466. ≈ 8 кДж; ≈ 13 кДж. 467. В 2 раза. 468. 150 Дж; нет, не изменилась. 469. 300 Дж. 470. 600 Дж; 3 кДж; 3,6 кДж. 471. 1200 Дж; 1200 Дж. 472. $2,97 \cdot 10^4$ Дж; 0,15 м³; $7,42 \cdot 10^4$ Дж; $1,04 \cdot 10^5$ Дж. 473. 4,16 кДж; 1,66 кДж; 2,49 кДж. 474. $R \frac{T_2 - T_1}{2}$. 475. 40 Дж; 60 Дж. 476. $4RT_1$. 477. 300 кДж. 478. 6 м³. 479. $3,32 \cdot 10^4$ Дж. 480. $R(T_3 + T_1 - 2\sqrt{T_1 T_3})$. 481. $\frac{3}{4}$. 482. 588 Дж. 483. ≈ 770 Дж. 484. 235 Дж. 485. 3. 486. На 0,15 °C. 487. $\approx 0,14$ °C. 488. ≈ 110 г. 489. ≈ 90 мин. 490. ≈ 11 . 491. 0,87. 492. 91 °C. 493. 1,15 кг. 494. 12 °C. 495. 0 °C. 496. 1,56 кг. 497. 30 °C. 498. 5 м/с. 499. ≈ 3 мин. 500. На 370 км. 501. 32 кВт. 502. 1) $A_p > A_T > A_{ад}$; 2) $Q_p > Q_T > Q_{ад} = 0$. 503. 150 Дж. 504. 150 Дж; 0; 150 Дж; $\Delta T = 0$. 505. 208 Дж. 506. Кислород. 507. $2,97 \cdot 10^4$ Дж; 146 л; $7,45 \cdot 10^4$ Дж. 508. В 10 раз. 509. 306 К. 510. ≈ 2 °C. 511. $\frac{13}{11}$. 512. 15 кДж. 513. ≈ 31 %. 514. 60 %; 28 кДж. 515. 25 %. 516. 10,4 %. 517. ≈ 20 %. 518. ≈ 21 %. 519. $\approx 1,2 \cdot 10^9$ Дж. 520. 20 %; 30 %. 521. 10 кВт. 522. ≈ 13 %. 523. 600 Дж. 524. $Q = P\tau + c_p m t_1 + m\lambda$; $k = \frac{c_p m t_1 + m\lambda}{P\tau}$. 525. Нет, мотор и радиатор холодильника выделяют тепла больше, чем его поглощает выходящий из холодильника воздух.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

526. В $1,24 \cdot 10^{36}$ раза. 527. Притягиваются друг к другу. 528. $-q$; не изменится, суммарный заряд пластинки останется равным нулю. 529. 10^{15} ; нет, так как заряд должен быть кратен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. 530. $2,9 \cdot 10^{-15}$ Кл. 531. Между двумя проводящими шарами, так как вследствие отталкивания одноимённых зарядов заряды на шарах бу-

- дут на большем расстоянии. 532. Нет, не могут. 533. $\frac{1}{9}$.
534. $q_2 = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, если его поместить под шариком, и $q_2 = -2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, если его поместить над шариком.
535. $-\frac{q(1+2\sqrt{2})}{4}$; равновесие неустойчивое. 536. $1,3 \cdot 10^{-8}$ кг.
537. На расстоянии 80 см от меньшего заряда. 538. 1,8 Н/м.
539. $\approx 0,11$ Н. 540. $4 \cdot 10^{-6}$ В/м; $\approx 1,8 \cdot 10^{-15}$ Кл.
541. $2,5 \cdot 10^5$ В/м. 542. $3,6 \cdot 10^4$ В/м. 543. $\sqrt{\frac{kq}{E}}$. 544. ≈ 40 В/м.
545. $\approx 30^\circ$. 546. $8 \cdot 10^{-28}$ Н · м. 547. $l = \frac{mv_0^2 \cos \alpha}{2qE} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \alpha}$.
548. $\operatorname{tg} \alpha = 2 \operatorname{tg} 60^\circ$; $\alpha \approx 74^\circ$. 549. 3. 550. 0; $9 \cdot 10^4$ В/м.
551. Напряжённости одинаковы для шара и сферы и равны 0; $2,25 \cdot 10^4$ В/м; $5,62 \cdot 10^3$ В/м. 553. $E_A = 9 \cdot 10^3$ В/м; $E_B = 0$; $E_C = 10^3$ В/м. 554. $E_A = 0$; $E_B = 1,1 \cdot 10^5$ В/м; $E_C = 9 \cdot 10^3$ В/м; $E_D = 2,25 \cdot 10^4$ В/м. 555. $E_A = 0$; $E_B = 1,44 \cdot 10^6$ В/м; $E_C = E_D = 0$. 556. 25 мН. 558. $7 \cdot 10^{-6}$ Н.
559. ≈ 800 кг/м³. 560. У второй; $\frac{q_{\text{св}2}}{q_{\text{св}1}} = \frac{12}{7}$. 561. 2.
562. 144 В/м; 5,3 В/м; 2,25 В/м. 563. 6 В/м; 4 В/м.
564. $\approx 0,2$ Н. 565. $\pm 2 \cdot 10^{-7}$ Кл; $-1,6 \cdot 10^{-6}$ Кл/м²; $1,8 \cdot 10^{-7}$ Кл/м². 567. $-7 \cdot 10^{-5}$ Кл. 568. 0,4 пкДж. 569. Наибольшая работа совершается в случае б. В случаях а и в работы равны. 570. Уменьшается. 571. 1) 10^{-6} Дж; 2) -10^{-6} Дж; при $q_2 < 0$ потенциальная энергия увеличивается. 572. 8,5 В. 573. $-8 \cdot 10^{-16}$ Дж; $4,2 \cdot 10^7$ м/с.
574. $E = 0$ в точке, находящейся на середине отрезка, соединяющего заряды; $\varphi \rightarrow 0$ на бесконечно большом расстоянии. 575. 24 В. 576. 24 В. 577. 10^{-15} Дж; -10^{-15} Дж.
578. $1,9 \cdot 10^6$ м/с. 579. 160 В/м. 580. На $4 \frac{m_0}{m} l_1$. 581. Параллельные линии, на равных расстояниях друг от друга. Поле однородное. 582. $\varphi = -Ex$; $\varphi = -1x$ (В). 583. $E_A > E_B > E_C$.
584. Нет, так как работа электростатических сил по замкнутому контуру всегда должна быть равна нулю. Указание. Начертите замкнутый контур и рассчитайте работу электростатических сил при перемещении заряда по этому контуру. 585. $\approx 6,2 \cdot 10^3$ Н/Кл; 7200 В. 586. 500 В.
587. ≈ 267 В/м; 80 В. 588. $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ при $r \leq R_1$ и $r \geq R_2$;

$E = 0$ при $R_1 < r < R_2$; $\varphi = kq \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ при $r < R_1$;

$\varphi = \frac{kq}{R_2}$ при $R_1 < r < R_2$; $\varphi = \frac{kq}{r}$ при $r > R_2$. 589. -10^{-6} Кл;

$2,25 \cdot 10^4$ В. 590. $\frac{v_0}{6}$; $r_{\min} = \frac{5kq_p^2}{m_p v_0^2}$. 591. $\varphi_1 = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 l} \left(1 - \left(\frac{r}{l} \right)^2 \right)$.

592. 1,6 В. 593. $8,1 \cdot 10^5$ Дж. 594. 10,1 В. 595. $\frac{q_0}{2}$; $\frac{q_0}{4}$; $\frac{q_0}{4}$.

596. Уменьшается в 3 раза. 597. 112 В; $9 \cdot 10^{-9}$ Кл/м².

598. ≈ 1700 В/м; 244 В. 599. 4,5 кВ; -50 нКл. 600. ≈ 40 м/с.

601. 1 мКл. 602. 20 мкФ. 603. Увеличилась в $\frac{4}{3}$ раза.

604. Электроёмкость увеличилась в 2 раза; разность потенциалов уменьшилась на 5 В. 605. 40 мкКл; площадь перекрытия пластин должна быть равна $\frac{3}{4}S$. 606. $4 \cdot 10^{-8}$ Кл.

607. $\approx 1,7 \cdot 10^{-23}$ Н·с. 608. На 45° . 609. Увеличатся на 0,5 мДж, на 10 мкКл. 610. Увеличатся на 400 В, на 0,16 Дж.

611. Уменьшается на 5 мДж; увеличится на 10^{-2} Дж.

612. $q_1 = q_4 = 8 \cdot 10^{-5}$ Кл; $q_2 = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл; $q_3 \approx 6 \cdot 10^{-5}$ Кл;

$U_1 = 80$ В; $U_2 = U_3 = 20$ В; $U_4 = 40$ В. 613. $\frac{2C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

614. а) $2C$; б) $2C$. 615. $\frac{8}{13}C$. 616. $\frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$. 617. а) $7 \cdot 10^{-5}$ Кл;

$21 \cdot 10^{-5}$ Кл; 70 В; б) $2 \cdot 10^{-5}$ Кл; $6 \cdot 10^{-5}$ Кл; 20 В.

618. а) 10^{-7} Дж; б) $4 \cdot 10^{-7}$ Дж. 619. $\Delta C = 2,21 \cdot 10^{-12}$ Ф;

$\Delta W = 4,42 \cdot 10^{-12}$ Дж. 620. $\Delta C = \frac{\epsilon_0 S d_0}{(d - d_0)d}$; $\Delta W = -\frac{q^2 d_0}{2\epsilon_0 S}$.

621. $\approx 1,6 \cdot 10^{-8}$ Кл. 622. На $\frac{C_1^2 C_2 (\epsilon - 1) U}{(C_1 + C_2)(C_1 + \epsilon C_2)}$. 623. а) $3C$;

б) $\frac{5}{4}C$; в) $\frac{3}{4}C$; г) $2C$. 624. 35,4 мДж. 625. $\frac{3}{5}q$. 626. CU^2 .

627. $\frac{C_2 + C_3}{C_1 + C_2 + C_3} U$. 628. 0,7 нКл. 629. $4,3 \cdot 10^{-5}$ Кл;

$5,7 \cdot 10^{-5}$ Кл; ≈ 19 мДж. 630. 20 мкФ; $q_4 = 10^{-4}$ Кл;

$q_1 = q_2 = q_5 = q_6 = 5 \cdot 10^{-4}$ Кл; $q_3 = 0$. 631. $\frac{CU^2 \epsilon (\epsilon + 1)}{2}$.

632. 0,2 А. 633. $5,7 \cdot 10^{-12}$ кг. 634. $5,7 \cdot 10^{-11}$ кг · м/с.
 635. 1,2 мкКл. 636. $6,25 \cdot 10^{28}$ м⁻³. 637. $\approx 1,39 \cdot 10^5$ м/с;
 $\approx 6,9 \cdot 10^5$ м/с. 638. $\approx 1,6 \cdot 10^{-16}$ Н. 639. 200 Ом.
 640. 8 В. 641. Увеличится в 6 раз. 642. 2 мА. 643. 0,4.
 644. $4,33 \cdot 10^{-2}$ Ом. 645. $\approx 0,11$ мм². 646. 30 Ом. 647. 10 В;
 20 В; 30 В; 60 В. 648. 3 : 1. 649. 10 Ом. 650. 6 А; 4 А;
 10 А. 651. 1,5 Ом; 1 Ом. 652. $1,5 \cdot 10^{-3}$ Ом; $2,7 \cdot 10^{-3}$ Ом.
 653. 0,585 Ом. 654. 0,5 А. 655. 1 р. 34 к. 656. 1) 1 : 2; 2) 2.
 657. 3,1 А. 658. 1) 10 мин; 2) 40 мин. 659. Во втором
 в 9 раз больше, чем в первом. 660. 75 %. 661. 20 Ом.
 662. 0,4 А; 4 В. 663. $\approx 1,9$ А; $\approx 0,6$ А; $\approx 1,3$ А.
 664. $6 \cdot 10^{-5}$ Кл. 665. Может, если включить только пер-
 вый элемент. 666. $3,5 \cdot 10^{-6}$ Кл. 667. 62 А. 668. 4 Ом.
 669. 0,375 А; 1,25 В. 670. 1,8 А; 3,1 В; 3,3 В. 671. 1 Ом.
 672. ≈ 52 Вт; 37,5 Вт. 673. $P_{\text{max}} = 2$ Вт при $R = 2$ Ом.
 674. ≈ 17 Ом. 675. 6 В. 676. 10 Ом; 0,4 Ом. 677. 0,5 А;
 0,333 А; 0,167 А. 678. 2,14 т. 679. 4 Ом. 680. ≈ 92 %;
 ≈ 97 %; 1) параллельно; 2) последовательно. 681. 33,3 %.
 682. $\approx 3,1 \cdot 10^{18}$. 683. $1,17 \cdot 10^5$ м/с. 684. $v = \frac{E}{nq_0r}$.
 685. 1) 3,6 см/с; 2) $1,15 \cdot 10^5$ м/с. 686. 10^{-5} Ом; нет, так
 как изменение сопротивления незначительно. 687. 2025 °С.
 688. ≈ 13 °С. 689. 2,4 Ом; 3 Ом. 690. Зависимость удель-
 ного сопротивления от температуры. 691. 10^{12} . 692. n-типа;
 p-типа. 693. Электронный, подвижность электронов боль-
 ше, чем дырок. 694. $4,2 \cdot 10^{-13}$. 695. 1 кОм. 696. 100 Ом;
 10^8 Ом. 697. 1) ≈ 9 Ом; 2) ≈ 3 Ом. 698. $8 \cdot 10^{-9}$ с.
 699. 2,5 мм. 700. Прямую, наклонённую к горизонтали
 под углом α , $\text{tg} \alpha = \frac{k_2}{k_1}$. 701. Движение пятна по окружно-
 сти. 702. ≈ 5 Ом. 703. 1,5 ч. 704. 0,35 кг. 705. 20 Вт.
 706. 140 кДж. 707. 440 г. 708. 160 мкм. 709. 32 пм/с.
 710. $n = \frac{I}{evS}$. 712. $\approx 1,3 \cdot 10^4$ м/с; $2,1 \cdot 10^5$ м/с. 713. 80 нА.
 714. $R_D < R_C < R_A < R_B$. 715. $6,25 \cdot 10^{15}$ м⁻³ · с⁻¹. 716. 3 эВ.
 717. $3 \cdot 10^6$ В/м.
 718. 1) $I_1 = I_2$, снизу вверх; 2) $I_1 = I_2$, сверху вниз.
 719. Если смотреть со стороны проводника на стрелки, то

справа полюс S, слева полюс N. 720. Токи должны идти в разных направлениях. 721. Справа полюс S, слева полюс N. 722. 30° . 723. 50 мА. 724. 1,67 мкН. 725. $4 \cdot 10^{-6}$ Н·м. 726. 60° . 727. $\approx 1,2$ А. 728. 1) $8 \cdot 10^{-2}$ Н; 2) $6,92 \cdot 10^{-2}$ Н; 3) $4 \cdot 10^{-2}$ Н; 4) 0. 729. 8 А. 730. 1) ≈ 89 А; 2) $\approx 3,6$ А. 731. 0,628 мс. 732. $5 \cdot 10^3$ Кл/кг. 733. $2,58 \cdot 10^{-3}$ Тл. 734. 1 : 4. 735. $B = \frac{2m_0 v}{Lq_e}$. 736. 10^{-7} м; $3,6 \cdot 10^{-7}$ м. 737. 97,5 см. 738. $3,7 \cdot 10^{-3}$ Тл. 739. 2,72 Вб; нет. 740. 1) $\approx 5,4 \cdot 10^{-4}$ Вб; 2) $\approx 5,4 \cdot 10^{-4}$ Вб. 741. Против часовой стрелки, если наблюдатель находится справа; по часовой стрелке во втором случае. В обоих случаях сила направлена против перемещения. 742. 3,14 мкА. 743. $3,14 \cdot 10^{-9}$ Кл. 744. $\frac{Bv \sin \alpha}{r}$. 745. $\frac{kabv}{R}$. 746. 62,8 мкВ. 747. $\approx 0,15$ А. 748. $5 \cdot 10^{-5}$ Кл; 0. 749. $\frac{BIS}{8\pi r}$. 750. $\frac{BIS}{8\pi r}$. 751. 10^{-4} Вб. 752. 0,2 Гн. 753. $2,5 \cdot 10^{-5}$ Кл. 754. 2 с. 755. Уменьшить: 1) в 1000 раз; 2) в 32 раза. 756. 0,4 Дж.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

757. $4 \cdot 10^{-2}$ м; 2 с; 45° , или $\frac{\pi}{4}$. 758. ≈ 5 Гц; $\approx 0,2$ с. 759. 2 рад/с; 3,14 с. 760. 25 см. 761. Увеличить в 4 раза. 762. $\approx 4,1$ м. 763. 1,87 с. 764. 1 с; 2 с. 765. $x = 0,01 \sin(4t + \pi)$ (м). 766. 0,31 с. 767. $3 \cdot 10^{-3}$ Дж. 768. 0,02 м. 769. $\frac{A_2}{A_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = 0,9$, где A_1 и A_2 , ω_1 и ω_2 — амплитуды и частоты колебаний до и после падения пластины. 770. $\frac{m_0^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2m}$; $x = \frac{m_0 v_0 \cos \alpha}{\sqrt{mk}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$. 771. $\approx 0,9$ с. 772. $\frac{3}{4}g$ (вниз); $3g$ (вверх). 773. Если период уменьшается, то $q \approx 4,3$ мКл; если период увеличивается, то $q \approx 3$ мКл. 774. Период колебаний математического маятника на Марсе в 1,6 раза больше; периоды колебаний пружинного маятника равны. 775. $1,41 \cdot 10^{-7}$ Кл. 776. 2 см. 777. 0,314 с. 778. 180 Дж. 779. 1 Дж. 780. ≈ 86 км/ч. 781. 22,4 рад/с. 782. 1,6 кг.

783. Кинетической энергии и потенциальной энергии в поле силы тяжести соответственно. 784. $10 \leq L \leq 16$ мГн. 785. $\approx 0,21$ мкФ. 786. Увеличить в 4 раза. 787. 3,5 мм. 788. 5 с. 789. 0,02 А. 790. $I = 10^{-4} \pi \cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$; 0,02 с. 791. 1 мА. 792. $2,5 \cdot 10^{-7}$ Дж. 793. $\approx 1,9 \cdot 10^{-4}$ с. 794. 100 мкФ. 795. ≈ 160 Гц. 796. 15,7 В. 797. 15,8 А. 798. $\frac{\epsilon_0 \omega S U_0 D \sin \omega t}{(d_0 + D \cos \omega t)^2}$. 799. $\frac{T}{3}$. 800. 50 Вт. 801. $6,6 \cdot 10^3$ Дж. 802. $q = 2,2 \cdot 10^{-3} \cos 100\pi t$ (Кл); $i = 0,69 \cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$ (А). 803. Уменьшится на 80 Ом. 804. $\approx 1,4$ А. 805. 0,25 Гн. 806. 0. 807. $\approx 0,047$ Гн. 808. 20 А. 809. 375 Вт. 810. $-17,8^\circ$; 360 Вт. 811. 0,58 А; $\approx 82^\circ$; $U_R \approx 14,5$ В; $U_C \approx 154$ В; $U_L \approx 54,5$ В. 812. 8,1 Вт. 813. 10. 814. 300. 815. 80 000; 100. 816. 2520; 3. 817. 0,5 А. 818. 0,1; $\approx 91\%$. 819. 320 Вб. 820. 1000. 821. 6,7 МДж. 822. В 10 раз. 823. 211. 824. 15 м/с. 825. 2 Гц; 0,5 с. 826. 0,3 м/с. 827. 100 Гц; нет, не изменится, если не изменяется скорость распространения. 828. 121 м. 829. $\approx 2,7$ с. 830. $s = 0,05 \sin 10\pi\left(t - \frac{x}{200}\right)$ (м). 831. 20 см; 0,1 с; 30 м; $s = 0,2 \sin 10\pi(2t - 0,1)$. 832. 0,4 л. 833. $s = 0,1 \sin 5\pi\left(t - \frac{x}{100}\right)$; 0; $-1,6$ м/с; 0. 834. 165 м. 835. 442 м. 836. 1638 м. 837. 1,65 км. 838. Увеличивается в ≈ 14 раз. 839. От 20 м до 1,7 см. 840. На 0,6 мм. 841. 0,5 м. 842. 120 см; $\frac{120}{N}$, где N — целое число. 843. Услышит. 844. 24,5 м. Когда наблюдатель будет идти от этой точки к одному из источников, он будет слышать усиление и ослабление звука. 845. $1 \cdot 10^4$ Гц; $v_n = (2n - 1)v_1$. 846. ≈ 3420 м/с. 847. 30 см. 848. $y = 0$. 849. 167 Н. 850. ≥ 850 Гц. 851. На восток. 852. 1), 2) на противоположное; 3) не изменится. 853. Да, может. 854. 1 км. 855. $4,5 \cdot 10^{-6}$ Дж/м³. 856. $5 \cdot 10^6$ м; $\approx 2,4 \cdot 10^5$ м. 857. От $3 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^7$ Гц. 858. Антенны ориентированы так, чтобы наилучшим образом воспринимать электромагнитные волны, излучаемые с телебашни. 859. От 3 до 9 м. 860. От 290 до 530 м. 861. От 3 мм до 3 м. 862. 690 км. 863. 0,12 с; $2 \cdot 10^{-4}$ с. 864. $\approx 11,3$ км.

ОПТИКА

865. $2h$. 866. $\approx 4,2$ м. 867. $0,95$ м; да. 868. 2 м/с; $\approx 1,6$ м.
 869. $2v$. 870. $13,9 \cdot 10^8$ м. 871. 2ω . 872. $\frac{2R}{\cos \alpha}$. 873. $\approx 63^\circ$.
 874. $\approx 1,4$. 875. $0,4$ см; $0,8$ см. 876. $\approx 1,4$. 877. Луч DE отразится от границы раздела двух сред. 878. $\approx 0,98$ м.
 879. $\approx 1,53$ м. 880. $\approx 21,6$ см. 881. $1,33$ км. 882. Нет.
 883. Нет, так как лучи на границе алмаз—воздух будут испытывать полное отражение. 884. $3,4^\circ$. 885. 5° . 886. 50° .
 887. $\alpha \geq \arcsin \frac{n_2}{n_1}$. 888. $1,15$. 889. 18 см. 890. $\approx 0,4$ м.
 891. 12 мм. 892. $1,5^\circ$. 893. $\sqrt{3} = 1,73$. 894. 45° . 900. $\frac{1}{3}$.
 901. Между источниками на расстояниях 18 и 6 см от них. 902. $6F$, если линза собирающая; $2F$, если линза рассеивающая. 903. 60 см; 180 см. 904. $4F$. 905. 22° .
 906. 10 см. 907. $0,25$ м/мин; если жук ползёт к линзе, то экран надо отодвигать; если от линзы, то приближать.
 908. $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{2D}{d} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$. 909. 8 . 910. 15 см. 911. На 4 мм.
 912. $F \frac{d(n-1)}{nF - d(n-1)}$. 913. $\frac{3}{2}F$. 914. 6 см. 915. ≈ 14 см.
 916. 1) 1 ; 2) 0 . 917. $3,75$ мм. 918. 100 нм. 919. Обеспечивает. 920. 300 нм. 921. 500 нм. 922. Тёмное пятно. 923. Интерференционный минимум. 924. ≈ 167 нм. 925. ≈ 100 нм.
 926. Явление дифракции наблюдается, но так как размеры линзы существенно больше длины волны, то оно проявляется слабо. 927. Это связано с тем, что длины механических волн существенно больше длин световых волн.
 928. $7,7$ мкм. 929. 500 нм. 930. $7,2$ см. 931. 3 . 932. $\approx 1,4^\circ$.
 933. $0,8$ м. 934. 1) Не изменится; 2) уменьшится в $\frac{5}{3}$ раза.
 935. $\approx 0,2$ с. 936. $0,6$ с. 937. $5,9$ м; $6,25$ м. 938. $3,2$ мкс.
 939. $2 \cdot 10^8$ м/с. 940. В $1,25$ раза. 941. $0,07$ с. 942. $\approx 0,88$ с.
 943. $\approx 0,6$ с. 944. В $1,25$ раза. 945. $1,35 \cdot 10^{10}$ кг · м/с.
 946. В $1,5$ раза. 947. $4 \cdot 10^{-17}$ кг · м/с. 948. $\approx 13\%$.
 949. На 1 Н · с, неодинаково. 950. $8,19 \cdot 10^{-14}$ Дж.
 951. $0,96$ с. 952. $0,6$ с. 953. $3 \cdot 10^{-24}$ кг. 954. $\approx 7,1 \cdot 10^{12}$ лет.
 955. На $5 \cdot 10^{-11}$ кг. 956. $0,42$ с. 957. $v = \frac{Fct}{\sqrt{m^2c^2 + F^2t^2}}$.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

958. Да, $h\nu > A_{\text{вых}}$. 959. 3,76 В. 960. $\approx 0,56$ В. 961. 548 нм.
 962. $3,3 \cdot 10^{-7}$ м. 963. 540 нм. 964. $6,7 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.
 965. $\approx 3,2$ эВ. 966. $2,77 \cdot 10^6$ м/с. 967. $5 \cdot 10^{-9}$ м.
 968. Вольфрам. 969. $\approx 1,5 \cdot 10^{-6}$ м. 970. $2,84 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 971. ≈ 58 кВт. 972. 2. 973. $\frac{1}{4}$. 974. $\approx 1,5 \cdot 10^{-8}$ м.
 975. $3,6 \cdot 10^{17}$. 976. $\approx 7 \cdot 10^{19}$. 977. ≈ 122 мкКл.
 978. $3,9 \cdot 10^{-25}$ Н · с. 979. $3,9 \cdot 10^{-11}$ м. 980. $\frac{\lambda_{\min}}{\lambda_B} = 6000$.
 981. 10,2 эВ. 982. $\approx 5 \cdot 10^{14}$ Гц. 983. $1,1 \cdot 10^6$ м/с.
 984. Нет. 985. $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-8}$ м, увидим. 986. Если электрон занимает удалённую от ядра орбиту, то он может перейти на разные орбиты, более близкие к ядру, и при этом излучаются фотоны с разными длинами волн. 987. Нет; частоту излучения определяют переходы электрона с одной орбиты на другую. 988. $3,3 \cdot 10^{15}$ Гц. 989. $5,29 \cdot 10^{-11}$ м.
 990. $4,3 \cdot 10^{40}$. 991. 1,89 В. 992. 10^6 . 993. $6,62 \cdot 10^{-10}$ м.
 994. ${}_{90}^{228}\text{Th}$. 995. ${}_{2}^3\text{He}$. 996. ${}_{86}^{222}\text{Rn}$. 997. ${}_{84}^{216}\text{Po}$. 998. Восемь α - и шесть β -превращений. 999. ${}_{6}^{12}\text{C}$. 1000. $1,7 \cdot 10^{22}$.
 1001. $7,5 \cdot 10^8$. 1002. $3 \cdot 10^4$. 1003. При возбуждении ядра.
 1004. $4,064 \cdot 10^{-29}$ кг; 27,3 МэВ. 1005. $2,2 \cdot 10^{28}$ кг; 124 МэВ.
 1006. $E_{\text{св}} = 1,7$ МэВ; $E_{\text{св,эл}} = 27$ эВ. 1007. 0,008557 а. е. м.; 7,97 МэВ. 1008. $3,3 \cdot 10^{25}$ МэВ. 1009. 30,45 МэВ; 5,075 МэВ.
 1010. ${}_{7}^{13}\text{N} \rightarrow {}_{6}^{13}\text{C} + {}_{+1}^0e + {}_{0}^0\nu$. 1011. ${}_{86}^{222}\text{Rn}$. 1012. $9,15 \cdot 10^{-13}$ Дж.
 1013. 4,04 МэВ. 1014. 1) 3,27 МэВ; 2) 17,59 МэВ.
 1015. $2,5 \cdot 10^{14}$ Дж; 5430 т. 1016. Не может. 1017. $k \geq 1$; $k = 1$. 1018. Неопасна, так как доза облучения, полученная сотрудником за год, равна 0,0084 Гр, что меньше допустимой. 1019. В 28 раз. 1020. $7,4 \cdot 10^{-4}$ Гр.

Часть 2

1021. $1,82 \cdot 10^4$ Па. 1022. $\approx 1,11 \cdot 10^5$ Па. 1023. $\frac{11}{12}$. 1024. 15 Н.
 1025. $3 \cdot 10^3$ кг/м³. 1026. 243 г. 1027. $h \frac{\rho - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1}$. 1028. $\approx 0,74$.
 1029. $2 \cdot 10^{-5}$ м³; $\frac{4}{5}$. 1030. 7,5 см. 1031. На 2 м. 1032. 77 % никеля и 23 % железа. 1033. $\approx 6,7$ кДж. 1034. Тело при любом значении ускорения будет погружено на половину

- объёма. 1035. $\approx 0,3$ Н. 1036. 8 Дж. 1037. $\frac{a}{g}$. 1038. $\frac{\kappa \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} h$.
 1039. 50. 1040. 18 см. 1041. $\approx 0,01$ Дж. 1042. $1,22 \cdot 10^{-4}$ Дж.
 1043. $\frac{4\alpha}{\rho g r}$. 1044. $1,282 \cdot 10^5$ Па. 1045. $\approx 9,9$ мм. 1046. На
 80 Па. 1047. 0,3 мм. 1048. 580 °С. 1049. 450°. 1050. 50°. 1051. 12. 1053. 34 см². 1054. ≈ 197 см². 1055. 7,2 мм.
 1056. 70 Н; 3,5 Дж. 1057. $\mathcal{E}_1 = 0,2$ В; $\mathcal{E}_2 = 0,1$ В. 1058. $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} =$
 $= 1 + \frac{R_1}{R}$. 1059. 4 А; 2 А; 6 А. 1060. $\mathcal{E} = 1,8$ В; r — лю-
 бое значение. 1061. 35 В; 3 Ом. 1064. 30 см³; 654 К;
 $2,26 \cdot 10^7$ Па. 1066. 92,5 см³; $1,1 \cdot 10^5$ Па. 1067. $1,31 \cdot 10^3$ Па.
 1068. 1) $\frac{3E_0}{\varepsilon + 2}$; 2) $\frac{E_0}{\varepsilon}$. 1069. 8,8 м; 1,8 м. 1070. 48 с.
 1071. 144 В/м. 1072. По поверхности А. 1073. $v_A = v_B$;
 $v_A > v_B$. 1074. 49°. 1075. $q^2 < 4\pi\epsilon_0 m g(l+a)^2$. 1076. 5 м.
 1077. 0,12°. 1078. $\frac{1}{2}(\pi\rho)^{\frac{1}{3}}(\eta DN)^{\frac{2}{3}}$. 1080. 15 см; 1 см.
 1081. Уменьшилась на 0,022 кг/м³. 1082. $L = n\lambda$.
 1083. $2,28 \cdot 10^{-3}$ Кл. 1084. Прибор покажет ток в мо-
 менты начала и конца движения потока электронов;
 при постоянном движении потока ток через гальвано-
 метр не идёт. 1085. 11,5 Вт; 0,125 Ом. 1086. 52 %.
 1087. 1,18 кВт. 1088. $\sqrt{v_0^2 + k \frac{\sqrt{3} q q_0}{2ma}}$. 1089. 34. 1090. 30 м.
 1091. $a = \frac{m_1 m_2 + m_1 m_3 - 4m_2 m_3}{m_1 m_2 + m_1 m_3 + 4m_2 m_3} g$. 1092. $F = m(a - \mu g)$. 1093. $l(t) =$
 $= L - 2 \frac{v_0^2}{a} \sin \frac{a}{v_0} t$. 1094. 0,78 м. 1095. Увеличилась в 1,25 раза.
 1096. 366 с. 1097. $\frac{R}{8}$. 1098. Струи пересекаются в точке,
 находящейся на расстоянии 1,65 м от левой трубы
 и на высоте 0,46 м. 1099. 60°. 1100. $\frac{2l}{3v}$. 1101. $2,7 \cdot 10^{-6}$ Н.
 1102. 4,9 Н. 1103. $\frac{\epsilon_0 S \omega D U_0}{d_0^2} \sin \omega t$. 1104. 72 мин;
 18 мин. 1105. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m + C(Bl)^2}{k}}$. 1106. 2,5 с. 1107. $2\pi \sqrt{\frac{\pi R}{2g}}$.
 1108. $\omega = 2\pi \sqrt{\frac{k - \frac{(Bl)^2}{L}}{m}}$. 1109. $5 \cdot 10^{-6}$ м. 1110. $\frac{1}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(q_1^2 - \frac{q_2^2}{3\sqrt{3}} \right)$.

Содержание

Предисловие	3
ЧАСТЬ 1	5
10 класс	—
Механика	—
Кинематика	—
Кинематика точки	—
Кинематика твёрдого тела	19
Динамика	21
Законы механики Ньютона	—
Силы в механике	25
Законы сохранения в механике	31
Закон сохранения импульса	—
Закон сохранения энергии	34
Динамика вращательного движения абсолютно твёрдого тела	45
Статика	47
Равновесие абсолютно твёрдых тел	—
Молекулярная физика. Тепловые явления	51
Основы молекулярно-кинетической теории	—
Температура. Энергия теплового движения молекул	58
Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы	55
Взаимные превращения жидкостей и газов. Влажность	62
Основы термодинамики	64
Основы электродинамики	72
Электростатика	—
Законы постоянного тока	88
Электрический ток в различных средах	95
11 класс	100
Основы электродинамики (продолжение)	—
Магнитное поле	—
Электромагнитная индукция	104
Колебания и волны	107
Механические колебания	—
Электромагнитные колебания	111
Производство, передача и использование электрической энергии	115
Механические волны	116
Электромагнитные волны	119
Оптика	121
Световые волны	—
Элементы теории относительности	130
Квантовая физика	132
Световые кванты	—
Атомная физика	134
Физика атомного ядра	135

ЧАСТЬ 2	138
Гидростатика. Закон Архимеда	—
Свойства жидкости	149
Тепловое расширение жидких и твёрдых тел	156
Правила Кирхгофа	161
Реальные газы	165
Разные задачи	170
Приложение	178
Ответы	192

Учебное издание
Серия «Классический курс»

Парфентьева Наталия Андреевна
Сборник задач по физике
10—11 классы

Учебное пособие для общеобразовательных организаций
Базовый уровень

ЦЕНТР ЕСТЕСТВЕННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Руководитель Центра *М. Н. Бородин*
Зав. редакцией физики и химии *Н. А. Коновалова*
Ответственный за выпуск *Н. В. Мелешко*
Редакторы *Н. В. Мелешко, Г. Н. Фадина*
Младший редактор *Т. И. Данилова*
Художественный редактор *Т. В. Глушкова*
Художники *С. А. Сорока, С. А. Минаева*
Техническое редактирование и компьютерная верстка *Е. М. Завилей*
Корректор *И. Н. Панкова*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93–953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 23.08.16. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская. Гарнитура SchoolBookCSanPin. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 11,23. Доп.тираж 1500 экз. Заказ № 1253.

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано по заказу АО «ПолиграфТрейд» в филиале «Тверской полиграфический комбинат детской литературы» ОАО «Издательство «Высшая школа». 170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.
Тел.: +7(4822) 44-85-98. Факс: +7(4822) 44-61-51.